

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მარინე გვიანიძე

ადლიის გამწმენდი ნაგებობა და მისი გავლენა შავი ზღვის აჭარის  
სანაპირო ზოლის წყლის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე

სადოქტორო პროგრამა „ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია“

შიფრი 0410

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტზე, შპს „ბათუმის წყალის“ ადგილის წყალარინების გამწმენდ ნაგებობაზე.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ასოცირებული პროფესორი ევგენია შენგელია  
რეცენზენტები: -----

-----

დაცვა შედგება 20----- წლის -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## შესავალი

### ნაშრომის საერთო დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** მესამე ათასწლეულის დასაწყისში შავი ზღვის გარემოზე ანთროპოგენულმა დატვირთვამ უპრეცედენტო მასშტაბებს მიაღწია. სანაპირო აკვატორიებში დიდი რაოდენობით გაუწმენდავი ან არასაკმარისად გაწმენდილი საყოფაცხოვრებო, სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო ობიექტების ჩამდინარე წყლების მოხვედრა, იწვევს წყალსატევების ეუტროფიკაციას (გაყვავილებას), რომელიც წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვანს შავი ზღვის ეკოლოგიურ პრობლემებს შორის. წყალსატევების ეუტროფიკაციას განაპირობებს წყალში ბიოგენების აზოტისა და ფოსფორის დაგროვება, მათი წყალში მაღალი შემცველობა იწვევს ჰიპოქსიის (წყალში ჟანგბადის დეფიციტი) მოვლენების განვითარებას, ხოლო მათი თანაფარდობის დარღვევა ისეთი მიკროორგანიზმების გამრავლებას (ციანობაქტერიები), რომლებიც უშუალოდ მონაწილეობენ წყლის ეუტროფიკაციაში. ზღვის წყალში ფოსფორი ეუტროფიკაციის განვითარების „ლიმიტირებადი“ ფაქტორია.

ადლიის ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობა აწარმოებს საკანალიზაციო წყლების მექანიკურ და არასრულ ბიოლოგიურ გაწმენდას აზოტის ნაერთების ნაწილობრივი შემცირებით. ჩამდინარე წყლების ტრადიციული ბიოლოგიური გაწმენდისას, დალექვისა და ბიოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის შედეგად წყალს ფოსფორის მხოლოდ 20–40% შორდება. ამდენად საკანალიზაციო წყლების გაწმენდის მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს ბუნებრივ წყლებში ფოსფორის ჩაშვების ნორმატივების უზრუნველყოფა.

**კვლევითი სამუშაოს მიზანს** წარმოადგენდა ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის ტექნოლოგიური სრულყოფის განსაზღვრა, მისი გარემოსდაცვითი მნიშვნელობის შეფასება და წყლის ფოსფორისაგან გაწმენდის ეფექტური მეთოდის შემუშავება. დასმული მიზნის გადასაწყვეტად განხორციელდა შემდეგი ამოცანები:

- შესწავლილია გამწმენდი ნაგებობის პირველად სალექრებში მიმდინარე პროცესების სრულყოფა - ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილების (ჟქმ), ჟანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნილების (ჟბმ) და შეწონილი ნაწილაკების შემცირების დონე წყლის ხარისხის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე;

- ჩატარებულია ბიოლოგიური ფილტრების მუშაობის ეფექტურობის შეფასება მინერალიზაციის ხარისხის და ნიტრიფიკაციის დონის მიხედვით;

- შესრულებულია ლაბორატორიული კვლევები ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის დასალექი ეფექტური კოაგულანტის შესარჩევად და მისი ოპტიმალური დოზის დასადგენად;

- ჩატარებულია შერჩეული კოაგულანტების ტესტირება საწარმოო პირობებში -ადლიის გამწმენდი ნაგებობის მეორად სალექარში;

- შესწავლილია ბათუმის შავი ზღვის სანაპირო ზოლში წყლის ხარისხის ეკოლოგიური მდგომარეობა 2010-2016 წლების სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე.

#### **კვლევის ობიექტი:**

- ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის ჩამდინარე წყლები;
- შავი ზღვის სანაპირო ზოლის წყალი.

**კვლევის მეთოდები.** სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს შესასრულებლად გამოყენებული იყო შემდეგი მეთოდები და ხელსაწყოები:

1. ფოტომეტრული მეთოდი (ფოტოკოლორიმეტრი Hach DR6000);
2. pH-მეტრული მეთოდი ( pH-მეტრი Hach HQ40d multi- pH);
3. ჟბმ-ის განსაზღვრის რესპირომეტრული მეთოდი (WTW OxiTop Box)
4. თერმოსტატი (Hach Lange LT 200)
5. ლაბორატორიული მიქსერი (IKA T25 digital ultra TURRAX)

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები:**

• დადგენილია, რომ ბიოლოგიური ფილტრების მუშაობის ეფექტურობის გაზრდა და ნიტრიფიკაციის დონის გაუმჯობესება

შესაძლებელია ფილტრებზე მიწოდებული წყლის ხარჯის რეგულირებით და ფილტრების რეგულარული გარეცხვით;

- აგებულია ადლიის გამწმენდი ნაგებობის პირველად სალექრებში ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილების შემცირების მიახლოებითი დონის განსაზღვრის მათემატიკური მოდელი რამოდენიმე ცვლადის ანალიტიკური წარმოდგენის მეთოდით;

- ჩამდინარე წყლების რეაგენტული დეფოსფოტიზაციის მიზნით გამოკვლეულია სხვადასხვა რეაგენტების შესაძლებლობები და დადგენილია მათ შორის ყველაზე ეფექტურის – პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის ოპტიმალური დოზები;

- ჩატარებულია შერჩეული რეაგენტების ტესტირება ნატურულ პირობებში – ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის საბოლოო სალექარში და დადგენილია, რომ საბოლოო სალექარში პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის 24 ლ/სთ დოზირებისას მიიღწევა ჩამდინარე წყლებში ფოსფორის სამიზნე კონცენტრაციამდე 0,6 მგ/ლ დალექვა, ამასთან ვლინდება შეწონილი ნაწილაკების შემცირების 92%-ნი და ჟქმ-ის და საერთო აზოტის მნიშვნელოვანი შემცირების ეფექტი;

- დადასტურებულია, რომ ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის დასალექად პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის გამოყენებისას, წყალში ნარჩენი ალუმინის კონცენტრაცია არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზდკ);

- დადგენილია, რომ ჩამდინარე წყლების მოცემული სქემით გაწმენდის დროს ფოსფორის რეაგენტული დალექვის ყველაზე ეფექტური წერტილია საბოლოო სალექრები, სადაც შეწონილი ნაწილაკები ხელს უწყობენ დალექვას და შედეგად იზრდება წყლის გაწმენდის ეფექტი სხვა მაჩვენებლების მიხედვითაც;

- სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით შავი ზღვის აჭარის სანაპირო ზოლის წყალში 2010-2016 წლებში ვლინდება ამონიუმის

კონცენტრაციის შემცირება, რაც სავარაუდოდ განპირობებულია გამწმენდი ნაგებობის ფუნქციონირებით;

- 2010-2016 წლების სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით შავი ზღვის აჭარის სანპირო ზოლის წყალში აღინიშნება ქლოროფილ „a“-ს კონცენტრაციის ზრდა, რაც სავარაუდოდ განპირობებულია ფოსფატების შედინებით.

#### **კვლევის სიახლე:**

- შერჩეულია ეფექტური მეთოდი და რეაგენტი ადლიის გამწმენდი ნაგებობიდან შავ ზღვაში გამავალ წყლებში ფოსფორის ზღვ-ს უზრუნველსაყოფად;

- გამოვლენილია, რომ ჩამადინარე წყლების დეფოსფოტიზაციის მიზნით პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენება უზრუნველყოფს ბიოფილტრებზე ნიტრიფიკაციის ეფექტურობის ზრდას;

- დადგენილია, რომ ჩამადინარე წყლების ბიოლოგიური გაწმენდის სქემებში, სადაც გამოიყენება ბიოფილტრები, ფოსფორის რეაგენტული დალექვისას საბოლოო სალექრებში კოაგულანტის ხარჯი არ იზრდება შეწონილი ნაწილაკების შემცველობის ზრდით;

- ადლიის გამწმენდი ნაგებობის პირველად სალექრებში ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილების შემცირების მიახლოებითი დონის განსაზღვრის მათემატიკური მოდელით მიღებული განტოლების საფუძველზე, შესაძლებელია პირველადი სალექრებიდან გამავალ წყალში  $\text{ქმ-ჟბმ-ის}$  მიახლოებითი კონცენტრაციის განსაზღვრა;

#### **შედეგების გამოყენების სფერო:**

- ადლიის წყალარინების გამწმენდ ნაგებობაზე ნიტრიფიკაციის ხარისხის გაუმჯობესება, რაც უზრუნველყოფს ნაგებობის ეფექტურობის ზრდას;

- ადლიის წყალარინების გამწმენდ ნაგებობაზე წყლის დეფოსფოტიზაციის პროცესის დანერგვა, რაც უზრუნველყოფს

ნაგებობიდან გამავალ წყალში ფოსფორის ზღვრული კონცენტრაციის მიღწევას.

