

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი როსტომაშვილი

ქალაქ თბილისის ფარგლებში მდინარე მტკვრის აუზის  
მიკროშენაკადავზე ანთროპოგენური ზემოქმედების  
ეკოქიმიური გამოკვლევა და ამ ზემოქმედების  
შემარბილებელი ღონისძიების შემუშავება

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი: 0711

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის  
გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტში

თანახელმძღვანელები: ასოც. პროფ. ჯიმშერ ქერქაძე

აკად. დოქტორი ლევან წულუკიძე

რეცენზენტები: .....

.....

დაცვა შედგება 2022 წლის ”.....“ ..... საათზე.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა  
და მეტალურგიის ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო  
საბჭოს სხდომაზე

სტუ-ს მეორე კორპუსი, აუდიტორია 300  
მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 69

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

/ზურაბ გელიაშვილი/

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა:** მცირე მდინარეები და მათი ხეობები წარმოადგენს ბუნებრივ-სამეურნეო და ეკოლოგიური სისტემების იმ უმნიშვნელოვანეს ელემენტებს, რომლებიც ჩამოყალიბდა ჩვენი პლანეტის ცივილიზაციის უწყვეტი განვითარების შედეგად. მცირე მდინარეთა განსაკუთრებული როლი მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი იმყოფება რა მათზე შედარებით დიდ მდინარეთა აუზების ზედა და პერიფერიულ უბნებში, მეტწილად განსაზღვრავს დიდ სამდინარეო სისტემებში არსებულ ზოგადეკოლოგიურ და სოციალურ-ეკონომიკურ სიტუაციას. ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში არსებული წყლის ობიექტები წარმოადგენს ბუნებრივი წყალსადინარების, წყალსატევებისა და საინჟინრო ობიექტების იმ ერთიან კომპლექსს, რომელიც მათ მომიჯნავე და მიმდებარე ტერიტორიებთან ერთად, უნდა ქმნიდეს ჩვენი ქვეყნის დედაქალაქისათვის უმნიშვნელოვანეს ეკოლოგიურ, ქალაქმშენებლობით და რეკრეაციულ პოტენციალს.

მრავალწლიანი მონიტორინგული დაკვირვება უჩვენებს, რომ ქ. თბილისის ფარგლებში მდ. მტკვრის აუზის მიკროშენაკადების დაბინძურების დონე განუხრელად იზრდება და წყლის ხარისხი უფრო და უფრო უარესდება. მიუხედავად იმისა, რომ სამრეწველო წარმოების საერთო მოცულობა ქვეყანაში საკმაოდ შემცირებულია, ჩამდინარე წყლები მაინც რჩება მდ. მტკვრის აუზისათვის ერთერთ ძირითად დამაბინძურებელ ფაქტორად. წლების განმავლობაში მდ. მტკვრისა და მისი მიკროშენაკადების სისუფთავის დაცვის განხორციელებაში შექმნილი მდგომარეობა, უამრავ სხვა მიზეზთან ერთად, გამოწვეულია საკანალიზაციო სისტემის ცუდი ფუნქციონირებით. შექმნილ სიტუაციას ამძაფრებს წყლის გამწმენდი ნაგებობების მწყობრიდან გამოსვლა, რაც, თავის მხრივ, უკავშირდება მეორე მნიშვნელოვან პრობლემას, ადგილობრივი მოსახლეობის მიერ მცირე მდინარეთა წყლის გამოყენებას საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მიზნებისათვის.

ამიტომ, ზემოჩამოთვლილ მიზეზთა გამო, მდ. მტკვრის მიკროშენაკადებს სრულად დაკარგული აქვს თავიანთი ბუნებრივი იერსახე. თუმცა მათი კულტურული, ესთეტიური და ეკოლოგიური რესურსების შესაძლებლობანი ძალზედ შთამბეჭდავია. უაღრესად მნიშვნელოვანია მათი არსებობა მოსახლეობის დასვენებისა და ჯანმრთელობის გაუმჯობესებისათვის. მცირე მდინარეებს უკავშირდება აგრეთვე როგორც კანონიერი, ასევე უკანონო მშენებლობათა პრობლემებიც. სხვადასხვა ინსტანციების, სამსახურებისა და მოსახლეობის ქმედებებმა, თუ პირიქით, უმოქმედობამ გამოიწვია კიდევ ერთი ძალიან სერიოზული ბუნებრივი პრობლემა, რომელსაც წარმოადგენს მცირე მდინარეთა და მათივე შენაკადების ხევებსა და ხეობებში წარმოქმნილი წყალმოვარდნები და ღვარცოფები. თავსხმა, კოკისპირული წვიმების დროს ისინი დიდი რაოდენობით წარმოდგენილი ქვალორღიანი სანიაღვრე მასების გადამტან არხებს წარმოადგენს.

გარდა ამისა, დედაქალაქში მოსახლეობის ზრდისა და ურბანიზაციული პრობლემების გადაუჭრელობიდან გამომდინარე, მდ. მტკვრის მიკროშენაკადების მიმდებარე ტერიტორიები სარეკრეაციო სივრცეებად გამოყენების ნაცვლად, პირიქით, გადაიქცა საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო, სამრეწველო და სამშენებლო ნარჩენების ნაგავსაყრელებად.

წარმოდგენილი პრობლემები ძირეულად განსაზღვრავს კიდევ სადისერტაციოდ შერჩეული თემის აქტუალობას. გარდა ზემოაღნიშნულისა, დამატებით კიდევ სახეზეა მდინარე მტკვრის აუზის მიკროშენაკადების ზედაპირული წყლის ხარისხობრივი მაჩვენებლების მკვეთრი გაუარესება, რაც კარდინალურად ამძაფრებს არსებულ ვითარებას, და თუ მდგომარეობის გამოსასწორებლად დროულად არ იქნა მიღებული გადამჭრელი ზომები ან/და არ იქნა ჩატარებული ამ პროცესების საწინააღმდეგო და შემარბილებელი პრევენციული გარემოსდაცვითი ღონისძიებები, სრულიად შესაძლებელია ძალიან მალე კვლავ დავდგეთ არანაკლები ეკოლოგიური კატასტროფის განმეორების წინაშე, რომელსაც ადგილი უკვე ჰქონდა ახლო წარსულში, ე. თბილისში 2015 წლის 13 ივნისს, როდესაც

ძლიერმა წყალმოვარდნამ მდ. ვერეზე 19 ადამიანის სიცოცხლე იმსხვერპლა.

**მეცნიერული სიახლე:** ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მდ. მტკვრის აუზი წარმოდგენილია თხუთმეტი მიკროშენაკადით, რომელთაგან თითოეულ მათგანს თავისივე, კიდევ უფრო მცირე სხვა მიკროშენაკადებიც გააჩნია. ამ 15 მიკროშენაკადიდან შვიდის არსებობა პირობითად უფრო სეზონურია და მათი წყალუხვობა დამოკიდებულია ძირითადად ამინდსა და სხვა მეტეოროლოგიურ ფაქტორებზე, საგაზაფხულოდ მოსული უხვი ნალექები ამ მდინარეთა მკვეზავ არტერიას წარმოადგენს, მათზე წარმოქმნილ წყალდიდობებთან მიმართებაში. წელიწადის დარჩენილ პერიოდში კი მათი სათავეები და კალაპოტები მეტწილად მშრალხევებია. დანარჩენი რვა მიკროშენაკადიდან, რომლებიც ზედაპირული წყლის წლიური მუდმივი დენადობით გამოირჩევა, სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მხრიდან სისტემატური, ყოველთვიური, მონიტორინგული დაკვირვების ქვეშ ამჟამად იმყოფება მდ. მტკვრის სამი მიკროშენაკადი მდინარე: ვერე, დიღმისწყალი და გლდანისხევი. გარდა ამისა, აღნიშნული სააგენტოს მხრიდან წლის განმავლობაში ყოველკვარტალური მონიტორინგი უტარდება მდ. მტკვრის მარცხენა მიკროშენაკად ლოჭინსაც. თუმცა დასახელებულ მცირე მდინარეთა მონიტორინგი სააგენტოს მხრიდან, გულისხმობს მხოლოდ მათი ზედაპირული წყლებისათვის საველე და ლაბორატორიულ პირობებში ჰიდროლოგიური ხასიათის კვლევებისა და ქიმიური ანალიზების ჩატარებას, მაგრამ აღნიშნულ მდინარეებს, არც წინა წლებში და არც ამჟამად, არ უტარდებათ მიკრობიოლოგიური ხასიათის კვლევები, რაც უდაოდ საინტერესო უნდა იყოს დედაქალაქის მასშტაბით სრული ეპიდემიოლოგიური სურათის დასადგენად. ასევე სრულიად უყურადღებოდ არის მიტოვებული მდ. მტკვრის მიკროშენაკადების ფსკერული დანალექები, რომლებიც ერთგვარ ბუნებრივ ინდიკატორებადაც კი გვევლინება ამ მდინარეთა ხეობებისა და კალაპოტების ძლიერი ანთროპოგენური დაბინძურების გამოვლენის საქმეში.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სამეცნიერო სიახლეა

ზემოაღნიშნული სახელმწიფო უწყების ყურადღების მიღმა დარჩენილი მდ. მტკვრის სრულიად შეუსწავლელ მიკროშენაკადზე მდ. ორხევზე საველე გასვლებით წინასწარ მონიშნული ადგილებიდან სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებსა და ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე სისტემატური ქიმიური, ჰიდროლოგიური და მიკრობიოლოგიური ხასიათის ანალიზურ კვლევათა სრული პაკეტის განხორციელება, აღნიშნული მდინარის ანთროპოგენური დაბინძურების ხარისხის დასადგენად და შესაფასებლად.

გარდა ამისა, წარმოდგენილი ნაშრომი ერთგვარად ნოვატორულადაც შეიძლება შეფასდეს გაწეული ქმედებით მდ. მტკვრის აუზის ფარგლებში მოქცეული მდ. ალისხევისათვის, რომელიც, თავის მხრივ, მდ. ლოჭინის ერთ-ერთი მიკროშენაკადია და უფრო მეტად თავისი გახშირებული წყალმოვარდნებითა და ღვარცოფებებითაა ცნობილი და გამორჩეული; პირველად სწორედ ამ მდინარისა და მისი კალაპოტისათვის იქნა დაგეგმილი და შემდეგ უკვე შემუშავებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო შემარბილებელი ღონისძიება, რაც ღვარცოფის შემაკავებელი ჰიდროტექნიკური ნაგებობის სამსაფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) ასაგებად შესაბამისი ადგილმდებარეობის შერჩევითა და სათანადო თეორიული დაშვებების გზით მათემატიკური გათვლების განხორციელებით იქნა გამოვლენილი.

