



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

ირაკლი როსტომაშვილი

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

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა – ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი – 0711

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2022 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი – ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ირაკლი როსტომაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: ქალაქ თბილისის ფარგლებში მდინარე მტკვრის აუზის მიკროშენაკადებზე ანთროპოგენური ზემოქმედების ეკოქიმიური გამოკვლევა და ამ ზემოქმედების შემარბილებელი ღონისძიების შემუშავება და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო

ხელმძღვანელები: ასოცირებული პროფესორი - ჯიმშერ ქერქაძე
აკადემიური დოქტორი - ლევან წულუკიძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: ირაკლი როსტომაშვილი

დასახელება: ქალაქ თბილისის ფარგლებში მდინარე მტკვრის აუზის შენაკადებზე ანთროპოგენური ზემოქმედების ეკოქიმიური გამოკვლევა და ამ ზემოქმედების შემარბილებელი ღონისძიების შემუშავება

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია
ხარისხი: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი
სხდომა ჩატარდა _____, 2022 წელი

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

ავტორის ხელმოწერა _____

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

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

რეზიუმე

თანამედროვე ურბოეკოლოგიაში მიჩნეულია, რომ საწყლოსნო ეკოსისტემები უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს დიდი ქალაქების არქიტექტურული სტრუქტურისა და ქალაქმაფორმირებელი იერსახის ჩამოყალიბებაში. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით განუზომელია იმ მცირე მდინარეთა მნიშვნელობა, რომლებიც წარმოადგენს ძირითადი სამდინარეო არტერიების სააუზუე სისტემათა შემადგენელ სასიცოცხლო კომპონენტებს. ასეთი ტიპის მიკროშენაკადების ხეობებისა და კალაპოტების მდგომარეობა განაპირობებს არა მარტო ზოგადად წყლის ხარისხს ძირითადი წყალმომკრებისათვის, არამედ თვალსაჩინოს ხდის, საქალაქო ჰიდროქსელის ფუნქციონირებიდან გამომდინარე, მრავალ ერთმანეთთან მჭიდროდ დაკავშირებულ ურბანული ხასიათის ეკონომიკური, ეკოლოგიური, სოციალური, ფსიქოლოგიური, ჯანდაცვითი, რეკრეაციული და სხვა პრობლემური საკითხების არსებობასაც. აღნიშნული საკითხების დროული გადაჭრა კი აუცილებელია მსხვილი ქალაქების მცხოვრებთა განუხრელად მზარდი ყოველდღიური მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებისა და ჯანსაღი ცხოვრების უზრუნველსაყოფად.

აქვე აუცილებლად უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ თანამედროვე ვითარებაში მსხვილი ურბანული დასახლებების ტერიტორიულ-ადმინისტრაციულ საზღვრებში მოქცეული მცირე მდინარეები გადაქცეულია ისეთ ანთროპოგენურ-ბუნებრივ ეკოსისტემებად, რომლებიც აღიქმება როგორც მძლავრი ტექნოგენური დატვირთვების მატარებელი ობიექტები. ამასთან ისინი უარყოფით ანთროპოგენურ ზემოქმედებას განიცდის როგორც ქალაქის მკვიდრი მოსახლეობის, ასევე იმ სამრეწველო-სამეურნეო ობიექტების მხრიდანაც, რომელთა საზიანო ყოფითი და სამეწარმეო საქმიანობა ამ აკვატორიათა ბუნებრივ პირვანდელ ყოფას მთლიანად უცვლის სახეს, ფუნქციასა და დანიშნულებას. ამჟამად მცირე მდინარეთა ხეობები, კალაპოტები და ჭალები ხშირ შემთხვევაში გადაქცეულია სტიქიურ ნაგავსაყრელებად, სადაც უკონტროლოდაა განთავსებული სხვადასხვაგვარი საყოფაცხოვრებო, სამშენებლო თუ საწარმოო ნარჩენები. საქალაქო ურბანიზაციული ინტერესებიდან გამომდინარე, ეს მცირე მდინარეები მოქცეულია დახურულ მილგაყვანილობებსა და გვირაბებში, რის გამოც გადაქცეულია საკანალიზაციო კოლექტორებად და ძლიერ დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების გადამტანებს წარმოადგენს. აღნიშნულ პრობლემას ამძაფრებს ისიც, რომ ეს მცირე მდინარეები, სათავეთა ადგილმდებარეობიდან გამომდინარე, მუდმივი სეზონური წყალმოვარდნების გამო საფრთხეს უქმნის ქალაქის ინფრასტრუქტურასა და მოსახლეობას, ვინაიდან განვითარებული წყალდიდობების ფონზე მოსალოდნელია სტიქიური უბედურებები.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, მეტად აქტუალურია წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო თემატიკა, რომელიც ეხება ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მოქცეული მდინარე მტკვრის იმ 15 მიკროშენაკად მცირე მდინარეს, რომლებიც საქართველოს დედამდინარის ერთიანი სააუზუე ქსელის განუყოფელ კომპონენტებად აღიქმება.

ნაშრომის ლიტერატურული მიმოხილვის ნაწილში აღნიშნული მიკროშენაკადების შესახებ სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული და ინტერნეტ-რესურსებით მოძიებული ჰიდროგრაფიული და ეკოლოგიური შინაარსის ინფორმაციის დაგროვებისა და გაანალიზების შედეგად, საკვლევ ობიექტებად შეირჩა ორი მდინარე – ლოჭინი და ორხევი. არჩევანი ძირითადად განპირობებულია ორი არგუმენტის გამო. ერთი ის, რომ სხვებისაგან განსხვავებით, ამ მცირე მდინარეთა ხეობები და კალაპოტები იმყოფება საკმაოდ მძლავრი ანთროპოგენური ზემოქმედების ქვეშ ერთმანეთის მიმდებარედ და მონაცველეობით განთავსებული სამოქალაქო ტიპის დასახლებებისა და საწარმოო ობიექტებით წარმოდგენილი სამრეწველო ზონით გარშემორტყმულ ტერიტორიულ არეალში. მეორე, ეს სამდინარეო ობიექტები მდინარე მტკვრის სხვა მიკროშენაკადებისაგან გამოირჩევა მუდმივი ჩამონადენის არსებობით, რაც ორივე მდინარეზე მთელი კალენდარული წლის განმავლობაში სისტემატური სეზონური მონიტორინგული დაკვირვების შესაძლებლობას იძლეოდა.

წარმოდგენილი სამუშაოს მიზანს შეადგენდა წინასწარ შერჩეულ ორ სადამკვირვებლო ობიექტზე ანთროპოგენური ზემოქმედების შესწავლის მიზნით კომპლექსური ხასიათის ეკოქიმიური კვლევის განხორციელება. ეს განსაკუთრებით ითქმის მდინარე ორხევზე, რომელიც აქამდე, ერთგვარად, ყველასაგან ყველაფრით მივიწყებულ მდინარედ მოიაზრებოდა. ამიტომაც მის მიმართ განხორციელებული ნებისმიერი სასარგებლო სამეცნიერო ხასიათის აქტივობა უპირობო სიახლედ უნდა იყოს აღქმული არა მარტო ქართულ სამეცნიერო წრეში, არამედ სამოქალაქო საზოგადოებაშიც.

დასახული მიზნებისა და ამოცანების შესასრულებლად 2021-2022 წლებში ჩატარდა ათამდე საველე ექსპედიცია, რომლის დროსაც თავდაპირველად შესწავლილ იქნა საკვლევ არეალის ფიზიკურ-გეოგრაფიული ადგილმდებარეობა, კარტოგრაფიულად დადგინდა და მოინიშნა სადამკვირვებლო წერტილები (კვეთები), საიდანაც მიზნობრივად და სეზონური პერიოდულობით იმპაქტურად აღებულ იქნა ზედაპირული წყლების, ფსკერული დანალექებისა და ნიადაგური გრუნტის სინჯები. მათი საველე პირობებში აღება, კონსერვაცია, ეტიკეტირება, შენახვა და შემდგომი ტრანსპორტირება სტაციონალურ ლაბორატორიაში ხორციელდებოდა ISO-ს სტანდარტული მეთოდის შესაბამისად. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლები-სათვის საველე პირობებში პორტატიული გადასატანი ხელსაწყოთი მოხდა ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების გაზომვა, ხოლო ლაბორატორიულ გარემოში თანამედროვე სამეცნიერო აპარატურის გამოყენებით ჩატარდა სინჯების ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზები. საანალიზო სინჯებში pH-ის, ელექტროგამტარობის, გახსნილი ჟანგბადის, მინერალიზაციის, ძირითადი იონების, ბიოგენური ელემენტების შემცველი ფორმების შემცველობის, მძიმე ლითონების კონცენტრაციის ჰიდროქიმიური კვლევით ზოგადად დადგენილი იქნა, რომ მდინარე ორხევი მდინარე ლოჭინთან შედარებით შესასწავლი პარამეტრების მიხედვით დაბინძურების გაცილებით უფრო მაღალი მაჩვენებლებით გამოირჩევა. ეს განსაკუთრებით თვალსაჩინოა მათ სინჯებში მინერალიზაციის, სულფატების, ჟბმ-ის და

ამონიუმის აზოტის მხრივ გაზრდილ შემცველობათა სისტემატური დაფიქსირებისას და ასევე კონცენტრაციული ჯერადობის ნორმატიულად დადგენილ იმავე მაჩვენებლებთან მიმართებაში. რაც შეეხება ორივე მდინარის ზედაპირულ წყლებში მძიმე ლითონთა შემცველობას, კონცენტრაციული ცვლილებანი სეზონურობას დაქვემდებარებულია, თუმცა ძალზე იშვიათად, მაგრამ მაინც შემჩნეულია რკინისა და მანგანუმის სიჭარბე ნორმატიულ მაჩვენებლებთან შედარებით. ფსკერული დანალექების იმავე სინჯებში კი, სხვა ლითონებთან მიმართებაში, დომინანტურია რკინის შემცველობა.

საკვლევი ობიექტებიდან აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული მიკრობიოლოგიური კვლევით ნაჩვენებია, რომ კოლიფორმული ბაქტერიების შემცველობით მდინარე ლოჭინის მონაცემები მდინარე ორხევისაზე გაცილებით მაღალია. თუმცა, თავის მხრივ, ორივე მდინარის მაჩვენებლები, ამავე მახასიათებლის მიხედვით, ნორმატიულად დადგენილს ბევრად აღემატება. აღნიშნული მიუთითებს პოტენციურ საფრთხეზე ორივე საკვლევი მდინარის წყლებთან მიმართებაში, ამიტომ ისინი ბაქტერიოლოგიური დაბინძურების ლოკალურ კერებად თავისუფლად შეიძლება მივიჩნიოთ.

ერთმანეთისაგან განსხვავებულ მიზნებს ისახავდა ორივე საკვლევი მდინარიდან სეზონურად აღებულ ფსკერული დანალექების სინჯებზე ანალიზის სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით კვლევების ჩატარება. რენტგენოფლუორესცენციური 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 გადანაწილების ხასიათი, რომელიც კვლავაც რკინის დომინანტურობით გამოირჩა. ინფრაწითელი სპექტრომეტრით ფსკერული დანალექების სინჯებზე კვლევათა ჩატარება მიეძღვნა ამ ნიმუშებში მინერალური შემადგენლის გარდა, ორგანულ ნივთიერებათა გამოვლენის დაფიქსირებასაც, თუმცა ორივე მდინარისათვის გადაღებულ იწ-სპექტრებზე ორგანიკა მხოლოდ უმნიშვნელო კვალის სახით აღიბეჭდა, რამაც დაადასტურა ვარაუდი ფსკერიდან მსუბუქი ორგანული ფრაქციების მდინარის წყლის ნაკადით წატაცების შესახებ. რენტგენოფაზური ანალიზის ჩატარებით კი ფსკერული დანალექების სინჯებში დაზუსტდა მათი სუბსტრატის კრისტალური ფაზების შემადგენლობა, რომელიც გადაღებულ დიფრაქტოგრამებზე ძირითადად ალუმოსილიკატების შემცველი თიხოვანი მინერალებით იქნა წარმოდგენილი.

ნაშრომში კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის 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 ფსკერულ დანალექებში რიგ 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.

საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ხარისხის შეფასების მიზნით და აქედან გამომდინარე, მათთვის შესაბამისი კლასიფიკაციის მისანიჭებლად გაანგარიშებულ იქნა მათი ზედაპირული წყლების საშუალო წლიური დაბინძურების ინდექსები შერჩეულ ჰიდროქიმიურ ინდიკატორთა მეშვეობით. 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“.

გარდა ამისა, საკვლევ ობიექტებისათვის ცალ-ცალკე გაანგარიშებულ იქნა დაბინძურების დამატებით ხარისხობრივ ინდიკატორად მიჩნეული ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტი, რომლის მიხედვით დადგინდა, რომ არცერთი საკვლევ მდინარე მძიმე ლითონებით ქრონიკული დაბინძურების კერას არ განეკუთვნება.

მათემატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით შესრულებულ იქნა მდინარე ორხევის ფსკერულ დანალექებში თავისი დომინანტურობით გამორჩეული მძიმე ლითონის – რკინის დროში სედიმენტაციის კინეტიკური პროცესის რიცხვითი მოდელირება და ვერტიკალურ-ტურბულენტური დიფუზიისა და გრავიტაციული სედიმენტაციის სიჩქარის, როგორც აღნიშნული პროცესის მამოძრველ ძალებად გამოვლენა.

ნაშრომის ლიტერატურული მიმოხილვის ნაწილში თავდაპირველად განხილულმა მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის საკითხში თანამედროვე მოწინავე ევროპული გამოცდილების გაზიარებამ პრაქტიკული ასახვა ჰპოვა მდინარე ლოჭინის ერთ-ერთი მიკროშენაკადის მდინარე ალისხევის მიმართ, რომელიც თავისი გახშირებული სეზონური წყალმოვარდნებით გამოწვეული ღვარცოფებითაა ცნობილი და გამორჩეული. სწორედ ამ მდინარისა და მისი კალაპოტისათვის იქნა შემუშავებული ღვარცოფსა-წინააღმდეგო შემარბილებელი ღონისძიება, რაც ღვარცოფის შემაკავებელი ჰიდროტექნიკური ნაგებობის – სამსაფეხუროვანი საგუბარის შემოთავაზებითა და მის ასაგებად საჭირო სათანადო მათემატიკური გაანგარიშებით იქნა წარმოდგენილი.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკულ მნიშვნელობას ღირებულს ხდის ის ფაქტი, რომ სსიპ გარემოს ეროვნულმა სააგენტომ საქართველოს მასშტაბით არსებულ წყლის რესურსებზე თავისი მრავალწლიანი მონიტორინგული კვლევის პროგრამაში მდინარე ორხევის ჩართვა მოხერხდა მხოლოდ 2021 წლიდან რაც უშუალოდ წინამდებარე ნაშრომის დამსახურებაა.

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.

შინაარსი

შესავალი	20
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	26
1.1. ქალაქ თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მდინარე მტკვრის აუზის მცირე მდინარეთა ჰიდროგრაფიული და ეკოლოგიური დახასიათება	26
1.2. საკვლევი არეალის შერჩევა და მისი ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათება	37
1.3. მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ევროპული გამოცდილება	44
1.4. სამდინარეო ეკოსისტემათა ფსკერული დანალექების დახასიათება და თვისებები	48
2. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდოლოგია	61
2.1. საველე-საექსპედიციო კვლევები და გაზომვები	61
2.2. ლაბორატორიული კვლევები და გაზომვები	64
2.3. საკვლევი ობიექტების ზედაპირული წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა	71
2.4. საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექების ანალიზური კვლევის მეთოდიკა	73
2.4.1. საკვლევი ობიექტებიდან ფსკერული დანალექებისა და ნიადაგის გრუნტის სინჯების აღება და საანალიზოდ მომზადება	73
2.4.2. ფსკერული დანალექებისა და ნიადაგის გრუნტის სინჯების ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდები	74
2.5. საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ხარისხის შეფასების მეთოდები	76
2.5.1. წყლის დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდექსის დადგენა	76
2.5.2. ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტის დადგენა	78
3. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა	79
3.1. მდინარე ლოჭინის ზედაპირულ წყლებზე ჩატარებული სისტემატური მრავალწლიანი მონიტორინგული კვლევის შედეგების ანალიზი	79
3.2. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიურ და მიკრობიოლოგიურ კვლევათა შედეგები	83

3.2.1. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიურ კვლევათა შედეგები-----	83
3.2.2. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების მიკრობიოლოგიურ კვლევათა შედეგები -----	99
3.3. საკვლევი ობიექტების ფსკერული დანალექების სინჯებზე ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით ჩატარებული კვლევის შედეგები---	101
3.4. საკვლევ მდინარეთა ხეობებისა და კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგური გრუნტის სინჯების ელემენტური შემადგენლობის განსაზღვრა -----	117
3.5. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების კორელაციური სტატისტიკური ანალიზი-----	123
3.6. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების დაბინძურების ხარისხის შეფასება-----	134
3.6.1. ზედაპირული წყლის დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდექსი გაანგარიშება-----	134
3.6.2. ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტის გაანგარიშება -----	137
3.7. მდინარე ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის როგორც დომინანტური ინგრედიენტის შემცველობის დროში ცვლილების კინეტიკური პროცესის რიცხვითი მოდელირება-----	140
3.8. მდინარე ლოჭინის მიკროშენაკად მდინარე ალისხევის კალაპოტზე ღვარცოფული ზემოქმედების შემარბილებელი ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ღონისძიების შემუშავება და ორგანიზება-----	145
დასკვნა -----	156
გამოყენებული ლიტერატურა -----	161

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. საკვლევ მდინარეებზე მონიტორინგული დაკვირვების ადგილების შესაბამისი GPS კოორდინატები -----	61
ცხრილი 2. ზედაპირული წყლის სინჯებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა განსასაზღვრავი ინგრედიენტები, გამოყენებული მეთოდები და შესაბამისი სტანდარტები-----	71
ცხრილი 3. მდინარის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის შეფასება დაბინძურების ინდექსის გამოყენებით -----	77
ცხრილი 4. წყლის ობიექტის დაბინძურების ხარისხის შეფასება ფაკ-ის მიხედვით -----	78
ცხრილი 5. სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ მდ. ლოჭინზე ჩატარებული იმპაქტური მონიტორინგული დაკვირვების შედეგები (2015-2020წწ)-----	81
ცხრილი 6. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე საველე პირობებში დადგენილი ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლის მონაცემები -----	87
ცხრილი 7. მდ. ორხევზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე საველე პირობებში დადგენილი ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლის მონაცემები -----	87
ცხრილი 8. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები ძირითადი იონების შემცველობაზე -----	93
ცხრილი 9. მდ. ორხევზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები ძირითადი იონების შემცველობაზე -----	94
ცხრილი 10. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები მძიმე ლითონების შემცველობაზე -----	96
ცხრილი 11. მდ. ორხევზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები მძიმე ლითონების შემცველობაზე -----	96
ცხრილი 12. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები-----	101

ცხრილი 13.	მდ. ლოჭინის ფსკერული დანალექის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური ანალიზის სპექტრალური მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების შემცველობაზე -----	103
ცხრილი 14.	მდ. ორხევის ფსკერული დანალექის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური ანალიზის სპექტრალური მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების შემცველობაზე -----	104
ცხრილი 15.	საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექის სინჯებში მძიმე ლითონების შემცველობის სეზონური საშუალო მაჩვენებლები-----	105
ცხრილი 16.	მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრალური ანალიზის მონაცემები-----	110
ცხრილი 17.	მდ. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრალური ანალიზის მონაცემები-----	112
ცხრილი 18.	მდ. ლოჭინის კალაპოტის მიმდებარედ ნიადაგის გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური სპექტრალური ანალიზის მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების შემცველობაზე -----	119
ცხრილი 19.	მდ. ორხევის კალაპოტის მიმდებარედ ნიადაგის გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური სპექტრალური ანალიზის მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების შემცველობაზე -----	120
ცხრილი 20.	საკვლევ ობიექტების ტერიტორიებიდან აღებული ნიადაგის გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული ანალიზის შედეგების გასაშუალოებული მაჩვენებლების შედარება კლარკებში ქიმიურ ელემენტთა შემცველობასთან დედამიწის ქერქსა და ქალაქის ნიადაგებში-----	121
ცხრილი 21.	მდ. ორხევის ზედაპირული წყლის ძირითადი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების კორელაციური მატრიცა ---	128
ცხრილი 22.	მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლის ძირითადი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების კორელაციური მატრიცა --	129
ცხრილი 23.	მდ. ლოჭინის კორელაციური მატრიცა ფსკერულ დანალექში მძიმე ლითონების შემცველობაზე-----	130
ცხრილი 24.	მდ. ორხევის კორელაციური მატრიცა ფსკერულ დანალექში მძიმე ლითონების შემცველობაზე-----	130
ცხრილი 25.	საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების სიმღვრივისა და ელექტროგამტარობის მაჩვენებლები -----	133

ცხრილი 26. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების დაბინძურების ინდექსების გამოანგარიშება შერჩეული წყლის ხარისხის ჰიდროქიმიური ინდიკატორებით -----136

ცხრილი 27. საკვლევ მდინარეთა ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტთა მნიშვნელობები-----139

ცხრილი 28. მდ. ორხევზე საველე დაკვირვების პუნქტებიდან აღებულ წყლის სინჯებში რკინის მოცულობითი კონცენტრაციის, ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციისა და ამავე პუნქტებში მდინარის ჰორიზონტალური დინების სიჩქარეთა მნიშვნელობები -----142

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლებში წლების მიხედვით გაზომილი ინგრედიენტების ცვლილებათა მინერალიზაციის გრაფიკი-----	81
ნახაზი 2. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლებში წლების მიხედვით გაზომილი ინგრედიენტების (მგ/ლ-ში) ცვლილებათა გრაფიკები -----	82
ნახაზი 3. საკვლევი მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში გახსნილი ჟანგბადის მნიშვნელობათა მახასიათებელი ჰისტოგრამები -----	85
ნახაზი 4. საკვლევი მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში ა - მინერალიზაცია, ბ - მარილიანობის, გ - ჟბმ-ის მნიშვნელობათა მახასიათებელი ჰისტოგრამები----	86
ნახაზი 5. საკვლევ მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირულ წყლის სინჯებში სულფატების, ქლორიდებისა და ბიოგენურ ელემენტთა შემცველი ანიონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამა-----	90
ნახაზი 6. საკვლევ მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირულ წყლის სინჯებში ქლორიდებისა და ბიოგენურ ელემენტთა შემცველი ანიონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები-----	91
ნახაზი 7. საკვლევ მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირულ წყლის სინჯებში ქლორიდებისა და ბიოგენურ ელემენტთა შემცველი ანიონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები-----	92
ნახაზი 8. საკვლევ მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში pH-ის მაჩვენებელთა და მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები-----	97
ნახაზი 9. საკვლევ მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები -----	98
ნახაზი 10. მდინარეთა ფსკერულ დანალექის სინჯებში რკინის სეზონური შემცველობის ჰისტოგრამა-----	106
ნახაზი 11. საკვლევ მდინარეთა ფსკერულ დანალექის სინჯებში მანგანუმი სეზონური შემცველობის ჰისტოგრამა -----	107
ნახაზი 12. მდ. ლოჭინზე ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების სეზონური შემცველობის (მგ/კგ) ჰისტოგრამა-----	107

ნახაზი 13. მდ. ორხევეზე ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების სეზონური შემცველობის (მგ/კგ) ჰისტოგრამა-----	108
ნახაზი 14. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები -----	110
ნახაზი 15. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები -----	111
ნახაზი 16. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები -----	112
ნახაზი 17. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები -----	113
ნახაზი 18. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე ჩატარებული რენტგენოფაზური ანალიზით მიღებული დიფრაქტოგრამები -----	116
ნახაზი 19. მდ. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე ჩატარებული რენტგენოფაზური ანალიზით მიღებული დიფრაქტოგრამები -----	116
ნახაზი 20. მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში ელექტროგამტარობასა და მარილიანობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.95$) დიაგრამა -----	124
ნახაზი 21. ორხევის ზედაპირულ წყალში სულფატი და ნიტრატ-იონებს შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.96$) დიაგრამა -----	124
ნახაზი 22. მდ. ორხევის ზედაპირულ წყალში Ca^{2+} და Mg^{2+} იონებს შორის კავშირის ($r = 0.91$) დიაგრამა-----	125
ნახაზი 23. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში სულფატ-იონებსა და მინერალიზაციას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.98$) დიაგრამა -----	125
ნახაზი 24. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.88$) დიაგრამა -----	126
ნახაზი 25. მდ. ორხევის ფსკერულ დანალექში თუთიასა და ტყვიას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.91$) დიაგრამა -----	131
ნახაზი 26. მდ. ორხევის ფსკერულ დანალექში თუთიასა და სპილენძს შორის კორელაციური კავშირის ($r = -0.89$) დიაგრამა -----	131
ნახაზი 27. მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში სიმღვრივესა და ელექტროგამტარობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = -0.77$) დიაგრამა -----	133

ნახაზი 28. მდ. ორხევის ზედაპირულ წყალში სიმღვრივესა და ელექტროგამტარობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = -0.93$) დიაგრამა-----	133
ნახაზი 29. ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციების ცვლილება დაკვირვების პუნქტებში 1,2,3,4-----	143
ნახაზი 30. ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) ელემენტების ზომები -----	150

სურათების ნუსხა

სურათი 1. საკვლევი არეალის სიტუაციური რუკა-სქემა -----	38
სურათი 2. პორტატიული აპარატი WTW multi 3630 IDS-----	62
სურათი 3. საკვლევ მდინარეთა მდებარეობის რუკა-სქემები სადამკვირვებლო კვეთების აღნიშვნით -----	63
სურათი 4. მდინარიდან სედიმენტის სინჯის ასაღები ლაბორატორიული ხელსაწყო - „სახაპი“-----	74
სურათი 5. ნიადაგის გრუნტის სინჯის ასაღები ლაბორატორიული ხელსაწყო - „ხელის ბურღი“-----	74
სურათი 6. რენტგენოფლორესცენციური ანალიზატორი EDX3600B-----	75
სურათი 7. ფირმა „Agilent Technologies“ იწ-სპექტრომეტრი „Cary 630 FTIR“-----	75
სურათი 8. რენტგენოდიფრაქტომეტრი DPOH-3M-----	76
სურათი 9. საკვლევ მდინარეთა ადგილმდებარეობის რუკა-სქემა-----	146
სურათი 10. მდ. ალისხევის კალაპოტში განთავსებული ღვარცოფული ნატანის ფრაგმენტაცია: ა/ ნატანის შემადგენლობა; ბ/ ნატანის გეომეტრიული ზომები; გ/ ნატანის სიმაღლე-----	147
სურათი 11. მდ. ალისხევის კალაპოტში დეფორმირებული ნაპირები: ა. მარჯვენა ნაპირი; ბ. მარცხენა ნაპირი -----	148
სურათი 12. ღვარცოფის მიერ გამოტანის კონუსზე გამავალ უბანზე ტრანსპორტირებული ლოდები-----	148
სურათი 13. მდ. ალისხევის კალაპოტზე ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის განთავსების სქემა-----	149

შესავალი

თემის აქტუალობა: მცირე მდინარეები და მათი ხეობები წარმოადგენს ბუნებრივ-სამეურნეო და ეკოლოგიური სისტემების იმ უმნიშვნელოვანეს ელემენტს, რომელიც ჩამოყალიბდა ჩვენი პლანეტის ცივილიზაციის უწყვეტი განვითარების შედეგად. ამ შემთხვევაში, მცირე მდინარეთა განსაკუთრებული როლი მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი იმყოფება რა მათზე შედარებით დიდ მდინარეთა აუზების ზედა და პერიფერიულ უბნებში, მეტწილად სწორედ ისინი განსაზღვრავს კიდევ დიდ სამდინარეო სისტემებში არსებულ ზოგადეკოლოგიურ და სოციალურ-ეკონომიკურ სიტუაციას. ნებისმიერი, თვით უმნიშვნელო მოვლენაც კი, რომელსაც ადგილი აქვს მცირე მდინარეთა აუზებსა და ხეობებში, დინამიკური პროცესების გარდაუვალი ლოგიკიდან გამომდინარე, გავლენას ახდენს შემდგომში მათ საფუძველზე ჩამოყალიბებული უფრო მაღალი თანრიგის მქონე სამდინარეო სისტემებზე. ამიტომაც, იმ პროცესების ანალიზის გარეშე, რომლებიც შეეხება მცირე მდინარეებს და მათთან დაკავშირებულ ბუნებრივ-სამეურნეო ელემენტებს, შეუძლებელია სწორად იქნას გაგებული და შეფასებული ის განსაკუთრებული სიტუაცია, რომელიც ამ ტერიტორიებზეა გამოვლენილი და შესაბამისად, გამომუშავებული იქნას სწორი სამომავლო გადაწყვეტილებანი მათი შემდგომი განვითარების პერსპექტივის გათვალისწინებით [1].

ქალაქ თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში არსებული წყლის ობიექტები წარმოადგენს ბუნებრივი წყალსადინარების, წყალსატევებისა და საინჟინრო ობიექტების იმ ერთიან კომპლექსს, რომლებიც მათ მომიჯნავე და მიმდებარე ტერიტორიებთან ერთად უნდა ქმნიდეს ჩვენი ქვეყნის დედაქალაქისათვის უმნიშვნელოვანეს ეკოლოგიურ, ქალაქმშენებლობით და რეკრეაციულ პოტენციალს [2].

მრავალწლიანი მონიტორინგული დაკვირვების შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ ქ. თბილისის ფარგლებში მდინარე მტკვრის აუზის მიკროშენაკადების დაბინძურების დონე განუხრელად იზრდება და წყლის ხარისხი

სულ უფრო და უფრო უარესდება. ზემოთხსენებული პროცესი ამჟამადაც გრძელდება, იმის გათვალისწინებით, რომ ქვეყანაში საკმაოდ შემცირებულია სამრეწველო წარმოების საერთო მოცულობა, ჩამდინარე წყლები მაინც რჩება მდ. მტკვრის აუზისათვის ერთ-ერთ 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 [3].

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. კარგ მდგომარეობაში მყოფი მცირე მდინარე წარმოადგენს მოსახლეობის გაჯანსაღების საშუალებას, ხოლო დაბინძურებული კი სხვადასხვა სახის, მათ შორის ინფექციურ დაავადებათა გავრცელების კერას. 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 ქვალორდიანი სანიაღვრე მასების გადამტან არხებს წარმოადგენს [3].

გარდა ამისა, დედაქალაქში მოსახლეობის ზრდისა და ურბანიზაციული პრობლემების გადაუჭრელობიდან გამომდინარე, მდ. მტკვრის მიკროშენაკადების მიმდებარე ტერიტორიები სარეკრეაციო სივრცეებად გამოყენების ნაცვლად, პირიქით გადაიქცნენ საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო, სამრეწველო და სამშენებლო ნარჩენების ნაგავსაყრელებად. ეს ფაქტი ნათლად მეტყველებს ამ მდინარეთა მიმდებარედ მცხოვრები ადგილობრივი მკვიდრი მოსახლეობის გაუცხოებაზე მდინარეებისადმი და ასევე მათ დაბალ ეკოლოგიურ განათლებაზე და ზოგადად, ქცევასა და კულტურაზეც [3].

წარმოდგენილი პრობლემები ძირეულად განსაზღვრავს კიდევ სადისერტაციოდ შერჩეული თემის აქტუალობას. გარდა ზემოაღნიშნულისა, დამატებით კიდევ სახეზეა მდ. 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 [4].