**აპრობაციები:** სადოქტორო ნაშრომის მნიშვნელოვანი ასპექტები წარმოდგენილი იყო 2 საერთაშორისო კონფერენციაზე:

1. მესამე საერთაშორისო ეკონომიკური კონფერენცია IEC– 2015. ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუმინ, დღეს, ხვალ. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 16.10.2015
2. Smart Blue, New opportunities for the blue economy of the Black Sea. European Commission Directorate general for Interpretation. Sofia 24.03.2015

**დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა:** სადოქტორო ნაშრომი შედგება შესავლის, 3 თავისა და დასკვნისაგან. ნაშრომს ერთვის ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა (102 დასახელება). ნაშრომი წარმოდგენილია 148 ნაბეჭდ გვერდზე, მოიცავს 30 ნახაზს და 35 ცხრილს.

## **სამუშაოს შინაარსი**

ლიტერატურულ მიმოხილვაში მოცემულია ჩამდინარე წყლების გაწმენდის მეთოდების ზოგადი დახასიათება, აღწერილია ჩამდინარე წყლების წარმომავლობა და მათი მექანიკური, ბიოლოგიური და ქიმიური გაწმენდის მეთოდები. განხილულია ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური გაწმენდის თითოეული ეტაპის დროს მიმდინარე პროცესები. გაანალიზირებულია ჩამდინარე წყლების გაწმენდის არსი ბიოფილტრებში, მბრუნავ რეაქტორებში და აირებად აუზებში. გაშუქებულია ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის ელიმინაციის მეთოდები.

### **1. ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდის ეფექტურობის შეფასება**

ნაგებობაზე შემომავალი ჩამდინარე წყლების გაწმენდის მნიშვნელოვანი ეტაპია მისი პირველად სალექტრებში გაწმენდა. პირველად

საღებებში იღებება შეწონილი ნაწილაკები და ამასთან მცირდება ჟემ-ჟბმ-ის კონცენტრაციები. პირველად საღებებში ჟემ-ჟბმ-ის შემცირების დონე მნიშვნელოვნად მოქმედებს წყლის ბიოლოგიურ გაწმენდაზე ბიოფილტრებში. ცნობილია, რომ პირველად საღებებში ჟემ-ჟბმ-ის შემცირების დონე უნდა შეადგენდეს 20-40%, რაც უზრუნველყოფს წყლის გაწმენდის ნორმალურ სვლას შემდგომ ეტაპებზე. გამწმენდი ნაგებობის პირველად საღებებში მიმდინარე პროცესების სტატისტიკურმა ანალიზმა გვაჩვენა, რომ ჟემ-ის შემცირება საშუალოდ 50% შეადგენს. 2014-2015 წლებში ჟემ-ის დონის შემცირება ანაერობულ აუზებში და მისი დამოკიდებულება შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობაზე მოცემულია ცხრილში 1.

**ცხრილი 1. 2014-2015 წლებში ჟემ-ის შემცირების დონე ანაერობულ აუზებში შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით**

2014 წელი						2015 წელი					
თარიღი	შეწ.ნაწ. შ.წ., მგ/ლ	ჟემ შ.წ., მგ/ლ	ჟემ ან.ა., მგ/ლ	ჟემ სხვაობა, მგ/ლ	ჩ %	თარიღი	შეწ. ნაწ. შ.წ., მგ/ლ	ჟემ შ.წ., მგ/ლ	ჟემ ან.ა., მგ/ლ	ჟემ სხვაობა, მგ/ლ	ჩ %
თებ.	77	117	72	45	38	იან.	78	154	102	52	33
მარ.	97	159	106	53	33	თებ	65	129	105	24	18
აპრ.	105	165	92	73	44	მაის	133	251	160	91	36
მაის.	142	255	105	150	58	ივნ.	199	328	149	179	54
ივნ.	158	225	104	121	53	ივლ	149	239	152	87	36
ივლ.	159	237	117	120	50	აგვ.	180	300	162	138	46
სექ.	188	238	126	112	47	ოქტ	184	221	150	71	54
ოქტ.	107	149	91	58	38	ნოე.	90	122	113	9	7
ნოე.	90	109	75	34	31	-	-	-	-	-	-
დეკ.	189	292	82	210	71	-	-	-	-	-	-

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს 2015 წელს ანაერობული აუზებიდან გამავალ წყალში ჟემ-ის დონე უფრო მაღალია ვიდრე 2014 წელს. ეს ერთი მხრივ განპირობებულია შემომავალ წყალში ჟემ-ის სიდიდით და ასევე იმით, რომ შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობა 2014



წელთან შედარებით ან იგივე დონეზე ან მცირედ მომატებულია (შეწონილი ნაწილაკების შემცირება განპირობებულია საკანალიზაციო წყლების რეაბილიტაციით). ცხრილში 1 მოცემული 2014-2015 წლების მონაცემების მათემატიკური ანალიზის შედეგად გამოვლენილია მაღალკორელაციური ( $r=0.920512$ ) კავშირი შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობასა და ანაერობულ აუზებში ჟქმ-ის ცვლილებათა შორის. კორელაციური კავშირის საფუძველზე აგებულია პირველად სალექრებში ჟქმ-ის შემცირების დონის მათემატიკური მოდელი, რომლის ასაგებად ვისარგებლეთ რამოდენიმე ცვლადის წარმოდგენის მიახლოებითი ანალიტიკური მეთოდით. განსახილავი ფუნქციის  $y = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$  მიახლოებითი წარმოდგენის ასაგებად, გამოვიყენეთ ადლიის გამწმენდი ნაგებობის პირველადი სალექრების სტატისტიკური მასალა, რომელიც ასახავს ჟქმ-ის შემცირების დონეს მოქმედი ძირითადი მარეგლამენტირებადი ფაქტორების სხვადასხვა მნიშვნელობებისას. წარმოდგენილი ფუნქციის არგუმენტებად განვიხილეთ ძირითადი მარეგლამენტირებელი ფაქტორები: შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაცია, ჟქმ-ის სიდიდე, წყლის ტემპერატურა და წყლის pH. გამწმენდი ნაგებობის პირველადი სალექრების სტატისტიკური მასალების საფუძველზე შევადგინეთ ცხრილი 2.

**ცხრილი 2. მათემატიკური მოდელის ექსპერიმენტული მონაცემები**

#	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$Y_{\text{ქს}}$	$Y_{\text{გათ}}$
1	78	154	7.3	13.2	49	45.38
2	97	159	7.0	14.9	53	53.19
3	105	165	7.1	15.9	73	73.32
4	159	237	6.9	22.4	120	120,31

სადაც  $X_1$ - შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობა მგ/ლ;  $X_2$  შემომავალ წყალში ჟქმ-ის რაოდენობა მგ/ლ;  $X_3$  წყლის pH;  $X_4$  წყლის ტემპერატურა  $^{\circ}\text{C}$ .

$Y_{\text{ქს}}$ -ჟქმ-ის შემცირების დონე ექსპერიმენტალურად;  $Y_{\text{გათ}}$ -ჟქმ-ის შემცირების გათვლითი მნიშვნელობები.

განტოლებას ექნება ასეთი სახე

$$Y = \bar{Y} + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4$$

კოეფიციენტების  $b_1$ ;  $b_2$ ;  $b_3$ ;  $b_4$ ; გამოსათვლელად ცხრილის მონაცემებიდან შევადგინეთ წრფივ განტოლებათა სისტემა

$$78x_1 + 154x_2 + 7,3 X_3 + 13,2x_4 = 49$$

$$97x_1 + 159x_2 + 7,0 x_3 + 14,9 x_4 = 53$$

$$105x_1 + 165x_2 + 7,1 x_3 + 15,9x_4 = 73$$

$$159x_1 + 237x_2 + 6,9x_3 + 22,4x_4 = 120$$

განტოლებათა სისტემის ამოხსნით განვსაზღვრეთ ცვლადების მნიშვნელობები  $X_1 = -13,840$ ;  $X_2 = -3,212$ ;  $X_3 = -59,648$ ;  $X_4 = 155,968$  რაც შეესაბამება  $b_1; b_2; b_3; b_4$  მნიშვნელობებს.

ამრიგად საძიებელ განტოლებას ექნება ასეთი სახე:

$$Y = -13,840X_1 - 3,212X_2 - 59,648X_3 + 155,968X_4$$

ამ განტოლებით გათვლილი მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრილი 2-ის ბოლო სვეტში. ცხრილიდან ჩანს, რომ გამოთვლილი შედეგები კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან. მიღებული განტოლებების საფუძველზე შესაძლებელია პირველად სალექრებში ჟქმ-ჟბმ-ის შემცირების დონის განსაზღვრა მარეგლამენტირებელი ფაქტორების მოცემულ ზღვრებში ვარიაციისას და შესაბამისად ჟქმ-ჟბმ-ის კონცენტრაციის განსაზღვრა პირველადი სალექრებიდან გამავალ წყალში.