გარკვეულ მეცნიერულ სიახლედ უნდა იქნას მიჩნეული წარმოდგენილ ნაშრომში რიცხვითი მოდელირების გამოყენება მდ. ორხევის ზედაპირული წყლიდან ფსკერულ დანალექში მისი ძირითადი შემადგენელი დომინანტი კომპონენტის რკინის დროში სედიმენტაციის კინეტიკური პროცესის მათემატიკური მოდელის შესაქმნელად და ამ პროცესის ძირითადი მამოძრავებელი ძალების დასადგენად. მსგავსი ტიპის მათემატიკური მოდელირებითა და ემპირიული გათვლებით ზოგიერთ ისეთ პრობლემურ კითხვაზე არის ლოგიკური პასუხის მოძებნა შესაძლებელი, როცა მარტოოდენ საველე ექსპერიმენტებისა და

ლაბორატორიული ანალიზების ჩატარება სწორი დასკვნების გამოსატანად ხშირად საკმარისი არაა.

**სამუშაოს მიზანი:** წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს შეადგენდა სათანადო ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით და მათი საფუძვლიანი გაანალიზებით სამეცნიერო კვლევის ობიექტებად ქ. თბილისის ფარგლებში მოქცეული ჰიდროქსელიდან საზოგადოების მხრიდან ყურადღების მიღმა დარჩენილი, ხოლო სამთავრობო უწყებათაგან სრულიად შეუსწავლელი ან/და ნაწილობრივად შესწავლილი მდ. მტკვრის რამდენიმე მიკროშენაკადის გამოვლენა და შერჩევა; ამ სამიზნე ობიექტებზე სრულყოფილი და მრავალმხრივი მონიტორინგული კვლევის განხორციელება, საველე-საექსპედიციო და ლაბორატორიულ გარემოში სეზონურად სისტემატური ქიმიური, ჰიდროლოგიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზების ჩატარების ორგანიზება საკვლევი ობიექტებისათვის წინასწარ შერჩეული სადამკვირვებლო წერტილებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებსა და ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე; ჩატარებული მონიტორინგული გამოკვლევით მიღებული შედეგების გაანალიზების საფუძველზე სადისერტაციო კვლევის ძირითად ობიექტებად წარმოდგენილი მდინარეთა ხეობებისა და კალაპოტების საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო საწარმოთა მხრიდან ანთროპოგენური დაბინძურების კერების დადგენა და მათი შეფასება; ბუნებრივ-სტიქიური ზემოქმედებით გამოწვეული სამიზნე მიკროშენაკადის დარღვეული ხეობისა და კალაპოტის რევიტალიზაციის მიზნით და შემარბილებელი ღონისძიების სახით სათანადო ჰიდროტექნიკური ნაგებობის განთავსების პირობების უზრუნველყოფა.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები:** სადისერტაციო კვლევის ძირითად ობიექტებად, სათანადო კრიტერიუმებზე დაყრდნობით, შეირჩა მდინარე მტკვრის ორი მიკროშენაკადი, მდინარეები – ორხევი და ლოჭინი.

მონიტორინგულ კვლევათა ჩასატარებლად კვლევის ობიექტების ადგილზე შესწავლა განხორციელდა საველე გასვლებით (ექსპედიციებით). ორივე

ობიექტზე, GPS ნავიგატორის მეშვეობით, ზუსტად იქნა მონიშნული საანალიზო სინჯების ასაღები ადგილები, ე. წ. კვეთები. დადგინდა და დაზუსტდა მათი კოორდინატები, ყოველ მათგანზე პირობითად მოხდა დროებითი ნიშნულების ჩარჩობა, ასევე ადგილზევე ჩატარდა მონიშნული კვეთების წერტილების ფოტოგრაფირება და ა. შ. ორივე მდინარიდან, თითოეულისათვის ცალ-ცალკე, ლოკალურად შეირჩა 4-4 სადამკვირვებლო კვეთი.

შერჩეულ კვეთებზე საველე პირობებში გადასატანი პორტატიული მულტიფუნქციური საკონტროლო-გამზომი ხელსაწყო WTW Multi 3630 IDS-ის მეშვეობით განხორციელდა საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისათვის, ყოველი ცალკეული კვეთისათვის 5 ძირითადი ცვლადი ფიზიკურ-ქიმიური ინგრედიენტის დადგენა: ზედაპირული წყლის ტემპერატურა ( $^{\circ}\text{C}$ ); წყალში გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა (მგ/ლ, %); ელექტროგამტარობა ( $\mu\text{ sms/cm}$ ); მარილიანობა (მგ/ლ) და წყალბადური მაჩვენებელი (pH); ასევე წარმოებდა ზედაპირული წყლის წერტილოვანი სინჯების აღება. საანალიზო სინჯის აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, მარკირება, შენახვა და ტრანსპორტირება წარმოებდა საერთაშორისო სტანდარტის ISO 5667-1:2020 შესაბამისად.

არაორგანული ანიონების და ბიოგენური კომპონენტების შემცველობათა სწრაფი (15 წთ) განსაზღვრა მოხდა იონური ქრომატოგრაფით DIONEX ICS-1000. ლითონურ ელემენტთა განსაზღვრისათვის გამოყენებულ იქნა ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრი ინდუქციურად დაკავშირებული პლაზმით Agilent ICP-OES 710 სტანდარტული ISO 11885:2007 მეთოდის შესაბამისად; ნატრიუმისა და კალიუმის განსაზღვრისათვის – ალიან-ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდი (ISO 9964-3:2010); აზოტის ბიოგენური ფორმის ამონიუმის იონის განსაზღვრისათვის – „HACH“ ფირმის სპექტრომეტრი Hach DR-6000 (ISO 7150-1:2010); გამზომი ხელსაწყო „Turb 555“-ის გამოყენებით ორგანოლექტიკური მაჩვენებლებიდან განისაზღვრა სიმღვრივე (ISO 7027:1999); ჟბმ-ის მნიშვნელობათა განსაზღვრისათვის გამოყენებულ იქნა იოდომეტრული ტიტრირების მეთოდი



(ISO 5815-1:2019); სიხისტის მიმნიჭებელი კატიონების და ანიონების შემცველობათა ზუსტი განსაზღვრისათვის – კომპლექსონომეტრული ტიტრირების მეთოდი (ISO 6058:2008); მიკრობიოლოგიური კვლევისათვის – პირდაპირი დათვისა და მემბრანული ფილტრაციის მეთოდი (ISO 9308-1:2014); ფსკერული ნალექებისა და ნიადაგების გრუნტის ნიმუშების მძიმე ლითონების შემცველობაზე რენტგენოფლოუორესცენციური კვლევა ჩატარდა რენტგენოფლოუორესცენციურ ანალიზატორზე EDX3600B. ნიმუშების ასაღებად გამოყენებულ იქნა ფსკერული ნატანის (სედიმენტის) სინჯის ამღები ხელსაწყო – ე. წ. „სახაპი“ და ნიადაგის გრუნტის სინჯის ამღები ხელსაწყო – ე. წ. „ხელის ბურდი“; ფსკერიდან აღებული ნიმუშებისათვის იწ-სპექტრალური ანალიზი ჩატარდა „Agilent Technologies“ ფირმის იწ-სპექტრომეტრზე – „Cary 630 FTIR” რხევის სიხშირეთა მიხედვით ტალღის სიგრძის 350-5000 სმ<sup>-1</sup> დიაპაზონში; რენტგენოფაზური ანალიზისთვის გამოყენებულ იქნა ДРОН-3М რენტგენოდიფრაქტომეტრი  $Cu\alpha$  ( $\lambda = 1,54184\text{\AA}$ ) გამოსხივებით; საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ხარისხის შესაფასებლად გაანგარიშდა წყლის დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდექსი და ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტი (ფაკ-ი).

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა:** წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა იმაშია, რომ მასში ასახული მრავალმხრივი მეცნიერული კვლევის შედეგები და დასკვნები მონიტორინგული საქმიანობის ორგანიზების კუთხით სამომავლოდ შეიძლება განზოგადოებული სახით იქნას გამოყენებული მდ. მტკვრის სხვა მიკრომენაკადების შესასწავლად, როგორც თბილისის მასშტაბით, ასევე მთლიანად, საქართველოს ფარგლებშიც. გარდა ამისა, ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას უთუოდ მატებს ის ფაქტი, რომ სსიპ გარემოს ეროვნულმა სააგენტომ საქართველოს მასშტაბით არსებულ წყლის რესურსებზე თავისი მრავალწლიანი მონიტორინგული კვლევის პროგრამაში გადაწყვიტა, დაწყებული 2021 წლიდან, მდინარე ორხევის ჩართვაც ამაში უდა-

ოდ ამ პატარა მდინარის მიმართ გამოჩენილი ჩვენი თავდაპირველი ყურადღების შედეგია.

**პუბლიკაციები:** სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია ერთ საერთაშორისო კონფერენციაზე და პერიოდიკაში გამოქვეყნებული ოთხი სამეცნიერო სტატიის სახით.

**აპრობაცია:** სადოქტორო ნაშრომის მასალები წარმოდგენილი და განხილული იქნა სტუ-ს საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციაზე „საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და საწარმოო ძალების მდგრადი განვითარების პერსპექტივები“ (თბილისი, 17-18 ნოემბერი, 2021 წელი).

სადისერტაციო ნაშრომის მასალები ასევე წარმოდგენილი იყო სტუ-ს ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიების დეპარტამენტის სამ თემატურ კოლოკვიუმზე.

**სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა.** დისერტაცია მოიცავს 167 გვერდს, 28 ცხრილს, 23 ნახაზს, 13 სურათს. დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურული მიმოხილვისაგან, ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდოლოგიისაგან, კვლევის შედეგებისა და მათი განსჯისაგან, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან.