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს შეადგენდა სათანადო ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით და მათი საფუძვლიანი გაანალიზებით სამეცნიერო კვლევის ობიექტებად ე. 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 აღებულ 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.

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 მკვებავ 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, დიდმისწყალი 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 უდავოდ 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 ძირითად სამეცნიერო სიახლედ შეიძლება მიჩნეულ იქნას 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 წყალმომარდნებითა 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 სამსაფეხურო-

ვანი 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 მარტოდენ საველე ექსპერიმენტებისა და ლაბორატორიული ანალიზების ჩატარება სწორი დასკვნების გამოსატანად ხშირად საკმარისი არაა.

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 მიკროშენაკადების 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, მდ. ორხევის ჩართვაც ამაში უდაოდ ამ პატარა მდინარის მიმართ გამოჩენილი ჩვენი თავდაპირველი ყურადღების შედეგაცაა.

I. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ქალაქ თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მდინარე მტკვრის აუზის მცირე მდინარეთა ჰიდროგრაფიული და გეოეკოლოგიური დახასიათება

მდინარე მტკვარი ქალაქ თბილისის ჰიდროგრაფიული ქსელის მთავარი არტერიაა, რომელიც თურქეთში იღებს სათავეს, გაივლის 185 კმ-ს და შემოდის საქართველოში, სადაც ის 359 კმ მანძილზე მიედინება. ამის შემდეგ სათავიდან 457 კმ-ზე, ე. თბილისის მისადგომებთან, იგი იცვლის თავის ძირითად მიმართულებას და ჯერ სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ მიემართება, ხოლო შემდეგ უკვე ქალაქის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მკვეთრად იხრება სამხრეთისაკენ და კვლავაც სამხრეთ-აღმოსავლეთი მიმართულებით უხვევს. ამგვარად, იგი ქალაქს კვეთს ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო უშუალოდ ქალაქის ფარგლებში ფარავს 34 კმ-ს. მდ. მტკვრის წყალშემკრები აუზის ფართობი თბილისთან 21100 კმ²-ს შეადგენს, ხოლო საშუალო სიმაღლე 1710 მეტრია. დედაქალაქთან მდ. მტკვრის წყლის საშუალო წლიური ჩამონადენი 203 მ³/წმ-ს შეადგენს. მაქსიმალური ხარჯის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობაა 1152 მ³/წმ. ზოგადად, პლანეტაზე კლიმატის ცვლილებით განპირობებული გლობალური დათბობის ფონზე მდ. მტკვრის წყლის მაქსიმალური ხარჯი ყოველწლიურად მცირდება 0,76 მ³/წმ-ით. მდ. მტკვარმა წყალდიდობა იცის გაზაფხულსა (აპრილ-მაისში) და ზაფხულის დასაწყისში, წყალმცირობა – შემოდგომასა და ზამთარში [5].

მდ. მტკვრის ყველა მიკროშენაკადი თბილისის მიდამოებში იზადება და ვითარდება. ეს შენაკადები იმ მდინარეთა ტიპს მიეკუთვნება, რომლებიც პერიოდულად ან სრულიად შრება ან/და მათ მცირე ჩამონადენი გააჩნია. ამ მცირე მდინარეების, დელეებისა და ხევებისათვის კი დამახასიათებელია დვარცოფული მოვლენები. ამასთანავე, ქალაქის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მდ. მტკვრის თითქმის ყველა მიკროშენაკადი დახურულ რკინაბეტონის გვირაბში მიედინება. ამ მხრივ გამონაკლისია მხოლოდ სამი მათგანი:

დიდმისწყალი, გლდანისხევი და ლოჭინი, რომელთა კალაპოტებიც მთლიანად ღია ხევ-ხეობებში გაედინება და ასევე სრულიად ღია ვითარებაში უერთდება ისინი დედამდინარეს [7].

საქართველოს დედამდინარის კალაპოტში უშუალოდ ქ. თბილისის ტერიტორიულ ფარგლებში ჩამდინარე თხუთმეტი მიკროშენაკადი მცირე მდინარეა:

მდინარე დიდმისწყალი (დიდმულა) – ქ. თბილისის ფარგლებში მდ. მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე პირველი მარჯვენა შენაკადია. სათავე აქვს სათოვლე-საწვეპელას ქედის აღმოსავლეთ კალთებზე, ზღვის დონიდან 1400 მ სიმაღლეზე. მტკვარს ერთვის ქ. თბილისის ფარგლებში, შ. შალიკაშვილის (ყოფილი დიდუბის) ხიდთან, ზღვის დონიდან 420 მ სიმაღლეზე. მდ. დიდმისწყალი მიუყვება მარშალ გელოვანის გამზირის გასწვრივ. მისი სიგრძეა 22 კმ, აუზის ფართობი 85 კმ², ვარდნა 920 მ. ამ აუზის ქვემო და ნაწილობრივ შუაწელში ხეობა თითქმის უტყეოა, ზემოწელში კი ხეობა ტყით არის შემოსილი. აქ ის რამდენიმე პატარა შენაკადსაც იერთებს. ამიტომ მისი ზემოწელის ხეობა რეკრეაციული ობიექტია. მდ. დიდმისწყლის მდგენელებია ტაბარუკისხევი და ბევრეთისწყალი. მათ გარდა, ასევე მნიშვნელოვანი შენაკადებია კვარათხევი, ძალანთხევი და წოდორეთისწყალი [6].

დიდმისწყალი ჩვეულებრივ წყალმცირე მთის მდინარეა და გვალვების დროს ზოგჯერ ისე შრება, რომ მტკვრამდეც ვერ აღწევს. მისი წყლის საშუალო წლიური ხარჯია 0,25 მ³/წმ, საზრდოობს თოვლისა და წვიმის წყლით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმოვარდნა – ზაფხულსა და შემოდგომაზე, წყალმცირეა ზამთარსა და ზაფხულში [3].

მდინარე ვერე (სკვირეთი, სკორეთი) – მდ. მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე ყველაზე უხვწყლიანი და გრძელი მარჯვენა შენაკადია. სათავეს იღებს თრიალეთის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთ კალთაზე 1682 მ სიმაღლეზე, დიდგორის მთის მიდამოებში. მდ. მტკვარს ერთვის ქ. თბილისის ფარგლებში გმირთა მოედნის მიდამოებში, თამარ მეფის ხიდიდან 500 მ-ით ქვევით. მდინარის სიგრძეა 45 კმ, საერთო ვარდნა 1282 მ, აუზის ფართობი 194

კმ². წყლის საშუალო წლიური ხარჯია 0,97 მ³/წმ; საზრდოობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმცირობა – ზაფხულსა და ზამთარში. მდინარის ხეობას ზემო წელში V-სებრი ფორმა აქვს, ხოლო ქვემოწელში, ქალაქის მიდამოებში – ვარცლისებრი, სადაც ინტენსიურად აკუმულირდება წყლის მიერ ჩამოტანილი მასალა. მდ. ვერეს შენაკადები ასიმეტრულად არის განთავსებული. მარცხენა მხრიდან 15 დიდი და 10 პატარა შენაკადი ერთვის, ხოლო მარჯვენა მხრიდან – 8 დიდი და 6 პატარა შენაკადი. მისი ძირითადი შენაკადია კვერეთისწყალი, რომლის სიგრძეა 10 კმ. დანარჩენი შენაკადების სიგრძე კი 10 კმ-ზე ნაკლებია. მარცხენა შენაკადებიდან ყველაზე წყალუხვია ლასტისციხისწყალი, რომელსაც მოსდევს ვენახებისხევი, იფნარისხევი, სუროსხევი, დიდგორისწყალი და სხვ. მარჯვენა შენაკადებიდან აღსანიშნავია ბეთანიისწყალი, ცხენისზურგისხევი, ჯოხონისხევი, ახალადაბისხევი, ვარაზისხევი და სხვ. მდინარის წყალს შუა დინებასა და ქვემო წელში იყენებენ სარწყავად. ხოლო აუზის შუა და ზემოწელში მდინარის ხეობა გამოიყენება რეკრეაციული მიზნებისათვის. [6].

მდ. ვერეს ახასიათებს პერიოდული წყალმოვარდნები, რომლებიც ხშირად კატასტროფული ხასიათისაა, ასე მაგალითად, წყალდიდობას ამ მდინარეზე 1924 წელს მოჰყვა ადამიანთა მსხვერპლი, 1963 წლის 4 ივლისს მომხდარმა წყალმოვარდნამ კი თბილისის ზოოლოგიური პარკის დიდი ნაწილი გაანადგურა. 2015 წლის 13 ივნისს, მდ. ვერეს ადიდების შედეგად თბილისში 19 ადამიანი გარდაიცვალა. კალაპოტიდან გადმოვიდა მდ. მტკვარიც. ქალაქის ინფრასტრუქტურამ უდიდესი ზარალი განიცადა. განსაკუთრებით მძიმე მდგომარეობა იყო ვაკე-საბურთალოს დამაკავშირებელი გზის გასწვრივ მდებარე ტერიტორიაზე. კვლავ განადგურდა თბილისის ზოოპარკი [4].

მდინარე ვარაზისხევი (ვარდისხევი) – მდ. მტკვრის მარჯვენა, დროებითი ჩამონადენის მქონე შენაკადია უშუალოდ ქალაქის ფარგლებში. სათავე აქვს მთაწმინდის მთის ჩრდილოეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 830 მ სიმაღლეზე. XX ს-ის 30-40-იან წლებამდე გაედინებოდა დაახლოებით 6 კმ სიგრძის დახრილკალთებიან ვიწრო ხევში და უერთდებოდა მდ. ვერეს გმირთა

მოედანთან ზღვის დონიდან 403 მ სიმაღლეზე. მდ. ვარაზისხევი, 1947-1958 წლებში ჩატარებული სამუშაოების შედეგად, ახლანდელი ვარაზისხევის ქუჩის ქვეშ მოწყობილ რკინა-ბეტონის გვირაბში იქნა გაშვებული [8].

მდინარე გაბანანთხევი – მდ. მტკვრის დროებითი ჩამონადენის მქონე მარჯვენა შენაკადია, სათავე აქვს მთაწმინდის მთის ჩრდილო-აღმოსავლეთ კალთაზე ზღვის დონიდან 520-540 მ სიმაღლეზე. ამჟამად მდინარე გაედინება გვირაბში, რომლის შესასვლელი მდებარეობს დ. ჭონქაძისა და კ. მაყაშვილის ქუჩების გადაკვეთის ადგილზე. აქედან გვირაბი გადის კ. მაყაშვილის, ძმები კაკაბაძეების ქუჩების ქვეშ, გადაკვეთს რუსთაველის გამზირს (რუსთაველის ძეგლთან) და მიხ. ჯავახიშვილის ქუჩის სავალი ნაწილის ქვეშ გავლით უერთდება მდ. მტკვარს [8].

მდინარე ავანანთხევი („სოლალაკის წყალი“) – მდ. მტკვრის დროებითი ჩამონადენის მქონე მარჯვენა მცირეწყლიანი შენაკადია. გვალვიანი ზაფხულის პერიოდში შრება. სათავე აქვს მთაწმინდის მთის ფერდობებზე, ზღვის დონიდან 530-540 მ სიმაღლეზე. ამჟამად ეს მდინარე მიწისქვეშა დახურულ გვირაბშია მოქცეული. ამ მდინარის მიწისქვეშა გვირაბი იწყება მთაწმინდის მთის ფერდობის ძირთან და მთავრდება აღმართის ქუჩის თავში. აქედან მდინარე დახურულ გვირაბში გაედინება ამაღლების, ლერმონტოვის, ლეონიძის ქუჩების, თავისუფლების მოედნისა და ბარათაშვილის ქუჩის ქვეშ [8].

მდინარე წავკისისწყალი (ლეღვთახევი, სამარხიხევი) – მდ. მტკვრის მარჯვენა მცირეწყლიანი მუდმივი ჩამონადენის მქონე შენაკადია. სათავე აქვს მთაწმინდის ქედის უბოს მთის სამხრეთ-აღმოსავლეთ კალთაზე ზღვის დონიდან 1200 მ-ზე. მდ. მტკვართან მისი შესართავი ზღვის დონიდან 385 მ სიმაღლეზეა, მდინარის ვარდნაა 915 მ, სიგრძე 9 კმ, აუზის ფართობი 21,3 კმ²; მტკვარს ერთვის მარჯვნიდან სოლოლაკის სერის აღმოსავლეთ დაბოლოებასთან. წყლის საშუალო წლიური ხარჯია 2,5 მ³/წმ. მდინარის შესართავის მიმდებარე ტერიტორია ათვისებულია სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობებითა და ქუჩების სავალი ნაწილით, რომელთა ქვეშ მოწყობილია 130 მ სიგრძის წყალქვეშა გვირაბი [8]. საზრდოობს წვიმის, თოვლის და მიწისქვეშა

წყლით. ახასიათებს გაზაფხულის წყალდიდობა და ძლიერი, იშვიათად კი კატასტროფული წყალმოვარდნები. წავკისის წყალზე 1903 და 1955 წლებში მომხდარმა ძლიერმა წყალმოვარდნებმა მთლიანად წალეკა და გაანადგურა მდინარის შესართავთან მდებარე აბანოთუბანი. განსაკუთრებით ძლიერი იყო 1955 წლის ოქტომბრის წყალდიდობა, რომელმაც 100-მდე ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა. მდ. წავკისისწყალის აუზი ციცაბოკალთებიანი ხეობით გამოირჩევა. აქვს მეტწილად დაბალი ნაპირები. ხეობის გაფართოებულ მონაკვეთში გაშენებულია თბილისის ბოტანიკური ბაღი, სადაც ქმნის მაღალ და მიმზიდველ ჩანჩქერს.

მდინარე კრწანისისხევი (დუქნისხევი, ტაბახმელისხევი) – ქ. თბილისის სამხრეთ ნაწილში მდ. მტკვრის მარჯვენა, მუდმივი ჩამონადენის მქონე ბოლო შენაკადია. სათავე აქვს თრიალეთის ქედის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ფერდობზე მდებარე სოფელ ტაბახმელის გორაკბორცვიან ვაკეზე, ზღვის დონიდან 1025-1030 მ სიმაღლეზე. მტკვრის შესართავთან სიმაღლე 380 მ-ია, მდინარის ვარდნაა 645 მ, სიგრძე 8.5 კმ, საშუალო წლიური ხარჯი 0,2 მ³/წმ; შუა და ზემოწელში ჩაჭრილია შუაეოცენურ ვულკანოგენურ ქანებში, კრწანისის ვაკემდე, მდ. კრწანისისხევი გაედინება ვიწრო, ჭორომიან კანიონისებურ ხეობაში, ხოლო ქვემო წელში – კრწანისში. ვახტანგ გორგასლის ქუჩიდან მდ. მტკვართან შეერთებამდე მდ. კრწანისისხევი დაახლოებით 0.5 კმ სიგრძის მიწისქვეშა გვირაბში გაედინება. გვირაბის თავსა და მიმდებარე ტერიტორიებზე განთავსებულია ავტოსადგური, საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები [8]. 2013 წლის 12 მაისს მდ. კრწანისისხევეზე მოსულმა წყალმოვარდნამ, ღვარცოფული ნაკადის თანხლებით, დიდი ზიანი მიაყენა ქალაქის საზღვრებში მდებარე ამ მდინარის კალაპოტის გასწვრივ განლაგებულ საცხოვრებელ სახლებსა და სხვა დანიშნულების საინჟინრო ნაგებობს. სამწუხაროა, რომ ამ წყალმოვარდნასაც მოჰყვა ადამიანთა მსხვერპლი [4].

მდინარე გლდანისხევი (გლდანისწყალი, გლდანულა, ზემოწელში – ლელუბნისწყალი) – მდ. მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე პირველი

მარცხენა შენაკადია ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ საზღვრებში. სათავე აქვს საგურამოს ქედის სამხრეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 1160-1180 მ სიმაღლეზე. მდ. მტკვარს უერთდება ავჭალაში, ზღვის დონიდან 416 მ სიმაღლეზე. მდინარის ვარდნა საშუალოდ 660 მ-ია, მიემართება ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან სამხრეთ-დასავლეთისაკენ. მდ. გლდანისხევი, რომელიც იწყება ლელუბნისხევიდან, იერთებს რა მშრალიხევის წყლებს, მიედინება მამკოდისაკენ და შემდეგ, სოფელ გლდანის გავლით, ჩაედინება მტკვარში. აღნიშნულ მონაკვეთში, ანუ გლდანისხევის ზემოწელში, ვიდრე მშრალიხევთან შერთვამდე, მდინარე ცნობილია „ლელუბნისხევის“ სახელით (ამ მონაკვეთში იგი ვიწროა და ტყითაა შემოსილი), ქვემო მონაკვეთში კი „გლდანულა“ ეწოდება. ადგილობრივები მას „რიყს“ ეძახიან. სხვადასხვა ლიტერატურაში ის მოხსენიებულია, როგორც „ლელუბნისწყლის“, ასევე „გლდანისწყლის“ სახელით. მდ. გლდანისხევის საერთო სიგრძე დაახლოებით 18 კმ-ია, წყალშემკრები აუზის ფართობი 63 კმ², წყლის საშუალო წლიური ხარჯი 0,21 მ³/წმ. საზრდოობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით. მდინარეს ახასიათებს პერიოდული ძლიერი წყალმოვარდნები. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმოვარდნა – ზაფხულსა და შემოდგომაზე. ამ მდინარის წყლის მცირე ხარჯი აიხსნება მისი წყლის გამოყენებითა და ცოტა შენაკადებით. გლდანისხევის ხეობა შუა და ქვემო დინებაში ვრცელია და წარმოდგენილია სამეურნეოდ ვარგისი რიყით, ხრემით, სილითა და თიხით მოფენილი ქალის ტერასებით. აქვს დაბალნაპირებიანი კალაპოტი. გლდანისხევის ერთვის 9 მცირე შენაკადი. აღნიშნული მდინარეებიც ასევე მცირეწელიანობით ხასიათდება, ზაფხულის თვეებში ისინი თითქმის შრება. მდინარის მარჯვენა მხარეზე გაშენებულია თბილისის უბანი ავჭალა, მარცხენა მხარეზე კი უბანი გლდანულა. ქ. თბილისის განაშენიანებულ ნაწილში მდ. გლდანისწყლის ხეობის მონაკვეთის სიგრძე დაახლოებით 3 კმ-ს უდრის [6].

2010 წ. 23 ივნისს მდ. გლდანისწყალზე გავლილი ძლიერი წყალმოვარდნის დროს ქ. თბილისის საზღვრებში წყლის დონემ ამ მდინარის კალაპოტში 6-7 მ-ით აიწია. ამან გამოიწვია მდინარის ნაპირის ძლიერი ეროზია, ხიდის ჩამონგრევა და ადამიანების მსხვერპლი [4].

მდინარე ხევძმარი – მდ. მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე, მცირეწყლიანი მარცხენა შენაკადია. სათავე აქვს საგურამოს ქედის სამხრეთ ფერდობის ძირის გასწვრივ მდებარე გორაკ-ბორცვიან მთისწინეთში, ზღვის დონიდან დაახლოებით 900 მ სიმაღლეზე. მდ. მტკვარს იგი უეთდება ავჭალაში, ზღვის დონიდან 410 მ სიმაღლეზე. მდინარის სიგრძეა 13 კმ, ვარდნა 490 მ, წყალშემკრები აუზის ფართობია 56 კმ². მდ. ხევძმარს მისი აუზის შუაწელში მარცხნიდან უერთდება დროებითი ჩამონადენის მქონე სააფთრეხევი და სააგარაკო დასახლების ხევი. მდ. ხევძმარს მის შესართავთან ასევე მარცხნიდან უერთდება ზღვისუბნის დასახლების ტერიტორიაზე გამდინარე ხევისწყალიც. მდ. ხევძმარი თავისივე აუზის შუა ნაწილში აღმოსავლეთის მხრიდან გლდანის დასახლებული მასივის გასწვრივ ღია კალაპოტში გაედინება და მას უხიანის დასახლებული მასივისაგან გამოყოფს [8].

მდინარე კუკიისხევი (დიდხევი, არსენალისხევი) – მდ. მტკვრის მარცხენა მცირეწყლიანი შენაკადია. იგი დროებითი ჩამონადენის მქონე ხევია. სათავე აქვს მახათას მთაზე ზღვის დონიდან 600მ სიმაღლეზე. მტკვარს ერთვის ზაარბრიუკენის (ყოფილი ვორონცოვის) ხიდთან, ზღვის დონიდან 387 მ სიმაღლეზე. მისი სიგრძე 2,7 კმ-ია. კუკიისხევის ღია მონაკვეთი მთავრდება რკინიგზის ხაზთან (გ. გედევანიშვილის ქუჩა). აქ მდინარე შედის მიწისქვეშა გვირაბში და ჩაისუბნის, პ. ბუხაიძის, წმ. ნიკოლოზის ქუჩებისა და დიდხევის დაღმართის ქვეშ გავლით უერთდება მდ. მტკვარს [8].

მდინარე ჩულურეთისხევი (ავლაბრისხევი) – მდ. მტკვრის, მცირეწყლიანი, დროებითი ჩამონადენის მქონე მარცხენა შენაკადია. სათავე აქვს მახათას მთის ფერდობზე ზღვის დონიდან 580 მ სიმაღლეზე. მდ. მტკვარს უერთდება ზღვის დონიდან 385 მ სიმაღლეზე ბარათაშვილის ხიდთან. ჩულურეთის-

ხევის სიგრძე 1,5 კმ-ს უდრის. ამჟამად მდინარე თითქმის მთლიანად მიწისქვეშა გვირაბშია მოქცეული. ხევის სათავის რაიონიდან გვირაბი გადის ე. წ. სამხედრო დასახლების გვერდით, შემდეგ თ. მუჯირიშვილის და ფშავის ქუჩების ქვეშ. ფშავის ქუჩის ბოლოს გვირაბი რკინიგზის ხაზის ქვეშ არის მოქცეული და აქედან პ. ბუხაიძის, ელ. ახვლედიანის, ნ. ჩხეიძისა და კ. ხეთაგუროვის ქუჩების გავლით მდ. მტკვარს უერთდება [8].

მდინარე დოლაბაურისხევი – მდ. მტკვრის დროებითი ჩამონადენის მქონე, მარცხენა შენაკადია. სათავე აქვს მახათას მთაზე ზღვის დონიდან 600 მ სიმაღლეზე. მდ. მტკვართან შესართავი კი ზღვის დონიდან 368 მ სიმაღლეზეა. სიგრძე დაახლოებით 3,6 კმ. გაედინება ქ. თბილისის ძველ უბნებს – შავსოფელსა და ნავთლულს შორის. ამჟამად დოლაბაურისხევი მის შუა და ქვედა მონაკვეთებზე, გავრცელების დიდ მანძილზე, მიწისქვეშა გვირაბში გაედინება. მდ. დოლაბაურისხევი მიწისქვეშა გვირაბში შედის მისი შესართავიდან დაახლოებით 2 კმ-ის დაშორებით, ალ. თანდაშვილის ქუჩის ბოლოში. შესასვლელიდან გვირაბი თანმიმდევრობით გაივლის ალ. თანდაშვილის, ჯ. ბუმის, ალ. ზურაბიშვილისა და აწყურის ქუჩების, რკინიგზის ხაზის, მეტრო „ისანის“ წინმდებარე მოედნის, ქეთევან დედოფლის გამზირის, სტ. ჭრელაშვილის ქუჩის ქვეშ და მთავრდება მდ. მტკვრის ნაპირთან [8].

მდინარე ნავთლულისხევი (ნიაღვრისხევი, ვაზისუბნისხევი) – მდ. მტკვრის მცირეწყლიანი, დროებითი ჩამონადენის მქონე მარცხენა შენაკადია. სათავე აქვს მახათას მთის სამხრეთ-აღმოსავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან დაახლოებით 560 მ სიმაღლეზე, მდ. მტკვარს უერთდება დირსიჭალაში – წმ. ბარბარეს ეკლესიის ქვემოთ, ზღვის დონიდან 358 მ სიმაღლეზე, ამ მდინარის სიგრძეა 3,15 კმ. იგი ვაზისუბნის დასახლებული მასივის გვერდით გაედინება. მდ. ნავთლულისხევის ზედა ნაწილი ერთიმეორისაგან გამოყოფს მეტრომშენებელთა და ვაზისუბნის დასახლებებს. ქ. თბილისის დასახლებულ ნაწილში ნავთლულისხევი დაახლოებით 2 კმ მანძილზე მიწისქვეშა გვირაბში გაედინება. ა. მათიაშვილის ქუჩიდან გვირაბი გადის ვ. კოპცოვის, ს. ჯიქიას, ორბელეების ქუჩების, მეტრო „სამგორის“ მდებარეობის რაიონის,

კახეთის გზატკეცილისა და რკინიგზის მაგისტრალის ქვეშ. რკინიგზის მაგისტრალის ქვეშ გავლის შემდეგ მდ. ნავთლულისხევის გვირაბი გაივლის ქეთევან დედოფლის გამზირის, ნეველის, გაბრიელ სალოსის ქუჩების სავალი ნაწილის ქვეშ. გვირაბი მთავრდება მდ. მტკვართან შეერთების ადგილიდან 150-200 მ-ის დაშორებით, საიდანაც მდ. ნავთლულისხევი ღია სადინარით უერთდება მდ. მტკვარს [8].

მდინარე ორხევი – მდ. მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე მარცხენა შენაკადია. სათავე აქვს ივრის ზეგნის დასავლეთ მთაგორიან ნაწილში, თბილისის ზღვის აღმოსავლეთით, ზღვის დონიდან 850-900 მ სიმაღლეზე, მდ. მტკვართან მისი შესართავი ზღვის დონიდან 350 მ სიმაღლეზეა. ვარდნა - 550 მ-ია. მდინარე ორხევი, რომელიც მიედინება ივრის ზეგანზე, წარმოიქმნება მდინარეების – თეთრახევისა და ფორაქაანთხევის შეერთებით, რომლებიც ერთმანეთს უკავშირდება კახეთის რკინიგზის ხაზის სამხრეთით, ამ უკანასკნელის პარალელურად მდებარე ქიზიყის ქუჩასთან. მდინარეები თეთრახევი და ფორაქაანთხევი დედაქალაქის სამგორისა და ორხევის დასახლებების ტერიტორიებზე გაედინება და ზოგან მიწისქვეშა მოკლე გვირაბებშია მოქცეული. ეს გვირაბები თანმიმდევრულად მოწყობილია სამგორის ქვედა სარწყავი არხის აკვედუკის, კახეთის გზატკეცილის, კახეთის რკინიგზის ხაზისა და ქიზიყის ქუჩის სავალი ნაწილის ქვეშ. საკუთრივ მდ. ორხევი, ძირითადად, ღია ხეობაში გაედინება. ეს მდინარე მოკლე მიწისქვეშა გვირაბებში გადის მხოლოდ ა. ენუქიძის, გ. ლორთქიფანიძის, ქინძმარაულის ქუჩებისა და გარდაბნის გზატკეცილის ქვეშ. გარდაბნის გზატკეცილიდან 250 მ-ის დაშორებით, მდ. ორხევი ღია სადინარით უერთდება მდ. მტკვარს. მდ. ორხევის სიგრძეა 14 კმ, აუზის ფართობი 33.8კმ², წყლის საშუალო წლიური ხარჯი 0,07 მ³/წმ. იგი საზრდოობს წვიმის, მიწისქვეშა და თოვლის წყლით, - ახასიათებს წყალმცირობა. ორხევის მარცხენა მხარეს გაშენებულია თბილისის უბნები – ორხევი, ალექსეევკა; მარჯვენა მხარეს – ვარკეთილი და ნავთლუდი-II [8].

ლოჭინი (ლოჭინისხევი, ომანისხევი) – მდ. მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე ბოლო მარცხენა შენაკადია დედაქალაქის ადმინისტრაციულ საზღვრებში. მისი სათავე იწყება იალნოს ქედის სამხრეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 1085 მ სიმაღლეზე. მიედინება ივრის ზეგანზე, მტკვარს ერთვის ფონიჭალასთან, ქ. თბილისის სამხრეთ-აღმოსავლეთის საზღვარზე. მდინარის სიგრძეა 30 კმ, აუზის ფართობი – 207 კმ². წყლის საშუალო წლიური ხარჯია 0,78 მ³/წმ. იგი მდინარეების – ნორიოსხევისა და მარტყოფისხევის შეერთებით იქმნება. ვაზიანის დასახლების ახლოს კი მდ. ლოჭინს მარცხნიდან საცხენისისხევი ერთვის. მისი მთავარი შენაკადებია ნორიოსხევი, ალისხევი, საცხენისისხევი, ლილოსხევი. საზრდოობს წვიმის, თოვლისა და მიწისქვეშა წყლით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმცირობა – ზამთარში, წყალმოვარდნა – ზაფხულსა და შემოდგომაზე. მდინარის წყალს იყენებენ სარწყავად. ხეობაში მცირე რაოდენობით მიმდინარეობს ნავთობის მოპოვება, რაც საგრძნობლად აზიანებს გარემოს. ამას ემატება ისიც, რომ მდინარეს ძალიან აბინძურებს კომპანია „კასტელის“ ლუდის საწარმოდან ნამუშევარი ჩამდინარე წყლები. მდ. ლოჭინის მარჯვენა მხარეს გაშენებულია თბილისის უბანი ლილო [8].

აღწერილი მდინარეების გარდა, ქ. თბილისის მიდამოების ჰიდროგრაფიული ქსელის მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს მშრალი ხევეები, რომლებიც ძლიერი წვიმების დროს მღვრიე წყლით ივსება და მტკვარში ჩააქვს სხვადასხვა სახის ნატანი. საერთოდ, მცირე მდინარეებისა და ხევეებისათვის დამახასიათებელია ღვარცოფული მოვლენები, რითაც არაერთხელ დაზარალებულა ქალაქი და მისი შემოგარენი.

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ განხილულ მდინარეთა ხეობებიდან თითქმის ყველა მათგანი იმყოფება მძიმე ეკოლოგიურ მდგომარეობაში. მათი კალაპოტები და ჭალები ათვისებულია საცხოვრებელი და სხვა დანიშნულების მქონე ნაგებობებით, ხოლო ღია კალაპოტები კი ზოგჯერ წარმოადგენს ფეკალური მასების საკანალიზაციო სისტემას და მათში უხვად იყრება

საყოფაცხოვრებო ნარჩენებიც. ამის გამო, მათი წყალი ძლიერ დაბინძურებულია, ხოლო კალაპოტების წყალგამტარობა კი საგრძნობლად შემცირებული. მდინარეთა მაღალი წყლიანობის დროს შეიძლება მოხდეს შენობა-ნაგებობების დატბორვა და დაზიანება. მდინარეთა აუზებში არსებული მეწყრული მოვლენები ზოგჯერ კეტავს მათ კალაპოტებს და შემდეგ მათი გარღვევა უკვე იწვევს კატასტროფულ მოვლენებს.

დასასრულს, უნდა ითქვას, რომ დედაქალაქის ადმინისტრაციულ ფარგლებში გამდინარე თხუთმეტივე მიკროშენაკადისათვის დამახასიათებელ თავისებურებათა ურთიერთშეჯერებით განზოგადებული სახით დგინდება ის ერთგვარი კანონზომიერება, რომ მუდმივი ჩამონადენის მქონე რვა მიკროშენაკადი, პირობითად წყვილ-წყვილად, ერთმანეთის მიყოლებით ჩაედინება მდ. მტკვარში, მის როგორც მარცხენა, ასევე მარჯვენა მხარეს, ჯერ ქალაქის შემოსასვლელსა და შემდეგ მისგან გასასვლელში. მდინარეთა ეს ოთხი პირობითი წყვილი კი შემდეგია: მდ. მტკვრის მარცხენა მხრიდან გლდანისხევი-ხევძმარი (ქალაქის შემოსასვლელისკენ) და ორხევი-ლოჭინი (ქალაქიდან გასასვლელისაკენ); ასევე მდ. მტკვრის მარჯვენა მხრიდან დილმისწყალი-ვერე (თბილისის შემოსასვლელის მიმდებარედ) და კრწანისისხევი-წავკისისწყალი (თბილისიდან გასასვლელის მიმდებარედ).