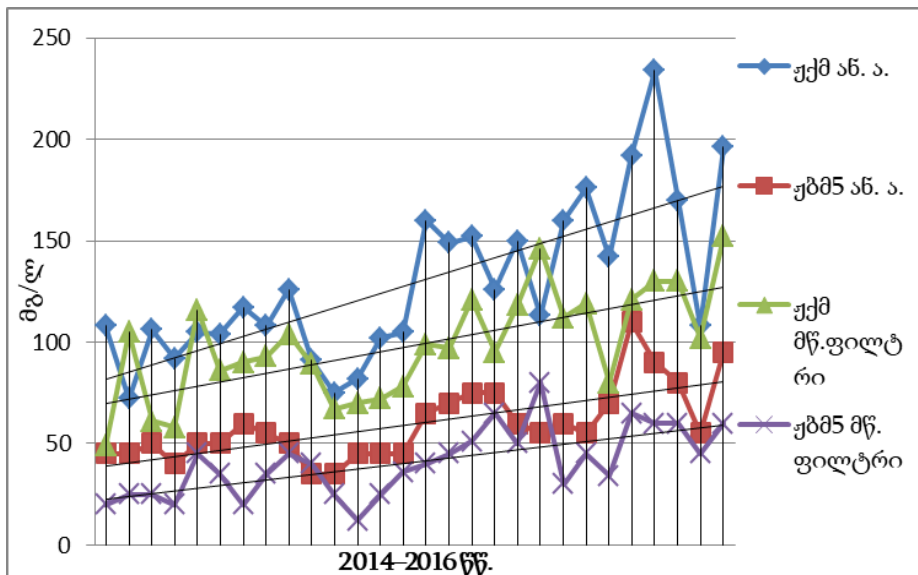
## 2. ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური გადამუშავება ბიოფილტრებში

გამწმენდ ნაგებობაზე ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური გადამუშავება გულისხმობს ბიოფილტრებში მიკროორგანიზმების მიერ ანაერობული აუზებიდან მიწოდებული ჩამდინარე წყლების მინერალიზაციას და ნაწილობრივ ნიტრიფიკაციას.

ჩამდინარე წყლების ბიოფილტრებში გაწმენდის ეფექტურობაზე მოქმედ ფაქტორებს შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია წყლის

დამაბინძურებლებით დატვირთვის დონე. ბიოფილტრების დატვირთვის და წყლის გაწმენდის ეფექტურობის მონაცემები 2014–2016 წლებში მოყვანილია დიაგრამაზე 1.

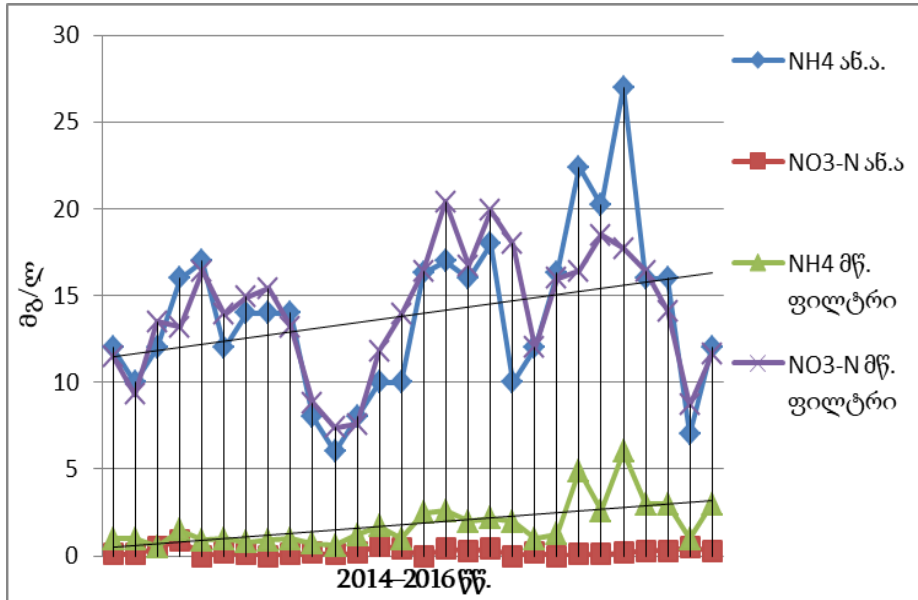
როგორც დიაგრამა 1–დან ჩანს 2014–2016 წლებში ფიქსირდება ნაგებობაზე მიწოდებული წყლის დატვირთვის მატება, რაც აისახება ბიოლოგიური გაწმენდის ეფექტზეც. დატვირთვის მატებასთან ერთად მატულობს ჟქმ–ის შემცირების დონეც. დიაგრამაზე 1 მოცემულია ჟქმ–ჟბმ5–ის ცვლილების დინამიკა ბიოფილტრებზე შემავალ და გამავალ წყალში. როგორც დიაგრამა 1–დან ჩანს 2014–2016 წლებში ჩამდინარე წყლების დატვირთვის ზრდით ბიოლოგიური გაწმენდის ეფექტურობა იზრდება. ასე, ჟქმ–ის მაქსიმალური კონცენტრაციის 234 მგ/ლ დროს წყლის ბიოლოგიური გადამუშავების შედეგად მისი კონცენტრაცია 129 მგ/ლ-დე მცირდება, ხოლო მინიმალური კონცენტრაციის 72 მგ/ლ დროს ბიოფილტრიდან გამომავალ წყალში ჟქმ - 105 მგ/ლ შეადგენს. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ წყლის ნაკლები დატვირთვის დროს ბიომასა ილუპება, ირეცხება ფილტრის ზედაპირი და გადამუშავების პროცესი არ მიმდინარეობს სრულყოფილად. იგივე ტენდენცია აღინიშნება ჟბმ5–ის შემთხვევაშიც.



**დიაგრამა 1. ბიოფილტრებში წყლის გადამუშავების დინამიკა ჟქმ–ჟბმ5–ის მიხედვით 2014–2016 წლებში**

ამონიუმის და ნიტრატების კონცენტრაციების ცვლილების დინამიკა ბიოფილტრებში შემავალ და გამავალ წყალში 2014–2016 წლებში, რომელიც

ასახულია დიაგრამა 2-ზე გვაჩვენებს, რომ დასაწყისში ამონიუმის დაბალი კონცენტრაციების დროს გაწმენდის პროცესი მიმდინარეობს სრულყოფილად და ამონიუმის კონცენტრაცია ბიოფილტრებიდან გამავალ წყალში 2 მგ/ლ-ზე დაბალია, რაც გადამუშავების 92%-იან ეფექტს უზრუნველყოფს.



დიაგრამა 2. ბიოფილტრებში ნიტრიფიკაციის პროცესის დინამიკა 2014–2016 წლებში წყლის დატვირთვის მატებასთან ერთად ბიოფილტრებიდან გამავალ წყალში ამონიუმის კონცენტრაცია მატულობს. ეს განპირობებულია იმით, რომ ფილტრები არ არის გათვლილი სრულ ნიტრიფიკაციაზე. ამასთან ბიოფილტრებზე მიმდინარე ნიტრიფიკაციის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგად გამავალ წყალში რეგულარულად ფიქსირდება ამონიუმის ცვალებადი კონცენტრაციები.

ფილტრების ექსპლუატაციის პრაქტიკამ გვაჩვენა, რომ ფილტრებზე მიწოდებული წყლის დატვირთვის ზრდით ფილტრის ზედაპირზე იზრდება ბიომასა, რომელიც ხელს უშლის ნიტრიფიკაციის სრულყოფას. ფილტრების გარეცხვა, რომელიც არ არის გათვალისწინებული ტექნოლოგიური რეგლამენტით ამცირებს ბიომასის სისქეს და ზრდის ნიტრიფიკაციის ეფექტს. ბიოფილტრებზე მიწოდებული წყლის ხარჯის და ბიოფილტრების გარეცხვის გავლენა ნიტრიფიკაციის ეფექტურობაზე მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3. ბიოფილტრებზე მიწოდებული წყლის ხარჯის და ბიოფილტრების გარეცხვის გავლენა ნიტრიფიკაციის ეფექტურობაზე

PH ან.ა.	წყლის ტემპერატურა, °C	ამონიუმი ან.ა., მგ/ლ	PH მწ.ფ.	ამონიუმი მწ.ფ., მგ/ლ	ნიტრატი მწ.ფ., მგ/ლ	წყლის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /დღ	ნიტრიფიკაციის ეფექტი, %
<b>ბიოფილტრი 1</b>							
6,9	24,3	20	7,4	0,5	20,7	9654	97
6,8	25,3	23	7,4	0,6	21	9521	97
<b>შედეგები ბიოფილტრის გარეცხვის შემდეგ</b>							
6,8	25,4	24	7,4	0,8	21,8	9254	96
6,8	25	24	7,1	0,7	22,6	8500	97
<b>ბიოფილტრი 2</b>							
6,8	24,4	25	7,4	6,8	15,6	16690	72
7	24,1	24	7,4	7,2	14,6	17821	70
<b>შედეგები ბიოფილტრის გარეცხვის შემდეგ</b>							
6,8	25	24	7,2	5,4	16,3	16297	77
7,1	24,2	24	7,4	5,3	16,4	16317	77
<b>ბიოფილტრი 3</b>							
6,8	25,3	23	7,4	1,4	18,7	13089	93
6,8	24,4	25	7,4	4,1	15,5	11890	83
<b>შედეგები ბიოფილტრის გარეცხვის შემდეგ</b>							
6,8	25	24	7,2	1,4	21,3	12316	94
7,1	24,2	24	7,4	1,6	21,5	12852	93
<b>ბიოფილტრი 4</b>							
6,8	24,4	25	7,4	5,3	15	14701	78
7	24,1	24	7,4	5,8	14,8	15237	75
<b>შედეგები ბიოფილტრის გარეცხვის შემდეგ</b>							
6,8	25	24	7,2	2,9	18,1	14103	87
7,1	24,2	24	7,4	2,7	18,4	14437	88