## კვლევის ძირითადი შედეგები

სსიპ გარემოს ეროვნულ სააგენტოს მიერ მდინარე ლოჭინის ზედაპირულ წყლებზე (მდინარე ორხევი მათი კვლევის ობიექტს იმ დროს არ წარმოადგენდა) ჩატარებული სისტემატური მრავალწლიანი მონიტორინგული კვლევის შედეგების ანალიზით დადგინდა, რომ აუცილებელია საკვლევი ობიექტების არა მხოლოდ ერთადერთ, არამედ რამდენიმე წინასწარ მონიშნულ კვეთზე მრავალმხრივი და კომპლექსური კვლევების განხორციელება. ამასთან, ანალიზური კვლევის კუთხით, მრავალფეროვანი შესწავლა არ უნდა შემოიფარგლოს მხოლოდ ზედაპირული წყლის სინჯების აღებითა და ქიმიური ანალიზების ჩატარებით (როგორც ამას ადგილი აქვს აღნიშნული სააგენტოს მხრიდან საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული მრავალრიცხოვანი ზედაპირული წყლების იმპაქტური მონიტორინგის ჩატარებისას), არამედ სათანადო კვლევების ჩატარება აუცილებელია მდინარეთა ფსკერულ დანალექებზეც.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მონიტორინგული სადამკვირვებლო გავლებით საკვლევი ობიექტების წინასწარ მონიშნული კვეთებიდან (თითოეულ მიკროშენაკადზე ოთხ-ოთხი), შესაბამისი საერთაშორისო სტანდარტების მოთხოვნათა სრული დაცვით, ტარდებოდა საანალიზო სინჯის აღების პროცედურები როგორც ზედაპირული წყლებისათვის, ასევე ფსკერული დანალექებისათვის და ცალკეულ შემთხვევაში, საჭიროებისამებრ საკვლევი მდინარეთა კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიათა ნიადაგის გრუნტისთვისაც.

კვლევები მიმდინარეობდა 2021 წლის ზაფხულიდან 2022 წლის გაზაფხულის ჩათვლით (კვარტალურად).

## 1. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიურ კვლევათა შედეგები

ცხრილებში 1, 2 მოცემულია შესაბამისად მდ. ლოჭინსა და მდ. ორხევზე მთელი საკვლევი პერიოდის განმავლობაში სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში საკვლევი პარამეტრების შესაბამისი მაჩვენებლები.

ცხრილი 1. მდ. ლოჭინზე აღებული ზედაპირული წყლის სინჯების ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებელი

№	ინგრედიენტების დასახელება	ერთეული	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	ტემპერატურა	°C	27,0	29,0	25,0	26,3	4,8	8,5	8,7	9,8	7,2	8,4	9,1	9,9	16,7	16,7	15,5	15,9
2	გახსნ. ჟანგბადი	მგ/ლ	8,60	7,50	5,85	7,23	11,70	11,30	10,00	9,90	11,1	10,4	9,6	10,7	9,1	9,3	8,7	9,08
3	გახსნ. ჟანგბადი	%	116,5	103,7	73,7	94,0	98,1	102,0	90,8	90,6	98,2	94,4	87,9	97,0	101,0	101,6	91,4	95,4
4	ელექტროგამტ.	µsms/cm	926	1072	1235	1328	868	1043	1267	1561	1315	1082	1413	1517	851	891	1052	1247
5	მარილიანობა	მგ/ლ	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6
6	მინერალიზაცია	მგ/ლ	844,91	1062,04	1222,69	1279,08	684,21	822,81	981,92	1250,60	1011,28	764,70	1083,04	1545,71	643,39	639,28	859,67	1031,01

ცხრილი 2. მდ. ორხევზე აღებული ზედაპირული წყლის სინჯების ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებელი

№	ინგრედიენტების დასახელება	ერთეული	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	ტემპერატურა	°C	27,4	22,5	20,0	23,2	7,6	10,6	11,0	11,6	6,9	8,1	9,2	9,4	14,4	12,9	13,9	14,3
2	გახსნ. ჟანგბადი	მგ/ლ	8,01	8,04	8,34	6,87	11,30	9,80	9,70	9,70	11,3	10,9	10,7	10,8	9,5	9,7	6,37	9,56
3	გახსნ. ჟანგბადი	%	108,4	99,0	97,0	85,0	100,3	92,7	92,6	93,4	99,1	97,2	97,9	98,5	98,8	96,0	60,0	96,6
4	ელექტროგამტ.	µsms/cm	5600	3080	4610	4660	4000	2400	2200	2100	4350	2070	1917	1362	4280	1972	1921	1952
5	მარილიანობა	მგ/ლ	2,6	1,7	1,1	1,1	2,1	1,2	1,1	1,1	2,2	1,5	0,9	0,6	2,2	1,0	0,9	1,0
6	მინერალიზაცია	მგ/ლ	1279,08	3739,77	2373,30	2314,04	3648,93	2456,94	1863,59	2160,49	4939,42	2011,93	917,01	1354,81	2303,19	1942,45	1873,65	1965,33

თუ ერთმანეთს შევადარებთ ცხრილებში მოყვანილ რიცხვით მონაცემებს, ვნახავთ, რომ (ზედაპირული წყლის ტემპერატურის მაჩვენებელთა გამოკლებით, რომელიც წელიწადის სხვადასხვა დროისათვის სინჯების სეზონურად აღების შესაბამისია) ორივე საკვლევი მდინარის ზედაპირული წყლების ჟანგბადით გაჯერებულობა, კონცენტრაციულადაც და პროცენტულადაც სავსებით დამაკმაყოფილებელია და დაახლოებით თანაბარია. ორივე მდინარის ზედაპირულ წყლებში ჟანგბადის ხსნადობის გაზრდა დამოკიდებულია ტემპერატურისა და მინერალიზაციის შემცირებაზე. თუმცა, მდ. ლოჭინისათვის გახსნილი ჟანგბადის მაღალი კონცენტრაციით გამორჩეული იყო შემოდგომის სეზონი, ზამთარში კი ამ მაჩვენებელმა განიცადა უმნიშვნელო კლება, ხოლო მდ. ორხევისათვის ეს მაჩვენებელი პირიქით, თავის პიკზე ზამთრის სეზონზე გავიდა. ამიტომაც შემოდგომა-ზამთრის პერიოდის მიხედვით ორივე მდინარისათვის ჟანგბადით გაჯერებულობა შეესაბამება ამ ნიშნით ზედაპირული წყლების ხარისხის განსაზღვრულ კლასს – „სუფთას“. რაც შეეხება ელექტროგამტარობას, მარილიანობასა და მინერალიზაციას, სამივე მახასიათებლის რიცხობრივი მაჩვენებლები მდ. ორხეზე მნიშვნელოვნად აღემატება მდ. ლოჭინისას.

ცხრილებში 3, 4 მოცემულია შესაბამისად მდ. ლოჭინისა და მდ. ორხევის შერჩეული კვეთებიდან მთელი საკვლევი პერიოდის განმავლობაში სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში საკვლევი პარამეტრების (ძირითადი კატიონებისა და ანიონების), აგრეთვე (ცხრილები 5,6) მძიმე ლითონების შემცველობაზე უკვე ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილი შესაბამისი მაჩვენებლები.

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ორივე საკვლევ მდინარის ზედაპირული წყლის სინჯებში ძირითადი იონების შემცველობა საგანგაშო არ არის, რადგან როგორც კატიონების, ასევე ანიონების კონცენტრაციები ზდკ-ების მიხედვით ნორმატიულ ფარგლებშია; ყურადსაღებია ცალკეული კვეთებიდან აღებულ სინჯებში ჟმმ-ის მაჩვენებლები, განსაკუთრებით ზაფხულში (სინჯი 4), ასევე

ცხრილი 3. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები ძირითადი იონების შემცველობაზე (მგ/ლ)

№	გაზომილი ინგრედიენტები, მგ/ლ	ზღვ	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	ჟბმს	<b>6,0</b>	1,33	2,12	<b>12,91</b>	2,06	2,40	0,93	<b>9,76</b>	2,04	1,51	1,52	5,46	4,31	1,32	1,70	3,87	1,27
2	ამონიუმი	<b>0,39</b>	0,272	0,315	<b>0,455</b>	0,325	<b>0,653</b>	0,341	<b>0,441</b>	<b>0,439</b>	0,135	<b>8,956</b>	<b>3,037</b>	<b>1,636</b>	0,192	0,121	0,118	0,218
3	ნიტრიტები	<b>3,3</b>	0,066	0,082	0,016	1,903	0,128	0,093	0,014	0,081	0,059	0,014	0,021	0,042	0,069	0,084	0,416	0,044
4	ნიტრატები	<b>45</b>	3,946	0,640	5,222	2,423	3,692	3,054	0,810	2,771	6,890	1,904	3,780	9,489	5,353	2,113	0,387	4,645
5	ფოსფატები	<b>3,5</b>	0,113	0,080	0,256	0,195	0,156	0,084	0,119	0,045	0,138	0,112	0,070	0,245	0,162	0,128	0,028	0,088
6	სულფატები	<b>500</b>	377,78	<b>536,21</b>	<b>644,41</b>	<b>699,46</b>	244,60	348,79	464,15	<b>652,40</b>	398,36	296,61	497,02	<b>773,82</b>	140,20	256,15	350,95	<b>513,89</b>
7	ქლორიდები	<b>350</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	10,29	8,04	10,12	11,64	56,65	8,59	10,28	14,87	35,83	9,69	8,50	9,27
8	კარბონატები	–	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,20	1,35	162,80	139,04	3,75	7,5	2,4	2,1
9	ჰიდროკარბონატები	–	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	258,64	245,22	265,96	274,50	225,70	217,5	213,16	209,84
10	მაგნიუმი	<b>40</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<b>71,03</b>	<b>63,13</b>	<b>116,26</b>	<b>157,01</b>	<b>71,78</b>	<b>90,14</b>	<b>98,93</b>	<b>125,99</b>
11	კალციუმი	<b>180</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	116,71	143,62	<b>185,46</b>	<b>227,23</b>	45,37	31,98	39,69	17,16	37,58	50,20	64,37	35,07
12	ნატრიუმი	<b>200</b>	N/A	N/A	N/A	N/A									66,29	56,36	54,34	56,86
13	კალიუმი	<b>45</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	46,25	43,75	50,50	76,25	174,28	117,25	150,03	298,53	4,71	5,38	4,78	4,61

ცხრილი 4. მდ. ორხევზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები ძირითადი იონების შემცველობაზე (მგ/ლ)