ნიშანდობლივია ისიც, რომ მდ. მტკვარს, მის გაყოლებაზე, ორივე მხრიდან, პირობითად დაწყვილებულ მდინარეთა შორის შუალედებში, მხოლოდ და მხოლოდ პერიოდული ჩამონადენის მქონე მიკროშენაკადები უერთდება. გარდა ამისა, ზოგადად, მდ. მტკვრის ყველა განხილული თხუთმეტივე მიკროშენაკადიდან გამორჩეულად მხოლოდ ორხევი-ლოჭინის სამდინარეო წყვილია ისეთი, რომელთა კალაპოტებიც გაედინება არამარტო დედაქალაქის დასახლებული უბნების მახლობლად, არამედ სამრეწველო ობიექტების მხრიდან გარემომცველ გარემოზე მავნე ანთროპოგენური ზემოქმედებით გამორჩეული სამრეწველო ზონების მიმდებარედაც. მდინარეთა ამ გამორჩეული წყვილისათვის ეს კიდევ ერთი დამატებითი ფაქტორი და ძლიერი

არგუმენტია იმ ძირითადი კრიტერიუმების ჩამონათვალში, რაც ორივე მათგანის მიმართ, სადისერტაციო თემატიკის მიხედვით სამეცნიერო კვლევების ჩასატარებლად, მათი როგორც ძირითად შესასწავლ სამდინარეო ობიექტებად შერჩევაში იქნება გამოყენებული.

1.2. საკვლევი არეალის შერჩევა და მისი ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათება

წინამდებარე ქვეთავში მოცემულია ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მოქცეული მდ. მტკვრის აუზის 15 მიკროშენაკადის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მახასიათებლებისა და მათი გეოეკოლოგიური პირობების ზოგადი მიმოხილვითი ანალიზი. იგი განხორციელდა სათანადო ლიტერატურულ წყაროებსა და ინტერნეტში მოკვლეულ ინფორმაციულ მასალებზე დაყრდნობით და ზოგჯერ სავლელ კვლევათა განხორციელების გზით. ამ დაგროვილი, მეტად საინტერესო და მდიდარი მასალის საფუძვლიანი გადამუშავებით გაკეთდა დასკვნა, რომლითაც სადისერტაციო კვლევის ძირითად ობიექტებად შეირჩა მდ. მტკვრის ორი მიკროშენაკადი – მდინარეები ლოჭინი და ორხევი. ასეთი არჩევანის გაკეთების აუცილებლობა განაპირობა უპირველესად, იმ ფაქტმა, რომ აღნიშნული მდინარეები, მდ. მტკვრის სხვა მიკროშენაკადებისაგან განსხვავებით, გეოგრაფიულად მოქცეულია დედაქალაქიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარე სამრეწველო ზონაში, რომელიც სხვადასხვა სამრეწველო საწარმოთა მხრიდან გარემომცველ გარემოზე ძლიერი ანთროპოგენური ზემოქმედებისა და ეკოლოგიურად მავნე დატვირთვების მატარებელ ტერიტორიულ არეალს წარმოადგენს. არსებითად, სწორედ ამ არეალის ანთროპოგენური ზემოქმედება, წინასწარ შერჩეულ ორივე მდინარეზე, გახდა სავლელ და საძიებო ექსპერიმენტულ სამეცნიერო კვლევათა განხორციელების ძირითადი თემატური ობიექტი (სურათი 1).

ასევე არანაკლებ მნიშვნელოვანია აღნიშნულ მდინარეთა შერჩევის მეორე კრიტერიუმიც, რომლითაც ხაზი გაესვა მუდმივი ჩამონადენის არსებობას ამ ორი სამდინარეო ობიექტისათვის, მდ. მტკვრის, სხვა უმეტესად,

პერიოდული ჩამონადენის მქონე მიკროშენაკადებისაგან განსხვავებით, რაც ორივე მათგანზე მთელი კალენდარული წლის განმავლობაში სისტემატური სეზონური სამეცნიერო დაკვირვების და საველე ექსპერიმენტების ჩატარების შესაძლებლობას იძლეოდა.



სურათი 1. საკვლევე არეალის სიტუაციური რუკა-სქემა

სადისერტაციო კვლევის შემდგომ ეტაპს წარმოადგენდა უკვე შერჩეული საკვლევე არეალისათვის ისეთი ფიზიკურ-გეოგრაფიული მახასიათებლების დადგენა, როგორცაა, მისი გეოგრაფიული ადგილმდებარეობა და საზღვრები, რელიეფი, ჰავა და მიკროკლიმატი, ლანდშაფტები, ნიადაგები, ფლორა და ფაუნა [7].

როგორც სურათი 1-დან ჩანს, ქ. თბილისისათვის მდ. მტკვრის ამ ორი მიკროშენაკადის წყალშემკრებ აუზთა მიმდებარედ არსებული მიდამოების, ჩვენს მიერ პირობითი გაერთიანების გზით წარმოქმნილი საკვლევე არეალის ოროგრაფიის ძირითად ელემენტს დაბალი სერები, ბორცვიანი გორაკები და ტაფობები შეადგენს. დედაქალაქისათვის ეს საგარეუბნო მიდამოები ვაკე ტერიტორიას წარმოადგენს. ამ წარმონაქმნში ერთადერთი მთიანი ადგილია იალნოს ქედი, რომლის ქვედა ფერდობები და მთისწინეთი ქალაქის ადმინისტრაციულ საზღვრებშია მოქცეული. აღნიშნული ქედის კალთა საკმაოდ

ციცაბოა და იგი დანაწევრებულია საკვლევ მდინარეთა წყალშემკრები აუზებითა და მშრალი ხევებით, რომელთა შორისაც ტყით შემოსილი სერებიცაა მოქცეული. შედარებით დამრეცია მისი მთისწინეთი, რომელიც თანდათანობით გადადის ივრის ზეგანში [9].

უფრო სამხრეთით, მდ. ლოჭინის ხეობაში მდებარეობს დახრილვაკიანი სივრცე, რომელიც ადგილობრივი მოსახლეობის მიერ სამეურნეო მიზნით არის ათვისებული. აქვეა საქართველოს მასშტაბით ისეთი მსხვილი სასოფლო დასახლებანი, როგორცაა – მარტყოფი და ნორიო; კიდევ უფრო სამხრეთით კი მდებარეობს სუსტად დაბორცვილი სამგორის პლატო, რომლის ბრტყელი და სუსტად დანაწევრებული რელიეფი ასევე მკვიდრი მოსახლეობის მხრიდან არის ათვისებული და დასახლებული, რაც წარმოდგენილია სამგორისა და გამარჯვების სასოფლო სავარგულების ტერიტორიათა სახით. ივრის ზეგნის ჩრდილო დასავლეთი ნაწილი კი წარმოდგენილია ბორცვიანი ვაკის სახით, რომლის რელიეფშიც ერთმანეთთან შეხამებულია მცირე სიმაღლის მთები, დაბალი სერები, მათ შორის მოქცეული ბრტყელძირა ტაფობი და მშრალი ხევებიც, რომელიც ასევე დედაქალაქის ადმინისტრაციულ საზღვრებშია მოქცეული და შესაბამისად, წარმოდგენილია დიდი და პატარა ლილოს საგარეუბნო დასახლებებით [9].

საკვლევ არეალში, ისევე როგორც მთლიანად დედაქალაქსა და მის მიდამოებში, შეიმჩნევა ბუნებრივი ლანდშაფტების მონაცვლეობა, რაც ბუნებრივი კომპლექსების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობით არის განპირობებული. აქ ძირითადად გავრცელებულია ორი ტიპისა და ერთი ქვეტიპის ლანდშაფტი. ასე მაგალითად, თუკი, აღნიშნული არეალის სამხრეთით და სამხრეთ-აღმოსავლეთით სტეპური ლანდშაფტია, არეალის ჩრდილოეთი და ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილი უკვე მთა-ტყის ლანდშაფტებითაა წარმოდგენილი, რომელიც მეტ-ნაკლებად ხელუხლებელია და ამასთანავე ისინი სიმაღლებრივ ზონებსაც ქმნის. ქალაქის ადგილობრივი მკვიდრი მოსახლეობის სამეურნეო საქმიანობიდან გამომდინარე, ანთროპოგენური ფაქტორის

ზეგავლენით, საკვლევი არეალის დასავლეთ და სამხრეთ დასავლეთ ნაწილში, სადაც ძირითადად საქალაქო ტიპის საცხოვრებელი დასახლებებია ერთმანეთის მიყოლებით თავმოყრილი, პირველადი, ბუნებრივი ლანდშაფტები უკიდურესად დარღვეულია და მათ ნაცვლად შექმნილია ე.წ. საქალაქო-სამოსახლო კულტურული ლანდშაფტი [10].

საკვლევი არეალის გეოლოგიური აგებულება და შესაბამისად, მისი რელიეფიც, ძირითადად, მესამეული ასაკის, უპირატესად კი, მიოცენის დანალექებით არის წარმოდგენილი, რომლის სამხრეთ ნაწილში გავრცელებულია ზედა ეოცენის თაბაშირიანი თიხები და ქვიშაქვები, ხოლო ჩრდილოეთის მხრიდან მას ენაცვლება ოლიგოცენ-შუა მიოცენის ასაკის თაბაშირიანი თიხები და ქვიშაქვები [11].

საკვლევი არეალის ჩრდილოეთ ნაწილში მდებარე იალნოს ქედის მთისწინეთში რელიეფის სუბსტრასტს წარმოადგენს შუამიოცენური თიხები, რომლის სამხრეთი ფერდობი აგებულია ზედა სარმატის კონტინენტური ფერადი თიხებით, ქვიშაქვებითა და კონგლომერატებით. თუმცა, აღნიშნული ქედის თხემურ ნაწილში მათ ცვლის მიო-პლიოცენის ასაკის თიხებისა და ქვიშაქვების შუაშრებიანი კონგლომერატები. ამავე მიდამოებში ზოგჯერ ასევე არის ქვედა სარმატის თიხების, ქვიშაქვების, უფრო იშვიათად კი კირქვებისა და მერგელების ცალკეული გამოვლინებანი. რადგანაც ორივე საკვლევი სამდინარეო ობიექტი მდ. მტკვრის მიკროშენაკადებია და საბოლოოდ მას უერთდება, ამიტომ საინტერესოა მათსავე საკალაპოტე გაყოლებაზე არსებულ ტერიტორიათა გეოლოგიური აგებულებაც, რომელიც ძირითადად წარმოდგენილია მეოთხეული ასაკის ალუვიური დანალექებით, კენჭნარებით, ქვიშებით, თიხნარითა და თიხებით აგებული ქანებით, ხოლო ივრის ზეგნიდან მდ. მტკვრისაკენ დაშვებული კალთებზე გვხვდება დელუვიურ-პროლუვიური ნაფენები, რომლებიც მეტწილად შედგება თიხნარების, ლიოსისებრი თიხებისა და ღორღისაგან [11].

ნიადაგური საფარის [12] მხრივ საკვლევი არეალი წარმოდგენილია უპირატესად საშუალო და დიდი სისქის მქონე მძიმე თიხნარი და თიხიანი,

უმეტესად სარწყავი მდელის რუხი-ყავისფერი ნიადაგებით, რომლებიც ჩამოყალიბებულია ლიოსისებრ ქანებზე, ძველ ალუვიურ და დელუვიურ დანალექებზე. ეს ნიადაგები მოქცეულია სტეპის ბალახოვანი მცენარეულობის, განსაკუთრებით კი უროიანების საფარის ქვეშ.

იალნოს ქედის სამხრეთ კალთაზე მთის ტყეთა ქვედა ზონაში გვხვდება ტყის ყავისფერი მცირე სისქის მქონე ნიადაგები, რომელნიც ჩამოყალიბებულია უმთავრესად თიხაფიქალებისა და ქვიშაქვების გამოფიტვის პროდუქტებზე, ნაწილობრივ ლიოსისებრ დანალექებზე. იალნოს ქედის სამხრეთ მთისწინეთში, ასევე ივრის ზეგნის ზოგ ადგილებში მიწის საფარველი მცირე სისქის მქონე ხირხატიანი ყავისფერი ნიადაგებითაც არის გამოხატული.

საკვლევ მდინარეთა სათავეებთან, კერძოდ, თბილისის ზღვის აღმოსავლეთით მოსაზღვრე ტერიტორიებზე, ასევე ივრის ზეგნის მიმდებარე ტერიტორიები ჯაგ-ეკლიანი სტეპური ლანდშაფტით არის წარმოდგენილი. იალნოს ქედის სამხრეთ კალთაზე 900-1100 მ-ის ზემოთ ტყის ყავისფერ ნიადაგებს ცვლის ტყის ყომრალი ნიადაგები. მათ ახასიათებთ კარგად გამოხატული ჰუმუსიანი ჰორიზონტი, რელიეფის მნიშვნელოვანი დახრის გამო მცირე სისქე და ხირხატიანობა. თბილისის ადმინისტრაციულ საზღვრებში მოქცეული საკვლევი წყლის ობიექტების ტერიტორიაზე მცირე ფართობით ასევე წარმოდგენილია ალუვიური ნიადაგები, რომლებიც საკვლევ მდინარეთა ხეობების დაბალ ტერასებზეა მოქცეული. ეს ნიადაგები, თავის მხრივ ხასიათდება კარგი სტრუქტურითა და ფიზიკური თვისებებით [12].

საკვლევი არეალის რელიეფის ასეთი სირთულე და სიჭრელე თავისებურად არის ასახული ჰავასა და მიკროკლიმატურ პარამეტრებში [13]. ქალაქის საგარეუბნო შემოგარენის ამ ტერიტორიებზე ზოგადად მშრალი სუბტროპიკული ჰავაა, რომელიც გარდამავალია ვაკე ადგილებში გამოხატული ზომიერად თბილი სტეპური ჰავიდან (როცა ზამთარი შედარებით თბილია და ზაფხული კი ცხელი) მთიან ადგილებში გამოვლენილ ზომიერად ნოტიო ჰავაში (როცა ზომიერად ცივი ზამთარია და ზაფხული კი ხანგრძლივად თბილი). საშუალო წლიური ტემპერატურა 12,7°-ია. ყველაზე

ცივი თვეა იანვარი. ამ დროს, ადგილმდებარეობის მიხედვით, ტემპერატურა ცვალებადია $+0,3^{\circ}$ -დან $-5-6^{\circ}$ -მდე; ხოლო ყველაზე ცხელი თვეებია ივლის-აგვისტო, როცა ტემპერატურა ასევე კვლავ ადგილმდებარეობიდან გამომდინარე $+22^{\circ}$ -დან 33° -მდეც კი მერყეობს; ნალექების რაოდენობა წელიწადში საშუალოდ 560-570 მმ-ია, თუმცა ზოგიერთ ადგილებში იგი მნიშვნელოვნად უფრო დაბალი მაჩვენებლებითაც გამოირჩევა, რაც, თავის მხრივ, გვალვიანობით არის განპირობებული.

საკვლევ არეალში მთელი წლის განმავლობაში ძირითადად გაბატონებულია ჩრდილო-დასავლეთის ქარები, რომელიც მდ. მტკვრის მიმართულებას ემთხვევა. განსაკუთრებით აღინიშნება სამგორის ველზე. უფრო იშვიათია სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარები. ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე უდრის 2,4 მ/წმ-ს, რომელიც ზოგ ადგილებში ზოგჯერ ძლიერ მატულობს გაზაფხულზე და ასევე შესამჩნევად სუსტდება შემოდგომა-ზამთარში [13].

საკვლევი არეალის მცენარეული საფარი [14] წარმოდგენილია კარგად გამოხატული მეორადი უროიანი სტეპისათვის დამახასიათებელი ბალახეული მცენარეულობით, როგორცაა: სათითურა, ტიმოთელა, ჩვეულებრივი იონჯა, მწვანე მარწყვი, კუტი ბალახი, კოფრჩხილა, ლურჯი ნარი, სავარცხელა, ნაცარა და სხვა.

ივრის ზეგანზე და თბილისის ზღვის აღმოსავლეთით მიმდებარე ტერიტორიებზე გვხვდება ველური ფლორის უროიან-წივანიანი დაჯგუფება, რომლებიც წარმოდგენილია შემდეგი სახეობებით: ურო, წივანა, ბოლქვიანი თივაქასრა, გლერძი, ქუჩი, ჩიტისთვალა, ვაციწვერა და სხვა. ივრის ზეგანსა და იალნოს ქედის მთისწინეთში ვრცელი ფართობები უკავია ჯაგეკლიან სტეპებს, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ჯაგეკლიანი ბუჩქნარი, სადაც ძირითადად გაბატონებულია ძეძვი; აქ ასევე გვხვდება: გრაკლა, ქონდარა ნუში, შავჯაგა, დაბუჩქული მუხა, ბერყენი, ჯაგრცხილა. ალაგ-ალაგ შეინიშნება კვრინჩხი და საღსადაჯი, ხოლო ბუჩქნარებს შორის ადგილებში ვითარდება სამყურა, მდელოს თივაქასრა, შვრია, ყანის ჩიტისთვალა.

საკვლევ მდინარეთა ხეობების ზემო ნაწილში ჯაგეკლიანი სტეპები გადადის მუხნარ-ჯაგრცხილნარში, სადაც უკვე გავრცელებულია ნეკერჩხალი, კუნელი, შინდი, ზღმარტლი და სხვა სახეობანი. იალნოს ქედის სამხრეთ ფერდობებზე, კიდევ უფრო ზემოთ, ჯაგეკლიან სტეპებს თანდათანობით ცვლის მთის ტყეები, რომლებიც წარმოდგენილია მუხის, რცხილისა და წიფელისაგან. ადგილობრივი მოსახლეობის მხრიდან, თითქმის სისტემატური, დაუზოგავი ჭრისაგან გამომდინარე, ქვედა ფერდობებზე ტყეები ამჟამად სრულად გაჩანაგებულია, რომელიც, თავის მხრივ, ჩაანაცვლა ჯაგეკლიანმა ბუჩქნარებმა [14].

საკვლევ არეალში ფაუნის მხრივ გავრცელებულია როგორც სტეპების, ასევე ტყის ეკოსისტემებისათვის დამახასიათებელი ცხოველთა სახეობანი. ეს უკანასკნელნი ადამიანის მხრიდან ძლიერ ანთროპოგენურ ზემოქმედებას ყოველთვის განიცდიდა და ბუნებრივია, ახლაც განიცდის [15, 16].

სამგორის ველის სტეპის მიდამოებისათვის თუკი დამახასიათებელია მელა, ტურა და ლერწმის კატა, დაბალი ზონის ტყეებსა და ბუჩქნარებში ბინადრობს ტყის კატა, მაჩვი და სხვ. აქაურ სტეპებში გავრცელებული მღრნელებიდან აღსანიშნავია სტეპის თაგვი, რუხი ზაზუნა, თეთრყელა კვერნა, დედოფალა და სხვ. აქა-იქ ასევე შესამჩნევია კურდღელიც. ივრის ზეგანზე კი ბინადრობენ: ძვიფასბეწვიანი ძილგუდა, თხუნელა, მემინდვრია. სტეპის ფრინველებიდან აღსანიშნავია მინდვრის ბელურა, ტოროლა, ღაჟო, გრატა, წიწკინა და ოფოფი. ტყის დაბალ ზონაში ბუდობენ კვირიონი, თვალჭყეტია, კაჭკაჭი. სტეპებისათვის, ასევე დამახასიათებელია სარსარაკი, სავათი, მწყერი, დურაჯი და გნოლი. მტაცებელი ფრინველებიდან კი აქა-იქ შეინიშნება სტეპის არწივი. სტეპების ქვეწარმავლებიდან აღსანიშნავია ხმელეთისა და წყლის კუ, ასევე გავრცელებულია სხვადასხვა სახის გველი და ხვლიკი, ამფიბიებიდან კი გომბეშო [16].

ასევე ნაირგვარია იალნოს ქედის სამხრეთის კალთებზე გავრცელებული ორნითოფაუნა: ყვავი, ჭილყვავი, შოშია, ჩიტბატონა, კულუმბური, ჭივჭავი, სკვინჩა, ყვითელმუცელა ყარანა, ჩიტბატონა, ჭინჭრაქა, შაშვი. ტყის ზონაში

ბევრია კოდალა, გუგული, ჭოტი და ბუ. ბუჩქნარებში ბინადრობენ ტყის ქათამი, შავგულა და სხვა. ტყის ზონაში კი მტაცებელ ფრინველებს წარმოადგენს: ძერა, ქორი და არწივი [15]. გარდა ამისა, საკვლევ მდინარეებში ბინადრობენ იხთიოფაუნის ზოგიერთ სახეობათა ისეთი წარმომადგენლები, როგორცაა: წვერა, ფრიტა, გოჭილა, სალამურა, თაღლითა, წითელტუჩა ჭერები და სხვა.

1.3. მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ევროპული გამოცდილება

ურბოეკოლოგიაში ზოგადად მიღებულია, რომ წყლის ობიექტების მდგომარეობა დიდი ქალაქებისათვის წარმოადგენს მათი ეკოლოგიური კეთილდღეობის უმნიშვნელოვანეს მაჩვენებელს, რადგანაც მდინარეები და სხვა ტიპის წყალსატევები ქმნიან განუყოფელ ელემენტს ქალაქის მთლიან ლანდშაფტურ-არქიტექტურულ სისტემაში. ამასთანავე, ისინი ასრულებს არანაკლებ მნიშვნელოვან სანიტარულ-ბიოლოგიურ, კლიმატწარმომქნელ, კულტურულ-ისტორიულ და რეკრეაციულ ფუნქციებსაც.

რევიტალიზაციის კუთხით ქალაქის ფარგლებში ეკოლოგიურად მიმზიდველი სამდინარეო ქსელის ფორმირების პირობებს წარმოადგენს [17]:

- მდინარის ხეობების მაქსიმალური შენარჩუნება, რომლებიც უზრუნველყოფს ბუნებრივი კომპლექსის რეგულაციას;
- სამდინარეო ქსელის უწყვეტობა;
- მცენარეთა და ცხოველთა სახეობრივი შემადგენლობის მრავალფეროვნების შენარჩუნება, რომელიც წარმოადგენს მათივე ცხოვრების პირობების ინდიკატორებს და რეკრეაციულად მიმზიდველია;
- მდინარის ჭალისა და სანაპირო ტერიტორიების კავშირის უზრუნველყოფა ქალაქის ბუნებრივი კომპლექსის მსხვილფართობებიან ობიექტებთან და ქალაქის ჰიდროქსელის ბაზაზე საქალაქო ურბანიზებული ტერიტორიების მდგრადი გამწვანების ერთიანი სისტემის შექმნა.

როგორც საზღვარგარეთული ქვეყნების გამოცდილებამ აჩვენა, ყველაზე დამაკმაყოფილებელ შედეგებს იძლევა წყალსადინართა აღდგენა იმ პერიოდის დონემდე, რომელიც მოცემული რეგიონის ინდუსტრიული ათვისების წინმსწრებია. მსგავსი პროგრამები მოიცავს არა მხოლოდ იმ ღონისძიებებს, რომლებიც მდინარეთა წყლის ხარისხის გაუმჯობესებისაკენ არის მიმართული, არამედ მათზე არსებულ, იდენტური პერიოდისათვის დამახასიათებელ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა რეკონსტრუქციასაც.

ამჟამად პრაქტიკაში წარმატებით რეალიზებულად ითვლება პირველად ცენტრალურ ევროპაში განხორციელებული საერთაშორისო სრულფასოვანი პროექტი REURIS, რომელიც მთლიანდ მცირე მდინარეთა ხეობების ფრაგმენტულ რევიტალიზაციაზე მიმართულ გადაწყვეტილებებს წარმოადგენს. მოცემული პროექტის მიზნად თავიდანვე დასახულ იქნა ისეთი სტრატეგიისა და ქმედებების განსაზღვრა, რომლებიც მიმართული იქნებოდა საქალაქო მდინარისპირა დარღვეული ტერიტორიების აღდგენისა და კულტურული მემკვიდრეობის ელემენტების აღორძინებისაკენ, რაც შემდგომში განაპირობებდა დაბალანსებულ მენეჯმენტს რევიტალიზაციურ რაიონებში [18,19].

აღნიშნულ პროექტში მონაწილეობდა 8 პარტნიორი, რომლებიც წარმოადგენდნენ 6 რეგიონს სამ სახელმწიფოში: პოლონეთი (კატოვიცე, ბიდგომში), ჩეხეთი (პლზენი, ბრნო) და გერმანია (შტუტგარტი, ლიპსკი). ეს პროექტი მოიცავდა საპილოტე აქციებს, თითოს ყოველ დასახელებულ რეგიონში. ამ საპილოტე აქციების მიზანს წარმოადგენდა რევიტალიზაციის სტრატეგიიდან პრაქტიკაზე გადასვლის დემონსტრირება, როგორც ზოგადი წესების, ასევე ცალკეული რეგიონისა და წყლის ობიექტის სპეციფიკიდან გამომდინარე გადაწყვეტილებათა განსაზღვრელად. ყოველი საპილოტე აქცია შეეხებოდა მხოლოდ ერთ ან რამდენიმე შერჩეულ ადგილს კონკრეტულ მდინარის ხეობაში, ასე მაგალითად, მდინარის ნაპირის (სიგრძით რამდენიმე ათეული მეტრიდან ასეულ მეტრამდე) ანდა მდინარის ხეობის წინასწარ

განსაზღვრული 1-2 ჰა ფართობის მქონე ფრაგმენტის განაშენიანებასა და კეთილმოწყობას [18,19].

პროექტის მონაწილე ქვეყანათა მხრიდან ჩატარებული ღონისძიებები მოიცავდა შემდეგი სახის აქტივობების განხორციელებას [18,19].

- ჩასატარებელ ღონისძიებათა ერთობლივად დაგეგმვას, ადგილობრივი მკვიდრი მოსახლეობის თანამონაწილეობით;
- ტექნიკური პროექტის შემუშავებას;
- ინვესტიციების მოძიებას;
- შედეგების მონიტორინგს;
- პრაქტიკული რეკომენდაციების შემუშავებასა და გამოქვეყნებას.

REURIS-ის მსგავსი პროექტების პრაქტიკაში დანერგვის გზით რეალიზებულმა გადაწყვეტილებებმა, თუნდაც ქალაქის მასშტაბით, უნდა განაპირობოს კიდევ მთლიანად რეგიონის კონკურენტუნარიანობა – მოწესრიგებული და განაშენიანებული სივრცეების შექმნა, ზოგადად, გარემომცველი გარემოს ხარისხის ამაღლება, აგრეთვე გარემოზე ნეგატიურ ზემოქმედებათა შემცირება, რასაც მივეყვართ ურბანიზებული სივრცეების ფუნქციურობის ამაღლებისაკენ. საბოლოო შედეგი კი არის ის, რომ ადგილი აქვს მდინარისპირა ტერიტორიების მიმზიდველობის მომატებას, როგორც ადგილობრივ მცხოვრებთათვის, ასევე ინვესტორებისთვისაც [18,19].

ამრიგად, წარმატებული ევროპული პრაქტიკის გათვალისწინებით, მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის პროექტის სარეალიზაციო ძირითადი პრინციპების ფორმულირება შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგნაირად:

1. მცირე მდინარეთა ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ყველაზე უფრო გავრცელებულ ხერხს წარმოადგენს მისივე ხეობის გადაქცევა ურბანული განაშენიანების საპარკო ზონად, რაც საშუალებას იძლევა ერთდროულად განხორციელდეს ლანდშაფტის მაფორმირებელი, ბუნებისდაცვითი, წყალდაცვითი, გამაჯანსაღებელი და რეკრეაციული ფუნქციები;

2. ბუნებრივი ტერიტორიების რეკონსტრუქცია და კულტურული მემკვიდრეობის აღდგენა ყველაზე უფრო ხშირად იგეგმება იმ პერიოდის დონეზე, რომელიც მოცემული რეგიონის ინდუსტრიული ათვისების წინმსწრებაა;
3. პროექტის ფინანსირების ძირითად წყაროს წარმოადგენს ქალაქის მერიის ბიუჯეტი, მაგრამ უფრო სასურველია, თუკი შესაძლებელი იქნება კერძო ინვესტიციების მოზიდვა;
4. აუცილებელია პროექტში ადგილობრივად მცხოვრები მოსახლეობის სოციალური ჩართულობა.

დღეისათვის ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში მოქცეული მდ. მტკვრის მიკროშენაკადთა უმეტესობისათვის დამახასიათებელია მათი ანთროპოგენური ტრანსფორმაციის მაღალი ხარისხი, რაც ამ მცირე მდინარეთა უმეტესობისათვის, მეტნაკლები ჯერადობითა და პროპორციულობით, მილგაყვანილობაში მოქცევითა და სანიაღვრე-საკანალიზაციო კოლექტორებად აღქმაში გამოიხატება.

ცნობილია, რომ მცირე მდინარეთა სამდინარეო კოლექტორებად გადაქცევა იწვევს მთელ რიგ შეუქცევად ეკოლოგიურ დანაკარგებს, რომელთაგანაც უმთავრესია ის, რომ ამით ირღვევა ამ მდინარეთა ბუნებრივი თვითგანწმენდის მექანიზმი; ხდება ლიკვიდაცია მათი ხეობების, რომლებიც ქალაქში ასრულებს ერთგვარი „ეკოლოგიური დერეფნების“ როლს.

ბუნებრივია, წარმოდგენილ ქვეთავში განხილული საკითხის სირთულიდან გამომდინარე, ჩვენ ვერ გვექნებოდა ქ. თბილისის მასშტაბით სამდინარეო ქსელის თუნდაც მისი ერთი ან რამდენიმე მიკროშენაკადის სრული რეაბილიტაცია-რევიტალიზაციის განხორციელების პრეტენზია. ამიტომაც საკვლევად შერჩეული ორი მდინარიდან, გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედების შემარბილებელი და ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ერთგვარი პრევენციული ღონისძიების განსახორციელებლად, ჩვენი დამატებითი არჩევანი გაკეთდა მდ. ლოჭინსა და ღვარცოფული მიდრეკილებებით გამორჩეულ მის მცირე შენაკად ალისხევზე, რომლებიც, განსხვავებით მდ. ორხევისაგან, არ არის მოქცეული მილგაყვანილობაში ან/და დახურული

ტიპის კოლექტორებში. ამიტომაც მათი ღია და გახსნილი ხეობები და კალაპოტები ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ამ ნაშრომით წარმოდგენილი ღონისძიების განხორციელების შემდგომ სამომავლოდ ჩვენი დედაქალაქისათვის „ეკოლოგიური დერეფნების“ მისიასაც წარმატებით შეასრულებს

დღეისათვის ქ. თბილისის საწყლოსნო მწვანე სისტემის კომპლექსური რესტავრაცია და აღორძინებულ მცირე მდინარეთა ბაზაზე „ეკოლოგიური დერეფნების“ ქსელის შექმნა შეძლებს წარმატებით გადაჭრას ჩვენი დედაქალაქის გარემოსდაცვითი პრობლემები. მცირე მდინარეთა აღდგენის, მათი შენარჩუნებისა და ეკოლოგიური რევიტალიზაციის ამოცანები უნდა გადაწყდეს წყლის ობიექტების მიმდებარე ტერიტორიების კეთილმოწყობის ღონისძიებებთან ერთობლივად, რომლებიც, თავის მხრივ, ახდენს საკუთრივ წყლის ობიექტების ხარისხისა და მდგომარეობის ფორმირებას, ქმნის ურბანული გარემოს ლანდშაფტს, უზრუნველყოფს ჩვენი დედაქალაქის რეკრეაციულ და ბუნებრივ პოტენციალს.