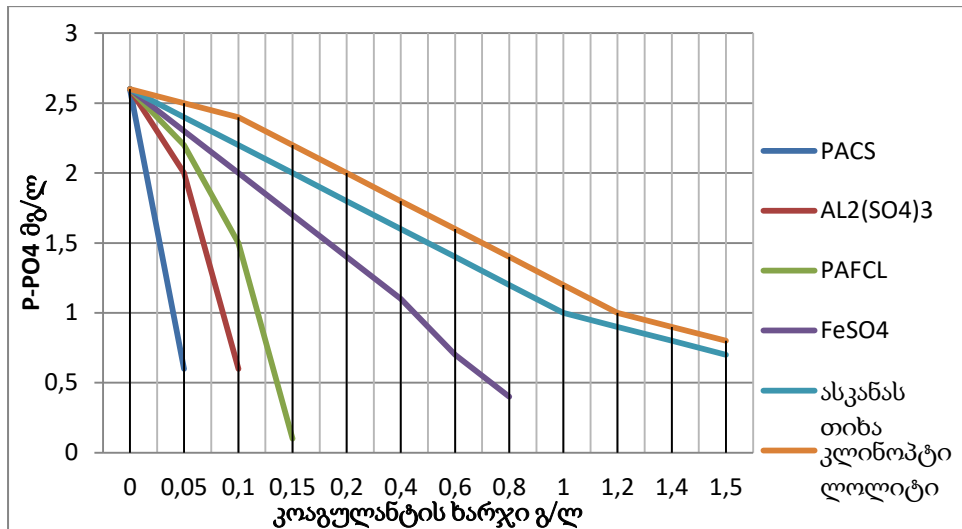
როგორც ცხრილი 3 დან ჩანს პირველ ბიოფილტრში წყლის ხარჯი 9–10 ათასი მ<sup>3</sup>/დღ ფარგლებშია და ნიტრიფიკაციის ეფექტი 96-97% შეადგენს, ამ დროს ფილტრი არ საჭიროებს გარეცხვას. დანარჩენ ბიოფილტრებში კი,

სადაც წყლის ხარჯი საშუალოდ 11-20 ათასი მ<sup>3</sup>/დღ ფარგლებშია ნიტრიფიკაციის ეფექტი იზრდება ბიოფილტრის გარეცხვით.

### **3. ადლიის წყალარინების გამწმენდ ნაგებობაზე ფოსფორის დალექვის პერსპექტივები**

ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობიდან გამავალ წყალში რეგულარულად აღინიშნება ფოსფორის ზდკ-ს 1 მგ/ლ გადაჭარბება. ფოსფორის საშუალო კონცენტრაციები 2014-2016 წლებში ნაგებობაზე შემომავალ და გამავალ წყალში შესაბამისად 3,6-3,9 მგ/ლ და 2,9- 3,5 მგ/ლ შეადგენდა. აქედან გამომდინარე ნაგებობაზე იგეგმება ჩამდინარე წყლიდან ფოსფორის ელიმინაცია და ჩვენს მიერ შესრულებულია კვლევითი სამუშაოები ეფექტური მეთოდის შესარჩევად. ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის ელიმინაციის მეთოდების ანალიზის საფუძველზე მიჩნეულია, რომ ადლიის გამწმენდი ნაგებობის სპეციფიკიდან გამომდინარე წყლის ფოსფორისაგან გაწმენდა უმჯობესია რეაგენტული მეთოდით, რეაგენტის დოზირება კი მიზანშეწონილია მეორად სალექრებში.

ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის დასაღეჭი ეფექტური რეაგენტის-კოაგულანტის შერჩევის მიზნით შეფასებულია შემდეგი რეაგენტების შესაძლებლობები: ალუმინისა და რკინის სულფატი, თხევადი პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატი („PACS“) და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდი („PAFCL“), ძეგვის კლინოპტილოლიტი და ასკანას თიხა. გამოყენებული კოაგულანტის დოზები ვარირებდა 50–1500 მგ/ლ ინტერვალში. ადლიის საკანალიზაციო წყლებიდან ფოსფორის სამიზნე კონცენტრაციამდე დალექვის შედეგები სხვადასხვა კოაგულანტების გამოყენებით მოცემულია დიაგრამაზე 3.



დიაგრამა 3. ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის დალექვა სამიზნე კონცენტრაციამდე სხვადასხვა კოაგულანტების გამოყენებით

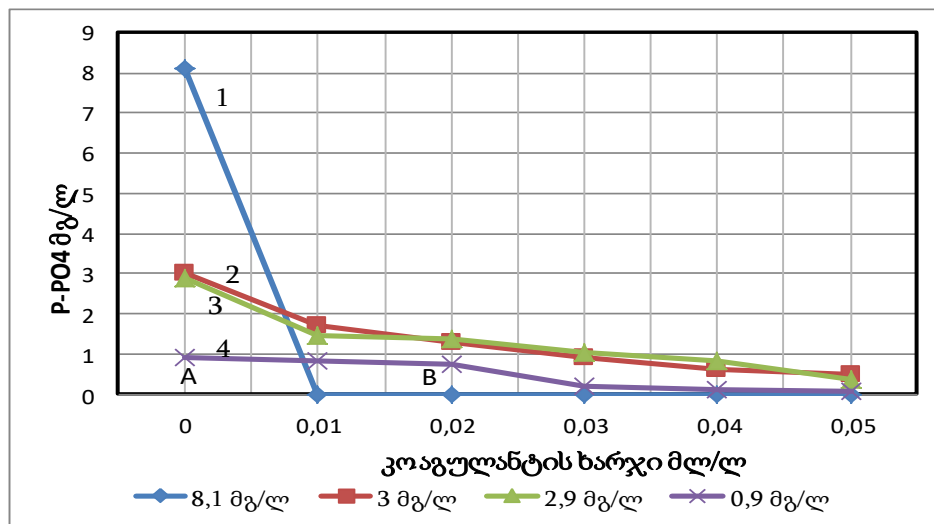
როგორც დიაგრამა 3–დან ჩანს ნარჩენი ფოსფორის კონცენტრაციის 0,5 მგ/ლ მისაღწევად ყველაზე ეფექტურია პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენება. აღსანიშნავია, რომ ეს კოაგულანტები არ მოქმედებენ წყლის pH-ზე და ანიჭებენ მას კარგ სიკამკამეს.

რადგან წინასწარი კვლევებით საუკეთესო შედეგები მიღებული იყო პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენებით და ისედაც პრაქტიკაში თხევადი კოაგულანტების გამოყენება უფრო ხელსაყრელია გამარტივებული დოზირების თვალსაზრისით, შემდეგი კვლევები კოაგულანტის ოპტიმალური დოზის დასადგენად, გაგრძელდა ალუმინისა და რკინის თხევად კოაგულანტებზე. პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატით ფოსფორის დალექვის შედეგები განსხვავებული საწყისი შემადგენლობის ჩამდინარე წყლებიდან მოცემულია ცხრილში 4 და დიაგრამაზე 4.

ცხრილი 4. პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატი\* ფოსფორის დალექვის ეფექტურობა განსხვავებული საწყისი შემადგენლობის ჩამდინარე წყლებიდან

კოაგ. ხარჯი, მლ/ლ	pH	P-PO4 კონც., მგ/ლ	შეწ.ნაწ. კონც., მგ/ლ	სიმღვრივე, მგ/ლ	ტემპ, °C
<b>წყლის ხარისხი გაწმენდამდე</b>					
	7,5	8,1	368	152	21,7
0,01	7,4	0,2	19	17	23,7
0,02	7,3	0	13	16	23,6
<b>წყლის ხარისხი გაწმენდამდე</b>					
	7,4	3,0	116	70	21,5
0,01	7,3	1,7	15	22	23
0,02	7,2	1,3	7	12	23,1
0,04	7	0,6	4	10	23,2
<b>წყლის ხარისხი გაწმენდამდე</b>					
	7,6	2,9	128	66	24,7
0,01	7,5	1,4	12	16	23
0,04	7,2	0,85	4	9	22,8
0,05	7,1	0,38	4	9	23
<b>წყლის ხარისხი გაწმენდამდე</b>					
	7,2	0,9	60	45	23,3
0,01	7,1	0,8	1	2	28,1
0,02	7	0,7	1	2	28,3

\* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 23 ±0,5% )



დიაგრამა 4. ფოსფორის დალექვა პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის გამოყენებით წყალში საწყისი ფოსფორის განსხვავებული კონცენტრაციების დროს

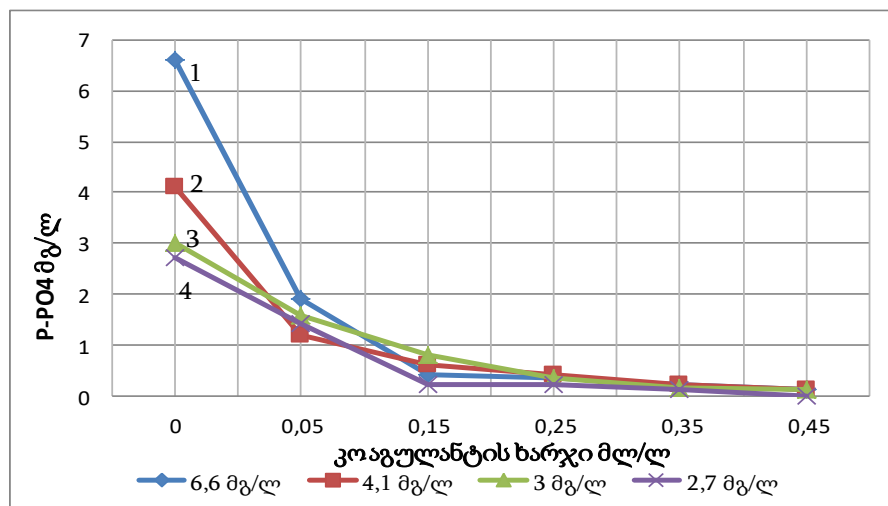
როგორც ცხრილი 4 და დიაგრამა 4-დან ჩანს, დალექვის ეფექტურობა დამოკიდებულია ფოსფორის საწყისი კონცენტრაციაზე. ასე, წყალში საწყისი



ფოსფორის 0,9 მგ/ლ შემთხვევაში დალექვა ნაკლები ინტენსივობით მიმდინარეობდა და 0,01 მლ/ლ კოაგულანტის გამოყენებისას დალექვის ხარისხი 6,7% შეადგენს.