№	გაზომილი ინგრედიენტები, მგ/ლ	ზღვ	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	უბმ	<b>6,0</b>	2,13	2,16	1,75	<b>19,36</b>	1,40	1,01	<b>6,33</b>	1,78	1,42	1,33	<b>7,31</b>	4,21	1,44	1,36	1,28	1,38
2	ამონიუმ	<b>0,39</b>	<b>0,523</b>	<b>0,515</b>	<b>0,495</b>	<b>0,568</b>	<b>0,404</b>	<b>0,589</b>	<b>0,864</b>	<b>0,572</b>	<b>3,373</b>	<b>2,059</b>	<b>1,827</b>	<b>0,482</b>	<b>3,486</b>	<b>1,796</b>	<b>1,521</b>	<b>2,884</b>
3	ნიტრიტები	<b>3,3</b>	0,009	0,053	0,090	0,070	< 0,001	0,068	0,047	0,132	0,029	0,027	0,103	0,051	1,348	0,024	0,005	0,057
4	ნიტრატები	<b>45</b>	0,224	0,026	0,044	0,048	18,140	5,598	4,369	5,161	31,146	4,956	3,146	0,826	27,987	3,993	3,945	6,191
5	ფოსფატები	<b>3,5</b>	0,324	0,488	0,340	0,160	0,041	0,045	0,199	0,091	0,107	0,166	0,165	0,092	0,110	0,186	0,082	0,267
6	სულფატები	<b>500</b>	<b>3635,18</b>	<b>2487,35</b>	<b>1472,79</b>	<b>1432,08</b>	<b>2279,02</b>	<b>1573,60</b>	<b>1010,91</b>	<b>1309,10</b>	<b>2967,01</b>	<b>1168,21</b>	286,34	<b>718,80</b>	<b>2869,58</b>	<b>1169,16</b>	<b>1125,88</b>	<b>1186,83</b>
7	ქლორიდები	<b>350</b>	180,54	23,95	10,76	11,39	75,59	21,51	18,00	19,34	142,43	14,23	66,64	12,96	140,53	14,90	14,67	14,75
8	კარბონატები	–	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,50	1,20	101,20	130,24	2,7	1,32	1,50	1,65
9	ჰიდროკარბონატები	–	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	268,40	241,56	209,84	204,96	245,22	213,50	204,96	224,48
10	მაგნიუმი	<b>40</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<b>419,71</b>	<b>310,57</b>	<b>261,20</b>	<b>145,55</b>	<b>641,60</b>	<b>365,55</b>	<b>402,78</b>	<b>352,32</b>
11	კალციუმი	<b>180</b>	<b>845,63</b>	<b>660,03</b>	<b>491,15</b>	<b>485,37</b>	<b>786,92</b>	<b>543,02</b>	<b>365,11</b>	<b>426,09</b>	123,89	56,32	12,49	13,81	<b>248,96</b>	71,99	55,42	32,83
12	ნატრიუმი	<b>200</b>	131,58	87,19	40,31	43,04	125,50	87,50	68,75	71,25	988,80	216,03	76,25	257,85	153,25	63,57	65,88	59,63
13	კალიუმი	<b>45</b>	6,35	3,24	1,59	2,49									6,74	2,62	3,16	2,77

ცხრილი 5. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები მძიმე ლითონების შემცველობაზე (მგ/ლ)

№	გაზომილი პარამეტრები	ზღვ	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	pH	6,5-8,5	8,1	8,0	7,9	7,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,1	8,2	6,8	6,9	8,3	8,2	8,1	8,1
2	რკინა	0,3	0,0401	0,1181	0,2971	0,0877	0,0467	0,0316	0,0195	0,0338	0,0011	0,0007	0,0033	0,0015	0,0507	1,0531	0,1462	0,3120
3	თუთია	1,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0011	0,0012	0,0009	0,0012	0,0006	0,0006	0,0002	0,0328	0,0012	0,0295	0,0187	0,0008
4	სპილენძი	1,0	0,0010	0,0010	0,0010	0,0002	0,0007	0,0006	0,0008	0,0009	0,0010	0,0005	0,0009	0,0009	0,0009	0,0053	0,0236	0,0006
5	ტყვია	0,03	0,0022	0,0007	0,0006	0,0017	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0010	0,0002	0,0001	0,0021	0,0057	0,0024	0,0024
6	მანგანუმი	0,1	0,0014	0,0038	0,5069	0,0568	0,0034	0,0030	0,0086	0,0044	0,0009	0,0035	0,0012	0,0010	0,0004	0,0990	0,0373	0,0201
7	კადმიუმი	0,001	0,0004	0,0006	0,0002	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,00003	< 0,00001	0,0001	0,00003

ცხრილი 6. მდ. ორხევზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები მძიმე ლითონების შემცველობაზე (მგ/ლ)

№	გაზომილი პარამეტრები	ზღვ	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	pH	6,5-8,5	7,7	7,5	7,8	7,6	8,6	8,3	8,5	8,3	8,2	8,1	7,0	6,9	8,1	7,9	8,0	8,0
2	რკინა	0,3	1,0871	0,1611	0,3652	0,4135	0,0249	0,0176	0,0585	0,0297	0,0023	0,0016	0,0030	0,0021	0,0347	0,0338	0,2888	0,1369
3	თუთია	1,0	0,0014	0,0017	0,0018	0,0034	0,0012	0,0012	0,0004	0,0006	0,0008	0,0006	0,0003	0,0004	0,0013	0,0022	0,0174	0,0065
4	სპილენძი	1,0	0,0008	0,0002	0,0010	0,0002	0,0008	0,0005	0,0011	0,0009	0,0010	0,0009	0,0007	0,0006	0,0009	0,0012	0,0012	0,0017
5	ტყვია	0,03	0,0027	0,0019	0,0001	0,0017	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0009	0,0002	0,0005	0,0003	0,0049	0,0030	0,0028	0,0011
6	მანგანუმი	0,1	0,0165	0,0305	0,0006	0,0591	0,0056	0,0044	0,0133	0,0086	0,0003	0,0006	0,0002	0,0001	0,0019	0,0023	0,0141	0,0121
7	კადმიუმი	0,001	< 0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002



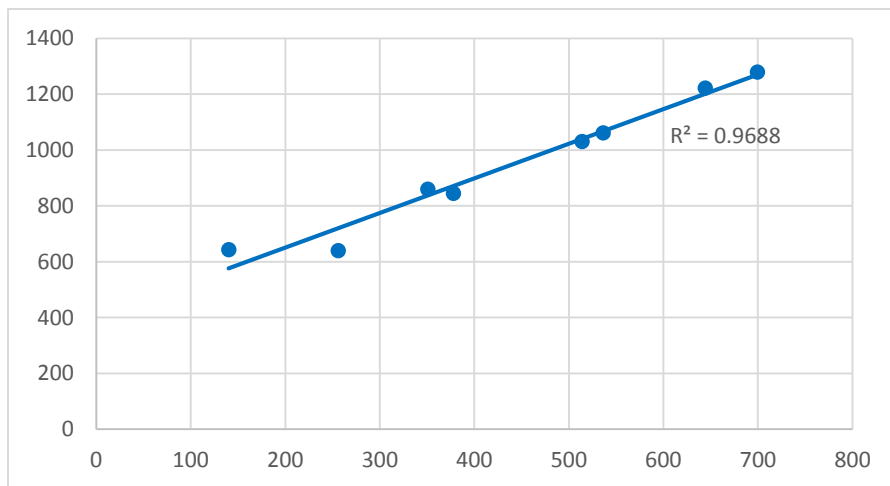
გვიან შემოდგომასა (სინჯი 7) და მდ. ორხევისათვის დამატებით კიდევ ზამთარშიც (სინჯი 11). გარდა ამისა, თუ მდ. ლოჭინზე ადგილი აქვს ამონიუმის აზოტისა და სულფატების მომატების ცალკეულ ეპიზოდებს, მდ. ორხეზე ამონიუმის აზოტი და სულფატები ზდკ-სთან შედარებით ყველა სინჯში საგრძნობლადაა მომატებული. გასათვალისწინებელია ამ მდინარისათვის აღებულ ყველა სინჯში ამონიუმის აზოტისა და განსაკუთრებით კი, სულფატების კონცენტრაციების ძლიერ გაზრდილი მაჩვენებლები ზდკ-სთან მიმართებაში კონცენტრაციული ჯერადობის კუთხით.

როგორც ცხრილებიდან 5,6 ჩანს, ორივე საკვლევი მდინარისათვის გვიანი შემოდგომით აღებულ სინჯებში (სინჯები 5-8) ზაფხულში აღებულ სინჯებთან (სინჯები 1-4) შედარებით pH-ის მიხედვით ტუტეობის მოსალოდნელ ნორმატიულ მატებასთან გვაქვს საქმე. თუმცა, გაზრდილი ტუტეობის მაჩვენებლებმა საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების სინჯებში მძიმე ლითონთა შემცველობის მხრივ განსაკუთრებული ცვლილებები არ გამოუწვევია მათივე კონცენტრაციათა შემცირების კუთხით. ნორმატიულად ეს მაჩვენებლები სტაბილურად მცირეა, თუმცა არის გამონაკლისებიც.

საკვლევ მდინარეებზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური კვლევის შედეგად წარმოდგენილ ცხრილებში 1-6 შეტანილი მონაცემების გასაშუალოებით მიღებულ რიცხვით მნიშვნელობებზე დაყრდნობით, ასევე ბუნებრივი წყლის მარილოვანი შედგენილობის დასადგენი კურლოვის ფორმულის გამოყენებით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მდ. ორხევის ზედაპირული წყალი საშუალო წლიური მაჩვენებლების მიხედვით მიეკუთვნება: ჰიდროკარბონატულ (0,23 გ/ლ), სულფატურ (1,7 გ/ლ), კალციუმიან (0,3 გ/ლ), მაგნიუმიან (0,4 გ/ლ) და ამონიუმიან (1,4გ/ლ), სუსტად მინერალიზებულ (2,3 გ/ლ), სუსტ ტუტე (pH= 7,91), ცივ წყალს (t=13,95 °C); ხოლო მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყალი – ჰიდროკარბონატულ (0,24 გ/ლ), კალციუმიან (0,08 გ/ლ), მაგნიუმიან (0,09 გ/ლ), მტკნარ (0,98 გ/ლ), სუსტ ტუტე (pH= 8,08), ცივ წყალს (t=14,9 °C).

საკვლევ მდინარეთა ამგვარი დახასიათებით და მათი ერთმანეთთან შედარებით, კიდევ ერთხელ შეიძლება დავასკვნათ, რომ მდ. ორხევი მდ. ლოჭინთან შედარებით, ანთროპოგენურად უფრო მეტად დაბინძურებული მდინარეა.

საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების მძიმე ლითონებითა და ბიოგენური ნივთიერებებით დაბინძურების შესახებ არსებული ჰიპოთეზის დასაბუთებისათვის და მათ ძირითად ჰიდროქიმიურ მახასიათებლებს შორის არსებული ურთიერთკავშირების დასადგენად, ჩატარდა სტატისტიკური კორელაციური ანალიზი ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით სტატისტიკური ანალიზის თეორიის საფუძველზე. MS Excel-ის კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით აგებულ იქნა წერტილოვანი გაბნევის დიაგრამები. ამავე პროგრამის დახმარებით გამოითვალა კორელაციისა ( $r$ ) და რეგრესიის ( $R^2$ ) კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობებიც, შედგენილ იქნა კორელაციური მატრიცული ცხრილებიც. პირდაპირპროპორციული ფუნქციონალური დამოკიდებულება მაღალი სანდოობით ( $R^2 > 0.90$ ) გამოვლენილია რიგ წყვილებს შორის. თვალსაჩინოებისათვის მოყვანილია წყალში სულფატ-იონებსა და მინერალიზაციას შორის კორელაციური კავშირის ( $r = 0.98$ ) გაბნევის დიაგრამა:



**ნახაზი 23. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში სულფატ-იონებსა და მინერალიზაციას შორის კორელაციური კავშირის დიაგრამა**

## 2. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები

საკვლევი ობიექტების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 7.

ცხრილი 7. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები

№	ნიმუშის/ სინჯის დასახელება	ლაქტოზადადებითი ნაწლავის ჩხირები 1ლ წყალში	ემერიხია კოლის ჩხირები ( <i>E Coli</i> ) 1ლ წყალში
<b>მდ. ლოჭინი</b>			
1	ნიმუში № 1	6 000	5 000
2	ნიმუში № 2	340 000	30 000
3	ნიმუში № 3	350 000	50 000
4	ნიმუში № 4	36 000	34 000
<b>მდ. ორხევი</b>			
5	ნიმუში № 5	950	180
6	ნიმუში № 6	35 000	33 000
7	ნიმუში № 7	34 000	32 500
8	ნიმუში № 8	34 000	32 000

ზედაპირულ წყლებში ძირითადი საკვლევი პარამეტრები საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, რომელთა რიცხვსაც მიეკუთვნება ლაქტოზადადებითი ნაწლავის ჩხირები და E-coli, 1 ლ საანალიზოდ აღებულ წყალში ორივე მდინარისათვის (რაც განსაკუთრებით თვალსაჩინოა მდინარე ლოჭინთან მიმართებაში) მათი რაოდენობები ბევრად აღემატება ნორმატიული დოკუმენტით რეგულირებული და წყალდაცვითი ზონებისათვის გათვალისწინებულ დასაშვებ 5000-იან მაჩვენებელს. ლაბორატორიულად დადგენილი ამ ორივე მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლის ერთმანეთთან თანაფარდობაც, რომელიც თითქმის ყველა საანალიზო სინჯისათვის 10-ზე ნაკლებია (გარდა მდ. ლოჭინზე აღებული მე-2 ნიმუშისა), რაც ამ ორივე მდინარის ზედაპირული წყლებთან მიმართებაში მოსალოდნელ პოტენციურ ეპიდემიურ საფრთხეზე მიუთითებს.

**3. საკვლევი ობიექტების ფსკერული დანალექების ანალიზის  
ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით კვლევის შედეგები**

საკვლევი მდინარეებიდან აღებული ფსკერული დანალექის სინჯების რენტგენოფლურესცენციური სპექტრალური ანალიზი მოცემულია ცხრილში 8.

**ცხრილი 8. საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექის სინჯებში მძიმე  
ლითონების შემცველობის სეზონური საშუალო მაჩვენებლები**

ელემენტი (მგ/კგ)	ზღვ	ზაფხული	შემოდგომა	ზამთარი	გაზაფხული
<b>მდ. ლოჭინი</b>					
<b>Fe</b>	<b>22300</b>	<b>19605</b>	<b>17817</b>	<b>16814</b>	<b>17712</b>
<b>Mn</b>	<b>1500</b>	<b>2849</b>	<b>1050</b>	<b>490</b>	<b>710</b>
<b>Cr</b>	80	56.25	102.5	82	96.25
<b>Ni</b>	4	126.25	78.25	60.5	68.25
<b>Cu</b>	3	167.5	191.75	164.5	175.75
<b>Zn</b>	23	812.75	166.25	125.75	142.75
<b>As</b>	2	N/A	283.5	7	7.5
<b>Pb</b>	32	395	262.75	11.75	18.75
<b>მდ. ორხევი</b>					
<b>Fe</b>	<b>22300</b>	<b>29197</b>	<b>23463</b>	<b>22244</b>	<b>23326</b>
<b>Mn</b>	<b>1500</b>	<b>2408</b>	<b>1202</b>	<b>379</b>	<b>359</b>
<b>Cr</b>	80	96	136	114.5	133
<b>Ni</b>	4	135.75	104.25	73.25	81.25
<b>Cu</b>	3	45.33	210.5	188.25	216.25
<b>Zn</b>	23	906	233.25	152.75	197.5
<b>As</b>	2	12	38.5	9	12.75
<b>Pb</b>	32	65.5	21.75	17.75	24.25

როგორც ცხრილიდან 8 ჩანს, ორივე საკვლევი მდინარისათვის საანალიზოდ აღებული სედიმენტის თითქმის ყველა წარმომადგენელი ფიქსირდება საკმაოდ მნიშვნელოვანი კონცენტრაციით. რადგანაც, მოცემულ მომენტში როგორც საქართველოში, ასევე საზღვარგარეთ არ არის მიღებული და შემუშავებული ზღვ-ები განკუთვნილი ფსკერული დანალექებისათვის, ამიტომ უცხოელ მკვლევართა მსგავსად, ფსკერული დანალექების დაბინძურების ხარისხის რაოდენობრივ მნიშვნელობათა დასადგენად ვისარგებლეთ ნორმატიული დოკუმენტებსა და საცნობარო ლიტერატურაში მოცემული ნიადაგის ზღვ-ის

მაჩვენებლებით, ვინაიდან ნიადაგი თავისი სტრუქტურის გენეზისის მიხედვით, ფსკერულ დანალექთან მიმართებაში, უფრო მეტად მსგავსი სისტემაა.

ცხრილის 8 მიხედვით, სედიმენტის დამაბინძურებელ მძიმე ლითონთა პირობით ჯგუფში კონცენტრაციული შემცველობის მხრივ, თავისი დომინანტურობით რკინა და მანგანუმი აშკარად გამოირჩევა.

ზამთრის სეზონის ფსკერული ნალექების სინჯებს აგრეთვე ჩაუტარდა გამოკვლევა იწ-გამოსხივების სპექტრომეტრული მეთოდით, საკვლევ ნიმუშებში სავარაუდოდ მოსალოდნელი ორგანული დამაბინძურებლების გამოსავლენად. ჩატარებული კვლევის შედეგად გადაღებულ ყველა სპექტრში ორგანული ნივთიერება მხოლოდ კვალის სახით დაფიქსირდა, რის გამოც მოიხსნა საკვლევ მდინარეთა ფსკერული ნალექების ნიმუშების შემდგომი თხევადი ქრომატოგრაფიული გამოკვლევის ჩატარების საჭიროება. ხოლო ფსკერული ნალექების სინჯებზე ჩატარებულმა რენტგენოფაზურმა გამოკვლევამ საკვლევ ნიმუშებში ისეთი ალუმოსილიკატებისა და თიხოვანი მინერალების შესაბამისი სპექტრალური ხაზების არსებობა დაადასტურა, როგორცაა  $\alpha$ -კვარცი, კალციტი, კაოლინიტი, მონტმორილონიტი, ჰიდროქარსები და პლაგიოკლაზები.

#### **4. საკვლევ მდინარეთა ხეობებისა და კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგური გრუნტის სინჯების ელემენტური შედგენილობის განსაზღვრა**

ორივე საკვლევ მდინარის მიმდებარე ტერიტორიებიდან აღებული ნიადაგების გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური სპექტრალური ანალიზით დადგენილ იქნა გამოსაკვლევ ნიადაგთა ელემენტური შემადგენლობა. ლაბორატორიულ პირობებში, ბუნებრივად, ჰაერზე გამშრალი ნიადაგების საანალიზო ნიმუშების რენტგენოფლოუორესცენციური სპექტრალური ანალიზის შედეგების გასაშუალოებული მონაცემები ორივე საკვლევ მდინარისათვის წარმოდგენილია ცხრილში 9.

**ცხრილი 9. საკვლევი ობიექტების ტერიტორიებიდან აღებული ნიადაგის გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული ანალიზის შედეგების გასაშუალოებული მაჩვენებლების (მგ/კგ) შედარება კლარკებში ქიმიურ ელემენტთა შემცველობასთან დედამიწის ქერქსა და ქალაქის ნიადაგებში**

№	ელემენტების დასახელება	Σსაშ/5	Σსაშ/20	Σსაშ/5	Σსაშ/20	ელემენტთა კლარკები ქალაქის ნიადაგებში	ელემენტთა კლარკები დედამიწის ქერქში
		ლოჭინი		ორხევი			
1	<b>Na</b>	N/A	1 268	3 342	4 817	5 800	26 400
2	<b>Mg</b>	3 986	4 169	4 803	4 885	7 900	21 000
3	<b>Al</b>	33 643	33 158	35 131	34 245	38 200	88 000
4	<b>Si</b>	130 833	134 632	128 120	129 276	289 000	276 000
5	<b>P</b>	774	545	461	462	1 200	800
6	<b>S</b>	731	1 128	2 306	2 580	1 200	520
7	<b>K</b>	5819	6 625	6 769	6 543	13 400	26 000
8	<b>Ca</b>	74 562	70 675	43 822	31 413	53 800	36 300
9	<b>Ti</b>	2 483	2 479	2 855	2 942	4 758	6 000
10	<b>V</b>	94	77	110	113	105	150
11	<b>Cr</b>	129	120	178	159	80	200
12	<b>Mn</b>	593	488	508	542	729	1 000
13	<b>Fe</b>	18 871	18 550	28 909	31 065	22 300	51 000
14	<b>Ni</b>	89	63	105	60	33	100
15	<b>Cu</b>	<b>196</b>	<b>189</b>	<b>222</b>	<b>246</b>	<b>39</b>	<b>100</b>
16	<b>Zn</b>	<b>160</b>	<b>165</b>	<b>203</b>	<b>258</b>	<b>158</b>	<b>50</b>
17	<b>As</b>	9	10	12	13	16	5
18	<b>Rb</b>	40	44	44	41	58	300
19	<b>Sr</b>	362	340	307	273	458	400
20	<b>Zr</b>	181	148	143	125	256	200
21	<b>Ba</b>	611	465	348	888	853	500
22	<b>Pb</b>	15	20	20	24	55	16

ცხრილიდან ჩანს, რომ თავისი ელემენტური შედგენილობის მიხედვით, ორივე მდინარის მიმდებარედ შერჩეული საკვლევი ნიადაგების გრუნტი, ანალიზურად შესწავლილი 22 ქიმიური ელემენტიდან, 12 მათგანის (Na, K, Al, Mg, Si, P, Mn, V, Ti, Rb, Sr, Zr) შემთხვევაში, მათივე შემცველობის მხრივ მეტნაკლებად ეთანადება ან/და მნიშვნელოვანწილად ნაკლებია ამავე ელემენტების კლარკების რიცხვზე როგორც დედამიწის ქერქში, ასევე ქალაქის ნიადაგებშიც.