1.4. სამდინარეო ეკოსისტემათა ფსკერული დანალექების დახასიათება და თვისებები

ფსკერული დანალექები წარმოადგენს რთულ, მრავალკომპონენტურ სისტემებს და ხასიათდება ფორმათა მრავალფეროვნებით. ისინი უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს წყლის მასების ჰიდროქიმიური რეჟიმის ფორმირებასა და მთლიანად წყალსაცავებისა და წყალსადინართა ეკოსისტემების ფუნქციონირებაში.

ფსკერული დანალექები წარმოადგენს ბუნებრივი წყლის ობიექტების ყველაზე უფრო კონსერვატიულ კომპონენტს, საბოლოო რგოლს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა წყლიან გარემოში განაწილების თანმიმდევრულ ჯაჭვში და ამასთანავე შეიცავს მნიშვნელოვან ინფორმაციას წყლის აუზის დაბინძურებასა და მის თავისებურებებზე. თუმცა, ფსკერული დანალექები, ამავე დროს, შეიძლება წარმოდგენილ იქნას როგორც ერთგვარი ინდიკატორი ტექნოგენური დაბინძურების შედგენილობის, ინტენსივობისა და

მასშტაბების გამოსავლენად. რადგანაც, მათი შემადგენლობა პირობითად ასახავს წყალშემკრები ტერიტორიების ბიოგეოქიმიურ თავისებურებებს. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა განსაზღვრა ფსკერული დანალექების ზედა, 1 სმ სისქის მქონე, ფენაში, ნალექის დაგროვების თავისებურებათა გათვალისწინებით, თავის მხრივ, წარმოადგენს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა წლიური დაგროვების მნიშვნელოვან მახასიათებელს [20].

ამასთან, ფსკერული დანალექები შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც წყლიანი არის მეორადი დაბინძურების ერთ-ერთი ძირითადი წყარო. ამიტომაც, ისინი საჭიროა გამოკვლეულ იქნას დამაბინძურებელ ნივთიერებათა პოტენციური გეოქიმიური მიგრაციის გზების განსაზღვრისათვის. რადგანაც, ჰიდროგეოლოგიური პირობების ცვლილებათა ზეგავლენით წყლის ობიექტებში დაბინძურების ალბათობა შეიძლება გაიზარდოს ფსკერულ დანალექებში აკუმულირებულ ნივთიერებათა ხარჯზე.

მონაცემები გახსნილ და შეწონილ ფორმებში ელემენტებისა და ნივთიერებათა არსებობის შესახებ ძირითადად საჭიროა წყლის ხარისხზე მათი გავლენის გასაგებად და აგრეთვე დამაბინძურებელ ნივთიერებათა შეტანის წყაროების დასადგენად; მათი მიგრაციის შესასწავლად, ჰიდრობიონტებზე პოტენციური ტოქსიკური ზემოქმედების განსასაზღვრელად, წყლის სისტემებში და მთლიანად გარემოში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გადატანის პროცესების მოდელირებისათვის, გეოქიმიური ციკლების შესაფასებლად და აგრეთვე ეკოლოგიურ სისტემებში სხვადასხვა ელემენტების მისაწვდომობის დასადგენად. ამრიგად, მცირე მდინარეთა ფსკერული დანალექების დაბინძურების შესწავლა, იმის გამო, რომ ეს დანალექები განიცდის სხვადასხვა ხარისხის ანთროპოგენურ დატვირთვებს, წარმოადგენს მეტად აქტუალურ ამოცანას.

ზოგადად, „ფსკერულ დანალექად“ ჰიდროქიმიამი მიჩნეულია ეწოდოს შეწონილი ნაწილაკების დალექვის პროდუქტებს, რომლებიც მიეწოდება მდინარის ჩანადენით, მათში გახსნილი პლანქტონის – უმაღლესი რიგის

წყალმცენარეების კვდომის, გახსნილ ნივთიერებათა სედიმენტაციის შედეგად და ა.შ.

თანამედროვე ნორმატიული დოკუმენტაციის თანახმად [21], ფსკერული დანალექებად იწოდება ფსკერული ნატანი და ის მყარი ნაწილაკები, რომლებიც წარმოიქმნება და დაილექება წყლის ობიექტის ფსკერზე შიდაწყალსატევური ფაქტორებისა და ბიოქიმიური პროცესების შედეგად, რასაც ადგილი აქვს როგორც ბუნებრივი, ასევე ტექნოგენური წარმოშობის ნივთიერებებთან მიმართებაში.

წარმოშობის ნიშნის მიხედვით, ბუნებრივი ფსკერული დანალექები იყოფა სამ ძირითად ჯგუფად: 1) ლითოგენეტიკური (თიხამიწა მინერალები, კვარცი და ა. შ.), რომლებიც წარმოიქმნება ნიადაგების ეროზიისა და ძირითადი ქანების გამოფიტვის შედეგად; 2) ქიმიური, რომლებიც წარმოიქმნება წყლებში მინერალურ (რკინის, ალუმინის, მანგანუმის ჰიდროქსიდებისა და სულფიდების) ნაწილაკებს შორის მიმდინარე ქიმიურ რეაქციათა შედეგად; 3) ბიოქიმიური, რომლებიც შედგება ბიოლოგიური წარმოშობის მინერალური (CaCO_3 -ის ტიპის) ნაწილაკებისა და ორგანული ნივთიერებებისაგან, ბიოტის მშრალი ნაშთის სახით [20].

ფსკერული დანალექები განიცდის ფორმირებას კლიმატური, ჰიდროლოგიური, მექანიკური, ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური და სხვა მრავალგვარ პროცესთა ერთობლიობის რთული ურთიერთქმედების შედეგად, რომლებიც მიმდინარეობს დროში, როგორც წყალშემკრებ ფართობზე, ასევე თვით წყლის ობიექტშიც [20].

ფსკერული დანალექების სუბსტრატს (საფენს) წარმოადგენს მასალა, რომელიც ალოქთონურად მიეწოდება წყალშემკრების ტერიტორიიდან და შემდეგ ისინი უკვე ავტოქთონურად სინთეზირდება წყალსადინარის წყალში. ამიტომაც ფსკერული დანალექების ქიმიური შემადგენლობა წარმოადგენს წყალშემკრებისა და თვით წყალსადინარის დამახასიათებელ თავისებურებათა ერთგვარი ნაზავის ასახვას.

ზოგადად, მსოფლიო ოკეანეების, მდინარეების, ტბებისა და ესტუარების (შესართავების) ფსკერული დანალექების უმეტესი ნაწილი შედგება 1 მმ-ზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებისაგან, რომლებიც წარმოდგენილია ლიოსიანი, შლამიანი და თიხოვანი ფრაქციების სახით [20].

საჭიროა ასევე აღინიშნოს, რომ ფსკერული დანალექები გადაადგილდება უფრო ნაკლები სიჩქარით, ვიდრე წყლის მასები, ამიტომაც მათ შენარჩუნებული აქვთ ერთგვარი „მეხსიერება“ ყოველგვარ გარეშე ზემოქმედებაზე და შესაბამისად, უფრო მეტი უტყუარობით შეუძლია გამოავლინოს დაბინძურების წყაროები ლოკალურ წერტილებზე. ფსკერული დანალექები ასევე შეიძლება წარმოადგენდეს წყალსადინართა და წყალსატევების მეორადი დაბინძურების წყაროებსაც. ზოგადად, ფსკერული დანალექებიდან წყალში მინერალურ ნივთიერებათა მიწოდება განისაზღვრება კონვექციური და დიფუზური პროცესებით, რომელთა ინტენსივობაც შეიძლება ლიმიტირდებოდეს ფსკერული წყლების დინამიკური თავისებურებებით, ბენტოსის მცხოვრებთა აქტივობით, სედიმენტაციით, დესტრუქციითა და ორგანულ ნივთიერებათა მინერალიზაციით, დანალექებში სორბციულ-მიმოცვლითი პროცესებით, დალექვის არის ჟანგვა-აღდგენითი პირობებითა და ფსკერული დანალექებიდან მინერალურ ნივთიერებათა მოცილების სიჩქარით [20].

ფსკერული დანალექების არაორგანული ნაწილის ძირითად შემადგენელ კომპონენტებს წარმოადგენს ბიოგენური ელემენტები (აზოტი და ფოსფორი), აგრეთვე სხვადასხვა ლითონები. ძირითადად სწორედ ეს ლითონები ასრულებს არსებით როლს მცირე მდინარეთა ფსკერული დანალექების ანთროპოგენურ დაბინძურებაში.

ცოცხალი ორგანიზმების ცხოველმოქმედების ბიოქიმიურ პროცესებში მონაწილეობის ხარისხის შესაბამისად, ლითონები შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად [22]:

- 1) ლითონები, რომლებიც ასრულებს მნიშვნელოვან როლს ცხოველმოქმედების პროცესებში და რომელთა მოცილებას ორგანიზმიდან ანდა მათ

გამოლევას მივყევართ არასასურველ ბიოლოგიურ ანომალიებამდე (Na, K, Mg, Ca, Fe);

- 2) ლითონები, რომლებიც მონაწილეობას ღებულობს ორგანიზმების ზრდა-განვითარებისა და რეპროდუქციის პროცესებში, თუმცა მათივე მაღალი კონცენტრაციებისას, ისინი ახდენს არასასურველ ტოქსიკოლოგიურ ზემოქმედებას ცოცხალ ორგანიზმებზე (Mo, Bi, Mn, Co, Cu, Zn);
- 3) ლითონები, რომელთაც გააჩნია მაღალი ტოქსიკური თვისებები შედარებით მცირე კონცენტრაციებისას. მათ ასევე შესწევთ უნარი მოახდინოს აკუმულირება ცოცხალ ორგანიზმებში ხანგრძლივი ზემოქმედების პირობებში და ამასთანავე არ ასრულებს არსებით როლს მათივე ცხოველმოქმედების პროცესებში (Cd, Pb, Hg).

უწინარეს ყოვლისა კი, ყურადღებას იქცევს და ერთგვარ ინტერესსაც წარმოადგენს ის ლითონები, რომლებიც ყველაზე უფრო ფართოდ და მნიშვნელოვანი ოდენობითაც გამოიყენება საწარმოო საქმიანობაში, ხოლო გარემომცველ გარემოში მათი დაგროვების შედეგად სერიოზულ საფრთხეს ქმნის ბიოლოგიური აქტივობისა და ტოქსიკურ თვისებათა გამო. მათ მიეკუთვნება: Pb, Hg, Cd, Zn, Bi, Co, Ni, Cu, Sn, V, Mn, Cr, Mo, As, Sb. ეს ორი უკანასკნელი ელემენტი – დარიშხანი და სტიბიუმი (As, Sb), ფორმალურად მართალია არ მიეკუთვნება მძიმე ლითონებს, თუმცა რიგი თვისებებისა და ტოქსიკურობის გამო, მათთან ძალიან ახლოს იმყოფება [22].

მძიმე ლითონების სახით წარმოდგენილი ელემენტები კი თავის მხრივ იყოფა საფრთხის მიხედვით პირველ (Hg), მეორე (Cd, Pb და სხვ.) და მესამე (Cu, Zn, Cr, Ni და სხვა) კლასებად. ცოცხალ ორგანიზმებზე მათი ზემოქმედებით გამოწვეულ არასასურველ შედეგებს წარმოადგენს: ამ ორგანიზმების ზრდა-განვითარების შესუსტება, მათივე ნერვული სისტემის მოქმედების დარღვევები, ადამიანებში ასევე შესაძლებელია განვითარდეს აუტოიმუნიტეტი, რომლის დროსაც იმუნური სისტემა თვითონვე არღვევს თავისივე საკუთარ უჯრედებს. ყოველივე ამას კი მივყევართ სახსრების დაავადებებ-

თან, თირკმელების დაშლასთან, სისხლმიმოქცევისა და ნერვული სისტემების რღვევასთან და ა. შ. ასე მაგალითად, ვერცხლისწყლით ქრონიკული მოწამვლისას ხშირად ვითარდება ქრონიკული გასტრიტი. ზოგჯერ კი ვითარდება ნეფროტიკული სინდრომი, როდესაც თავის ტვინის ქერქში გამოვლინდება ატროფიის კერები. ტყვიით მოწამვლის სიმპტომებია – ნერწყვდენა, გულისრევა (პირღებინება), კუჭნაწლავის ჭვალი, თირკმელების გაჩერების მწვავე ფორმა, ტვინის შეშუპება, ხოლო უმძიმეს შემთხვევებში – რამდენიმე დღეში ლეტალური შედეგის დადგომა ანუ გარდაცვალება [23].

ლითონებით გარემომცველი გარემოს დაბინძურების ყველაზე უფრო მძლავრ წყაროებს წარმოადგენს ლითონთა მადნების მოპოვება-გამდიდრება და გადამუშავება, ასევე თბოელექტროსადგურთა გამონატყორცნები. მაგალითად, ვერცხლისწყლით გარემომცველი გარემოს დაბინძურების ძირითად კერებს წარმოადგენს სამთომომპოვებელი, მეტალურგიული და ქიმიური მრეწველობები. კადმიუმით გარემოს დაბინძურების ყველაზე უფრო ინტენსიურ წყაროებს მიეკუთვნება მეტალურგია და გალვანური წარმოება, ასევე ის საწარმოები, სადაც მყარი და თხევადი სათბობების წვის პროცესები ხორციელდება.

მძიმე ლითონების გავრცელება ფსკერულ დანალექებში განპირობებულია ნაკადის ჰიდროდინამიკური თავისებურებებით, მძიმე ლითონების ტრანსფორმაციის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესებით. იმ უმნიშვნელოვანეს თავისებურებებს, რომლითაც მძიმე ლითონები განსხვავდება სხვა დამაბინძურებელი ნივთიერებებისაგან, წარმოადგენს ის, რომ გარემომცველ გარემოში მოხვედრის შემდგომ მათი ეკოლოგიური და ტოქსიკოლოგიური ეფექტები სულ მცირედით კლებულობს ბიოლოგიური არის ზემოქმედებით და ამიტომაც, მათი პოტენციური ტოქსიკურობა განისაზღვრება ძირითადად ფიზიკურ-ქიმიური ფორმებით [22]. მათთვის დამახასიათებელია ხანგრძლივი დროით შენარჩუნება და დაგროვება წყალში, ფსკერულ დანალექსა და ჰიდრობიონტებში. ცნება „წყალსატევების თვითგაწმენდა“ მძიმე ლითონებთან მიმართებაში უფრო მეტად შეიძლება იქნას ჩათვლილი პირობითად და

ამასთან, იგი შეიძლება განეკუთვნებოდეს არა წყალსატევს, არამედ წყლის ობიექტის სიზრქეს (ანუ მის სიღრმეს).

ლითონების აკუმულაციისას ფსკერულ დანალექებში ხორციელდება ხუთი ძირითადი პროცესი (ანუ მექანიზმი) [24]:

- წვრილდისპერსული ნაწილაკების ადსორბციული შთანთქმა;
- დისკრეტული ლითონშემცველი შეწონილი ნივთიერებების სედიმენტაცია;
- რკინისა და მანგანუმის ჰიდროქსიდებთან ერთად სხვა ლითონების თანადალექვა;
- ასოციაციების წარმოქმნა ორგანულ ნივთიერებასთან (მათ შორის იგულისხმება ჰიდრობიონტებთან ერთად – ბიოლოგიური შთანთქმა);
- ინკორპორაცია კრისტალურ მესერში.

ამასთან ფსკერული დანალექების აკუმულირების უნარი მძიმე ლითონების მიმართ მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია მის შემადგენლობაში შემავალი ნაწილაკების ზომებისა და ასევე მათში ორგანულ ნივთიერებათა შემცველობასთან.

ანთროპოგენური წარმოშობის მძიმე ლითონების მოხვედრას მდინარეებში და მათ სორბციას ფსკერული ნალექებით მივყავართ ე. წ. ტექნოგენური შლამების წარმოქმნასთან, რომლებშიც ხდება ტექნოგენური გეოქიმიური ასოციაციების (ტგა) ფორმირება [20]. სხვადასხვა სამრეწველო-ურბანიზებული ობიექტების (ქალაქი, დასახლება, სამრეწველო ზონა, საწარმო) ზემოქმედება განაპირობებს წყალსადინართა ფსკერულ დანალექებში ხარისხობრივად მსგავსი ტგა-ს დაგროვებას, რომელთა შედგენილობაში შედის: Hg, Ag, Cd, Co, Cu, Ba, Zn, Cr, P, Sc, Sr. როგორც წესი, ყოველ დასახლებას, სამრეწველო ზონასა თუ საწარმოს გააჩნია მხოლოდ მათთვის სპეციფიკურად დამახასიათებელი ტგა-ები და მათივე შესაბამისი რაოდენობრივი მაჩვენებლები.

ზოგიერთი მდინარე ხასიათდება ტექნოგენური დაბინძურების არსებითი დონით და მისი სანიტარულ-ტოქსიკოლოგიური მავნეობის სახიფათო ხარისხით. ზოგადად, ფსკერული დანალექების ლითონებით დაბინძურების

ყველაზე მაღალი დონე მოდის ზამთრის პერიოდზე [20]. როდესაც თოვლისა და ყინულოვანი საფარის ქვეშ მიმდინარეობს წლის თბილ პერიოდში დაგროვილი ლითონების გამოყვანა წყლიანი ფაზიდან ფსკერული ნალექის სიზრქეში (ანუ სიღრმეში), სადაც ისინი დეპონირდება ნორმალურ პირობებში, როგორც წესი, მტკიცედ დაკავშირებულ ფორმაში. მძიმე ლითონის უკუსვლა წყალში ანუ მისი დესორბცია სისტემაში „ბუნებრივი წყალი-ფსკერული ნალექი“ შესაძლებელია მხოლოდ ნალექებზე ზემოქმედების განსაზღვრული ტიპის შემთხვევაში, როგორც ბუნებრივი, ისე ანთროპოგენურად განპირობებული პროცესების შედეგად.

თავდაპირველად წყლის ობიექტში ლითონთა ყველა თანაარსებული ფორმების კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს წყლის სისტემის კომპონენტებს შორის მათი განაწილების ხასიათის მიხედვით [22]. ეს ფორმებია:

- შეწონილი ფორმები, რომლებიც მოიცავს ლითონთა ორგანულ და არაორგანულ ნაერთებს. ისინი სორბირებულია შეწონილ ნაწილაკებზე ან/და შედის მათ შედგენილობაში;
- გახსნილი ფორმები, რომლებიც შეიცავს ლითონთა ჰიდრატირებულ იონებსა და ასევე მათ არაორგანულ და ორგანულ კომპლექსებს;
- კოლოიდური ფორმები, რომლებიც განიხილება როგორც შუალედური ფორმა გახსნილ და შეწონილ ფორმებს შორის;
- ფსკერული დანალექების შედგენილობაში შემავალი ლითონთა ნაერთები, რომლებიც დაკავშირებულია მყარ ფაზასთან ან/და გახსნილია ფსკერული დანალექის შემცველ წყალში.

განზოგადებულ მონაცემთა მიხედვით [22] სამდინარეო ეკოსისტემებში მიკროელემენტთა უმრავლესობისათვის შესამჩნევია შეწონილი ფორმების სიჭარბე გახსნილ ფორმებთან მიმართებაში. ამასთან ლითონთა ხვედრითი კონცენტრაცია შეწონილ ნაწილაკთა წვრილმარცვლოვან ფრაქციებში მნიშვნელოვნად აღემატება მათსავე შემცველობას მსხვილმარცვლოვან ფრაქციებში.

ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით [22], ლითონთა არსებობის ეკოლოგიურად ყველაზე მნიშვნელოვანი ფორმები (გარდა ნარჩენი ფორმებისა), რომლებიც წარმოადგენს დომინანტურს სამდინარეო ფსკერული ნალექების შედგენილობაში, კლებადობის რიგის მიხედვით შეიძლება წარმოადგენილი იქნას შემდეგნაირად: ოქსიდურ-ორგანული ფორმები > კარბონატული ფორმები > მიმოცვლითი ფორმები.

იმ ფაქტორებს, რომლებიც აძლიერებს მძიმე ლითონების მიწოდების ნაკადს ფსკერული ნალექებიდან წყლის ფსკერულ ფენაში, შეიძლება მიეკუთვნოს:

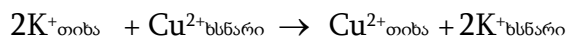
- სისტემის pH-ის შემცირება;
- ჟანგვა-აღდგენითი პირობების ცვლილება;
- ორგანული და არაორგანული კომპლექსწარმომქნელების კონცენტრაციის ზრდა;
- მძიმე ლითონების ნაერთთა ტრანსფორმაციის მიკრობიოლოგიური პროცესები (მაგალითად, მეთილირების ბიოქიმიური პროცესები).

ბუნებრივი წყლებისათვის სისტემაში „ფსკერული ნალექები – ფორების ხსნარი“ მძიმე ლითონების მიმოცვლის ინტენსიფიკაციის ყველაზე ტიპიურ მამოძრავებელ ძალებს წარმოადგენს ჟანგვა-აღდგენითი პირობების ცვლილების გრადიენტი და pH-ის მნიშვნელობა, ასევე გახსნილი ორგანული ნივთიერების კონცენტრაცია.

ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონები, ჩვეულებრივ, უმთავრესად იმყოფება სამ მდგომარეობაში: ა) დანალექების თხევად ფაზაში (ლამის ხსნარი) კარგად გახსნილი ნაერთების სახით; ბ) უპირატესად თიხოვან მინერალებზე სორბირებულ მდგომარეობაში, და ბოლოს, გ) ხსნადობის სხვადასხვა ხარისხის მქონე მყარი ნაერთების (სულფიდების, ოქსიდების, ჰიდროქსიდების და სხვა) სახით. როგორც წესი, მძიმე ლითონის წყალში ხსნადი ნაწილი მცირეა მყარ ფაზაში მის საერთო შემცველობასთან შედარებით [24].

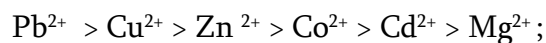
მიმოცვლითი გზით სორბირებული მძიმე ლითონების რაოდენობა დაკავშირებულია ამ უკანასკნელთა მნიშვნელოვან შემცველობასთან თიხოვან მინერალებში, რომელთაც, თავის მხრივ, გააჩნია მაღალი დისპერსულობისა და ადსორბციის უნარი. ფსკერული დანალექებისათვის დამახასიათებელია თიხოვანი მინერალების ძირითად ჯგუფებად მონტმორილონიტის, კაოლინიტისა და ჰიდროქარსის შემცველობა. თიხოვანი მინერალების ერთ-ერთ განმასხვავებელ თვისებას წარმოადგენს მათი კატიონ-მიმოცვლის უნარი [24].

ლითონების თიხებთან ურთიერთქმედება ხორციელდება იონთმიმოცვლის შედეგად შემდეგი სქემით [24]:

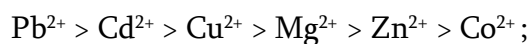


სადაც $[K^{+}]$ – წარმოადგენს კატიონს თიხის სტრუქტურაში.

ლითონების სორბცია თიხის სუსპენზიაში დამოკიდებულია თიხის ტიპზე, pH-სიდიდეზე, სხვა ლითონებისა და ლიგანდების იონების არსებობაზე. მონტმორილონიტის სორბციის თანმიმდევრობა შემდეგი სახისაა [24]:



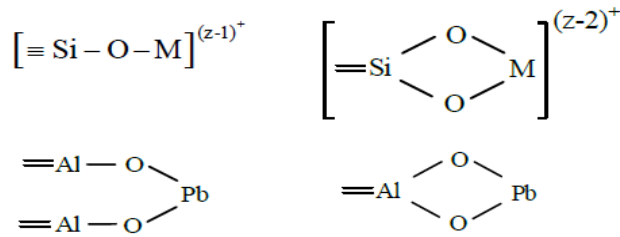
ხოლო კაოლინიტზე კი შემდეგი:



შეიძლება მიეთითოს მიზეზთა იმ სამ ჯგუფზეც, რომლებიც განაპირობებს კატიონთმიმოცვლის ტევადობას [24]:

1. ალუმოსილიციუმის ჯგუფების კიდებზე კავშირების რღვევაზე, რაც იწვევს იმ არაკომპენსირებული მუხტების რიცხვის ზრდას, რომლებიც თავის მხრივ გაწონასწორებულია ადსორბირებული კატიონებით;
2. სტრუქტურის შიგნით ოთხვალენტური სილიციუმის ალუმინით და სამვალენტური ალუმინის მაგნიუმით ჩანაცვლებას;
3. გარეგანი ჰიდროქსიდის წყალბადის კატიონით ჩანაცვლებას.

ამასთან შესაძლებელია შემდეგი ნაერთების წარმოქმნა [24]:



სადაც M – ლითონის იონია.

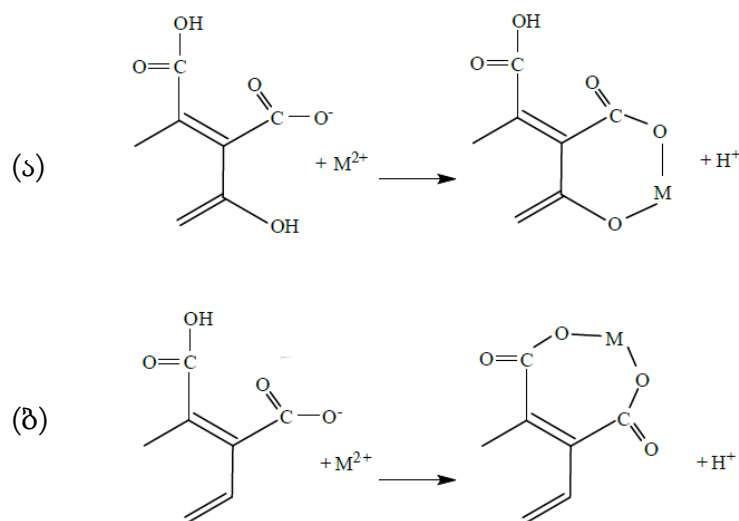
ფსკერული დანალექების თიხოვანი ფრაქციით მძიმე ლითონების შთანთქმის ინტენსივობა განპირობებულია მათი შედარებით მაღალი ვალენტობითა და დიდი ფარდობითი ატომური მასით [24].

ფსკერულ დანალექებში არსებული მყარი ნაერთებიდან, მძიმე ლითონების ინტენსიური აკუმულირების თვალსაზრისით, ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანია [24]:

- კარბონატები (როცა pH = 5 და მისი უფრო ნაკლები მნიშვნელობისას მიმდინარეობს მათი აქტიური გახსნა); კარბონატებისაკენ მაღალი სწრაფვა შეიმჩნევა შემდეგ ლითონებთან მიმართებაში: Cd, Cu, Ni, Pb, Sr, Zn [24];
- რკინისა და მანგანუმის ოქსიდები და ჰიდროქსიდები, რომლებიც ძლიერაა მიდრეკილი pH-ის და Eh-ის ცვლილებით განპირობებული გავლენისადმი;
- ორგანული ნივთიერებები, რომელთანაც მძიმე ლითონი ურთიერთქმედებს ორგანული და ორგანომინერალური ნაერთების წარმოქმნით;
- სულფიდები, რომლებიც უზრუნველყოფს აღდგენილ ფსკერულ დანალექებში რიგი მძიმე ლითონის დაგროვებას, ხოლო პირობების შეცვლისას, აერობულზე გადასვლის შემთხვევაში, იჟანგება და გარდაიქმნება უფრო მეტად მობილურ ნაერთებად;
- ფოსფატები, რომელთა ბიოდეგრადაცია განაპირობებს პირდაპირ წყლის სიზრქეში ლითონთა განთავისუფლებას, ანდა ლითონების გადანაწილებას ზემოჩამოთვლილ ნაერთთა შორის;

- დიაგენეზისის პროცესში წარმოშობილი პირველადი და მეორადი მინერალები, რომლებიც მტკიცედ აკავებს მძიმე ლითონებს თავიანთ კრისტალურ მესერში.

მძიმე ლითონების შეკვრაში, ორგანულ ნაერთთა შორის, დიდი როლი ეკუთვნის ჰუმუსოვან ნივთიერებებს, რომლებიც მძიმე ლითონებთან წარმოქმნის კომპლექსნაერთებს [24]. ეს კომპლექსები, თავის მხრივ, წარმოიქმნება ჰუმინურ ნივთიერებათა შედგენილობაში ფენოლისა და კარბოქსილის ჯგუფის არსებობის გამო. კომპლექსწარმოქმნის ერთ-ერთ მექანიზმს წარმოადგენს ხელატ-იონის წარმოქმნა ო-ფენოლებთან და კარბოქსილურ ჯგუფებთან. ეს კი არის შეკავშირების სალიცილატური ტიპი (ა). ბუნებრივი წყლების პირობებში, უპირველესად, ეს ხელატ-იონები წარმოიქმნება. ხშირად წარმოიქმნება ფტალმჟავის ხელატ-იონი (შეკავშირების ფტალატური ტიპი (ბ)).



ლითონთა შეკავშირებაში შეიძლება მონაწილეობდეს აგრეთვე ჰუმუსოვან ნივთიერებათა შედგენილობაში შემავალი ამინოჯგუფებიც, რის შედეგადაც წარმოიქმნება კომპლექსები, რომლებიც შეიცავს სხვადასხვა ლიგანდებს. როგორც წესი, ასეთი კომპლექსები ბევრად უფრო მდგრადებია, ვიდრე ერთლიგანდიანი კომპლექსები [24].

რაც შეეხება ფსკერულ დანალექებში ცალკეულ მძიმე ლითონთა არსებობის ფორმებს, უნდა აღინიშნოს, რომ სპილენძისათვის დამახასიათებელია

იგი იმყოფებოდა ძირითადად ძნელადხსნადი კომპონენტებისა და ორგანულ ნაერთთა შედგენილობაში. ინტენსიური ანთროპოგენური დატვირთვისას სპილენძი აქტიურადაა შეავშირებული რკინისა და მანგანუმის ოქსიდებსა და ჰიდროქსიდებთან. ტყვიისათვის დამახასიათებელია მისი არსებობა ძნელადხსნადი კომპონენტების, ორგანული ნაერთებისა და ოქსიდების სახით [22].

თუთიის არსებობის ძირითადი ფორმაა რკინამანგანუმისანი ოქსიდები და ჰიდროქსიდები. თუთიის შეკვრაში მეორე ადგილი ეკუთვნის სხვა ნარჩენ (ძნელად ხსნად) ფორმებს. ფსკერულ დანალექებში კადმიუმი იმყოფება მიმოცვლით და ოქსიდურ ფორმებში. სახელდობრ, კადმიუმი წარმოადგენს ფსკერულ დანალექებში ყველაზე უფრო მობილურ მძიმე ლითონს [22].

ყველაზე უფრო ტრადიციულს როგორც ჩანერგვის ხანგრძლივობის მიხედვით, ასევე მისი მიღების შედარებითი სიმარტივის თვალსაზრისით და ამასთანავე, ანალიტიკური მონაცემების რაოდენობის მიხედვითაც, წარმოადგენს ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების საერთო შემცველობის განსაზღვრა [24], რომელიც საშუალებას იძლევა შეფასდეს წყლის სხვადასხვა ობიექტების დაბინძურების ხარისხი მომატებული ანთროპოგენური დატვირთვის პირობებში.

2. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდოლოგია

2.1. საველე-საექსპედიციო კვლევები და გაზომვები

როგორც ნაშრომის პირველ თავში იყო აღნიშნული, სადისერტაციო კვლევისათვის ძირითად ობიექტებად სათანადო კრიტერიუმებზე დაყრდნობით ჩვენს მიერ არგუმენტირებულად შეირჩა მდინარე მტკვრის ორი მიკროშენაკადი, მდინარეები ორხევი და ლოჭინი.