განსხვავებულად მიმდინარეობს ფოსფორის კონცენტრაციის შემცირება (მრუდი 1), როდესაც ფოსფორის საწყისი კონცენტრაცია შეადგენს 8,1 მგ/ლ (შექმნილია ხელოვნურად აქტიური შლამის შეტანით) და კოაგულანტის იგივე 0,01 მლ/ლ გამოყენებით მიიღწევა დალექვის 98%. საყურადღებოა, რომ ამ დროს შეწონილი ნაწილაკების (აქტიური შლამის ფიფქების სახით) რაოდენობა, რომლებიც რეაგენტთან ურთიერთქმედებით ამლიერებენ მის კოაგულაციურ თვისებებს შეესაბამება 368 მგ/ლ. რაც შეეხება ფოსფორის საშუალო კონცენტრაციებს 2,9–3 მგ/ლ, აქ დალექვის ეფექტურობა თითქმის ერთნაირია და ფოსფორის კონცენტრაცია 0,6–0,8 მგ/ლ, დალექვის ეფექტით 70-79% მიიღწევა კოაგულანტის 0,04 მლ/ლ რაოდენობით გამოყენებისას.

ჩატარებულია კვლევები ჩამდინარე წყლებიდან ფოსფორის სამიზნე კონცენტრაციამდე დასაღეჭად პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის ოპტიმალური დოზების დასადგენად, მიღებული შედეგები მოცემულია დიაგრამაზე 5.

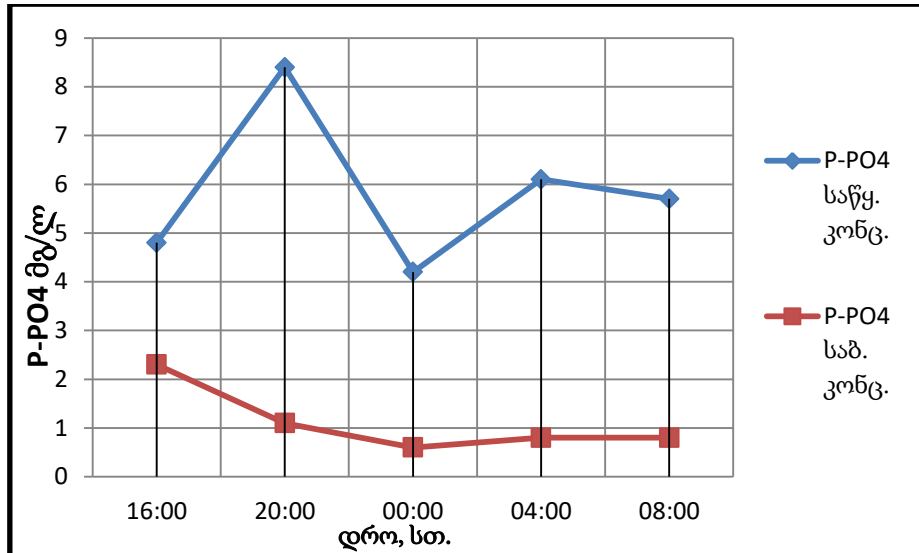


დიაგრამა 5. ფოსფორის დალექვა პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის\* გამოყენებით საწყისი ფოსფორის განსხვავებული კონცენტრაციების დროს  
\* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6,25 ±0,5%, რკინა 2,76%)

როგორც დიაგრამა 5-დან ჩანს პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენებით ფოსფორის ნარჩენი სამიზნე კონცენტრაციის მისაღწევად საჭიროა 0,15 მლ/ლ კოაგულანტის გამოყენება. ფოსფორის მაქსიმალურ კონცენტრაციაზე 6,6 მგ/ლ (შექმნილია ხელოვნურად აქტიური შლამის შეტანით) დალექვის ხარისხი 0,15 მლ/ლ კოაგულანტის დოზირებისას 93% შეადნეგს (მრუდი 1). ეს კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ დალექვის ეფექტს განაპირობებს წყალში შეწონილი ნაწილაკები.

კვლევის შემდეგი ეტაპი ითვალისწინებდა პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის ტესტირებას ნატურულ პირობებში ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის საბოლოო სალექარში.

ფოსფორის დასალექად გამოსაყენებელი კოაგულანტის რაოდენობა თეორიულად გათვლილია ნაგებობაზე მეორად სალექრებში შემავალი წყლის ხარჯის (რომელიც 100-120 ლ/წმ შეადგენს) და ლაბორატორიული ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების გათვალისწინებით. გათვლებით წყლის ხარჯის 100 ლ/წმ შემთხვევაში პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის ხარჯი 18 ლ/სთ, ხოლო პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის ხარჯი 36 ლ/სთ შეადგენს. მიუხედავად ამისა ექსპერიმენტის დასაწყისში კოაგულანტის ზემოქმედების ბიოლოგიურ გაწმენდაზე (ბაქტერიებზე ზემოქმედება) შესაფასებლად, წყალში კოაგულანტის დოზირება მინიმალური ხარჯით 0,3-2 ლ/სთ დაიწყო, შემდეგ კი დოზა ნელ-ნელა იზრდებოდა და ფოსფორის დალექვის სასურველი შედეგი მიღებული იყო კოაგულანტის დოზირებისას 38 ლ/სთ ხარჯით. ფოსფორის დალექვის დინამიკა კოაგულანტის დოზირებისას 38 ლ/სთ ხარჯით მოცემულია დიაგრამაზე 6.



დიაგრამა 6. ფოსფორის დალექვის დინამიკა კოაგულანტის დოზირებისას 38 ლ/სთ ხარჯით

კოაგულანტის ზეგავლენის შეფასებას ბიოლოგიურ პროცესზე ვაწარმოებდით ბიოფილტრებიდან გამავალ წყალში ამონიუმის კონცენტრაციის შემცირების დინამიკით, მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.

ცხრილი 5. ამონიუმის ცვლილების დინამიკა ბიოფილტრებიდან გამავალ წყალში ფოსფორის დასალექად პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენებისას

თარიღი	სინჯის აღების დრო	PAFCL ლ/სთ	NH <sub>4</sub> -N
7.06.2017	10:00	0,3	6,8
	13:00		6,5
	16:00		5,4
8.06.2017	12:00	0,5	6,5
	14:00		5,4
	16:00		3,7
9.06.2017	21:00	1	2,7
	00:00		2,8
	03:00		2,8
10.06.2017	09:00	38	1,6
	14:00		1,3
	20:00		1,2

როგორც ცხრილი 5-დან ჩანს, კოაგულანტის გამოყენებისას გარკვეული მონაკვეთიდან შეიმჩნევა ნიტრიფიკაციის პროცესის გაუმჯობესება. პოლიალუმინის რკინის ქლორიდით დალექვის დაწყებისას

ამონიუმის კონცენტრაცია ბიოლოგიური გაწმენდიდან გამავალ წყალში 7 მგ/ლ აღწევდა, ხოლო ტესტირების დასასრულს კოაგულანტის 38 ლ/სთ ხარჯის დროს ამონიუმის კონცენტრაცია შემცირდა 1,2 მგ/ლ–დე. ნიტრიფიკაციის პროცესის გაუმჯობესება სავარაუდოდ გამოწვეულია ბაქტერიებზე რკინის ზემოქმედებით, რომელიც მოყვება მეორადი სალექრებიდან ანაერობულ აუზებში ავტომატურად გადმოტუმბულ შლამს და შემდეგ თან მიყვება ანაერობული აუზებიდან ბიოფილტრებზე მიწოდებულ წყალს.

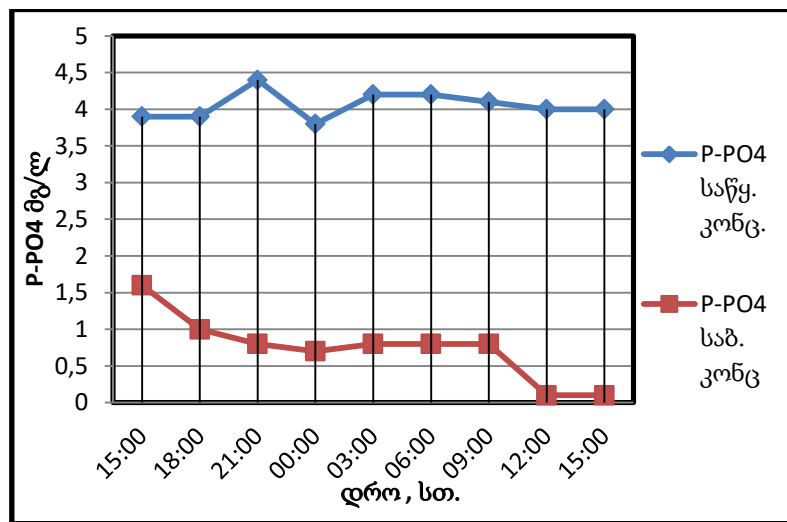
კოაგულანტის ტესტირებისას ნატურულ პირობებში, ისევე როგორც ლაბორატორიული კვლევების დროს აღინიშნებოდა წყლიდან ფოსფორის დალექვის ხარისხზე შეწონილი ნაწილაკების გავლენა (ცხრილი 6).