ზოგიერთ მძიმე ლითონთან მიმართებაში მათივე კონცენტრაციების მიხედვით ნორმატიულზე (სპილენძი, თუთია, რკინა, ქრომი, ნიკელი, კალციუმი, დარიშხანი ტყვია) უფრო მეტად გაზრდილი მაჩვენებლებით ხასიათდება. განსაკუთრებით საყურადღებო ვითარება შეინიშნება საკვლევი ნიადაგების გრუნტში სპილენძისა და თუთიის გადაჭარბებულ შემცველობათა დაფიქსირების კუთხით. ზემოაღნიშნული, თავის მხრივ, ამ ნიადაგებთან დაკავშირებული სამდინარეო სისტემების, მათი ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების ანთროპოგენური დაბინძურების დამადასტურებელი კიდევ ერთი უტყუარი ფაქტორია.

#### **5. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების დაბინძურების ხარისხის შეფასება**

საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების დაბინძურების ხარისხი შეფასდა ზედაპირული წყლის დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდექსისა (წყლის ხარისხის წინასწარ შერჩეული ჰიდროქიმიური ინდიკატორების მეშვეობით) და ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტის (ფაკ-ის) გაანგარიშებით.

საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ინდექსის საშუალო წლიური მაჩვენებლები მდ. ლოჭინისათვის არის 0,83, ხოლო მდ. ორხევისათვის 1,27. მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალს მიენიჭა პირობითად „სუფთას“ კლასიფიკაცია წყლის ხარისხის 1-ლი კლასის შესაბამისად, ხოლო მდ. ორხევის ზედაპირულ წყალს პირობითად „მცირედ დაბინძურებულის“ კატეგორია, წყლის ხარისხის მე-2 კლასის მიხედვით; ფაკ-ის მიხედვით დადგინდა, რომ არცერთი საკვლევი მდინარე მძიმე ლითონებით ქრონიკული დაბინძურების კერას არ განეკუთვნება. თუმცა, ფაკ-ის გასაშუალოებული მაჩვენებლის მაღალი რიცხვითი მნიშვნელობები რკინისათვის (მდ. ლოჭინის შემთხვევაში არის 3933, მდ. ორხევის

შემთხვევაში – 3276) მისი დომინანტურობის დამატებით კიდევ ერთი დამადასტურებელი ფაქტია. ხოლო თუთიისათვის კი ფაკ-ის გასაშუალოებული მაჩვენებლის შედარებით მომატებული მნიშვნელობა მდ. ლოჭინის შემთხვევაში (2157), მისი ფსკერული დანალექის მაღალი სორბციული უნარით უნდა იყოს განპირობებული.

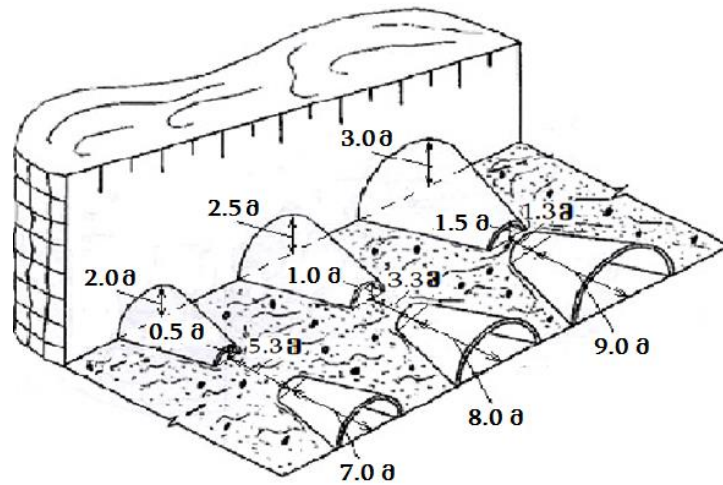
მდინარე ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის დომინაცია მდინარის წყლიდან ფსკერულ დანალექში მისი სედიმენტაციის პროცესიდან გამომდინარეა. აღნიშნული პროცესის წარმართვის მექანიზმის გასარკვევად განხორციელდა რკინის, როგორც დომინანტური ინგრედიენტის, შემცველობის დროში ცვლილების კინეტიკური პროცესის რიცხვითი მოდელირება. ზედაპირულ წყლებში ნივთიერებათა გადატანა-დიფუზიის განტოლებისა და გარკვეულ თეორიულ დაშვებათა გამოყენების გზით, რკინის დალექვის კინეტიკური პროცესის მამოძრავებელი ძალებად დადგენილ იქნა გრავიტაციული სედიმენტაციის სიჩქარე და ვერტიკალურ-ტურბულენტური დიფუზია. გამოვლენილ იქნა აგრეთვე ოთხი სადამკვირვებლო კვეთიდან რკინის ყველაზე ნელი (110 დღე) და ყველაზე სწრაფი (20 დღე) დალექვის წერტილები.

#### **6. მდინარე ლოჭინის მიკროშენაკად მდინარე ალისხევის კალაპოტზე ღვარცოფული ზემოქმედების შემარბილებელი ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ღონისძიების შემუშავება და ორგანიზება**

მდინარე ლოჭინის დარღვეული ეკოლოგიური დისბალანსის აღდგენისა და მის კალაპოტში ფრაგმენტული რევიტალიზაციის განსახორციელებლად, აუცილებელია მისი შენაკადის – მდ. ალისხევის სტაბილურობის შენარჩუნება. ამ მიზნის მისაღწევად, შემოთავაზებულია ინოვაციური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა, რომლის პრიორიტეტულობა დამოწმებულია საქართველოს ეროვნული პატენტის (P-6808) მოწმობით. მდ. ალისხევის ხეობაში სპეციალურად შერჩეულ წერტილზე შემოთავაზებულ იქნა სამსაფეხუროვანი წაკვეთილი



კონუსის ფორმის ბარაჟის (საგუბარის) მოწყობა (ნახაზი 1).



ნახაზი 1. ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) ელემენტების ზომები

სათანადო მათემატიკურ გაანგარიშებათა ჩატარებით დადგენილ იქნა, რომ მსგავსი ტიპის ღონისძიების განხორციელებით 3-ჯერ უფრო კლებულობს წარმოქმნილი ღვარცოფის დარტყმის ძალა, რაც მოსალოდნელი გართულებების აცილებას შეუწყობს ხელს და ასევე, უპირველეს ყოვლისა, დაიცავს სოფელ მარტყოფის მოსახლეობას სტიქიური უბედურებისაგან.

## დასკვნა

1. საკვლევი არეალის შერჩევის შემდეგ მისი სრულყოფილი შესწავლის მიზნით დადგენილ იქნა გარემომცველი ფიზიკურ-გეოგრაფიული გარემოს შემდეგი მახასიათებლები: გეოგრაფიული ადგილმდებარეობა, ბუნებრივი ლანდშაფტები, გეოლოგიური აგებულება და რელიეფი, ნიადაგური საფარი, ჰავა და მიკროკლიმატური პარამეტრები, ფლორისა და ფაუნის გავრცელებული წარმომადგენლები;
2. საკვლევი მდინარეებზე, წინასწარ შერჩეულ სადამკვირვებლო კვეთებიდან სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე, საკვლევი პირობებში ჩატარებული კვლევის შედეგად გაზომილი 5 ჰიდროქიმიური პარამეტრისათვის დადგინდა, რომ ორივე საკვლევი მდინარისათვის ჟანგბადით გაჯერებულობა შესაბამეა წყლის ხარისხის კატეგორიას „სუფთას“, ხოლო pH-ის მნიშვნელობები ორივე მდინარისათვის იმყოფება მდინარის წყლისათვის დამახასიათებელ ზღვრებში (pH=6,5-8,5). თუმცა იშვიათად, გამონაკლისის სახით მდ. ლოჭინის წყალს ახასიათებს ოდნავ უფრო მეტად გამოხატული ტუტეობა. დანარჩენი ჰიდროქიმიური მახასიათებლების (ელექტროგამტარობა, მარილიანობა, მინერალიზაცია) შემთხვევაში გასაშუალოებული წლიური რიცხვითი მაჩვენებლები მდ. ორხევისათვის მნიშვნელოვნად აღემატება მდ. ლოჭინისათვის დადგენილ იმავე მაჩვენებლებს.
3. ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელებული ჰიდროქიმიური კვლევის ფარგლებში ორივე საკვლევი მდინარიდან სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული სრული ქიმიური ანალიზით დადგინდა მათში ძირითადი იონების, როგორც კატიონების ასევე ანიონების და აგრეთვე ბიოგენური ელემენტების (აზოტის, ფოსფორის) იონური ფორმების შემცველობა. ჩატარებულმა ანალიზურმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ძირითადად, საკვლევი ნიმუშებში როგორც კატიონების ასევე ანიონების კონცენტრაციები ზდკ-ის მიხედვით ნორმატიულ ფარგლებშია. თუმცა, მდ. ლოჭინზე თუკი ადგილი აქვს ამონიუმის აზოტის, სულფატების, კალციუმისა და მაგნიუმის მიხედვით ზე-ნორმატიული მატების ცალკეულ ეპიზოდებს, მდ. ორხეზე ყველა ამ აღნიშნული იონის ზდკ-თან შედარებით საგრძნობ მატებას უკვე სისტემატური ხასიათი აქვს. აქედან გამომდინარეობს დასკვნა, რომ მდ. ორხევი, მდ. ლოჭინთან შედარებით, ანთროპოგენურად უფრო მეტად დაბინძურებული მდინარეა.
4. საკვლევი მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებში მძიმე ლითონთა (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb) შემცველობის დასადგენად ჩატარებული კვლევით დაფიქსირებულ იქნა ზოგიერთ ლითონთა კონცენტრაციების მოულოდნელი ცვლილებანი ზენორმატიულ მნიშვნელობათა გამოვლენის კუთხით, რაც სეზონურობას

დაქვემდებარებულია და ამავე დროს ძალიან იშვიათია. რადგანაც ნორმატიულად მძიმე ლითონთა კონცენტრაციული მაჩვენებლები სტაბილურად ძალიან მცირეა. ამიტომაც გამონაკლისის სახით, მხოლოდ თითოჯერ გამოვლინდა რკინის კონცენტრაციის 1 მგ/ლ-ზე უფრო მეტად გადაჭარბება მდ. ორხევისათვის ზაფხულში, ხოლო მდ.ლოჭინისათვის გაზაფხულზე. ასევე მანგანუმის კონცენტრაციის 5-ჯერ მომატება ზდკ-სთან შედარებით, მხოლოდ ერთხელ, ზაფხულში, დაფიქსირდა მდ.ლოჭინის ზედაპირულ წყალში. რადგან სხვა დროს იგი ნორმის ფარგლებში იმყოფებოდა.