ამის შემდგომ შერჩეულ ობიექტებზე მონიტორინგულ კვლევათა ჩასატარებლად წინასწარ შემუშავებული გეგმის შესაბამისად მოხდა კვლევის ობიექტების ადგილზე შესწავლა საველე გასვლების (პირობითად, ექსპედიციების) განხორციელების გზით (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. საკვლევ მდინარეებზე მონიტორინგული დაკვირვების ადგილების შესაბამისი GPS კოორდინატები

№	დასახელება	ადგილმდებარეობა	GPS კოორდინატები
მდ. ლოჭინი			
1	კვეთი № 1	სოფ. მარტყოფის მიმდებარედ, სათავის სიახლოვეს	X= 501193; Y=4620615
2	კვეთი № 2	ლილოს დასახლების მიმდებარედ, მდ. ლოჭინის ხიდთან	X= 501215; Y=4615602
3	კვეთი № 3	სოფ. გამარჯვების მიმდებარედ.	X= 500073; Y=4614500
4	კვეთი № 4	სოფ. ყარაჯალის მიმდებარედ	X= 495877; Y=4609670
მდ. ორხევი			
1	კვეთი № 1	სათავეებთან სიახლოვეს.	X= 492394; Y=4618625
2	კვეთი № 2	სამგორის სარწყავი არხის აკვედუკის ქვეშ	X= 492345; Y=4617130
3	კვეთი № 3	შპს „მემას“ მიმდებარედ	X= 492507; Y=4615619
4	კვეთი № 4	შპს „ჰაგისის“ მიმდებარედ	X= 492465; Y=4614842

თავდაპირველად, 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 ჩარჭობა, ასევე ადგილზევე

ჩატარდა მონიშნული კვეთების წერტილების ფოტოგრაფირება და ა. შ. ამგვარად, ორივე მდინარიდან, თითოეულისათვის ცალ-ცალკე, ლოკალურად შეირჩა 4-4 სადამკვირვებლო კვეთი.

ამასთან, ჩვენ თავიდანვე გადავწყვიტეთ წლის განმავლობაში საანალიზო სინჯები აგველო სეზონურურად ანუ ყოველკვარტალურად, რაც სამეცნიერო-კვლევითი ანალიზებით განსასაზღვრავ სხვადასხვა სახის მაჩვენებლებში გამოვლენილ ცვლილებათა დინამიკაზე დაკვირვების უფრო მეტ შესაძლებლობას მოგვცემდა. საკვლევი მდინარეთა მდებარეობის რუკა-სქემები ცალკეული კვეთების აღნიშვნით მოცემულია სურათი 3-ზე.

ამგვარად, შერჩეულ კვეთებზე საველე პირობებში გადასატანი პორტატიული მულტიფუნქციური საკონტროლო-გამზომი ხელსაწყოს WTW Multi 3630 IDS-ის (სურათი 2) მეშვეობით ვახდენდით საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისათვის 5 ძირითადი ცვლადი ფიზიკურ-ქიმიური ინგრედიენტის დადგენას. ასეთნაირად, ყოველი ცალკეული კვეთისათვის იზომებოდა შემდეგი მაჩვენებლები: ზედაპირული წყლის ტემპერატურა ($^{\circ}\text{C}$); წყალში გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა (მგ/ლ, %); ელექტროგამტარობა ($\mu\text{ sms/cm}$); მარილიანობა (მგ/ლ) და წყალბადური მაჩვენებელი (pH);



სურათი 2. პორტატიული აპარატი

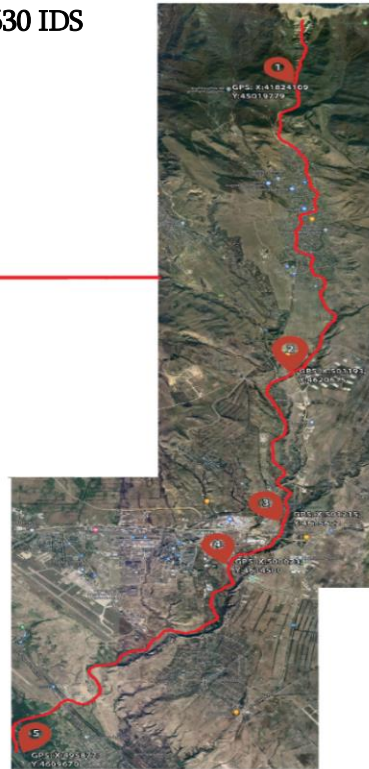
WTW multi 3630 IDS მდინარე ლოჭინი

საკვლევ არეალი



აღნიშვნები

- მდინარის კალაპოტი
- 📍 კვლევის კოორდინატები



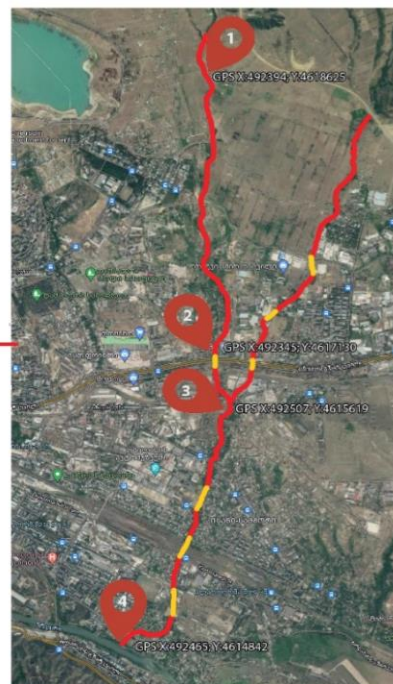
მდინარე ორხევი

საკვლევ არეალი



აღნიშვნები

- მდინარის კალაპოტი
- გვირაბები
- 📍 კვლევის კოორდინატები



სურათი 3. საკვლევ მდინარეთა მდებარეობის რუკა-სქემები სადამკვირვებლო კვებების აღნიშვნით

გარდა ამ ხუთი ძირითადი ცვლადი ინგრედიენტის დადგენისა, სავსე პირობებში ჩვენს მიერ ასევე ხდებოდა საკვლევი მიკროშენაკადების თითო-ეულ კვეთზე, ზედაპირული წყლის წერტილოვანი სინჯების აღება [25]. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ საანალიზო სინჯის აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, მარკირება, შენახვა და ტრანსპორტირება წარმოებდა საერთაშორისო სტანდარტის ISO 5667-1:2020 შესაბამისად [26]. სინჯები შემდგომი ლაბორატორიული კვლევების ჩასატარებლად მიგვქონდა გამოსაკვლევად სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს (შემდგომში – სააგენტო) ატმოსფერული ჰაერის, წყლისა და ნიადაგის ანალიზის ლაბორატორიაში (შემდგომში – ლაბორატორია).

2.2. ლაბორატორიული კვლევები და გაზომვები

ზემოაღნიშნულ ლაბორატორიაში ჩატარებული ქიმიური ანალიზებით განისაზღვრებოდა ყველა ის დამაბინძურებელი ინგრედიენტი, რომლითაც სამრეწველო საწარმოთა მხრიდან ანთროპოგენური ზემოქმედებით ძალიან ხშირად ბინძურდება ზედაპირული წყლების ეკოსისტემები, მათ შორის მდინარეებიც. კერძოდ, საანალიზო ნიმუშებში განისაზღვრებოდა (მგ/ლ), როგორც ძირითადი იონები, მათ შორის ანიონებიც (სულფატები, ქლორიდები, კარბონატები, ჰიდროკარბონატები) და კატიონებიც (კალციუმი, მაგნიუმი, კალიუმი, ნატრიუმი), ასევე ბიოგენური ელემენტების (აზოტისა და ფოსფორის) სხვადასხვა იონური ფორმები (ნიტრიტები, ნიტრატები, ამონიუმი და ფოსფატები). აღნიშნულთა გარდა, განსასაზღვრავ ცვლად პარამეტრებს შორის აუცილებლად გამოსარჩევია აგრეთვე ისეთი მნიშვნელოვანი ინგრედიენტთა მონაცემებიც, როგორცაა ჟანგბადის ბიოქიმიური მოხმარება - ჟბმ (მგ/ლ) და მინერალიზაცია ე. წ. მშრალი ნაშთი (მგ/ლ), რომელთა დადგენაც ასევე ემპირიულად ხდებოდა ლაბორატორიულ პირობებში.

გარდა ამისა, საკვლევ მდინარეთა ყოველ კვეთზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში სავსე პირობებში წყალბადური მაჩვენებლის (pH-ის) დადგენის კვალდაკვალ, ხოლო მერე უკვე სააგენტოს ლაბორატორიულ

გარემოში ტარდებოდა ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზი მოსალოდნელი ექვსი ლითონური ელემენტის (რკინის, სპილენძის, თუთიის, ტყვიის, მანგანუმისა და კადმიუმის) შემცველობათა განსაზღვრის მიზნით.

ასევე აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ სააგენტოს ანალიზური ლაბორატორია ამჟამად აღჭურვილია მაღალი კლასის, თანამედროვე, სტანდარტული აპარატურითა და სტაციონარულ პირობებში მომუშავე არაერთი გამოზომი ხელსაწყოთი. მათ შორის ერთ-ერთია იონური ქრომატოგრაფი (DIONEX ICS-1000), რომელიც გამოიყენება საანალიზო ზედაპირული წყლის სინჯებში არაორგანული ანიონების (სულფატები, ქლორიდები, ფტორიდები) და ბიოგენური კომპონენტების (ნიტრატები, ნიტრიტები, ორთოფოსფატი) შემცველობათა სწრაფად (15 წუთში) განსაზღვრისათვის აღნიშნულ იონთა კონცენტრაციების ფართო დიაპაზონში.

მეცნიერული კვლევის ფიზიკურ ქიმიური მეთოდებიდან ქრომატოგრაფია ნივთიერებათა რთული მრავალკომპონენტური ნარევის ანალიზისათვის გამოყენებულ მეთოდს წარმოადგენს. იგი სორბცია-დესორბციის პროცესების ერთმანეთის მონაცვლე ციკლურ აქტებზეა დაფუძნებული. ეს პროცესები კი მიმდინარეობს მოძრავ ფაზას (ელუენტი) და უძრავ სორბენტს შორის. იმის გამო, რომ ნივთიერებათა რთული მრავალკომპონენტური ნარევის შემადგენელ კომპონენტებს გააჩნიათ ერთმანეთისაგან განსხვავებული სორბირების (შთანთქმის) უნარი, ამიტომ სორბენტის ფენის გავლით დასაყოფი ნარევის შთანთქმა მოხდება სხვადასხვა სიჩქარითა და რაოდენობით. მიღებული ანალიზის შედეგების განხილვით და მათი შედარებით ეტალონთან ხდება საანალიზო ნარევის შემადგენელ კომპონენტთა ზუსტი შემცველობის დადგენა. პრაქტიკაში ელუენტად გამოიყენება ინერტული აირის ან სითხის ნაკადი, ხოლო სორბენტად გამოიყენება განვითარებული ზედაპირის მქონე მასალა.

იონური ქრომატოგრაფიის მეთოდი წარმოადგენს ანიონგაცვლითი ქრომატოგრაფიის პროცესს, რომელიც დამყარებულია ზემოთ დასახელებული

ბული ანიონებისა და პოლარული მოლეკულების ერთმანეთისაგან გამიჯვნაზე ე.წ. ექსპანჯერის (გამფართოებლის) გამოყენებით. მეთოდის არსი იმაშია, რომ ქრომატოგრაფიული სვეტში ხდება ანიონების ერთმანეთისაგან განცალკევება, ხოლო უკვე განცალკევებული ანიონების იდენტიფიცირება წარმოებს ელექტროგამტარ დეტექტორზე, სადაც შეკავების დროის მიხედვით ადგილი აქვს მათ რაოდენობრივ განისაზღვრას სტანდარტულ ნიმუშებთან შედარების გზით (ISO 10304 -1:2007) [27].

გარდა ამისა, საკვლევ მდინარეთა ყოველ კვეთზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში სავლევ პირობებში წყალბადური მაჩვენებლის (pH-ის) დადგენის კვალდაკვალ, ხოლო შემდეგ უკვე სააგენტოს ლაბორატორიულ გარემოში ტარდებოდა ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზი მოსალოდნელი ექვსი ლითონური ელემენტის (რკინის, სპილენძის, თუთიის, ტყვიის, მანგანუმისა და კადმიუმის) შემცველობათა განსაზღვრის მიზნით.

ამისათვის გამოყენებულ იქნა ლაბორატორიაში არსებული ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრი ინდუქციურად დაკავშირებული პლაზმით (Agilent ICP-OES 710), რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია დროის ძალიან მცირე 2 წუთიან მონაკვეთში ზუსტად განისაზღვროს ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულ სისტემაში წარმოდგენილი 35 დასახელების ქიმიური ელემენტი. ესენია: Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Ga, In, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Na, Se, Si, Ag, Sr, S, Sn, Ti, W, V, Zn და Zr.

ამ ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი ზოგადად დამყარებულია ატომურ-ემისიურ სპექტრომეტრულ მეთოდზე. მეთოდის მიხედვით, ელექტრომაგნური ზემოქმედების ზეგავლენით ატომები ამჟღავნებს ალგზნების უნარს. ატომების ალგზნების ენერგია წარმოადგენს მათი დაბალი ენერგეტიკული დონიდან უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე გადასვლისათვის საჭირო ენერგიას. ატომების ალგზნებული მდგომარეობა აღნიშნული მეთოდის თანახმად, ასევე დამოკიდებულია ალის ტემპერატურაზე. ატომების მიერ უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე მყოფი ალგზნებული ატომების მიერ

ელექტრონების გადასვლის შედეგად მიღებული გამოსხივება რეგისტრირდება შესაბამისი სპექტრალური ხაზებით მყარფაზური დეტექტორის მეშვეობით. ეს ყველაფერი შემდეგ აისახება ელექტრონული მართვის კომპიუტერულ პროგრამაში.

აღნიშნულ ხელსაწყოზე ექსპერიმენტების ჩასატარებლად გამოიყენება სერტიფიცირებული სტანდარტული ნიმუშები (ISO 11885:2007) [28], რომლიდანაც შემდეგ თითოეული ელემენტის განსაზღვრისათვის შესაბამისი კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარი მზადდება, რომლის მიხედვითაც, სულ ბოლოს, კომპიუტერის მიერ აიგება საკალიბრო მრუდები. წინასწარ დამუშავებული ნიმუში იდგმება საანალიზო კამერაში. კამერაში მიწოდებული არგონის ნაკადით კი იგი გაიფრქვევა გამფრქვევ კამერაში და გარდაიქმნება აეროზოლად. არგონი ამ აეროზოლს გადაიყვანს პლაზმაში და ამავე დრო ხელს უწყობს მას პლაზმური მდგომარეობის ხანგრძლივად შენარჩუნებაში. აქვე ხდება ქიმიური ელემენტების ატომიზაცია და იონიზირება ლაზერული სხივის მონაწილეობით, ხოლო პლაზმის კონტროლი წარმოებს ხელსაწყოს კომპიუტერით. სელექტორი არსებული სპექტრალური ხაზებიდან გამოაცალკევებს სასურველ ელემენტს, რომელიც კომპიუტერული პროგრამის მიხედვით არის წინასწარ შერჩეული. სიგნალი დაფიქსირდება კომპიუტერის მიერ აგებულ საკალიბრე მრუდზე და ამ გზით განისაზღვრება თითოეული ელემენტის კონცენტრაციები. თუმცა აღნიშნულ ხელსაწყოს ასევე შეუძლია განსაზღვროს ერთდროულად რამდენიმე ქიმიური ელემენტიც. ეს ხელსაწყო შესაძლებლობას იძლევა 177 ნმ-დან 785 ნმ-მდე ტალღის სიგრძეთა ფართო დიაპაზონში დანახულ იქნას ემისიური სპექტრების თითქმის 95 % [28].

ზედაპირული წყლის საანალიზო საკვლევ სინჯებში ნატრიუმისა და კალიუმის განსაზღვრისათვის ლაბორატორიაში გამოიყენება ალიან-ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდი სტანდარტული ISO 9964-3:2010 მეთოდის შესაბამისად [29]. მოცემული მეთოდის არსი მდგომარეობს აირის ალში საკვლევ ნიმუშის ასპირაციაში იმ თბური ენერგიით, რომელიც საკმარისია

მასში არსებული ნატრიუმისა და კალიუმის მიერ, მხოლოდ მათთვის დამახასიათებელი, გამოსხივების გამოსხივებაში და ამ უკანასკნელის ინტენსივობის გაზომვაში 589 ნმ ტალღის სიგრძეზე ნატრიუმისათვის და 766,5 ნმ-ზე კალიუმისათვის. ეს მეთოდი გამოიყენება ყველა სახის ზედაპირული და სასმელი წყლებისათვის, წყლის სინჯებში ნატრიუმისა და კალიუმის მასურ კონცენტრაციათა 10 მგ/ლ-მდე დაფიქსირებისას. ნატრიუმისა და კალიუმის უფრო მაღალი კონცენტრაციის სინჯებისათვის საანალიზოდ აიღება უფრო მცირე ოდენობის წონაკი. ამ მეთოდით კონცენტრაციათა განსაზღვრის ქვედა ზღვრები 0,1 მგ/ლ-ზე ნაკლებია როგორც ნატრიუმისათვის ასევე კალიუმისათვის.

მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებში აზოტის ბიოგენური ფორმის ამონიუმის იონის განსაზღვრისათვის ლაბორატორიაში გამოყენებულ იქნა სპექტრომეტრული მეთოდი. საანალიზო ხსნარებისა და მყარ ნივთიერებათა ნიმუშების გამოსაკვლევად სპექტრომეტრია, როგორც ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდი, დაფუძნებულია შთანთქმის სპექტრების შესწავლაზე სინათლის ულტრაიისფერ (200-400 ნმ), ხილულ (400-760 ნმ) და ინფრაწითელ (> 760 ნმ) უბნებზე. ამ დროს სპექტროფოტომეტრულად განისაზღვრება შთანთქმის ინტენსივობის დამოკიდებულება სინათლის ტალღის სიგრძესთან მიმართებაში. აღნიშნულ მეთოდს გააჩნია ფართო გამოყენება სხვადასხვა ნივთიერებათა შემადგენლობისა და აღნაგობის შესასწავლად, ასევე მათი თვისებრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის.

ISO 7150-1:2010 სტანდარტული მეთოდიკის შესაბამისად, კვლევების ჩასატარებლად გამოყენებულ იქნა „HACH“ ფირმის სპექტრომეტრი Hach DR-6000 [30]. ეს მეთოდი გამოიყენება სასმელი, ზედაპირული და ჩამდინარე წყლების ანალიზისათვის. მეტისმეტად შეფერილი ანდა მლაშე წყლებისათვის ამ მეთოდის გამოყენებას წინ უნდა უძღოდეს საანალიზო წყლის სინჯების დისტილაციის პროცესი. ამ მეთოდით ამონიუმის აზოტის კონცენტრაცია შეიძლება განისაზღვროს 1 მგ/ლ-მდე.

საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებში ლაბორატორიულ პირობებში გამზომი ხელსაწყო „Turb 555“-ის გამოყენებით ორგანოლექტიკური მაჩვენებლებიდან განისაზღვრა სიმღვრივე ISO 7027:1999 სტანდარტული მეთოდიკის შესაბამისად [31]. ამ მეთოდიკის მიხედვით, ოპტიკური სიმღვრივის გამზომი ხელსაწყო გამოყენებისას სიმღვრივის რაოდენობრივი განსაზღვრა ხდება ფორმაზინის ერთეულებში. განიხილება ორი შემთხვევა:

ა) დაბალი სიმღვრივის მქონე წყლებში (მაგ., სასმელ წყალში) გაბნეული გამოსხივების გაზომილი სიმღვრივე გამოისახება ფორმაზინის ნეფელომეტრულ ერთეულებში (FNU); შედეგები ჩვეულებრივ იმყოფება 0-დან 40-მდე FNU-ის ფარგლებში;

ბ) ძლიერ მღვრიე წყლებში (მაგალითად, ჩამდინარე ანდა დაბინძურებულ ზედაპირულ წყალში) სინათლის სხივური ნაკადის შესუსტების გამო, გაზომილი სიმღვრივე გამოისახება ფორმაზინის შესუსტების ერთეულებში (FAU); შედეგები ჩვეულებრივ მერყეობს 40-დან 4000-მდე FAU-ის ფარგლებში.

აღნიშნულ ლაბორატორიაში უახლესი აპარატურული გაფორმების და საანალიზოდ თანამედროვე სტანდარტული მეთოდიკების გამოყენების კვალდაკვალ კვლევებისათვის გამოყენებულ იქნა აგრეთვე რაოდენობით ანალიზში დიდი ხნის მანძილზე კარგად ცნობილი ტიტრიმეტრული მეთოდებიც, თუმცა სტანდარტიზაციის თანამედროვე მოთხოვნათა სრული დაცვითა და გათვალისწინებით.

საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებში ჟმმ-ის მნიშვნელობათა განსაზღვრისათვის გამოყენებულ იქნა იოდომეტრული ტიტრირების მეთოდი ISO 5815-1:2019 სტანდარტის შესაბამისად [32]. ამ მეთოდით განისაზღვრება წყალში ჟანგბადის ბიოქიმიური მოთხოვნილების მნიშვნელობა განზავებისა და დაკრისტალების პროცედურათა განხორციელებით, ასევე 5 ან 7 დღიანი საინკუბაციო პერიოდის გასვლის შემდეგ ნიტრიფიკაციის პროცესთა ჩახშობით. ეს მეთოდი გამოიყენება ყველა სახის წყლებისათვის, რომელთაც გააჩნიათ ჟანგბადის ბიოქიმიური მოთხოვნილების

მაჩვენებელი 1მგ/ლ-დან 6000 მგ/ლ-მდე. ეს ეხება როგორც ჩამდინარე წყლებს, ასევე ბუნებრივ წყლებსაც. თუკი ჟანგბადის ბიოქიმიური მოთხოვნილების მაჩვენებელი აღემატება 6000 მგ/ლ ჟანგბადს, აღნიშნული მეთოდი მაინც გამოსადეგია, თუმცა საჭიროა განსაკუთრებული სიფრთხილის გამოჩენა სინჯის განზავების ეტაპის ჯერადობის სწორად დასაფიქსირებლად.

რაც შეეხება საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებში სიხისტის მიმნიჭებელი კატიონების (კალციუმი და მაგნიუმის) და ანიონების (კარბონატები და ჰიდროკარბონატები) შემცველობათა ზუსტი განსაზღვრისათვის ლაბორატორიაში გამოყენებულ იქნა კომპლექსონომეტრული ტიტრირების მეთოდი ISO 6058:2008 სტანდარტის შესაბამისად [33].

ეს მეთოდი აღწერს ზედაპირულ, მიწისქვეშა დასასმელი წყლებისათვის სიხისტის მიმნიჭებელ მარილთა იონების შემცველობათა განმსაზღვრელ პროცედურას. იგი შეიძლება ასევე გამოყენებულ იქნას მუნიციპალური და სამრეწველო დანიშნულების ჩამდინარე წყლებისათვის, იმ პირობით, თუკი ისინი არ შეიცავს ანალიზის ჩატარების ხელშემშლელი მძიმე ლითონების საგრძნობ რაოდენობას. აღნიშნული პროცედურა არ გამოიყენება ზღვის წყლებსა და მარილთა მაღალი კონცენტრაციების შემცველ ძლიერ მლაშე წყლებთან მიმართებაშიც. იგი გამოიყენება იმ წყლებისათვის, რომლებშიც მარილთა შემცველობა მერყეობს 2-დან 100 მგ/ლ-მდე, უფრო მაღალი შემცველობის დაფიქსირების შემთხვევაში მიმართავენ სინჯის ნიმუშების განზავებას.

ლაბორატორიულ პირობებში საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯების საანალიზოდ გამოყენებული სტანდარტული მეთოდიკების ჩამონათვალი სრული სახით მოცემულია ცხრილში 2.

ცხრილი 2. ზედაპირული წყლის სინჯებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა განსასაზღვრავი ინგრედიენტები, გამოყენებული მეთოდები და შესაბამისი სტანდარტები

№	განსასაზღვრავი ინგრედიენტები	გამოყენებული მეთოდები	სტანდარტები
1	ჟმმ	იოდომეტრული ტიტრირების მეთოდი	ISO 5815-1:2013
2	ამონიუმის აზოტი	სპექტრომეტრული მეთოდი	ISO 7150-1:2010
3	ნიტრიტები	იონური ქრომატოგრაფიის მეთოდი	ISO 10304-1:2007
4	ნიტრატები		
5	ფოსფატები		
6	სულფატები		
7	ქლორიდები		
8	კარბონატები	კომპლექსონომეტრული ტიტრირების მეთოდი	ISO 6058: 2008
9	ჰიდროკარბონატები		
10	კალციუმი		
11	მაგნიუმი	ალიან-ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდი	ISO 9964-3:2010
12	ნატრიუმი		
13	კალიუმი	ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდი ინდუქციურად დაკავშირებული პლაზმით	ISO 11885:2007
14	რკინა		
15	თუთია		
16	სპილენძი		
17	ტყვია		
18	მანგანუმი		
19	კადმიუმი		

2. 3. საკვლევი ობიექტების ზედაპირული წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა

ჩვენი საკვლევი ობიექტების მდინარეების – ლოჭინისა და ორხევის ზედაპირული წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზი ჩატარებულ იქნა შპს სამეცნიერო-კვლევითი ფირმა „გამას“ საგამოცდო ლაბორატორიაში. მიკრობიოლოგიური კვლევა ჩატარდა ორივე მდინარისათვის წინასწარ შერჩეული კვეთებიდან 2022 წლის თებერვალში, ზამთრის სეზონისათვის აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე, რომელთა აღებაც მოხდა სტერილური

ჭურჭლით, ISO სტანდარტული მეთოდის შესაბამისად და დაბინძურების ისეთ მაჩვენებელთა გამოსავლენად, როგორცაა, საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები და E-coli (ეშერიხია კოლი).

ზოგადად, ეს ბაქტერიები წარმოადგენენ ზედაპირული წყლების ფეკალური დაბინძურების ინდიკატორებს. მათი გამოკვლევით კი შესაძლებელია სათანადო სიზუსტით დადგინდეს და შეფასდეს წყლის სანიტარულ-ჰიგიენური ხარისხი.

მიკრობიოლოგიური კვლევისათვის ზემოაღნიშნულ ლაბორატორიაში გამოყენებულ იქნა სტანდარტული ISO 9308-1:2014 პირდაპირი დათესვისა და მემბრანული ფილტრაციის მეთოდი [34].

ამ მეთოდით მიკროორგანიზმების საკვებ არედ გამოიყენება კოლიფორმების ქრომოგენური აგარი (CCA). განსაზღვრული მოცულობის საკვლევი წყალი კი იფილტრება 0,45 მკმ ზომის მემბრანულ ფილტრზე. თავის მხრივ, საკვებ არეზე ადგილი აქვს მიკროორგანიზმების ზომაში მომატებას. ამ დროს E-coli ვლინდება ტიპური ლურჯი შეფერილობის სახით, ხოლო კოლიფორმი წარმოდგენილია მოვარდისფერო-მოწითალო შეფერილობის მქონე ოქსიდაზა უარყოფით კოლონიად. კვლევის მიღებული შედეგები გამოისახება მიკროორგანიზმებისათვის ეტალონურად მიჩნეულ მოცულობაში კოლონიაწარმომქმნელი ერთეულის (კწე) რაოდენობის გაზომვით.

თუკი საერთო კოლიფორმული ბაქტერიების და E-coli-ის რაოდენობათა თანაფარდობა 10-ზე ნაკლებია, მაშინ ეს ფაქტი საკვლევი მდინარის ზედაპირულ წყალთან მიმართებაში უკვე პოტენციური ეპიდემიური საფრთხის არსებობაზე მიუთითებს. ხოლო თუკი საკვლევი სინჯის 100 მლ-ში E-coli-ის რაოდენობა 100კწე-ზე უფრო მაღალი მაჩვენებლით გამოირჩევა ეს ფაქტი უკვე ახალი ფეკალური დაბინძურების მომასწავებელია.

2.4. საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექების ანალიზური კვლევის მეთოდика

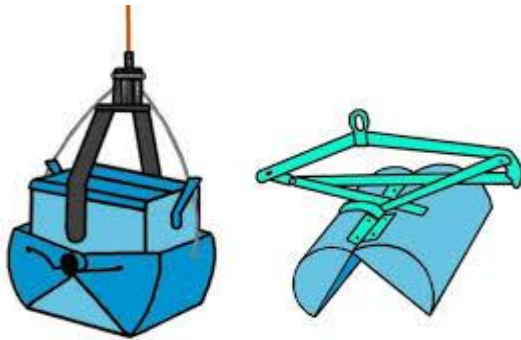
2.4.1. საკვლევ ობიექტებიდან ფსკერული დანალექებისა და ნიადაგის გრუნტის სინჯების აღება და საანალიზოდ მომზადება

საკვლევ მდინარეთა უკვე შერჩეულ კვეთებზე ზედაპირული წყლის სინჯების აღების პარალელურად, ასევე საველე პირობებში, ჩვენს მიერ ცალკე იქნა აღებული ფსკერული ნალექებისა და მდინარეთა სანაპიროების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგების გრუნტის ნიმუშები. ფსკერული ნატანის (ანუ სედიმენტის) სინჯის ამღები ხელსაწყო – ე.წ. „სახაპის“ (სურათი 4), ხოლო ნიადაგის გრუნტის სინჯის ამღები ხელსაწყო – ე.წ. „ხელის ბურღის“ (სურათი 5) გამოყენებით. ამასთან, თითოეული სადამკვირვებლო კვეთის მიმდებარედ, წინასწარ შერჩეული წერტილებიდან, ჩვენს მიერ ნიადაგის გრუნტის სინჯის აღება ხდებოდა აღნიშნული ხელსაწყო ზედაპირული ანუ 5 სმ-იანი ჩაფლობის ზონაში და ასევე იმავე ხელსაწყო უფრო მეტად სიღრმისეული ანუ აკუმულაციური 20 სმ-იანი ჩაფლობის ზონაშიც. რაც შეეხება ფსკერულ დანალექთა სინჯებს, საველე პირობებში მათ ვიღებდით საკვლევ მდინარეთა საკალაპოტე ქვიშა-თიხოვანი და ლამიან-თიხოვანი ფაციებიდან დაახლოებით 1-2 სმ-ის სიღრმეზე, თითოეულს საშუალოდ 50 გ-ის ოდენობით.

საკვლევ მდინარეებზე წინასწარ შერჩეული კვეთებიდან შესაბამისი ხელსაწყოებით აღებული ფსკერული დანალექებისა და ნიადაგის გრუნტის ტენიანი ნიმუშების სინჯები თავსდებოდა ერთჯერად პოლიმერულ კონტეინერებში, რომელიც შემდეგ სათანადო ლაბორატორიულ გარემოში, საშრობ კარადაში შრებოდა ჰაერზე, 5-7 დღე-ღამის განმავლობაში, თავდია მდგომარეობაში, ოთახის ტემპერატურაზე, დროდადრო მორევის პირობებში.

ჰაერზე გამომშრალი ნიმუშები შემდეგ უკვე სათითაოდ განიცდიდა დაფქვას ფაიფურის ჯამზე, თითქმის პუდრის მდგომარეობამდე. დაფქვილი

ნიმუშებიდან კვარტირების წესით ხდებოდა საშუალო სინჯის აღება დაახლოებით 10 გ-ის ოდენობით. ამგვარად დამუშავებული ნიმუშები ეტიკეტირებისა და მარკირების საერთაშორისო წესებისა და სტანდარტების [35] სრული დაცვით გადაიტანებოდა zip-ჩამკეტიან ცელოფანის ერთჯერად პარკებში და იგზავნებოდა ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზური კვლევებისათვის [36].