**ცხრილი 6. საბოლოო სალექარში ფოსფორისა და შეწონილი ნაწილაკების დალექვის ეფექტურობა**

P-PO4 შემ. წყალი, მგ/ლ	შეწ. ნაწ. შემ. წყალი, მგ/ლ	P-PO4 გამ. წყალი, მგ/ლ	შეწ.ნაწ. გამ. წყალი, მგ/ლ	P-PO4-ის დალექვის ეფექტი, %
4,8	96	2,3	11	52
8,4	86	1,1	7	86,9
4,2	148	0,6	5	85,7
6,1	116	0,8	3	86,8
5,7	136	0,8	5	85,9

როგორც ცხრილი 6-დან ჩანს, საბოლოო სალექარში შემავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების მაღალი კონცენტრაციების დროს ფოსფორის დალექვა უფრო უკეთ მიმდინარეობს, ვიდრე მათი დაბალი კონცენტრაციებისას. ასე, როცა შემომავალ წყალში ფოსფორისა და შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციები შესაბამისად 4,8 მგ/ლ და 96 მგ/ლ, ფოსფორის დალექვის ხარისხი 52%-ს შეადგენს. ხოლო, როცა შემომავალ წყალში ფოსფორის კონცენტრაციები 4,2-6,1 მგ/ლ და შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციები 116-136 მგ/ლ ფარგლებში იცვლება ფოსფორის დალექვის ხარისხი 86% აღწევს. გამონაკლისს წარმოადგენს ფოსფორის მაქსიმალური 8,4 მგ/ლ შემთხვევა, სადაც შეწონილი ნაწილაკების გავლენა ნაკლებად ვლინდება.

ჩატარებულია საბოლოო სალექარში ფოსფორის დასალექად პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის ტესტირება. თეორიული გათვლებით, საბოლოო სალექარში დასალექი ფოსფორის საშუალო 4,6 მგ/ლ კონცენტრაციისთვის საჭიროა 18 ლ/სთ კოაგულანტის დოზირება. დასაწყისში ბიოლოგიური გაწმენდის პროცესზე დაკვირვების მიზნით დოზირება დავიწყეთ 12 ლ/სთ კოაგულანტის ხარჯით, შემდეგ კოაგულანტის ხარჯს თანდათან ვზრდით და დალექვის სასურველი შედეგი მიღებული იყო 24 ლ/სთ კოაგულანტის დოზირებით. ფოსფორის დალექვის დინამიკა პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის 24 ლ/სთ ხარჯით ნაჩვენებია დიაგრამაზე 7.



**დიაგრამა 7. ფოსფორის დალექვის დინამიკა მეორად სალექარში პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის 24 ლ/სთ ხარჯით**

შეფასებულია პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის დოზირების გავლენა ბიოლოგიური პროცესის ეფექტურობაზე და დადგენილია, რომ ამ დროს ნიტრიფიკაციის განსაკუთრებული სტიმულაცია არ ფიქსირდება, თუმცა ასევე არ ფიქსირდება ნიტრიფიკაციის პროცესის დამუხრუჭება. პოლიალუმინის რკინის სულფატის გამოყენებისას ნიტრიფიკაციის ხარისხი 17%-ით გაიზარდა, ხოლო პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორსულფატის შემთხვევაში ეფექტი 8% შეადგენდა.

ექსპერიმენტის პერიოდში ასევე მიმდინარეობდა დაკვირვება წყალში შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის ცვლილებაზე, მიღებული

შედეგებით ფოსფორის სამიზნე კონცენტრაციამდე დასაღეჟად პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის დოზირებისას 24 ლ/ს ხარჯით შეწონილი ნაწილაკების შემცირება 90-96% შეადგენს.

კვლევის შემდგომი ეტაპი ითვალისწინებდა წყალში ნარჩენი ალუმინის შემცველობის განსაზღვრას. ამ მიზნით ჩატარებულია კვლევა მეორად სალექრებში შემავალი და გამავალი წყლის კვალიფიციურ შერეულ სინჯებზე, მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში 7.

**ცხრილი 7. ჩამდინარე წყლის ხარისხი ფოსფორის დასაღეჟად პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის გამოყენებისას**

პარამეტრი	მეორად სალექრებში შემავალი წყალი	მეორადი სალექრებიდან გამავალი წყალი	პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის კონცენტრაცია
P-PO <sub>4</sub> , მგ/ლ	4,5	0,3	0,05 მლ/ლ
ორთოფოსფორი, მგ/ლ	13,9	0,1	
Al, მგ/ლ	0,051	0,028	
სიმღვრიე, მგ/ლ	87	7	
შეწონილი ნაწილაკები, მგ/ლ	294	6	
pH	7,1	7,2	
ტემპერატურა °C	13	13	

კვლევამ აჩვენა, რომ მეორადი სალექრებიდან გამავალ წყალში ალუმინის კონცენტრაცია უფრო ნაკლებია ვიდრე შემავალ წყალში, რაც აიხსნება იქ მიმდინარე ფიზიკო-ქიმიური პროცესებით.

კვლევის შემდეგი ეტაპი ითვალისწინებდა ჩამდინარე წყლების პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატით და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდით გაწმენდის ეფექტურობაზე განსხვავებული ტიპის შეწონილი ნაწილაკების ზეგავლენის შეფასებას. ამისათვის ჩატარებულია კვლევა ანაერობული აუზის და მეორადი სალექრების წყლებზე, სადაც შეწონილი ნაწილაკები განსხვავდებიან ერთმანეთისგან როგორც შემადგენლობით, ისე დისპერსულობის ხარისხით. სინჯებს ანაერობული აუზიდან და მწვეთავი ფილტრებიდან ვიღებდით ერთდროულად და წყლის გასაწმენდად ვიყენებდით კოაგულანტის უკვე დადგენილ ოპტიმალურ დოზებს, PACS-ის 0,05 მლ/ლ და PAFCL-ის 0,15 მლ/ლ. ექსპერიმენტი ითვალისწინებდა ამ

სინჯებში კოაგულანტების ზემოქმედებით ჟქმ-ის, საერთო აზოტის, ორთოფოსფორის ფოსფორის, შეწონილი ნაწილაკების და სიმღვრივის შემცირების დონის განსაზღვრას. ექსპერიმენტის შედეგები PACS -ის გამოყენებით მოყვანილია ცხრილში 8.

როგორც ცხრილი 8-დან ჩანს, ძირითად შემთხვევაში ფოსფორის დალექვის უკეთესი შედეგი ვლინდება ბიოფილტრიდან გამავალ წყალში. ანაერობული აუზის წყალში ფოსფორის შემცირების დონე 83%-ია, ხოლო ბიოფილტრიდან გამავალ წყალში 91% აღწევს. ასევე უკეთესად მიმდინარეობს კოაგულანტის ზემოქმედებით ჟქმ-ის შემცირება ბიოფილტრიდან გამავალ წყალში, აქ მისი შემცირების საშუალო მაჩვენებელი 90%-ია, ხოლო ანაერობული აუზების წყალში 71%-ს აღწევს. იგივე დინამიკა აქვს აზოტის კონცენტრაციის შემცირებას. კოაგულანტის დოზირებისას ანაერობული აუზების წყალში აზოტის შემცირების ხარისხი 9–21%-ია, ხოლო ბიოფილტრებიდან გამომავალ წყალში 13–25%. რაც შეეხება შეწონილ ნაწილაკებს და სიმღვრივეს აქ შედეგი თითქმის ერთნაირია.

გაწმენდის ანალოგიური შედეგებია მიღებული 0,15 მლ/ლ პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენებით. მიღებული შედეგებით ფოსფორის დალექვის ეფექტი ანაერობული აუზის წყალში 90% აღწევს, ხოლო ბიოფილტრიდან გამომავალ წყალში 94%. ასევე უკეთესი შედეგებია ბიოფილტრიდან გამავალ წყალში სხვა პარამეტრების მიხედვითაც: ჟქმ-ის შემცირების ხარისხი 90%, საერთო აზოტის კი 18%.