5. საკვლევ მდინარეებზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური კვლევის შედეგად დადგენილ იქნა მათი ზედაპირული წყლის მარილოვანი შედგენილობა: მდ. ორხევის ზედაპირული წყალი საშუალო წლიური მაჩვენებლების მიხედვით მიეკუთვნება: ჰიდროკარბონატულ (0,23 გ/ლ), სულფატურ (1,7 გ/ლ), კალციუმიან (0,3 გ/ლ), მაგნიუმიან (0,4 გ/ლ) და ამონიუმიან (1,4 გ/ლ), სუსტად მინერალიზებულ (2,3 გ/ლ), სუსტ ტუტე (pH= 7,91), ცივ წყალს (t=13,95 °C); ხოლო მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყალი კი საშუალო წლიური მაჩვენებლების მიხედვით მიეკუთვნება: ჰიდროკარბონატულ (0,24 გ/ლ), კალციუმიან (0,08 გ/ლ), მაგნიუმიან (0,09 გ/ლ), მტკნარ (0,98 გ/ლ), სუსტ ტუტე (pH=8,08), ცივ წყალს (t=14,9 °C).
6. საკვლევ მდინარეთა სადამკვირვებლო კვეთებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში კოლიფორმული ბაქტერიების შემცველობაზე ჩატარებული მიკრობიოლოგიური გამოკვლევით დადგენილ იქნა, რომ მდ. ლოჭინის წყალში ლაქტოზა დადებითი ჩხირების შემცველობის მხრივ გასაშუალოებული მონაცემები 7-ჯერ მეტია, ხოლო E-coli-ს ბაქტერიებით დაბინძურებისა კი 1,5-ჯერ აღემატება იგივე მაჩვენებლების მიხედვით მდ. ორხევისაზე დაფიქსირებულ შედეგებს. თუმცა, ამ ნაწლავური ჩხირებისათვის ნორმატიულად დადგენილ მაჩვენებლებთან მიმართებაში ორივე საკვლევ მდინარეზე გამოვლენილი ეს მონაცემები, თავის მხრივ, კიდევ უფრო მაღალი და პოტენციურად სახიფათოა. რაც საკვლევ ორივე მდინარეს როგორც ბაქტერიოლოგიური დაბინძურების ლოკალურ კერებს ისე მოიაზრებს;
7. ორივე საკვლევ მდინარიდან სეზონურად აღებულ ფსკერული დანალექების სინჯებზე რენტგენოფლოუორესცენციური სპექტრალური ანალიზით დადგენილია ფსკერული დანალექების ელემენტური შემცველობა, რომლის საფუძველზეც გამოვლენილია ზოგიერთი მძიმე ლითონის (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb) სორბცია-სედიმენტაციის პროცესებით ფსკერულ დანალექებში მოხვედრისა და მათი იქ დაგროვების სეზონურად გადანაწილებული ხასიათი, რომელიც აქაც კვლავ რკინის დომინანტურობით გამოირჩა. ორივე მდინარის მაგალითზე, ზაფხულის სეზონისათვის აღებულ ფსკერული დანალექების ნიმუშებში, გარდა სპილენძისა, ყველა მძიმე ლითონისათვის დაფიქსირებულ იქნა მათი კონცენტრაციული პიკური მაქსიმუმები, რაც სავარაუდოდ განპირობებული უნდა იყოს, ერთი

მხრივ, ამ ლითონთა მოძრავი ფორმების მდინარის ფსკერის მიმართულებით მიგრაციისა და სედიმენტაციური დალექვის სეზონური გამლიერებით და მეორეს მხრივ, ფსკერულ დანალექთა სუბსტრატის მიერ მძიმე ლითონთა მიმართ გამოვლენილი ადსორბციული შთანთქმის უფრო მეტი უნარით;

8. რენტგენოფლოუორესცენციური სპექტრალური ანალიზი ჩაუტარდა ასევე საკვლევ მდინარეთა კვეთების მიმდებარედ არსებული ნიადაგის გრუნტის ნიმუშებს, რითაც დადგინდა არამართო ამ ნიმუშთა ელემენტური შედგენილობა, არამედ დაფიქსირდა მათში ზოგიერთ მძიმე ლითონთა კონცენტრაციების ზენორმატიული მატება დედამიწის ქერქში ამავე ლითონთა კლარკების სახით დადგენილ მაჩვენებლებთან მიმართებაში. მდ. ლოჭინის მიმდებარე ტერიტორიიდან სპილენძის შემთხვევაში მატება აღირიცხა 2-ჯერ, ხოლო თუთიის შემთხვევაში 3,3-ჯერ უფრო მეტად, მდ. ორხევის მიმდებარე ტერიტორიებზე კი სპილენძის მატებამ უკვე 2,5-ჯერ მეტი შეადგინა, ხოლო თუთიისამ 4-5 ჯერ უფრო მეტად მაღალი მაჩვენებელი. ყოველივე ეს ადასტურებს, რომ მდინარე ორხევის მიმდებარე ტერიტორიები მძიმე ლითონებით მდ. ლოჭინისაზე უფრო მეტად დაბინძურებულია;
9. ზამთრის სეზონის ფსკერული ნალექების სინჯებს აგრეთვე ჩაუტარდა გამოკვლევა იწ-გამოსხივების სპექტრომეტრული მეთოდით, საკვლევ ნიმუშებში სავარაუდოდ მოსალოდნელი ორგანული დამაბინძურებლების გამოსავლენად. ჩატარებული კვლევის შედეგად გადაღებულ ყველა სპექტრში ორგანული ნივთიერება მხოლოდ კვალის სახით დაფიქსირდა, რის გამოც მოიხსნა საკვლევ მდინარეთა ფსკერული ნალექების ნიმუშების შემდგომი თხევადი ქრომატოგრაფიული გამოკვლევის ჩატარების საჭიროება. ხოლო ფსკერული ნალექების სინჯებზე ჩატარებულმა რენტგენოფაზურმა გამოკვლევამ საკვლევ ნიმუშებში ისეთი ალუმოსილიკატებისა და თიხოვანი მინერალების შესაბამისი სპექტრალური ხაზების არსებობა დაადასტურა, როგორცაა  $\alpha$ -კვარცი, კალციტი, კაოლინიტი, მონტმორილონიტი, ჰიდროქარსები და პლა-გიოკლაზები;
10. კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის მათემატიკური მეთოდის გამოყენებით გამოვლენილ იქნა მჭიდრო და მაღალი ხარისხის, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი კორელაციური კავშირები საკვლევ მდინარეთა ზედაპირულ წყლებში ცალკეულ ძირითად იონთა კონცენტრაციებსა და ჰიდროქიმიურ ცვლად პარამეტრებს შორის, ხოლო მდინარეთა ფსკერულ დანალექებში კი ზოგიერთ მძიმე ლითონთა კორელაციურ წყვილებს შორისაც. კორელაციური მატრიცული ცხრილების მიხედვით აგებული წერტილოვანი გაბნევის დიაგრამების მეშვეობით კიდევ ერთხელ დადასტურდა მდინარე ლოჭინზე გაცილებით უფრო მეტად მდინარე ორხევის ანთროპოგენური დაბინძურება. ჩატარებული კვლევით კი პირდაპირპროპორციული ფუნქციონალური დამოკიდებულება მაღალი სანდოობით ( $R^2 > 0.90$ ) გამოვლენილია შემდეგ წყვილებს შორის:

მდ. ორხევის შემთხვევაში – მინერალიზაცია და (Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup>)-ის იონები; სულფატ- და ნიტრატ-იონები; ნიტრატ- და ქლორიდ-იონები. მდ. ლოჭინის შემთხვევაში – ჰიდროკარბონატისა და (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>)-ის იონები; მინერალიზაცია და სულფატ-იონები;

11. საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ხარისხის შეფასების მიზნით და აქედან გამომდინარე, მათთვის შესაბამისი კლასიფიკაციის მისანიჭებლად, წინასწარ შერჩეული 10 ჰიდროქიმიური ინდიკატორის მეშვეობით გამოანგარიშებულ იქნა მათი ზედაპირული წყლების საშუალო წლიური დაბინძურების ინდექსები, რომელმაც მდ. ლოჭინისათვის შეადგინა 0,83 და მდ. ორხევისათვის კი 1,27. ჩატარებულ გაანგარიშებათა საფუძველზე მდინარე ორხევის წყალს მიენიჭა პირობითად „მცირედ დაბინძურებულის“ კატეგორია, ხოლო მდ. ლოჭინის წყალს კი პირობითად „სუფთას“, რომელიც ხარისხობრივი ნიშნულის მიხედვით ძალზედ მიახლოებულია „მცირედ დაბინძურებულთან“.
12. საკვლევი ობიექტებისათვის ცალ-ცალკე გაანგარიშებულ იქნა მათი დაბინძურების დამატებით ხარისხობრივ ინდიკატორად მიჩნეული ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტი (ფაკ-ი), რომლის მიხედვით დადგინდა, რომ არცერთი საკვლევი მდინარე მძიმე ლითონებით ქრონიკული დაბინძურების კერას არ განეკუთვნება. თუმცა, ფაკ-ის გასაშუალოებული მაჩვენებლის მაღალი რიცხვითი მნიშვნელობები რკინისათვის (მდ. ლოჭინის შემთხვევაში არის 3933 და მდ. ორხევის შემთხვევაში კი 3276) მისი დომინანტურობის დამატებით კიდევ ერთი დამადასტურებელი ფაქტია. ხოლო თუთიისათვის კი ფაკ-ის გასაშუალოებული მაჩვენებლის შედარებით მომატებული მნიშვნელობა მდ. ლოჭინის შემთხვევაში (2157), მისი ფსკერული დანალექის მაღალი სორბციული უნარით უნდა იყოს განპირობებული;
13. მდ. ორხევის სიდიდით უპირატესი დაბინძურება მდ. ლოჭინთან შედარებით, გახდა საბაზი ამ მდინარის ფსკერულ დანალექებზე ძირითადი დომინანტური დამაბინძურებლის – რკინის დროში დალექვის პროცესის რიცხვითი მოდელირების განსახორციელებლად. დიფუზია-გადატანის მათემატიკური განტოლების გამოყენებით რკინის დალექვის კინეტიკური პროცესის მამოძრავებელი ძალებად დადგენილ იქნა გრავიტაციული სედიმენტაციის სიჩქარე და ვერტიკალურ-ტურბულენტური დიფუზია. გამოვლენილ იქნა აგრეთვე ოთხი სადამკვირვებლო კვეთიდან რკინის ყველაზე ნელი (110 დღე) და ყველაზე სწრაფი (20 დღე) დალექვის წერტილები;
14. მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ევროპული გამოცდილება, თავის მხრივ, გახდა საბაზი მდ. ლოჭინისათვის ღვარცოფული მიდრეკილებებით გამორჩეულ მის მიკროშენაკად მდ. ალისხევზე სტიქიური ზემოქმედების შემარბილებელი ღონისძიების განსახორციელებლად. სამომავლოდ პროგნოზი-