სურათი 4. მდინარიდანსედიმენტის სინჯის ასაღები ლაბორატორიული ხელსაწყო-„სახაპი“



სურათი 5. ნიადაგის გრუნტის სინჯის ასაღები ლაბორატორიული ხელსაწყო - „ხელის ბურდი“

2.4.2. ფსკერული დანალექებისა და ნიადაგის გრუნტის სინჯების ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდები

საკვლევი მდინარეების – ლოჭინისა და ორხევის სადამკვირვებლო კვებებიდან აღებული ფსკერული დანალექების და ნიადაგის გრუნტის ნიმუშებში მძიმე ლითონების შემცველობაზე რენტგენოფლოუორესცენციური კვლევა ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტის გემოლოგიისა და მინერალურ ნივთიერებათა კვლევის, დიაგნოსტიკისა და გადამუშავების რესპუბლიკურ ცენტრში რენტგენოფლოუორესცენციურ ანალიზატორზე EDX3600B (სურათი 6).



სურათი 6. რენტგენოფლოუორესცენციური ანალიზატორი EDX3600B

2022 წლის ზამთარში განხორციელებული საველე გასვლებით ჩვენი საკვლევი მდინარეების – ლოჭინისა და ორხევის ფსკერიდან აღებული ნიმუშებისათვის (თითოეული ამ მდინარისათვის სინჯების გადანომვრა საერთოა და მოცემულ შემთხვევაში იგი წარმოდგენილია მსგავსი ნუმერაციით №№ 9-12 სახით) ჩატარებული იქნა იწ-სპექტრალური ანალიზი. კვლევა განხორციელდა ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პ. მელიქიშვილის სახ. ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების კვლევის ლაბორატორიაში. საკვლევი 8 (რვა) ნიმუშის (თითოეული მდინარიდან ოთხი ნიმუშის) შესასწავლად იწ-სპექტრების გადაღება ხდებოდა აშშ-ის ცნობილი ფირმის „Agilent Technologies“ იწ-სპექტრომეტრზე – „Cary 630 FTIR“ (სურათი 7) რხევის სიხშირეთა მიხედვით ტალღის სიგრძის 350-5000 სმ⁻¹ დიაპაზონში.



სურათი 7. ფირმა „Agilent Technologies“ იწ-სპექტრომეტრი „Cary 630 FTIR“

2022 წლის ზამთრის სეზონისათვის ორივე საკვლევი მდინარიდან აღებული ფსკერული ნალექების ნიმუშების რენტგენოფაზური ანალიზი ჩატარებული იქნა იმავე ინსტიტუტში და ამისათვის გამოყენებულ იქნა ДРОН-3М რენტგენოდიფრაქტომეტრი $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,54184\text{\AA}$) (სურათი 8) გამოსხივებით. რენტგენის მილაკის ძაბვა შეადგენდა 40 კილოვოლტს, მილაკის დენი – 20 მილიამპერს, ექსპოზიციის დროს ნიმუშები ბრუნავდა საკუთარ სიბრტყეში თანამოწყობილობა ГП-13-ის საშუალებით.



სურათი 8. რენტგენოდიფრაქტომეტრი ДРОН-3М

2.5. საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ხარისხის შეფასების მეთოდები

2.5.1. წყლის დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდექსის დადგენა

საკვლევ მცირე მდინარეთა ჰიდროქიმიურ მაჩვენებელთა შესწავლა საშუალებას იძლევა შეფასდეს მათი ამჟამინდელი ეკოლოგიური მდგომარეობა. თუმცა მცირე მდინარის წყლის ხარისხის შესაფასებლად სამეცნიერო ლიტერატურაში ცნობილია ისეთი ჰიდროქიმიური კვლევები [37-40], სადაც მოცემულია წყლის დაბინძურების ინდექსის (წდი) საანგარიშო მეთოდიკა, რომელიც და ფუძნებულია მდინარის წყლის ხარისხის დახასიათებისათვის ჰიდროქიმიური ინდიკატორების (მაჩვენებლების) გამოყენებაზე.

მოცემული ინდექსი გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$I_{\text{დი}} = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / \omega_{\text{დკ}}}{N}, \quad (2.1)$$

სადაც C_i - ჰიდროქიმიური ინდიკატორის კონცენტრაციაა; $\omega_{\text{დკ}}$ - ჰიდროქიმიური ინდიკატორის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციაა; N - გაანგარიშებაში გამოყენებული ინდიკატორების რიცხვია.

აღნიშნული მეთოდიკა მდინარის წყლის ხარისხის დასახასიათებლად ჰიდროქიმიური ინდიკატორების სახით რეკომენდაციას იძლევა გამოყენებულ იქნას ისეთი ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები, როგორცაა: გამჭვირვალობა, ტემპერატურული პირობები, ჟანგბადით გაჯერება, მარილიანობა, დაჟანგვის უნარი, მკვებავი ნივთიერებების კონცენტრაცია, სპეციფიური დამაბინძურებელი პრიორიტეტული ნივთიერებები, რომლებიც საკვლევ მდინარის წყალში აღმოჩენილია მნიშვნელოვანი რაოდენობით.

კონკრეტული მდინარისათვის წყლის დაბინძურების ინდექსის გაანგარიშების შემდეგ მიღებული შედეგის შესაბამისად ეს მეთოდიკა საშუალებას იძლევა მიენიჭოს მდინარეს გარკვეული კლასიფიკაცია ანუ მისი დაბინძურების ხარისხის შესაბამისი კლასი, წარმოდგენილი ცხრილი 3-ის მიხედვით

ცხრილი 3. მდინარის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის შეფასება დაბინძურების ინდექსის გამოყენებით

ზედაპირული წყლები	დაბინძურების ინდექსი	წყლის ხარისხის კლასი
სუფთა	0,2-1,0	1
მცირედდაბინძურებული	1,0-2,0	2
დაბინძურებული	2,0-4,0	3
ბინძური	4,0-6,0	4
ძლიერდაბინძურებული	> 6,0	5

2.5.2. ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტის დადგენა

წყლის ობიექტის დაბინძურების ხარისხის შესაფასებლად შეიძლება ასევე გამოყენებულ იქნას ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტი (ფაკ) $K_{აკ}$ [41]:

$$K_{აკ} = C_{ფდ} / C_{წყ} \quad (2.2)$$

სადაც, $C_{ფდ}$ - ნივთიერების კონცენტრაციაა ფსკერულ დანალექებში (მგ/კგ), ხოლო $C_{წყ}$ - ერთსა და იმავე წერტილში აღებულ წყლის სინჯში დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციაა (მგ/ლ).

ვინაიდან ფაკ-ის ერთსა და იმავე სიდიდეებს შეიძლება შეესაბამებოდეს წყლის ობიექტზე შექმნილი სხვადასხვა სიტუაცია, ამიტომაც ნივთიერებათა აბსოლუტური კონცენტრაციებისაგან დამოკიდებულებით წყალსა და ფსკერულ დანალექში (არსებული ნორმატივების – ზდკ-ის, ფონის გათვალისწინებით) წყლის ობიექტის დაბინძურების მაჩვენებელი შემოთავაზებულია შეფასდეს შემდეგი სახით (ცხრილი 4).

ცხრილი 4. წყლის ობიექტის დაბინძურების ხარისხის შეფასება ფაკ-ის მიხედვით

ფაკ-ის მნიშვნელობა	წყლის ობიექტის დახასიათება
$n \cdot 10$ (სადაც $n = 1-9$)	შედარებით დამაკმაყოფილებელი მდგომარეობა დამაბინძურებელ ნივთიერებათა დაბალი კონცენტრაციებისას წყალში და ფსკერულ დანალექებში (ქრონიკული დაბინძურების ნიშან-თვისებათა გარეშე).
$n \cdot 10 - n \cdot 10^2$	წყლის ობიექტში ახალი დამაბინძურებლების მიწოდება (წყალში მათი მომატებული კონცენტრაციები).
$n \cdot 10^3 - n \cdot 10^4$	წყლის ობიექტის ქრონიკული დაბინძურების მაღალი დონე (წყალში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ისეთი კონცენტრაციებისას, რომლებიც არსებითად აღემატება ზდკ-ის მაჩვენებლებს).

გარდა ამისა, ფაკ-ის სიდიდეზე გავლენას ახდენს ისეთი ფაქტორებიც, როგორცაა დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბუნება, მათი ხსნადობა წყალში, ხვედრითი წონა, სისტემაში წყალი-ფსკერული დანალექი მიმდინარე სორბცია-დესორბციის პროცესების სპეციფიკა, წყლის ობიექტის გეომორფოლოგიური თავისებურებანი და ა. შ.

3. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

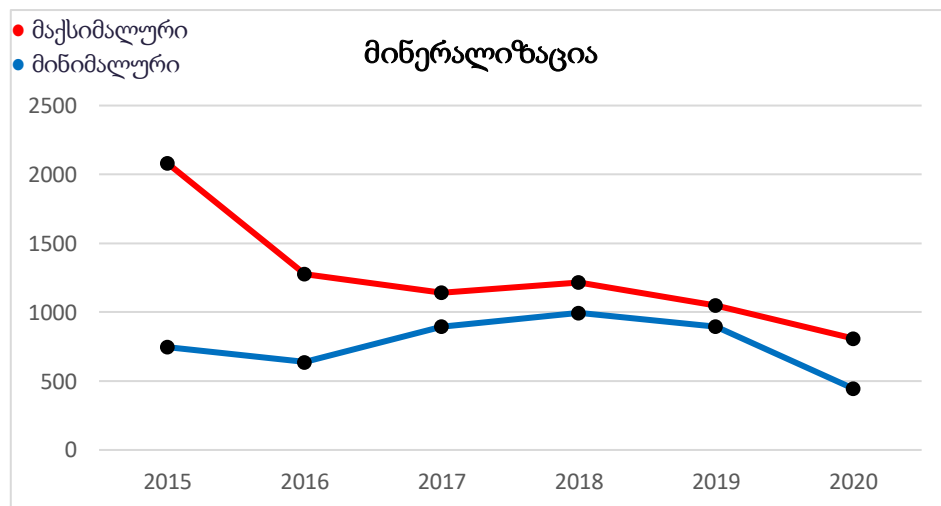
3.1. მდინარე ლოჭინის ზედაპირულ წყლებზე ჩატარებული სისტემატური მრავალწლიანი მონიტორინგული კვლევის შედეგების ანალიზი

ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული სამეცნიერო კვლევების შედეგების განხილვამდე უსათუოდ უნდა აღვნიშნოთ ის ერთი დამატებითი გარემოებაც, რამაც განაპირობა კიდევ კვლევის ობიექტებად ამ ორი მდინარის – ორხევისა და ლოჭინის სასარგებლოდ საკუთარი არჩევანის გაკეთება. ეს გახლავთ ამ დრომდე მათი გამოკვლევისა და შესწავლის ხარისხი. უნდა ვაღიაროთ, რომ თუკი მდ. ორხევი აქამდე საერთოდ ერთგვარად ყველასაგან მივიწყებულ და მიტოვებულ მდინარეს წარმოადგენდა, მდ. ლოჭინის შემთხვევაში სსიპ გარემოს ეროვნულ სააგენტოს ეს მდინარე ჩართული ჰყავდა საქართველოს მდინარეთა მიმართ თავისი საკუთარი მრავალწლიანი მონიტორინგული კვლევის გეგმაში და ამას ანხორციელებდა კიდევ. თუმცა უნდა ვაღიაროთ ისიც, რომ ამ მდინარეზე აღნიშნული სისტემატური კვლევები, დაწყებული 2015 წლიდან დღემდე, მიმდინარეობდა მდინარის მხოლოდ ერთ კვეთზე, ისიც ქ. თბილისში შემოსასვლელთან ახლომდებარე ლოჭინის ხიდთან. რაც ობიექტურად უნდა ვაღიაროთ კვლევის ობიექტის ანთროპოგენური დაბინძურების შესახებ სრულყოფილ სურათს არ გვაძლევდა, ზოგადი დასკვნების გამოტანის შესაძლებლობაზე რომ აღარაფერი ვთქვათ. მიუხედავად ამისა, ჩვენ მაინც ვისარგებლეთ აღნიშნული სააგენტოს მიერ ოფიციალურად გამოქვეყნებული და ჩვენთვის მოწოდებული „საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების დაბინძურების წელიწდეულებით“, დათარიღებული 2015-2020 წლებისათვის [42-47]. რაც შეეხება, 2021 წლისათვის მათ მიერ ჩატარებული მონიტორინგული კვლევების ამსახველ ანალოგიური სახის დოკუმენტაციას, სააგენტოს მხრიდან იგი ჯერჯერობით ოფიციალურად არ გამოქვეყნებულა.

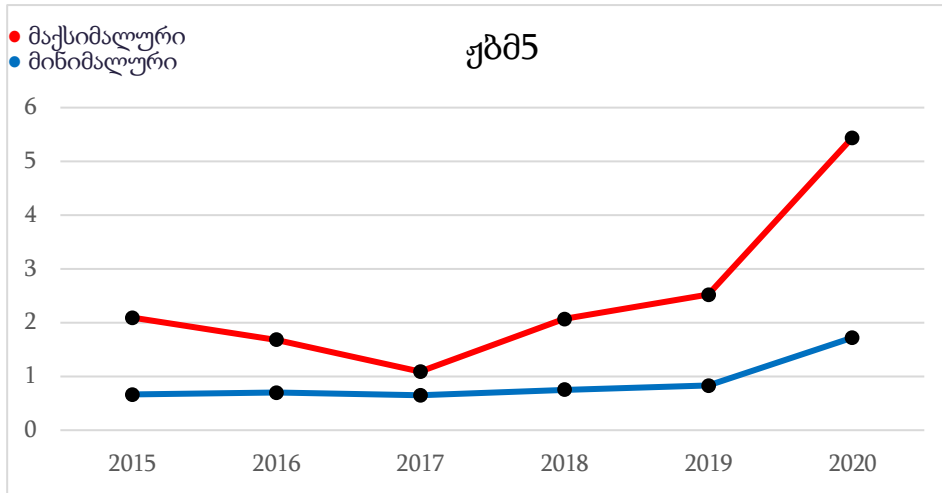
ჩვენ შეძლებისდაგვარად მოვახერხეთ აღნიშნულ წელიწადეულებში მხოლოდ სიტყვიერი აღწერით ასახული ამ მწირი ინფორმაციის სათანადო მეცნიერულ ენაზე ამეტყველება. როგორც წარმოდგენილი ცხრილი 5 და ნახაზი 1 სახით მოტანილი გრაფიკებიდან ნათლად ჩანს, სააგენტოს მხრიდან 2015 წელს მდ. ლოჭინის მხოლოდ ერთადერთ კვეთზე წელიწადის დროების მიხედვით სეზონურად აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში საკმაოდ მაღალი მაქსიმალური მაჩვენებლები დაფიქსირებულა როგორც მინერალიზაციისა და ჟბმ-ის კუთხით, ასევე მათში მნიშვნელოვანი ძირითადი იონების (ამონიუმის აზოტისა და სულფატების) შემცველობის მიხედვითაც. თუმცა შემდგომ წლებში აქ თვალშისაცემია ერთგვარ სტაბილურობაზე გასვლა ამ მაჩვენებლების დაფიქსირების თვალსაზრისით და ამ მხრივ ისინი ძირითად ნორმატიულ მაჩვენებელთან (ანუ ზდკ-სთან) სიახლოვეთაც კი ხასიათდება. აქ ერთადერთ გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ ჟბმ-ის მაქსიმალური მაჩვენებლის ჯერ კლებადობის ტენდენცია – 2015 წლიდან 2017 წლამდე, ხოლო 2017 წლიდან 2020 წლის ჩათვლით, უფრო მეტი ხარისხით მისი მომატების ტენდენციის დაფიქსირება, თუმცა აღნიშნული ინგრედიენტის მინიმალური მაჩვენებელი აქაც ერთგვარი სტაბილურად ზომიერი სიდიდეებით გამოირჩევა. ამიტომაც უპრიანი არ იქნება, კიდევ ერთხელ ავღნიშნოთ, რომ მხოლოდ ერთ წერტილში წელიწადის დროების მიხედვით ყოველკვარტალურად ანუ სეზონური სინჯების აღების გზით (რაც წლიურად ერთ კვეთზე 3-4 სინჯის აღებას მოიცავს) იმპაქტური მონიტორინგული კვლევის ჩატარება ვერავითარ ობიექტურ სურათს ვერ გვიჩვენებს რაიმე დასკვნის გამოსატანად, კონკრეტულად, მდ. ლოჭინის ანთროპოგენური დაბინძურების საილუსტრაციოდ.

ცხრილი 5. სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ მდ. ლოჭინზე ჩატარებული იმპაქტური მონიტორინგული დაკვირვების შედეგები (2015-2020)

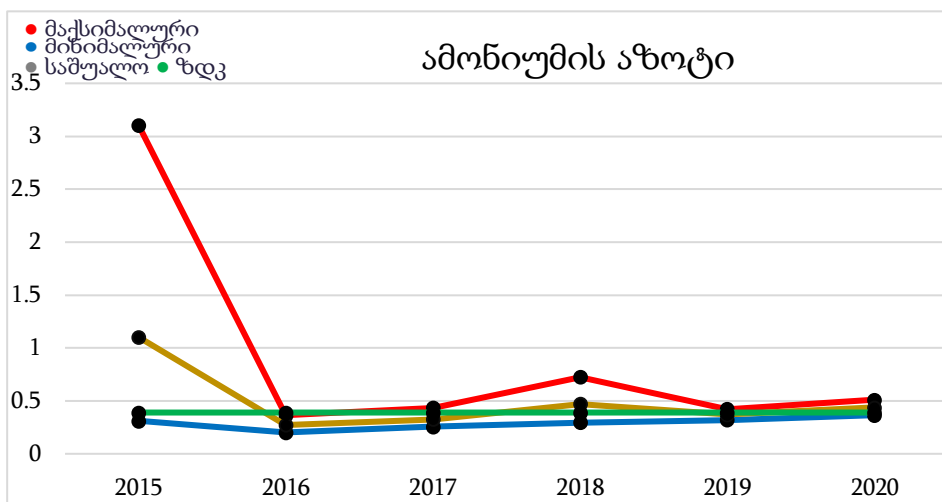
№	გაზომილი ინგრედიენტი	ერთეული	ზღვ	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	მინერალიზაცია	მგ/ლ	-						
	მინიმალური			748,1	636,98	896,90	995,20	896,89	446,22
	მაქსიმალური			2080,2	1277,40	1143,40	1215,93	1048,92	809,65
2	ჟგმ	მგ/ლ	6,0						
	მინიმალური			0,66	0,70	0,65	0,75	0,83	1,72
	მაქსიმალური			2,09	1,68	1,09	2,07	2,52	5,44
3	ამონიუმის აზოტი	მგ/ლ	0,390						
	მინიმალური			0,310	0,202	0,257	0,295	0,319	0,365
	მაქსიმალური			3,103	0,365	0,435	0,724	0,421	0,511
	საშუალო			1,102	0,272	0,324	0,471	0,370	0,438
	ჯერადობა			8,0	0,9	1,1	1,9	1,1	1,3
	საშუალო								
4	სულფატები	მგ/ლ	500						
	მინიმალური					460,30	542,79	411,59	302,04
	მაქსიმალური			1622,7	779,59	641,65	649,40	599,27	582,58
	საშუალო				602,42	579,71	599,30	477,2	413,53
	ჯერადობა			3,2	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2



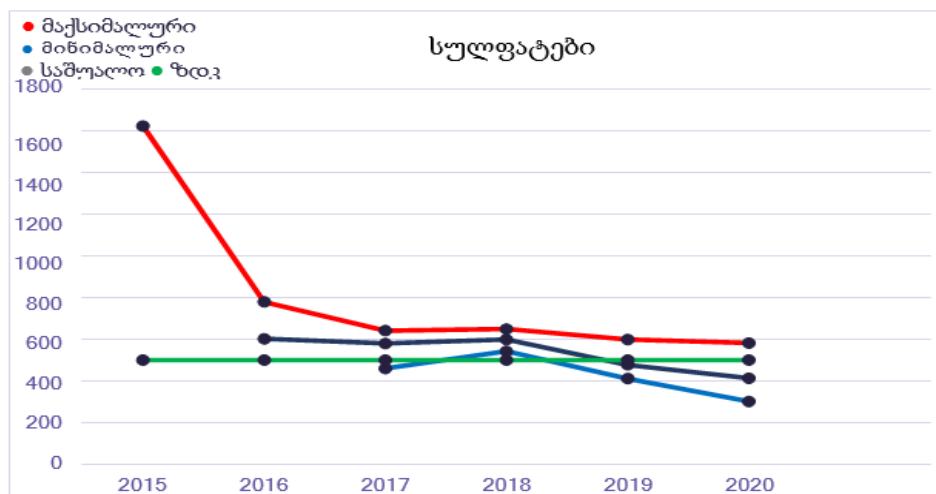
ნახაზი 1. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლებში წლების მიხედვით გაზომილი ინგრედიენტების (მგ/ლ-ში) ცვლილებათა მინერალიზაციის გრაფიკი



ა



ბ



გ

ნახაზი 2. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლებში წლების მიხედვით გაზომილი ინგრედიენტების (მგ/ლ-ში) ცვლილებათა გრაფიკები: ა - ჟბმ5; ბ - ამონიუმის აზოტის შემცველობა; გ - სულფატების შემცველობა.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე ნათელია, რომ ჩვენი საკვლევი ორივე ობიექტისათვის საჭირო გახდა არა მხოლოდ ერთადერთ, არამედ რამდენიმე წინასწარ მონიშნულ კვეთზე, მრავალმხრივ და კომპლექსურ კვლევათა განხორციელების აუცილებლობა. ამასთან, ანალიზური კვლევის კუთხით, მრავალფეროვანი შესწავლის სურვილი არ უნდა შემოიფარგლებოდეს მხოლოდ ზედაპირული წყლის სინჯების აღებითა და მათთვის მხოლოდ ქიმიური ანალიზების ჩატარებით (როგორც ამას ადრეც ჰქონდა და ახლაც აქვს ადგილი აღნიშნული სააგენტოს მხრიდან საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული მრავალრიცხოვანი ზედაპირული წყლების იმპაქტური მონიტორინგის ჩატარებისას), არამედ საჭირო ხდება სათანადო კვლევების ჩატარების აუცილებლობა, მათ შორის, საკვლევი ობიექტების ფსკერულ დანალექებზეც.

3.2. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიურ და მიკრობიოლოგიურ კვლევათა შედეგები

3.2.1. საკვლევი მდინარეების ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიურ კვლევათა შედეგები

ჩვენი საკვლევი ობიექტების ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიური კვლევები საველე-საექსპედიციო და ასევე ლაბორატორიულ პირობებში მიმდინარეობდა 2021 წლის ზაფხულიდან 2022 წლის გაზაფხულის ჩათვლით მიმდინარე პერიოდის მანძილზე.

როგორც ნაშრომის მეორე თავში უკვე იყო აღნიშნული, საკვლევი პერიოდი დაყოფილი იქნა წელიწადის დროების ბუნებრივი სეზონურობიდან გამომდინარე ოთხ, პირობითად, კვარტალურ ხანგრძლივობის ქვეპერიოდად. ბუნებრივია, მეტეოროლოგიური პირობების გაუთვალისწინებლად, არ იგეგმებოდა საველე ექსპედიციები და მონიტორინგული სადამკვირვებლო გასვლებით ხდებოდა უკვე წინასწარ მონიშნული კვეთებიდან (თითოეულ მიკრომენაკადზე ოთხ-ოთხი) შესაბამისი საერთაშორისო სტანდარტების მოთხოვნათა სრული დაცვით ტარდებოდა საანალიზო სინჯის აღების

პროცედურები როგორც ზედაპირული წყლებისათვის, ასევე ფსკერული დანალექებისათვის და ცალკეულ შემთხვევაში, საჭიროებისამებრ საკვლევ მდინარეთა კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიათა ნიადაგის გრუნტის-თვისაც.

სამომავლოდ კვლევის პროცედურის მნიშვნელოვანი გამარტივების მიზნით ლოკალურად აღებული საანალიზო სინჯების გადანომვრა და შესაბამისად მათი ეტიკეტირებაც მოხდა მარტივად, №№ 1-16-ის ჩათვლით, სინჯების აღების სეზონიდან გამომდინარე; ამგვარად №№ 1-4 შეესაბამება 2021 წლის ზაფხულში (ივლის-აგვისტოში) აღებულ სინჯებს; №№ 5-8 იმავე წლის გვიან შემოდგომაზე (ნოემბერ-დეკემბერი) აღებულ ნიმუშებს; №№ 9-12 უკვე 2022 წლის ზამთარში (თებერვალ -მარტში) აღებულ სინჯებს, და ბოლოს, №№ 13-16 მიმდინარე წლის გაზაფხულზე (მაის-ივნისში) აღებულ საკვლევ ნიმუშებს.

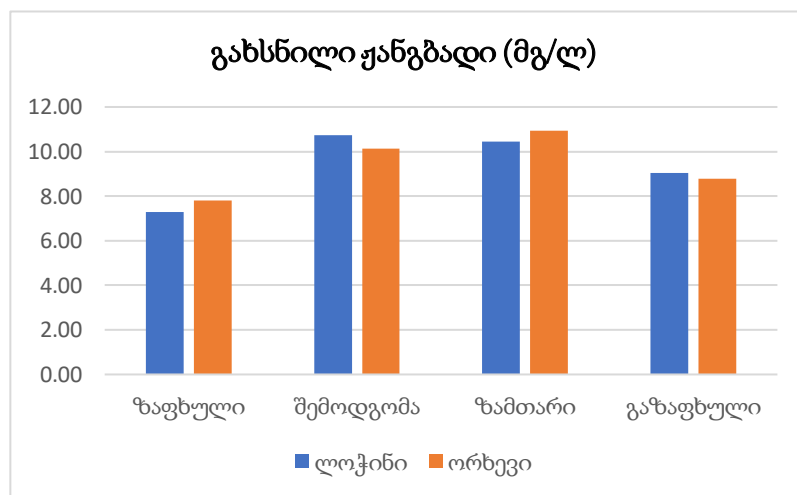
საკვლევი მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური ანალიზების შედეგების შესადარებლად ზღვრულად დასაშვებ საკონტროლო მაჩვენებლებთან გამოყენებულ იქნა შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტაცია [48,49] და საცნობარო ლიტერატურა [50,51].

ცხრილებში №№ 6,7 მოცემულია შესაბამისად მდ. ლოჭინსა და მდ. ორხევზე მთელი საკვლევი პერიოდის (2021-2022) განმავლობაში სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში საკვლევი პარამეტრების საველე-საექსპედიციო პირობებში გაზომილი შესაბამისი მაჩვენებლები.

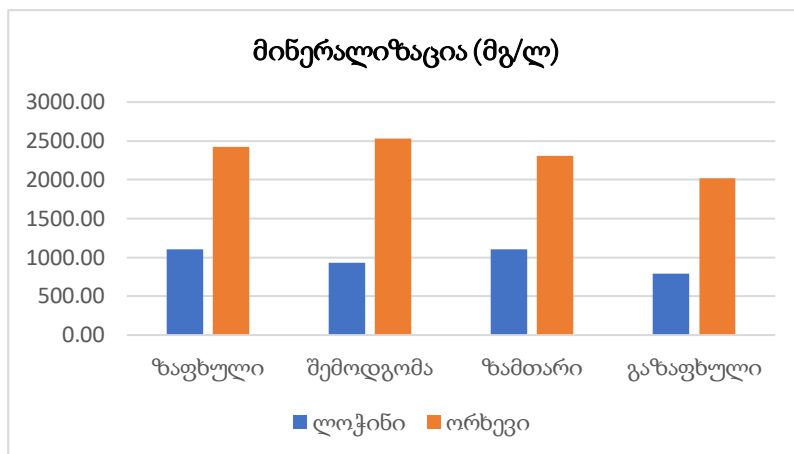
თუკი ერთმანეთს შევადარებთ ცხრილებში №№ 6,7 მოყვანილ რიცხვით მონაცემებს, ვნახავთ, რომ (ზედაპირული წყლის ტემპერატურის მაჩვენებელთა გამოკლებით, რომელიც წელიწადის სხვადასხვა დროისათვის სინჯების სეზონურად აღების შესაბამისია) ორივე საკვლევი მდინარის ზედაპირული წყლების ჟანგბადით გაჯერებულობა, კონცენტრაციულადაც და პროცენტულადაც სავსებით დამაკმაყოფილებელია და დაახლოებით თანაბარია. ორივე მდინარის ზედაპირულ წყლებში ჟანგბადის ხსნადობის გაზრდა

დამოკიდებულია ტემპერატურისა და მინერალიზაციის შემცირებაზე. თუმცა, მდ. ლოჭინისათვის გახსნილი ქანგბადის 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 ქანგბადით გაჯერებულობა შეესაბამება ამ ნიშნით ზედაპირული წყლების ხარისხის განსაზღვრულ კლასს – „სუფთას“ [52].

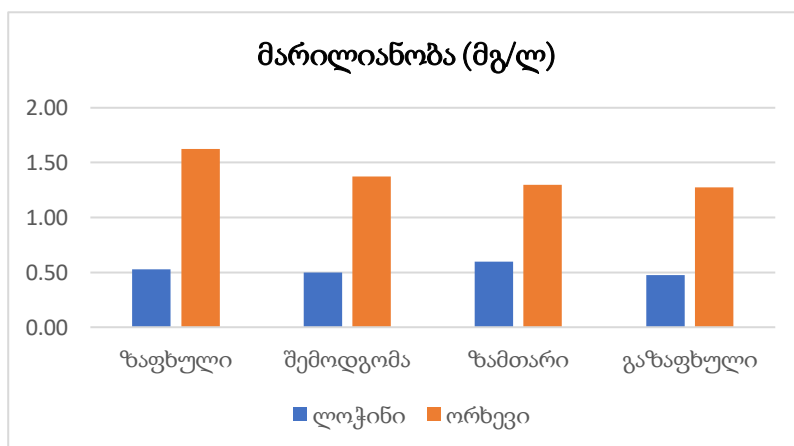
რაც შეეხება დანარჩენ სამ მახასიათებელს (ელექტროგამტარობა, მარილიანობა, მინერალიზაცია), დადგენილს ოთხივე სეზონზე, მთელი საკვლევ კალენდარული წლის განმავლობაში აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებისათვის, აქ წარმოდგენილი ცხრილებიდანაც ჩანს, რომ სამივე მახასიათებლის რიცხოვრივი მაჩვენებლები მდ. ორხევეზე მნიშვნელოვნად აღემატება მდ. ლოჭინისას. ეს ყველაფერი ამ ორ ცხრილზე მეტად უფრო თვალსაჩინოა ნახაზი 2-ის სახით წარმოდგენილ ჰისტოგრამებზე.



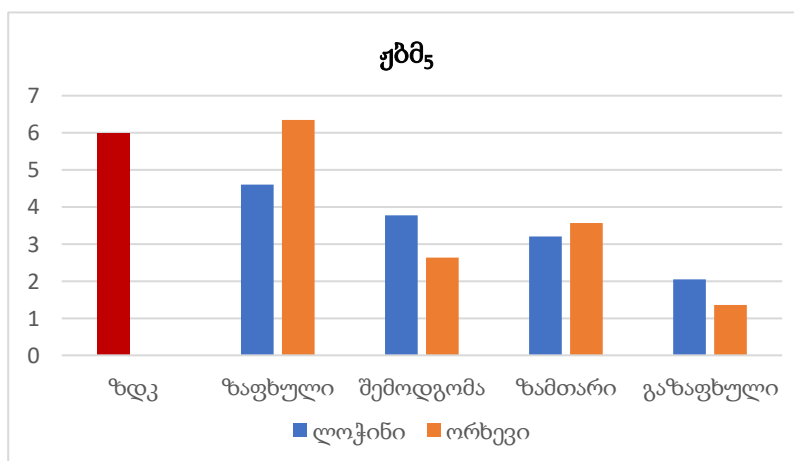
ნახაზი 3. საკვლევ მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში გახსნილი ქანგბადის მნიშვნელობათა მახასიათებელი ჰისტოგრამები.