ცხრილი 8. ჩამდინარე წყლების 0,05 მლ/ლ PACS-ით გაწმენდის ხარისხის შედარებითი ანალიზი ანაერობულ აუზებში და მეორად სალექრებში

პარამეტრი მგ/ლ	P-PO4, საწყ.	P-PO4, საბ.	ფქმ, საწყ.	ფქმ, საბ.	აზოტი, საწყ.	აზოტი, საბ.	სიმღვრივე, საწყ.	სიმღვრივე, საბ.	შფ. ნაწილაკები, საწყ.	შფ. ნაწილაკები, საბ.	pH, საწყ.	pH, საბ.	T, საწყ.	T, საბ.
ან. აუზი	3,7	0,6	217	54	25,3	20	84	6	207	0	6,9	6,8	19,7	19,7
ბიოფილტრი	3,8	0,3	154	15	26	12,7	75	3	169	0	7,5	7,1	20,1	19,5
ან. აუზი	5,1	0,7	196	49	31,9	28,9	96	5	205	8	6,8	6,7	21,5	20,7
ბიოფილტრი	4,5	0,6	180	20	33,1	25,6	74	5	158	7	7,3	7	21,6	18,9
ან. აუზი	3,7	0,9	200	45	24,4	22,4	82	2	251	4	6,9	7	16,6	19,1
ბიოფილტრი	3,8	0,5	156	11	24,3	15,9	64	2	163	3	7,8	7,4	18,1	19,2
ან. აუზი	4,3	1,1	195	55	31,2	25	78	6	170	7	6,9	6,8	18	19,8
ბიოფილტრი	3,7	0,3	120	19	28,8	22,8	48	4	116	4	7,6	7,2	18,8	21,3

#### 4. შავი ზღვის აჭარის სანაპირო ზოლში წყლის ჰიდრო-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები 2010 -2016 წლებში

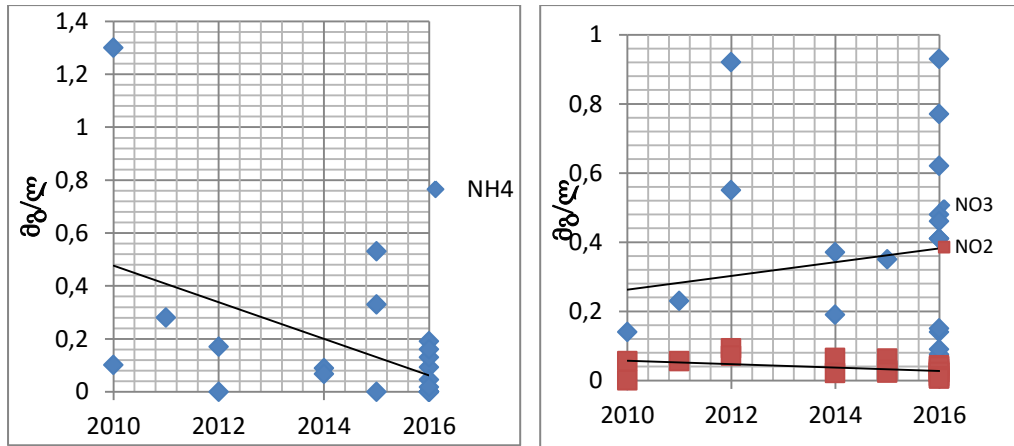
შავი ზღვის აჭარის სანაპირო ზოლის წყლის ხარისხის შესაფასებლად მიკრობიოლოგიური და ქიმიური მაჩვენებლების მიხედვით გამწმენდი ნაგებობის ფუნქციონირებამდე და მის შემდეგ, დამუშავებულია შესაბამისი უწყებების მიერ მოწოდებული 7 წლის სტატისტიკური მონაცემები.

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზმა გვაჩვენა, რომ E.coli-ის მიხედვით ზღვის წყლის დაბინძურება 2013 წლის შემდეგ მცირდება და ზდკ-სთან შესაბამისობაშია. ეს კი იმ პერიოდს ემთხვევა, როდესაც ბათუმში დაიწყო ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობის ფუნქციონირება. ბაქტერიული ანალიზის შედეგებით სხვა პარამეტრების მიხედვით რაიმე გაუმჯობესების ტენდენდენცია არ ფიქსირდება, რადგან აქ შედეგები ცვალებადია.

შავი ზღვის ბათუმის სანაპირო ზოლის როგორც ზედაპირული, ისე სიღრმისეული წყლების ქიმიური მაჩვენებლების სტატისტიკური ანალიზის

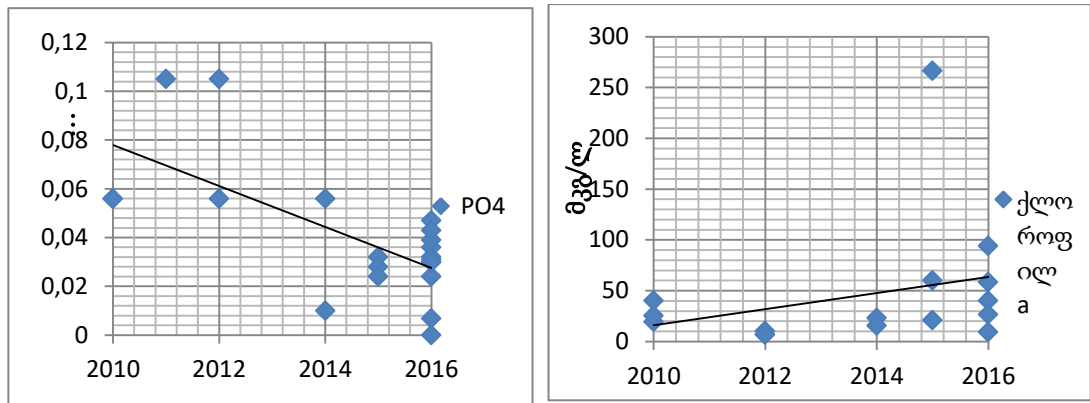


შედეგები 2010–2016 წლებში, რომელიც მოყვანილია დიაგრამებზე 8,9 ცხადყოფს, რომ ზღვის წყლის, როგორც ზედაპირულ, ისე სიღრმისეულ სინჯებში 2010 წლიდან ფიქსირდება ამონიუმის იონის შემცირების ტენდენცია.



**დიაგრამა 8,9. ზღვის წყალში ამონიუმის, ნიტრიტის და ნიტრატის იონების კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა 2010–2016 წწ**

2016 წლის კლევების მიხედვით ამონიუმის საშუალო კონცენტრაცია 0,05 მგ/ლ შეადგენს, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის ბიოლოგიურად გაწმენდილი ჩამდინარე წყლების შავ ზღვაში ჩაშვება, ეფექტურად აისახება ზღვაში ამონიუმის კონცენტრაციის შემცირებაზე. როგორც დიაგრამა 9-დან ჩანს 2010 წლიდან შავი ზღვის წყალში მატულობს ნიტრატების კონცენტრაცია, რაც ასევე გამწმენდი ნაგებობის ფუნქციონირებით არის განპირობებული. შეფასებულია შავი ზღვის წყლის ზედაპირულ და სიღრმისეულ სინჯებში 2010-2016 წლებში ფოსფორისა და ქლოროფილ „ა“-ს შემცველობის დინამიკა. მიღებული შედეგებით, როგორც ზედაპირულ, ისე სიღრმისეულ წყლებში აღინიშნება ფოსფორის კონცენტრაციის შემცირება და ამავედროულად ქლოროფილ „ა“-ს კონცენტრაციის ზრდა. ზღვის წყალში ფოსფატების და ქლოროფილ „ა“-ს კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა 2010–2016 წლებში ასხულია დიაგრამებზე 10,11.



**დიაგრამა 10, 11. ზღვის წყალში ფოსფატების და ქლოროფილ „a“ -ს კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა 2010–2016 წლებში**

დიაგრამაზე ასახული ფოსფატების შემცირების მსგავსი სურათი მეტყველებს ზღვის წყალში ფიტოპლანქტონის მზარდ დინამიკაზე, რადგან ის ფოსფატების ძლიერი მომხმარებელია. ამავდროულად ადასტურებს ქლოროფილ „a“-ს კონცენტრაციის მზარდი დინამიკა. ქლოროფილ „a“ წარმოადგენს ფიტოპლანქტონის ფოტოსინთეტიკური აქტივობის მნიშვნელოვან მახასიათებელს, რომლის მიხედვით შესაძლებელია ფიტოპლანქტონის ბიომასის სექმატური მაჩვენებლების განსაზღვრა.

## დასკვნა

1. დადგენილია, რომ პირველად სალექრებში წყლის მექანიკური გაწმენდის შედეგად მიმდინარეობს ნორმაზე მეტი ბიოგენური ნივთიერებების გადამუშავება, რაც სავარაუდოდ გამოწვეულია აუზების დიდი მოცულობით, მათში შლამის სტაბილიზირებით და წყლის ხანგრძლივი დროით დაყოვნებით;

2. გამოვლენილია მაღალკორელაციური დამოკიდებულება ( $r=0,92$ ) შემომავალ წყალში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობასა და პირველად სალექრებში  $\text{ქქმ}$ -ის შემცირებას შორის;

3. პირველად სალექრებში გამოვლენილი მაღალკორელაციური დამოკიდებულების საფუძველზე აგებულია პირველად სალექრებში  $\text{ქქმ}$ -ის შემცირების მიახლოებითი დონის განსაზღვრის მათემატიკური მოდელი, რამოდენიმე ცვლადის წარმოდგენის მიახლოებითი ანალიტიკური მეთოდით. მიღებული განტოლებების საფუძველზე შესაძლებელია პირველად სალექრებში  $\text{ქქმ}$ -ის შემცირების დონის განსაზღვრა მარეგლამენტირებელი ფაქტორების მოცემულ ზღვრებში ვარიაციისას და შესაბამისად  $\text{ქქმ-ქბმ}$ -ის კონცენტრაციის განსაზღვრა პირველადი სალექრებიდან გამავალ წყალში;