რებადი ღვარცოფის შესაკავებლად მდ. ალისხევის ხეობაში სპეციალურად შერჩეულ წერტილზე შემოთავაზებულ იქნა სამსაფეხუროვანი წაკვეთილი კონუსის ფორმის ბარაჟის (საგუბარის) მოწყობა. სათანადო მათემატიკურ გაანგარიშებათა ჩატარებით დადგენილ იქნა, რომ მსგავსი ტიპის ღონისძიების განხორციელებით 3-ჯერ უფრო კლებულობს წარმოქმნილი ღვარცოფის დარტყმის ძალა, რაც მოსალოდნელი გართულებების აცილებას შეუწყობს ხელს და ასევე, უპირველეს ყოვლისა, დაიცავს სოფელ მარტყოფის მოსახლეობას სტიქიური უბედურებისაგან.

### **დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში**

1. როსტომაშვილი ი. „მცირე მდინარეთა რევიტალიზაციის ეკოლოგიური პრაქტიკა და ევროპული გამოცდილება“. ჟურნალი „ველური ბუნება“, №16 (41), შემოდგომა, გვ.80-85;
2. როსტომაშვილი ი., ქერქაძე ჯ., წულუკიძე ლ. „ქალაქ თბილისის მასშტაბით ურბანულ ტერიტორიებზე მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის საკითხისათვის“. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და საწარმოო ძალების მდგრადი განვითარების პერსპექტივები“, თბილისი, 17-18 ნოემბერი, 2021 წ., საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ი ჟორდანიას სახ. საქართველოს საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, სამეცნიერო ჟურნალი „საქართველოს საწარმოო ძალები და ბუნებრივი რესურსები“, თბილისი, გამომცემლობა „ივერიონი“, № 1(2), 2022, გვ.92-111;
3. წულუკიძე ლ., როსტომაშვილი ი., ქერქაძე ჯ. „ქალაქ თბილისის ფარგლებში გამავალი მცირე მდინარეებისა და მათი შენაკადების კალაპოტების რეგულირება საინჟინრო ეკოლოგიური ღონისძიებებით, მდინარე ლოჭინის შენაკადის მდინარე ალისხევის მაგალითზე“. სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, №2 (524), 2022, გვ.44-55;
4. სურმავა ა., როსტომაშვილი ი., ქერქაძე ჯ. „მდინარე ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის შემცველობის დროში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება სავლე გაზომვებისა და ექსპერიმენტული მონაცემების საშუალებით“. სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, №3 (525), 2022, გვ.150-156.

## Abstract

In modern urboecology it is believed that aquatic ecosystems play an important role in the formation of the architectural structure and urban appearance of large cities. From this point of view, the importance of the small rivers, which are vital components of the tributary systems of the main river arteries, is especially immeasurable. The condition of the valleys and river beds of such type of small tributaries determines not only the general water quality for the main catchment, but also makes visible the existence of many closely related urban economic, ecological, social, psychological, health care, recreational and other problematic issues, depending on the functioning of the city waterworks. The timely resolution of the mentioned issues is necessary to meet the ever-increasing daily needs of the residents of big cities and to ensure a healthy life.

It should also be noted here that in the modern situation, small rivers within the territorial-administrative borders of large urban settlements have turned into such anthropogenic-natural ecosystems, which are perceived as objects carrying powerful technogenic loads. At the same time, they experience negative anthropogenic impact both from the native population of the city, as well as from the industrial and economic facilities, whose harmful and entrepreneurial activities completely change the appearance, function and purpose of the original natural existence of these aquaria. Currently, valleys, beds and floodplains of small rivers have in many cases turned into natural landfills, where various types of household, construction or industrial wastes have been placed in an uncontrolled manner. Due to the city's urbanization interests, these small rivers are enclosed in closed pipelines and tunnels, which is why they have turned into sewer collectors and transporters of highly polluted wastewater. The mentioned problem is aggravated by the fact that these small rivers, due to the location of their sources, pose a threat to the city's infrastructure and population due to constant seasonal floods, since natural disasters are expected in the background of the developed floods.

Based on the above, the scientific topic of the presented dissertation is very relevant, which refers to the 15 small tributary of The river Mtkvari within the administrative framework of the city of Tbilisi, which are perceived as inseparable components of the single tributary network of the mother river of Georgia.

As a result of the accumulation and analysis of the hydrographic and ecological content information found in the scientific literature and found through Internet resources, two rivers - Lochini and Orkhevi - were selected as research objects. The choice is mainly due to two arguments. One is that, unlike others, the valleys and beds of these small rivers are under a rather strong anthropogenic influence in the territorial area surrounded by the industrial zone represented by civilian settlements and production facilities located adjacent to each other. Second, these river objects are distinguished from other small tributaries of The river Mtkvari by the presence of constant runoff, which provided the opportunity for systematic seasonal monitoring of

both rivers throughout the calendar year.

The aim of the presented work was to carry out a complex eco chemical study in order to study the anthropogenic impact on two pre-selected observation sites. This is especially true of The river Orkhevi, which until now, in a way, was thought of as a river forgotten by everyone. That is why any useful scientific activity carried out in relation to it should be perceived as an unconditional innovation not only in the Georgian scientific circle, but also in the civil society.

In order to fulfill the set goals and objectives, ten field expeditions were conducted in 2021-2022, during which the physical-geographical location of the study area was initially studied, observation points (intersections) were cartographically determined and marked, from which surface water, bottom sediments and Soil samples. Their field collection, preservation, labeling, storage and subsequent transportation to the stationary laboratory were carried out in accordance with ISO standard methods.

For the surface waters of the research rivers, the physical chemical characteristics were measured in field conditions with a portable device, and in the laboratory environment, chemical, physical chemical and microbiological analyzes of the samples were carried out using modern scientific equipment. Hydro chemical research of pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, mineralization, content of basic ions, forms containing biogenic elements, concentration of heavy metals in the analytical samples generally established that The river Orkhevi has much higher pollution rates compared to The river Lochini. This is especially evident when systematically recording increased contents of mineralization, sulfates, LBm5 and ammonium nitrogen in their samples, as well as in relation to the same normatively determined indicators of concentration multiplication. As for the content of heavy metals in the surface waters of both rivers, the concentration changes are subject to seasonality, although very rarely, an excess of iron and manganese compared to the normative values is still observed. In the same samples of bottom sediments, in relation to other metals, the content of iron is dominant.

The microbiological research conducted on the surface water samples taken from the research facilities shows that the coliform bacteria content of The river Lochini is much higher than that of The river Orkhevi. However, on the other hand, the indicators of both rivers, according to the same characteristic, are much higher than the norm. This indicates a potential threat to the waters of both researched rivers, so they can be considered as local centers of bacteriological pollution.

Conducting studies with different physical chemical methods of analysis on bottom sediment samples taken seasonally from both research rivers had different goals. X-ray fluorescence spectral analysis determined the elemental content of the bottom sediments, on the basis of which the character of some heavy metals (Fe, Mn, Zn, Cu) getting into the bottom sediments through sorption-sedimentation processes and the seasonal redistribution of their accumulation was revealed, which was again characterized by the dominance of iron. Infrared spectrometry research on bottom



sediment samples was devoted to the detection of organic substances in these samples, in addition to the mineral component, however, on the infrared spectra taken for both rivers, organic matter was recorded only in the form of insignificant traces, which confirmed the assumption about the removal of light organic fractions from the bottom by the river water flow. By carrying out X-ray phase analysis, the composition of the crystal phases of their substrate was specified in the bottom sediment samples, which were mainly represented by clay minerals containing aluminosilicates on the diffractograms.

Using the method of correlational statistical analysis, the paper revealed close and high quality, both positive and negative correlations between the concentrations of individual main ions and hydro chemical variable parameters in the surface waters of the research rivers, and also between the correlation pairs of a number of heavy metals in the bottom sediments. The anthropogenic pollution of The river Orkhevi, much more than The river Lochini, was once again confirmed through the dot scatter diagrams constructed according to the correlation matrix tables.

In order to assess the degree of pollution of the research rivers and, therefore, to give them the appropriate classification, the average annual pollution indices of their surface waters were calculated through selected hydro chemical indicators. Based on the calculations, the water of The river Orkhevi was assigned the conditionally "slightly polluted" category, and the water of The river Lochini was conditionally "clean", which is very close to "slightly polluted" according to the qualitative criteria.

In addition, the bottom accumulation coefficient, considered as an additional qualitative indicator of pollution, was calculated separately for the research objects, according to which it was determined that none of the research rivers belong to the center of chronic pollution with heavy metals.

Numerical modeling of the kinetic process of time sedimentation of heavy metal - iron, distinguished by its dominance in the bottom sediments of The river Orkhevi, was performed using the mathematical modeling method, and vertical turbulent diffusion and gravitational sedimentation rates were identified as the driving forces of the said process.

The sharing of modern advanced European experience in the issue of fragmented revitalization of small rivers, initially discussed in the literature review part of the paper, found a practical reflection in the case of The river Aliskhevi, one of the small tributaries of The river Lochini, which is known and distinguished for its floods caused by its frequent seasonal floods. It was for this river and its bed that the anti-flood mitigating measure was developed, which was presented by the proposal of a three tier flood control hydro technical structure and the proper mathematical calculation required for its construction. The practical importance of the presented thesis is made valuable by the fact that the National Environmental Agency of Georgia managed to include The river Orkhevi in its long-term monitoring research program on water resources throughout Georgia only from 2021, which is directly the merit of this work.