ა



ბ



გ

ნახაზი 4. საკვლევი მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში ა - მინერალიზაცია, ბ - მარილიანობის, გ - ჟბმ₅-ის მნიშვნელობათა მახასიათებელი ჰისტოგრამები.

ცხრილი 6. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე საველე პირობებში დადგენილი ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლის მონაცემები

№	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 7. მდ. ორხევზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე საველე პირობებში დადგენილი ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლის მონაცემები

№	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

ზოგადად, კუთრი ელექტროგამტარობის სიდიდე საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებში, რომლებიც ძლიერ ელექტროლიტთა ხსნარებს წარმოადგენს, ძირითადი არაორგანული იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელია, ამდენად ელექტროგამტარობით შეიძლება საკვლევ მდინარეთა წყლების მინერალიზაციის შეფასება [53].

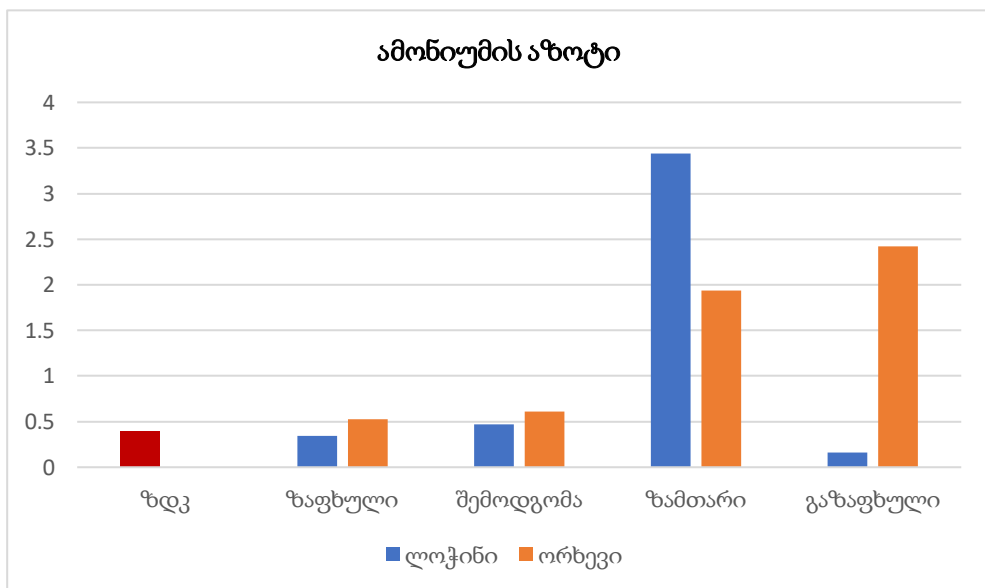
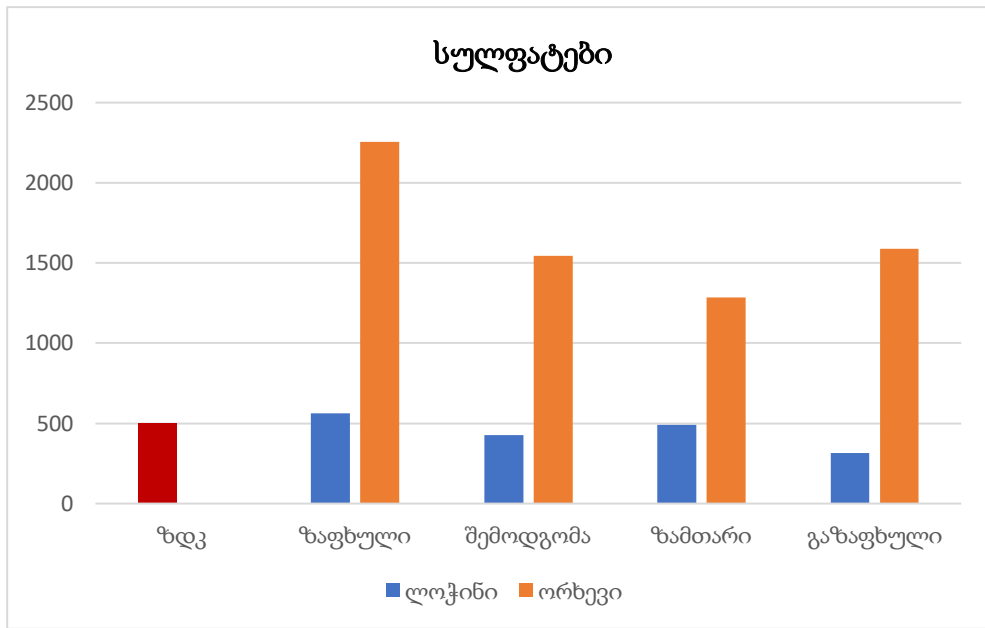
ცხრილებში 8,9 მოცემულია შესაბამისად მდ. ლოჭინსა და მდ. ორხევზე მთელი საკვლევ პერიოდის (2021-2022წწ) განმავლობაში სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში საკვლევ პარამეტრების (ძირითადი კატიონებისა და ანიონების) უკვე ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილი შესაბამისი მაჩვენებლები.

როგორც ცხრილებიდან 8,9 ჩანს, ორივე საკვლევ მდინარეზე შერჩეული კვეთებიდან აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებში ძირითადი იონების შემცველობის დამადასტურებელი მაჩვენებლები საგანგაშო არ არის, რადგან როგორც კატიონების, ასევე ანიონების კონცენტრაციები ზდკ-ების მიხედვით ნორმატიულ ფარგლებშია; ყურადსაღებია ცალკეული კვეთებიდან აღებულ სინჯებში ჟმჰ-ის მაჩვენებლები, განსაკუთრებით ზაფხულში (სინჯი № 4), ასევე 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. ორხევზე 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. კონცენტრაციული ჯერადობა კი წარმოადგენს ცალკეული ინგრედიენტის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობის თანაფარდობას მისსავე ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის (ზდკ-ის) წინასწარ დადგენილ მაჩვენებელთან მიმართებაში.

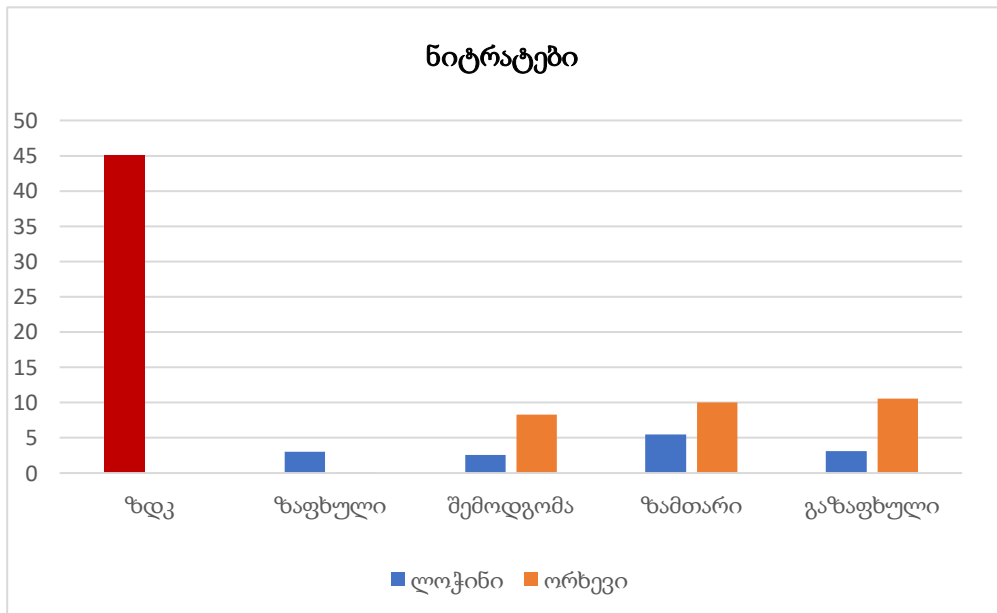
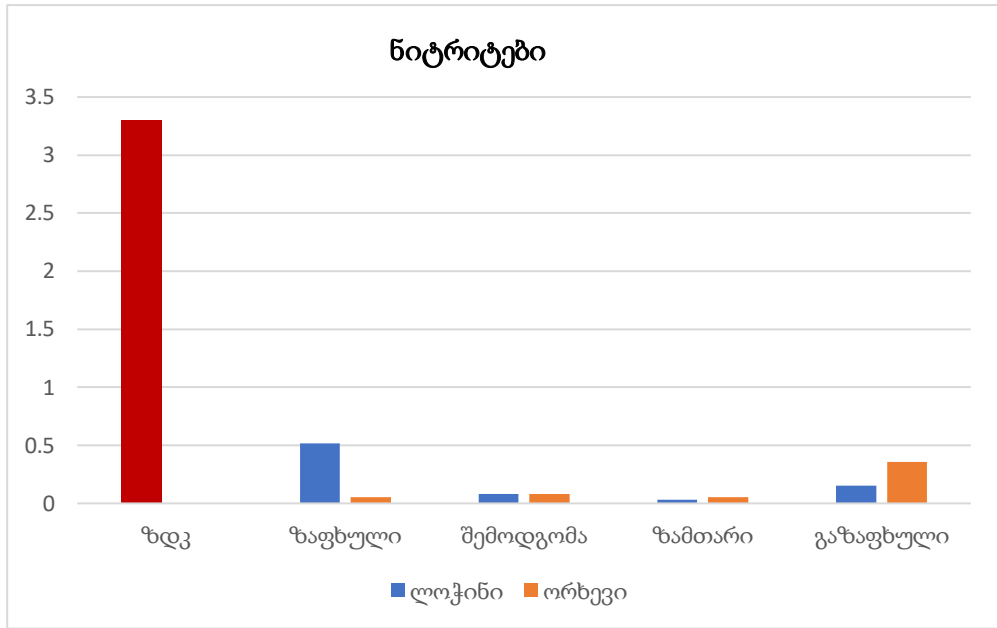
ზოგადად, ცნობილია, რომ სულფატებისა და ქლორიდების კონცენტრაციათა მაღალი მაჩვენებლები განაპირობებს ზედაპირული წყლის კოროზიულ აქტივობასა და მუდმივ სიხისტეს. თუმცა, მდინარეთა ზედაპირული წყლების აგრესიული კოროზიული ზემოქმედება ზოგადად, ლითონებისა და ბეტონის მიმართ, ასევე წყლის pH-ის სიდიდითაც შეიძლება იყოს განპირობებული [53]. ჩვენ შემთხვევაში, ორივე საკვლევი მდინარის pH-ის მნიშვნელობა ძირითადად იმყოფება მდინარის წყლისათვის დამახასიათებელ ზღვრებში ($\text{pH} = 6,5-8,5$). იშვიათად, და ისიც გამონაკლის შემთხვევაში, მდ. ლოჭინის წყალს ახასიათებს ოდნავ უფრო მეტად გამოხატული ტუტეობა, რაც შეიძლება აიხსნას ამ მდინარის წყალში გახსნილი კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატებისა და ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა უფრო მაღალი მაჩვენებლებით [53].

საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების დაბინძურების მნიშვნელოვან ინდიკატორულ მაჩვენებელს წარმოადგენს მათში ბიოგენური ელემენტების (აზოტის, ფოსფორის) შემცველ იონთა ფორმების: ამონიუმის, ნიტრიტების, ნიტრატებისა და ფოსფატების არსებობა. ამონიუმის აზოტის გადაჭარბებული შემცველობის მაქსიმუმი საკვლევ მდინარეთა ზედაპირულ წყლებში, ნახაზზე 3 წარმოდგენილი ჰისტოგრამის შესაბამისად მოდის ზამთრის სეზონზე. ამ ინგრედიენტის კონცენტრაციის შემდგომი სეზონური ჯერ კლებისა და მერე მატების ტენდენციები ზედაპირულ წყლებში მოსალოდნელი სცენარით მიმდინარეობს, თუმცა ერთგვარად მაინც მოულოდნელად მოჩანს მდ. ორხევის წყალში გაზაფხულის სეზონზე ამონიუმის აზოტის კლების ნაცვლად მოულოდნელი მატების ფაქტი.

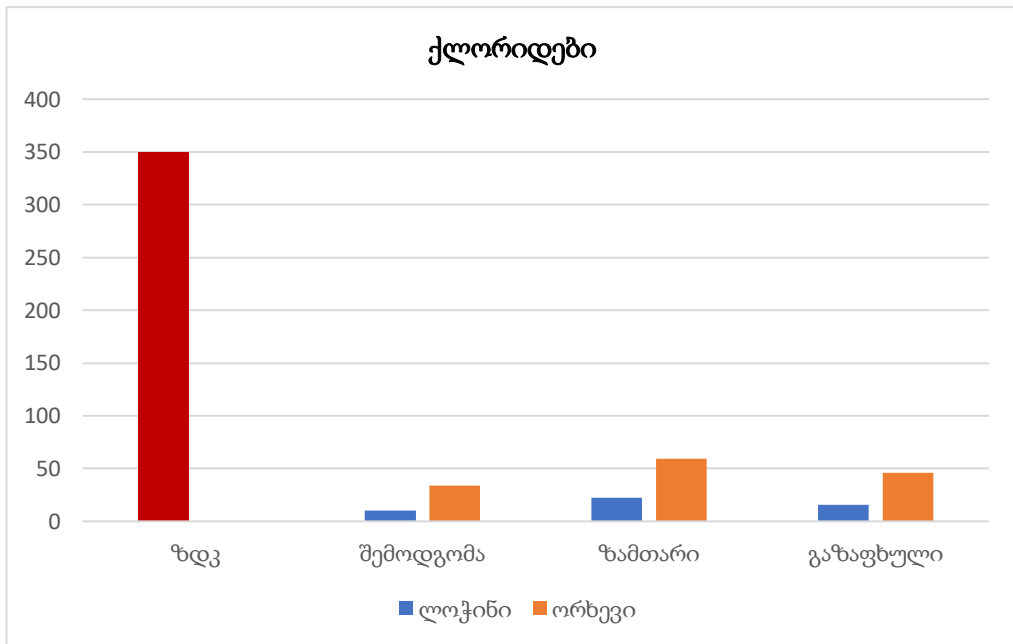
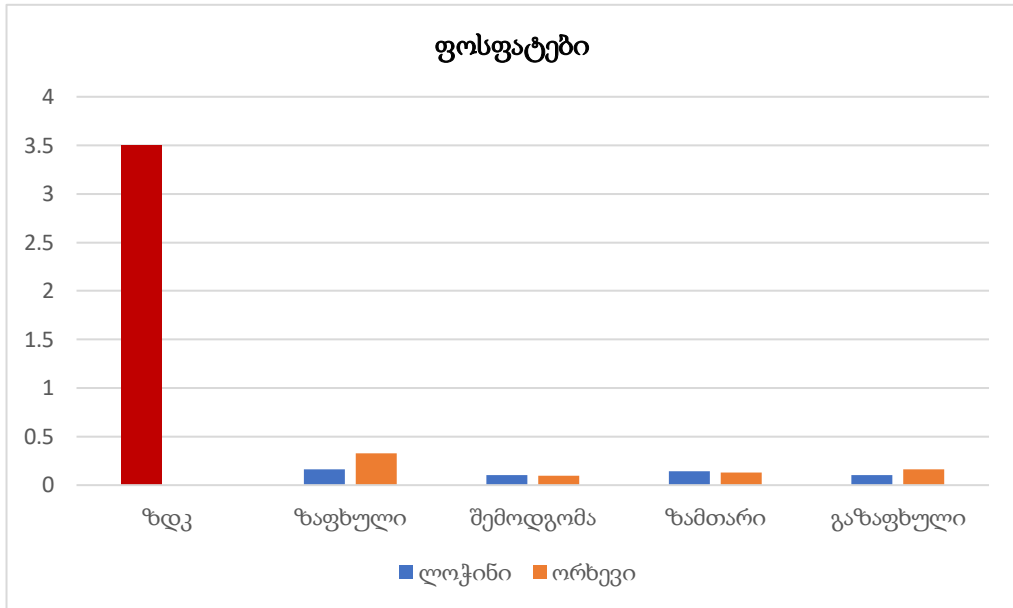
რაც შეეხება დანარჩენი ბიოგენური იონების კონცენტრაციათა სეზონური ცვლილების თანმიმდევრობას, იმავე ნახაზზე 3 წარმოდგენილი ჰისტოგრამების მიხედვით, კანონზომიერება ზუსტად არის დაცული.



ნახაზი 5. საკვლევ მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირულ წყლის სინჯებში სულფატების, ქლორიდებისა და ბიოგენურ ელემენტთა შემცველი ანიონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამა



ნახაზი 6. საკვლევ მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირულ წყლის სინჯებში ქლორიდებისა და ბიოგენურ ელემენტთა შემცველი ანიონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები



ნახაზი 7. საკვლევ მდინარეებიდან აღებულ ზედაპირულ წყლის სინჯებში ქლორიდებისა და ბიოგენურ ელემენტთა შემცველი ანიონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები

ცხრილი 8. 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	ჟბმ	6,0	1,33	2,12	12,91	2,06	2,40	0,93	9,76	2,04	1,51	1,52	5,46	4,31	1,32	1,70	3,87	1,27
2	ამონიუმი	0,39	0,272	0,315	0,455	0,325	0,653	0,341	0,441	0,439	0,135	8,956	3,037	1,636	0,192	0,121	0,118	0,218
3	ნიტრიტები	3,3	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	45	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	3,5	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	500	377,78	536,21	644,41	699,46	244,60	348,79	464,15	652,40	398,36	296,61	497,02	773,82	140,20	256,15	350,95	513,89
7	ქლორიდები	350	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	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	71,03	63,13	116,26	157,01	71,78	90,14	98,93	125,99
11	კალციუმი	180	N/A	N/A	N/A	N/A	116,71	143,62	185,46	227,23	45,37	31,98	39,69	17,16	37,58	50,20	64,37	35,07
12	ნატრიუმი	200	N/A	N/A	N/A	N/A	46,25	43,75	50,50	76,25	174,28	117,25	150,03	298,53	66,29	56,36	54,34	56,86
13	კალიუმი	45	N/A	N/A	N/A	N/A												

ცხრილი 9. 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	6,0	2,13	2,16	1,75	19,36	1,40	1,01	6,33	1,78	1,42	1,33	7,31	4,21	1,44	1,36	1,28	1,38
2	ამონიუმ	0,39	0,523	0,515	0,495	0,568	0,404	0,589	0,864	0,572	3,373	2,059	1,827	0,482	3,486	1,796	1,521	2,884
3	ნიტრიტები	3,3	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	45	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	3,5	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	500	3635,18	2487,35	1472,79	1432,08	2279,02	1573,60	1010,91	1309,10	2967,01	1168,21	286,34	718,80	2869,58	1169,16	1125,88	1186,83
7	ქლორიდები	350	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	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	419,71	310,57	261,20	145,55	641,60	365,55	402,78	352,32
11	კალციუმი	180	845,63	660,03	491,15	485,37	786,92	543,02	365,11	426,09	123,89	56,32	12,49	13,81	248,96	71,99	55,42	32,83
12	ნატრიუმი	200	131,58	87,19	40,31	43,04									153,25	63,57	65,88	59,63
13	კალიუმი	45	6,35	3,24	1,59	2,49	125,50	87,50	68,75	71,25	988,80	216,03	76,25	257,85	6,74	2,62	3,16	2,77

როგორც ცხრილში 10, 11 ციფრული მონაცემებიდან ნათლად ჩანს, ორივე საკვლევი მდინარისათვის გვიანი შემოდგომით აღებულ სინჯებში (სინჯები № № 5÷8) ზაფხულში აღებულ სინჯებთან (სინჯები №№ 1÷4) შედარებით წყალბადური მაჩვენებლის (pH-ის) მიხედვით ტუტეობის მოსალოდნელ ნორმატიულ მატებასთან გვაქვს საქმე. თუმცა, გაზრდილი ტუტეობის მაჩვენებლებმა საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების სინჯებში მძიმე ლითონთა (იგულისხმება რკინის, სპილენძის, თუთიის, ტყვიის, მანგანუმისა და კადმიუმის) შემცველობის მხრივ განსაკუთრებული ცვლილებები არ გამოუწვევია მათივე კონცენტრაციათა შემცირების კუთხით. ნორმატიულად ეს მაჩვენებლები სტაბილურად მცირეა, თუმცა არის გამონაკლისებიც. როგორც ცხრილიდან 11 ჩანს საკვლევ მდინარეთა ზედაპირულ წყლებში, მაგალითად, მდ. ორხევისათვის, რკინის შემცველობამ მხოლოდ ერთხელ ზაფხულში გადააჭარბა 1 მგ/ლ კონცენტრაციას. ხოლო მდ. ლოჭინისათვის გადაჭარბება შეინიშნა ასევე ერთხელ, მხოლოდ გაზაფხულზე აღებულ სინჯში. ზოგადად, რკინის კონცენტრაციაც ზედაპირულ წყლებში სეზონურად იცვლება, რაც ნათლად ჩანს ნახაზზე 4 წარმოდგენილ ჰისტოგრამაზე. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირულ წყლებში მანგანუმის კონცენტრაციული ცვლილებებიც ასევე სეზონურობას არის დაქვემდებარებული (ნახაზი 4).

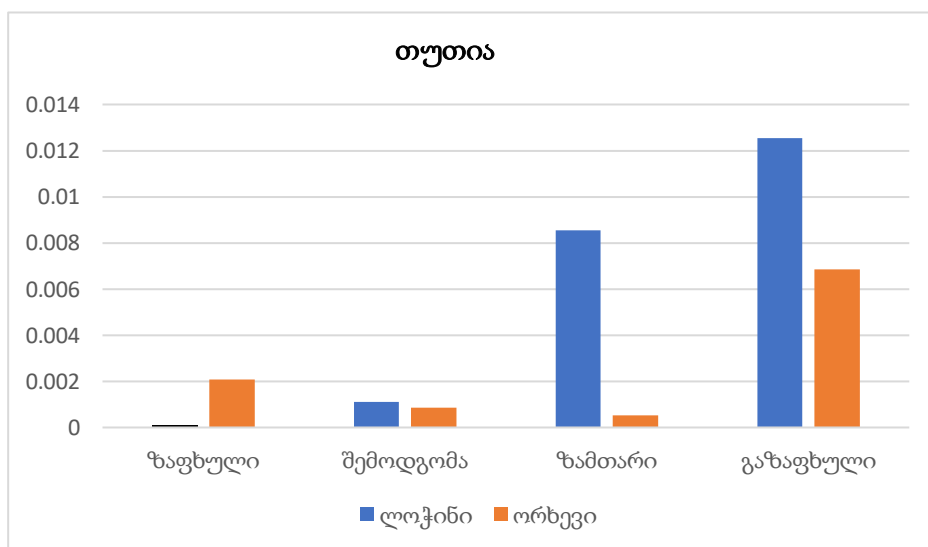
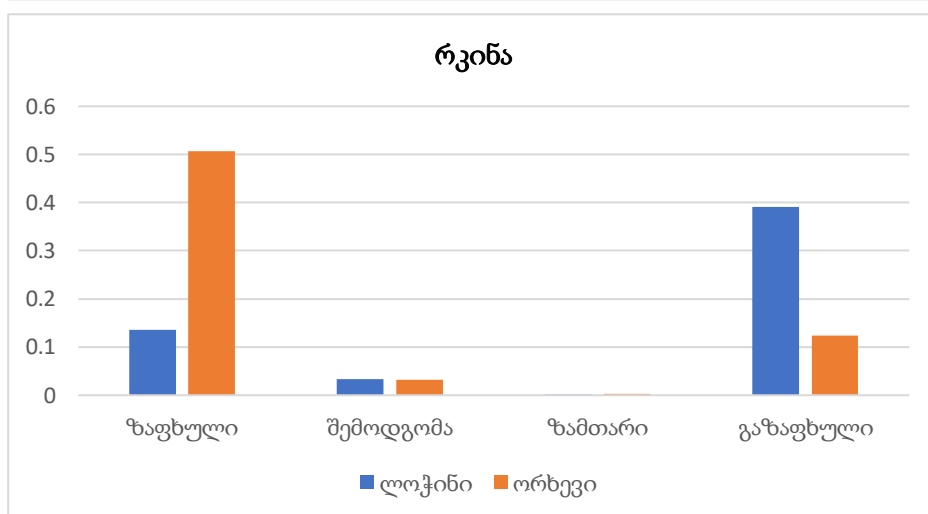
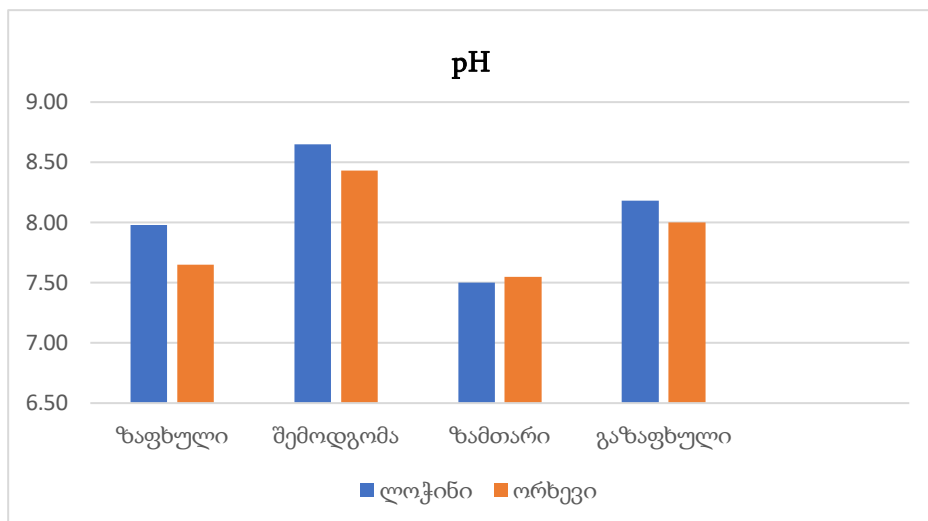
ცხრილიდან 10 ჩანს, რომ მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში მანგანუმის კონცენტრაციამაც მხოლოდ ერთხელ (ზაფხულში) მოიმატა 5-ჯერ (!) ზღვ-სთან შედარებით. სხვა დროს იგი ნორმის ფარგლებში იმყოფებოდა.

ცხრილი 10. მდ. ლოჭინზე აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზის მონაცემები მძიმე ლითონების შემცველობაზე

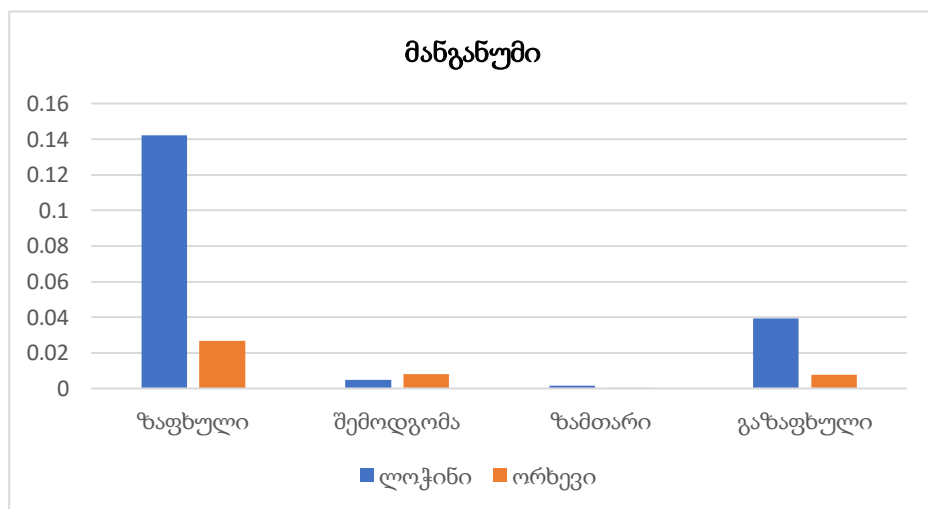
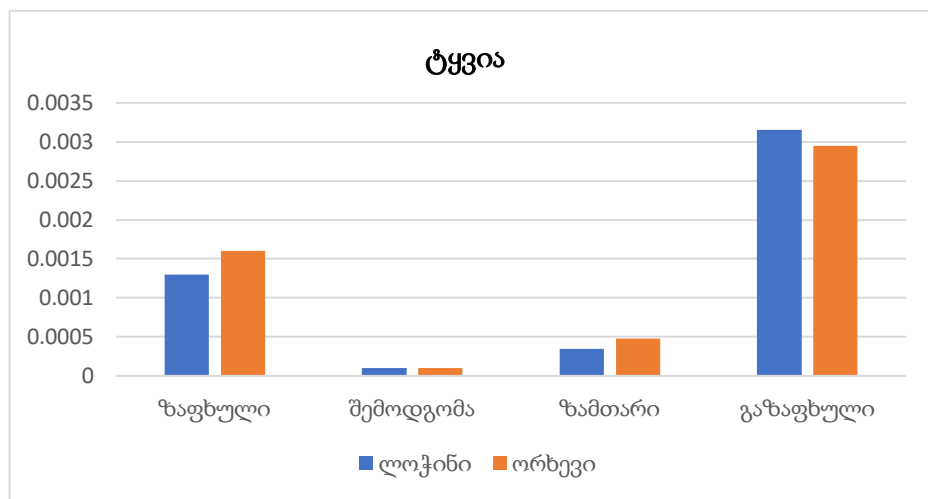
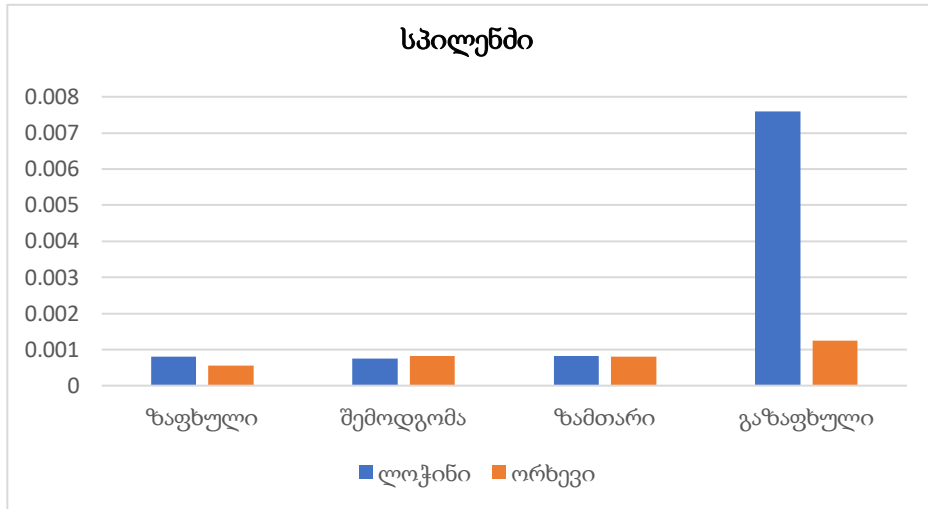
№	გაზომილი პარამეტრები	ზღვ	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	pH	6,5-8,5	8,1	8,0	7,9	7,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,1	8,2	6,8	6,9	8,3	8,2	8,1	8,1
2	რკინა	0,3	0,0401	0,1181	0,2971	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 11. 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



ნახაზი 8. საკვლევ მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში pH-ის მაჩვენებელთა და მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები



ნახაზი 9. საკვლევ მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებში მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა ჰისტოგრამები

ამრიგად, საკვლევ მდინარეებზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური კვლევის შედეგად წარმოდგენილ ჰისტოგრამებსა და ცხრილებში შეტანილი მონაცემების გასაშუალოებით მიღებულ რიცხვით მნიშვნელობებზე დაყრდნობით, ასევე ბუნებრივი წყლის მარილოვანი შედგენილობის დასადგენი კურლოვის ფორმულის [53] გამოყენებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ: მდ. ორხევის ზედაპირული წყალი საშუალო წლიური მაჩვენებლების მიხედვით მიეკუთვნება: ჰიდროკარბონატულ (0,23 გ/ლ), სულფატურ (1,7 გ/ლ), კალციუმთან (0,3 გ/ლ), მაგნიუმთან (0,4 გ/ლ) და ამონიუმთან (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 კი საშუალო წლიური მაჩვენებლების მიხედვით მიეკუთვნება: ჰიდროკარბონატულ (0,24 გ/ლ), კალციუმთან (0,08 გ/ლ), მაგნიუმთან (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.