4. გამოვლენილია, რომ ბიოფილტრებში ნიტრიფიკაციის ეფექტი მაღალია, როცა ბიოფილტრზე მიწოდებული წყლის ხარჯი არ აღემატება  $10000 \text{ მ}^3/\text{დღ}$ ;

5. დადგენილია, რომ ბიოლოგიური ფილტრების რეგულარული გარეცხვა და მათი მუდმივი მომარაგება წყლის თანაბარი ხარჯით, რაც შესაძლებელია წყლის რეცირკულაციით (ანაერობულ აუზებში საბოლოო სალექარიდან გაწმენდილი წყლის გადატუმბვა), ზრდის ბიოლოგიური ფილტრების მუშაობის ეფექტურობას ნიტრიფიკაციის გაუმჯობესების თვალსაზრისით;

6. შეფასებულია ჩამდინარე წყლების რეაგენტული დეფოსფოტიზაციის მიზნით სხვადასხვა რეაგენტების (ალუმინის სულფატი, რკინის სულფატი,

პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატი, პოლიალუმინის რკინის ქლორიდი, ასკანას თიხა და ძეგვის ცეოლიტი) შესაძლებლობები;

7. დადგენილია, რომ ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის ჩამდინარე წყლების დეფოსფოტიზაციისთვის ეფექტურია ორი კოაგულანტი - პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატი და პოლიალუმინის რკინის ქლორიდი და დადგენილია მათი ოპტიმალური დოზები ჩამდინარე წყალში ფოსფორის სამიზნე კონცენტრაციის მისაღწევად;

8. ჩატარებულია აღნიშნული კოაგულანტების ტესტირება ნატურულ პირობებში - ადლიის გამწმენდი ნაგებობის საბოლოო სალექარში და მიღებულია ლაბორატორიულ კვლევებთან თანმხვედრი შედეგები. პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის 24 ლ/სთ გამოყენება უზრუნველყოფს ჩამდინარე წყლიდან ფოსფორის დალექვის 98% ეფექტს და შეწონილი ნაწილაკების დალექვის 90-97% ეფექტს. დეფოსფოტიზაციის იგივე შედეგი მიიღწევა რკინის ქლორიდის 38 ლ/სთ გამოყენებით;

9. გამოვლენილია, რომ ჩამდინარე წყლების დეფოსფოტიზაციის მიზნით პოლიალუმინის რკინის ქლორიდის გამოყენება უზრუნველყოფს ბიოფილტრებზე ნიტრიფიკაციის ეფექტურობის ზრდას;

10. დადგენილია, რომ ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური გაწმენდის სქემებში, სადაც ბიოფილტრები გამოიყენება, ფოსფორის რეაგენტული დალექვის ყველაზე ეფექტური წერტილია საბოლოო სალექრები, სადაც შეწონილი ნაწილაკები ხელს უწყობენ დალექვას და იზრდება წყლის გაწმენდის ეფექტი სხვა მაჩვენებლების მიხედვითაც;

11. გამოვლენილია, რომ ჩამდინარე წყლიდან ფოსფორის დასალექად პოლიალუმინის ჰიდროქსოქლორ სულფატის გამოყენებისას, წყალში ნარჩენი ალუმინის კონცენტრაცია არ აღემატება ზდკ-ს;

12. სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით შავი ზღვის აჭარის სანაპირო ზოლის წყალში 2010-2016 წლებში გამოვლენილია ამონიუმის

კონცენტრაციის შემცირება, რაც სავარაუდოდ განპირობებულია გამწმენდი ნაგებობის ფუნქციონირებით.

13. სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით 2010-2016 წლებში შავი ზღვის აჭარის სანაპირო ზოლის წყალში აღინიშნება ქლოროფილ „ა“-ს კონცენტრაციის მზარდი დინამიკა, რაც ფოსფატების შედინებით არის გამოწვეული.

14. შავი ზღვის აჭარის სანაპირო ზოლის ეუტროფიკაციის სურათი, ცხადყოფს გამწმენდ ნაგებობაზე ფოსფორის დალექვის აუცილებლობას.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შრომებში:

1. ადლიის წყალარინების გამწმენდი ნაგებობა და მისი გარემოსდაცვითი მნიშვნელობა. ბიზნეს–ინჟინერინგი, ყოველკვარტალური რეფერირებადი და რეცენზირებადი სამეცნიერო ჟურნალი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 2015.
2. ადლიის წყალარინების გამწმენდ ნაგებობაზე მიღებული შლამის ორგანო–მინერალურ სასუქად გამოყენების შესაძლებლობა. საერთაშორისო სამეცნიერო–პრაქტიკული კონფერენცია თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა, შრომების კრებული I ნაწილი. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო, ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი 19–20.05.2016
3. ქ. ბათუმის საკანალიზაციო სისტემის რეაბილიტაციის გავლენა წყალარინების გამწმენდი ნაგებობის მუშაობის ეფექტურობაზე. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, ISSN–0132–6074, თბილისი, 2017
4. ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობის პირველად სალექრებში ჟანგბადის ქიმიური მოთხოვნილების შემცირების მიახლოებითი დონის განსაზღვრის მათემატიკური მოდელი. მეათე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „უმაღლესი განათლების ინტერნაციონალიზაცია: გამოწვევები და პერსპექტივები“ 17–18 ნოემბერი 2017წ. კონფერენციის მასალების კრებული. სსიპ–გორის სახელმწიფო სასწავლო უნივერსიტეტი. 2018 წ.
5. ბათუმის წყალარინების გამწმენდ ნაგებობაზე ჩამდინარე წყლების ფოსფორისაგან გაწმენდა შავი ზღვის ეუტროფიკაციისაგან დაცვის მიზნით. მეცნიერება და ტექნოლოგიები. №2 (728) 2018.

## Abstract

The aim of the research work was to determine the technological improvement of Batumi wastewater treatment plant, to evaluate its environmental significance and to develop effective method of cleaning the water from phosphorus. For this purpose, it's already been carried out the evaluation of Batumi wastewater treatment plant on each stage of technological process on the basis of statistical data analysis of 2014-2016 years and on the basis of natural studies. It's already been established that in the anaerobic basins of the treatment plant, which perform the role of the primary settling tank, it's going the recycling of organic substances, which are more than norm, as a result of water mechanical cleaning, which is reflected negatively on the further stages of cleaning. Presumably, this is due to the basins of large volume, where it's going the stabilization process of slits and water is delayed for a long time.

It's been revealed high-correlation dependence ( $r=0.92$ ) between the quantity of weighed particles incoming in the water of the primary settlement tank and between the reduction of oxygen chemical use (o.ch.u.). On the basis of it, in the primary settlement tank, it's been built mathematical model of determining the approximate level of reducing the chemical demand of the oxygen with an approximate analytical method of representing several variables. By the obtained equation, it's possible to define an appropriate concentration of o.ch.u. (oxygen chemical use) – o.ch.u.<sub>s</sub> (oxygen chemical uses) in the output water from the primary settlement tank during the variation of the regimented parameters in the given margins.

It's been studied the influence of the factors affecting on the efficiency of wastewater biological cleaning. It's determined that, the effect of nitrification is high when the water, supplied to the bio-filter, doesn't exceed 10 000 m<sup>3</sup>/day. It's revealed that, the working efficiency of biological filters increases during the regular washing of bio-filters in terms of improvement of nitrification. It's been worked out the recommendations in order to increase the effectiveness of bio-filters.

It's been conducted laboratory and natural studies for reactant dephosphorization of wastewater. under the laboratory conditions, it's been studied the efficiency of the use of different reagents (Aluminum sulfate, iron sulphate, polymerine hydroxocular sulphate, polymerine iron chloride, ascanas clay and bot zeolite) in order to achieve the target concentration of phosphorus in the output water from the plant. It's been determined optimum doses in

water of the selected reagents (Polymeric hydroxocobalt sulphate and polymeric iron chloride) in order to ensure the phosphorus standards.

Testing of the mentioned coagulants has been conducted in the natural conditions – in the final settlement tank of Adlia wastewater treatment plant and it's been determined, that 24 l / huse of polymeric hydroxocobalt sulphate provides the effect of 98 % phosphorus of wastewater and 90-97 % sedimentation effect of weighed particulates. The same result of water dephosphorization is achieved by using 38 l.h iron chloride. It's revealed that for the purpose of water dephosphorization, while using polymeric iron chloride, increases the nitrification effectiveness on the bio-filters.

It's been studied the efficiency of reactant sedimentation of phosphorus in different parts of treatment plant (before and after the biological cleaning). It's been determined that, in the schemes of wastewater biological cleaning, where bio-filters are used, reactant sedimentation of phosphorus is preferable in the secondary settlement tank. Here, the silt particles, washed down from the biological filters, promotes coagulation process, which increases the effect of phosphorus reduction and improves water quality in accordance with other indicators as well.

Ecological condition of water quality has been estimated in Ajara coastline of black sea on the basis of analysis of statistical data. It's been determined that in 2010-2016 years, in the water of Ajara coastline of black sea, it's noted the reduction of ammonium concentrations, what is due to the function of the treatment plant. In accordance with the analysis of the same data, it's revealed the growth of the concentration of chlorophyll "a" and the reduction of phosphorus concentration, which indicates to the growth of eutrophication level of the water. Growing eutrophication picture of the water in the Black Sea coastline, makes clear the necessity of dephosphatization of wastewater on the treatment plant.