3.2.2. საკვლევ მდინარეების ზედაპირული წყლების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები

ჩვენი საკვლევ წყლის ობიექტების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე, რომელიც ცხრილი 12 სახით არის წარმოდგენილი, მათ ზედაპირულ წყლებში ძირითადი საკვლევ პარამეტრები საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, რომელთა რიცხვსაც მიეკუთვნება ლაქტოზადადებითი ნაწლავის ჩხირები და E-coli, 1ლიტრ საანალიზოდ აღებულ წყალში ორივე მდინარისათვის (განსაკუთრებით ეს ყველაფერი უფრო თვალსაჩინოა მდინარე ლოჭინთან მიმართებაში) მათი რაოდენობები ბევრად აღემატება ნორმატიული დოკუმენტით [48] რეკრეაციული 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 № 2 ნიმუშისა), რაც ამ ორივე მდინარის ზედაპირული წყლებთან მიმართებაში მოსალოდნელ პოტენციურ ეპიდემიურ საფრთხეზე მიუთითებს.

მდ. მტკვრის მიკროშენაკადების ლოჭინისა და ორხევის ზედაპირული წყლების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე, ამ მდინარეთა ბაქტერიოლოგიური დაბინძურების ლოკალურ კერებად შეიძლება მივიჩნიოთ, მათი კალაპოტებისა და ხეობების მიმდებარედ არსებული არასანქცირებული ნაგავსაყრელები, ასევე ახლომდებარე დასახლებული პუნქტებიდან საყოფაცხოვრებო და სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ჩამდინარე წყლების არინება, ზოგადად, ყველგან გაუმართავია საკანალიზაციო სისტემა, ასევე შესამჩნევია ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობების არარსებობა და სხვა.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ ისიც, რომ საკვლევ მდინარეებზე საერთო ეპიდემიოლოგიური სურათი კიდევ უფრო მეტად მძიმე იქნებოდა, მათთვის მიკრობიოლოგიური დაბინძურების ისეთი მაჩვენებლების დადგენის შემთხვევაში, როგორცაა მეზოფილური აერობები, ფაკულტატური ანაერობები, სტრეპტოკოკი, სალმონელა და კოლიფაგები. ჩვენ შემთხვევაში ასეთი ტიპის კვლევები შეგნებულად არ განხორციელებულა, რადგანაც ზემოაღნიშნული ნორმატიული დოკუმენტის [48] შესაბამისად ყველა ეს დასახელებული მიკრობიოლოგიური მაჩვენებელი ზოგადად, მოქმედი კანონმდებლობის მიხედვით, ამჟამად ნორმირების გარეშეა დატოვებული.

ცხრილი 12. 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
მდ. ლოჭინი			
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
მდ. ორხევი			
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
<p>ნორმირებული მაჩვენებლების მნიშვნელობა ნდ-ის [48] მიხედვით: ლაქტოზადადებითი ნაწლავის ჩხირები - არაუმეტეს 5 000 ჩხირი 1ლ წყალში; კოლიფაგები - არაუმეტეს 100 ფაგი 1ლ წყალში;</p>			

3.3. საკვლევ ობიექტების ფსკერული დანალექების ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით კვლევის შედეგები

საკვლევ მდინარეებიდან აღებული ფსკერული დანალექის სინჯებზე ჩატარებული რემტგენოფლურესცენციური სპექტრალური ანალიზისას, მათ შემადგენლობაში 22 დასახელების ქიმიური ელემენტის შემცველობის გამო-სავლენად და იმ ფაქტის გათვალისწინებით ეს ქიმიური ელემენტები მდინარეთა ფსკერულ დანალექებში წარმოდგენილი არიან სხვადასხვა ნაერთთა ფორმით, კვლევის შემდგომი შედარებითი გარტივების მიზნით ქიმიურ ელემენტთა ამ სრული ჩამონათვალიდან თავიდანვე გამოვყავით მძიმე ლითონთა ის ჯგუფი, რომლებიც პირობითად ფსკერული დანალექების ანთროპოგენურ დამაბინძურებლად მოიაზრება. ესენია: Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cr, As. ხოლო ფსკერული დანალექის ელემენტური შემცველობის განმსაზღვრელი ყველა დანარჩენი ქიმიური ელემენტი პირობითად გავაერთიანეთ მეორე ჯგუფში, როგორც ფსკერული დანალექის სუბსტრატის (საფენის) შემადგენლობის განმსაზღვრელი ელემენტები, რომლებიც ფსკერულ დანალექებში წარმოდგენილია როგორც თიხამიწა

მინერალების, კვარცისა და ალუმოსილიკატების რთული სტრუქტურის მქონე ნაერთებისა და ჩანართების სახით.

ჩვენ ვიმედოვნებდით, რომ საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლები-სათვის დამახასიათებელი სეზონურად გაზრდილი ტუტთანობის გამო, რომელიც ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებული ქიმიური ანალიზებით დადასტურდა, მძიმე ლითონები მოსალოდნელი იყო ძირითადად დაკონცენტრირებულიყო ფსკერული დანალექის საანალიზოდ აღებულ სინჯებში. ჩატარებული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილი 13, 14-ისა და ნახაზზე 5-8 გამოსახული ჰისტოგრამების სახით. როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ორივე საკვლევ 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 [54, 55], ვინაიდან ნიადაგი თავისი სტრუქტურის გენეზისის მიხედვით, ფსკერულ დანალექთან მიმართებაში, უფრო მეტად მსგავსი სისტემაა [56].

ცხრილი 13. მდ. ლოჭინის ფსკერული დანალექის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური ანალიზის სპექტრალური მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების შემცველობაზე (მკგ/გ)

№	ელემენტის დასახელება	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	Na	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2251	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Mg	6673	4949	5032	5354	2940	3393	4444	3621	3143	4011	3534	3545	3588	3422	3870	3210
3	Al	13537	8587	9406	10763	29887	31108	30766	32020	31949	32867	30324	30732	32514	31953	32162	32355
4	Si	79868	62825	64591	64118	122560	121871	122433	128168	12993	132978	124294	122736	136323	127161	126940	125024
5	P	206	198	164	196	782	476	600	554	386	324	496	494	386	437	438	397
6	S	510	1883	7806	1676	2725	455	3286	595	742	471	323	321	705	414	415	523
7	K	8265	7085	5955	6157	5557	3881	4044	4321	6226	4765	3261	3467	6734	3930	3874	4128
8	Ca	111032	135098	125488	96705	104798	95331	79659	101935	69479	61992	119974	124906	62436	93300	94909	94246
9	Ti	1998	1785	2177	2226	1928	2322	2707	2191	2166	2409	2353	2338	2295	2293	2409	2280
10	V	N/A	N/A	N/A	N/A	68	64	90	82	76	86	62	49	58	63	70	42
11	Cr	79	39	68	39	101	96	134	79	79	90	69	90	109	72	117	87
12	Mn	2666	2598	3052	3080	688	2646	446	420	418	531	529	482	421	887	701	829
13	Fe	16247	15404	23878	22892	13168	19327	21140	17631	18266	20031	14020	14938	16201	18965	16625	19055
14	Ni	156	76	139	134	123	78	69	43	8	106	44	84	140	17	20	96
15	Cu	N/A	N/A	289	46	193	195	226	153	150	166	156	186	205	153	170	175
16	Zn	827	761	845	818	154	146	227	138	142	106	124	131	177	131	125	138
17	As	N/A	N/A	N/A	N/A	475	9	644	6	8	6	7	7	9	5	9	7
18	Rb	N/A	N/A	N/A	N/A	31	28	28	32	47	41	27	24	50	34	33	34
19	Sr	N/A	N/A	N/A	N/A	361	457	420	500	277	624	354	406	249	488	415	435
20	Zr	421	436	394	488	121	149	128	120	121	139	106	98	111	114	104	107
22	Pb	78	71	7	43	1459	122	790	122	17	9	15	11	12	21	12	13
23	Ba	78	153	9	125	572	18	684	15	1136	1719	122	1590	392	935	433	1166

ცხრილი 14. მდ. ორხევის ფსკერული დანალექის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური ანალიზის სპექტრალური მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების შემცველობაზე (მკგ/გ)

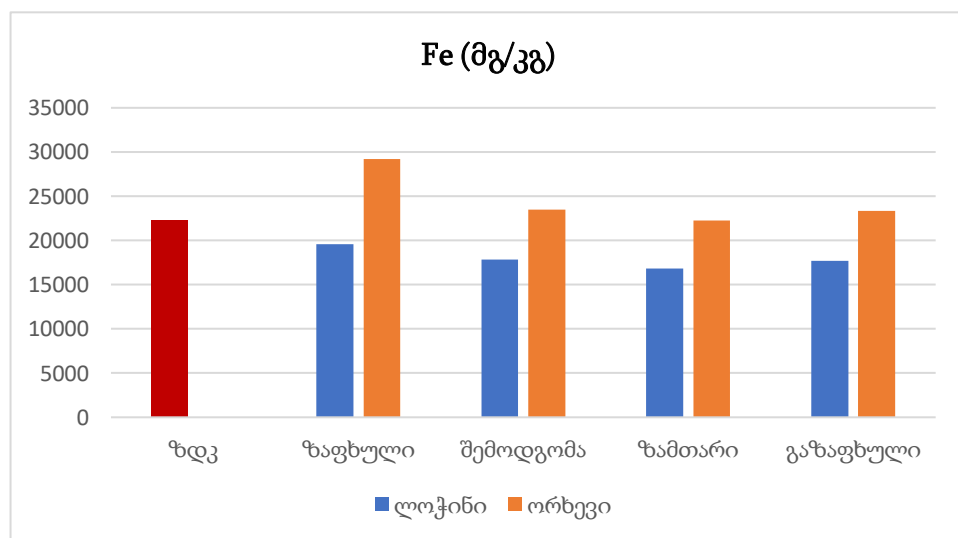
№	ელემენტის დასახელება	სინჯი № 1	სინჯი № 2	სინჯი № 3	სინჯი № 4	სინჯი № 5	სინჯი № 6	სინჯი № 7	სინჯი № 8	სინჯი № 9	სინჯი № 10	სინჯი № 11	სინჯი № 12	სინჯი № 13	სინჯი № 14	სინჯი № 15	სინჯი № 16
1	Na	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4489	N/A	N/A	N/A	9075	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Mg	5924	5464	5991	8651	4910	4390	3838	3413	5417	5481	3248	4520	4433	4412	4455	4173
3	Al	16862	16176	17486	6016	35866	35012	29104	31201	34791	36805	28191	32883	35340	34146	29104	33827
4	Si	67176	67214	69951	14261	135218	132478	98884	124511	133457	139196	93498	125183	134957	131736	99535	131160
5	P	161	187	250	112	297	263	911	501	249	315	1137	415	233	263	776	401
6	S	3694	2636	1683	4307	1534	1313	831	1929	1794	771	292	1843	1689	1015	1018	2089
7	K	10851	9823	9226	866	7256	6943	1445	5225	7211	7078	483	5761	7211	6940	1429	6087
8	Ca	42775	49885	45111	455663	29369	26079	201613	60227	23774	35124	290029	54507	21685	26704	164188	45816
9	Ti	3315	2742	3203	968	2700	3032	1612	2429	2678	2807	1013	2629	2983	3386	1360	2447
10	V	N/A	N/A	N/A	N/A	94	110	55	66	109	98	18	83	82	88	31	76
11	Cr	121	68	109	86	179	123	115	127	149	105	74	130	145	146	62	179
12	Mn	2448	4242	2863	79	2098	715	182	1813	427	664	101	324	312	462	193	470
13	Fe	39642	38606	37045	1493	33176	32241	5660	22774	30183	34051	1006	23734	28700	31114	6138	27350
14	Ni	160	186	139	58	112	125	60	120	25	164	21	83	106	43	5	171
15	Cu	N/A	28	59	49	162	209	272	199	215	184	149	205	212	203	210	240
16	Zn	880	963	831	950	200	294	236	203	176	142	94	199	164	174	158	294
17	As	N/A	17	11	8	13	11	115	15	8	11	6	11	8	12	17	14
18	Rb	N/A	N/A	N/A	N/A	46	44	19	37	44	34	10	38	48	51	17	43
19	Sr	N/A	N/A	N/A	N/A	339	308	193	271	285	301	155	298	266	291	154	314
20	Zr	366	353	391	268	114	117	62	107	109	116	32	121	118	120	30	116
22	Pb	56	91	54	61	14	21	18	34	21	14	11	25	14	17	37	29
23	Ba	79	98	114	512	884	331	1769	740	198	447	367	122	122	566	298	232

ცხრილი 15. საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექის სინჯებში მძიმე ლითონების შემცველობის სეზონური საშუალო მაჩვენებლები (მგ/კგ)

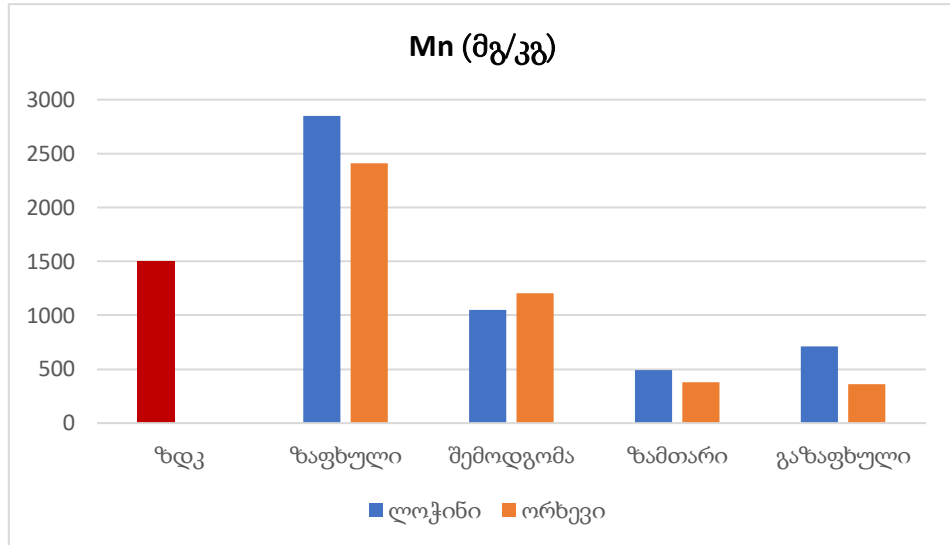
ელემენტი	ზღვ	ზაფხული	შემოდგომა	ზამთარი	გაზაფხული
მდ. ლოჭინი					
Fe	22300	19605	17817	16814	17712
Mn	1500	2849	1050	490	710
Cr	80	56.25	102.5	82	96.25
Ni	4	126.25	78.25	60.5	68.25
Cu	3	167.5	191.75	164.5	175.75
Zn	23	812.75	166.25	125.75	142.75
As	2	N/A	283.5	7	7.5
Pb	32	395	262.75	11.75	18.75
მდ. ორხევი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

ორივე მდინარისათვის აღებული სედიმენტის სინჯებში მძიმე ლითონთა ცხრილებში წარმოდგენილ რიცხვით მნიშვნელობათა გასაშუალოებით და მათი წელიწადის დროთა მიხედვით სეზონური დაკვირვების კუთხით მიკუთვნების შესაბამისად, შედგა დამატებითი ცხრილი, რომლის საფუძველზე აგებულ ჰისტოგრამებში უკვე ნათლად აისახა ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების სორბცია-სედიმენტაციის პროცესებით მოხვედრის და იქ მათი დაგროვების სეზონურად გადანაწილების ხასიათი. რადგანაც ამ ცხრილის მიხედვით სედიმენტის დამაბინძურებელ მძიმე ლითონთა პირობით ჯგუფში კონცენტრაციული შემცველობის მხრივ, თავისი დომინანტურობით რკინა და მანგანუმი აშკარად გამოირჩეოდა, ამიტომაც დანარჩენი ლითონებისაგან განსხვავებით მხოლოდ მათთვის ინდივიდუალურად აგებულ იქნა ნახაზი 5, 6 წარმოდგენილი ჰისტოგრამები.

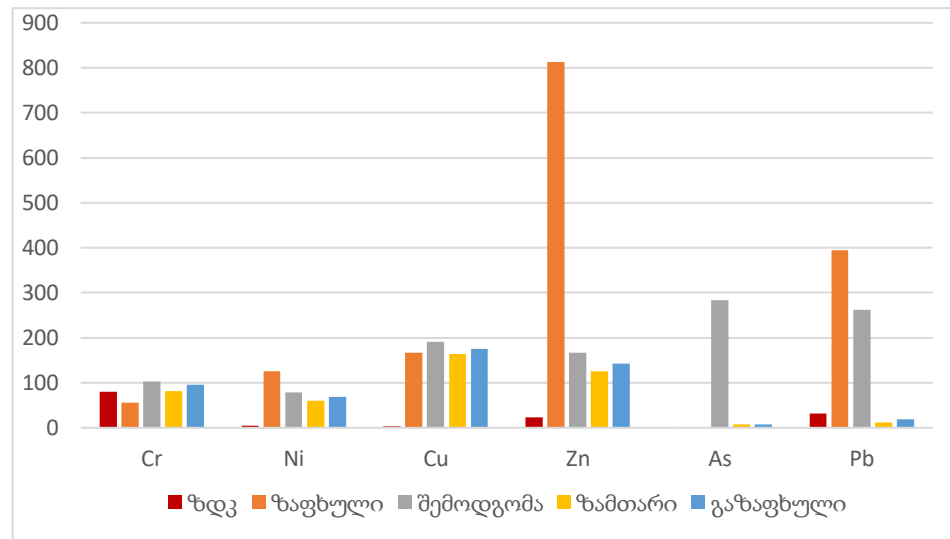
ასე მაგალითად, ნახაზიდან 5 ჩანს, რომ მდ. ორხევის შემთხვევაში ფსკერულ დანალექში რკინის დაგროვება მთელი სადამკვირვებლო წლის განმავლობაში ნორმატიულ მაჩვენებელს მნიშვნელოვნად აღემატება, ხოლო მდ. ლოჭინისათვის იგივე მაჩვენებელი მდ. ორხევის მონაცემებს, მართალია საგრძნობლად ჩამორჩება, თუმცა ნორმატიულთან შედარებით, იგი მაინც ყველა შემთხვევაში ახლოსაა. ნახაზზე 6 გამოსახული ჰისტოგრამა აფიქსირებს, ორივე მდინარის შემთხვევაში, მხოლოდ ზაფხულის სეზონისათვის გამოხატულ მანგანუმის შემცველობას ნორმატიულზე უფრო მეტად; აქვე ამასთანავე წლის დანარჩენი სეზონებისათვის ამ ლითონის კონცენტრაციის, ასევე თანდათანობითი კლების ტენდენცია გამოვლინდა ორივე საკვლევი მდინარისათვის.



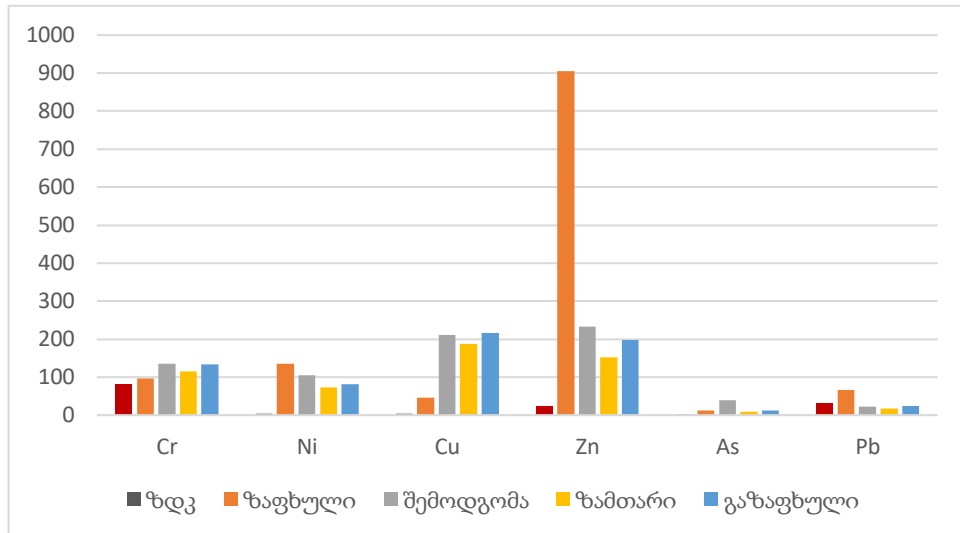
ნახაზი 10. მდინარეთა ფსკერულ დანალექის სინჯებში რკინის სეზონური შემცველობის ჰისტოგრამა



ნახაზი 11. საკვლევ მდინარეთა ფსკერულ დანალექის სინჯებში მანგანუმი სეზონური შემცველობის ჰისტოგრამა



ნახაზი 12. მდ. ლოჭინზე ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების სეზონური შემცველობის (მგ/კგ) ჰისტოგრამა



ნახაზი 13. მდ. ორხევზე ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების სეზონური შემცველობის (მგ/კგ) ჰისტოგრამა

2022 წლის ზამთარში განხორციელებული სავსე გასვლებით საკვლევი მდინარეების – ლოჭინისა და ორხევის ფსკერიდან აღებული რვა ნიმუში-სათვის (თითოეული მდინარიდან 4-4 ნიმუში), იწ-სპექტრომეტრის „Cary 630 FTIR“ გამოყენებით ჩატარებულ იქნა იწ-სპექტრალური ანალიზი, რათა დაგვედგინა ამ ნიმუშებში ზოგადად როგორც მინერალური, ასევე ორგანული შემადგენლის არსებობა, რაც ამ უკანასკნელთა აღმოჩენის, ანუ დადებითი შედეგების დაფიქსირების შემთხვევაში, საშუალებას მოგვცემდა ფსკერული ნალექების ნიმუშების შემდგომი კვლევა გაგვეგრძელებინა უკვე თხევადფაზური ქრომატოგრაფიის მიმართულებით. რადგანაც მოველოდით, რომ ფსკერული დანალექების ნიმუშებში დაფიქსირდებოდა ნავთობის ნახშირწყალბადების ან/და ნავთობპროდუქტების შემცველობა, მათში ასევე ექსტრაჰირებადი ორგანული ნაერთების (ეონ) და პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები (ჰან) და ზოგადად, ფტალატების აღმოჩენაც კი იყო შესაძლებელი [57].

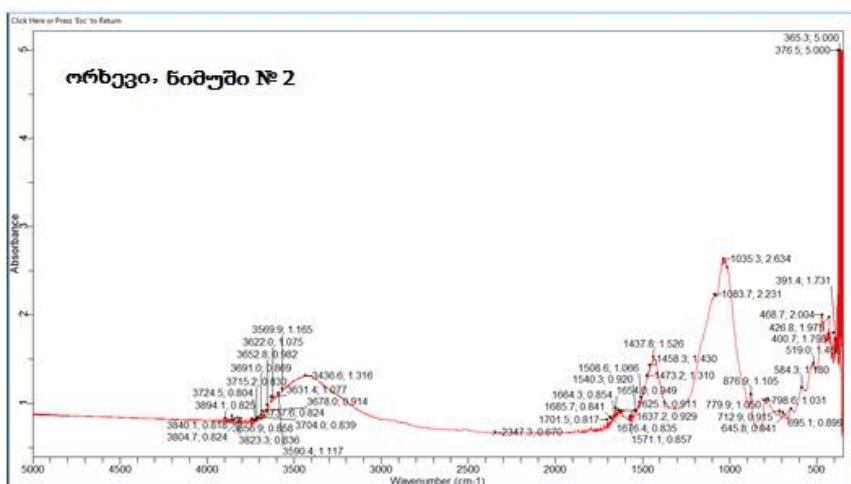
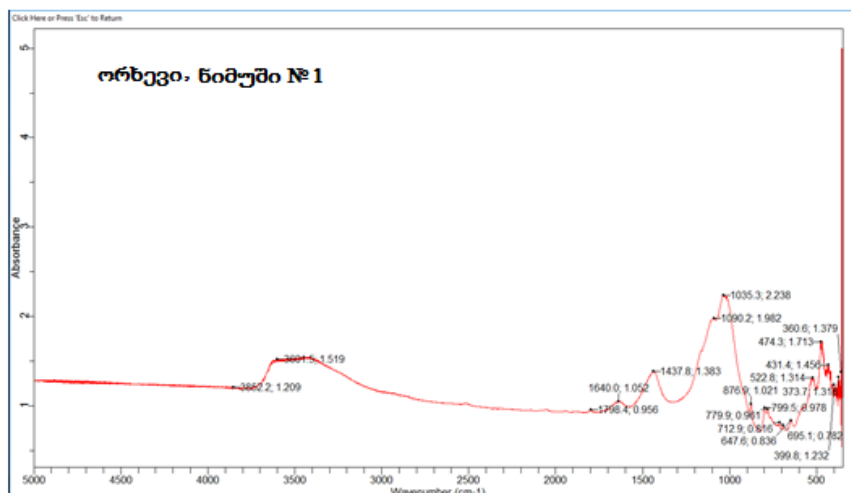
იწ-სპექტრომეტრზე ჩატარებულმა კვლევამ დაგვანახა, რომ მდ. ორხევის ფსკერიდან აღებული პირველი ნიმუშის (ნიმუში № 1) იწ-სპექტრი გარეგნულად ძალიან წააგავდა ჩვეულებრივი ალუმოსილიკატის სპექტრს. ამ ნიმუშში მცირეოდენით იყო მომატებული კარბონატ-იონების რაოდენობა. თითქმის პირველი ნიმუშის იდენტური გამოვიდა მეორე ნიმუშის (ნიმუში № 2) სპექტრი. მათ შორის განსხვავება ძალზედ უმნიშვნელოა. დანარჩენი ორი ნიმუშის (ნიმუშები №№ 3, 4) იწ-სპექტრები უკვე განსხვავებულია №№ 1,2 ნიმუშებისგან, ვინაიდან მდინარის დაბინძურებასთან ერთად, ბუნებრივია, დაბინძურდა მისი ფსკერიც. ამ ნიმუშების შესაბამის სპექტრებში უკვე ძირითადად კარბონატ-იონები გვხვდება, ალუმოსილიკატის მცირეოდენი მინარევით. აქვე მინარევების სახით შედარებით მცირე რაოდენობით გვაქვს აგრეთვე სულფატ და ნიტრატ-იონებიც. როგორც ჩანს, ეს იონები, მათი წყალში კარგად ხსნადობიდან გამომდინარე, მდ. ორხევის კალაპოტის ფსკერზე არ ილექება და ამიტომაც მდინარის წყლის ნაკადს ისინი თან მიაქვს წყალში გახსნილი მარილების სახით.

აქვე აღსანიშნავია ისიც, რომ ზოგიერთი ზემოდასახელებული ანიონისა და ალუმოსილიკატის სპექტრში რხევის სიხშირეთა ზოლები ერთმანეთს ემთხვევა. ამ შემთხვევაში იცვლება ან ზოლის ინტენსივობა, ანდა ხდება რხევის სიხშირეთა გადანაცვლება.

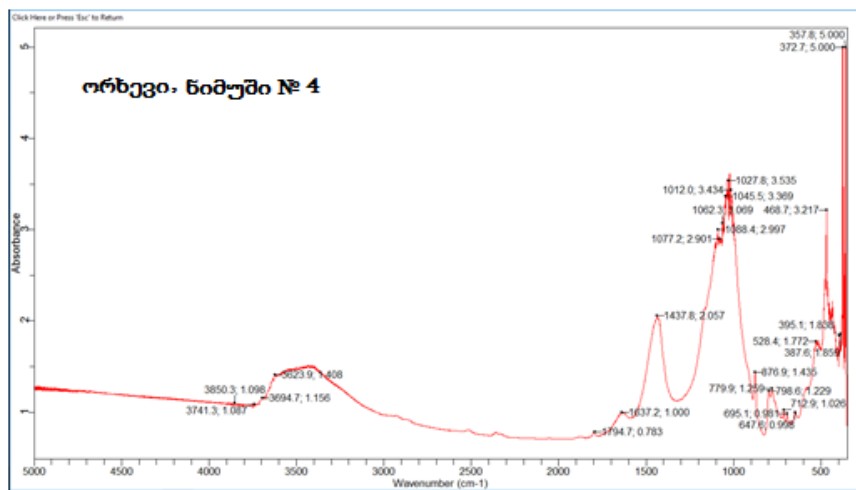
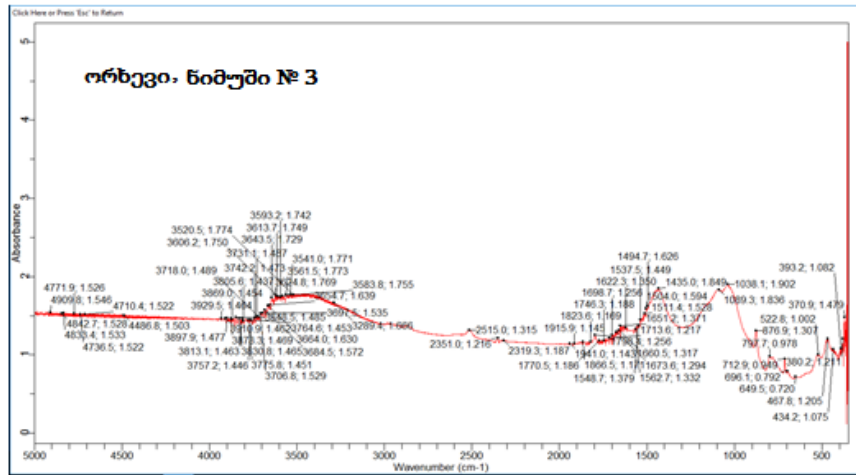
მდინარის წყლის ნაკადს თან მიაქვს აგრეთვე ორგანული ნივთიერებებიც, თუკი, რა თქმა უნდა, ისინი იქ საერთოდ არის წარმოდგენილი. უშუალოდ ამ მდინარესთან მიმართებაში კი, გადაღებული სპექტრებიდან გამომდინარე, ორგანიკა მხოლოდ კვალის სახით შეინიშნება და როგორც ჩანს, მსუბუქი ორგანული ფრაქცია ამ მდინარის ფსკერზე ნაკლებად ილექება. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრალური ანალიზის მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილი 16 და ნახაზზე 9.

ცხრილი 16. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრალური ანალიზის მონაცემები

რხევის სიხშირის მიკუთვნება	ნიმუში № 1	ნიმუში № 2	ნიმუში № 3	ნიმუში № 4
δ Si-O	373,433,474	433,470	424, 468	433
Me-O-Si, SO_3^{-2} , SO_4^{-2}	522,647	530,696	539, 699	647, 695
CO_3^{-2}	712	712	712	712
ν Si-O-Si(Al)	779,799	798	798	798
SO_4^{-2} , NO_3^{-} , CO_3^{-2}	876	875	848, 875, 914	876
ν Si-O-Si(Al), SO_3^{-2} , SO_4^{-2}	1029,1090	1028	1034, 1101	1027,1045,1088
NO_3^{-} , CO_3^{-2}	1430	1440	1443, 1458, 1473	1437
δ H-O-H	1636	1646	1647	1637
ν OH ⁻	3676	3679	3621, 3697	3623, 3694



ნახაზი 14. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები



ნახაზი 15. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები

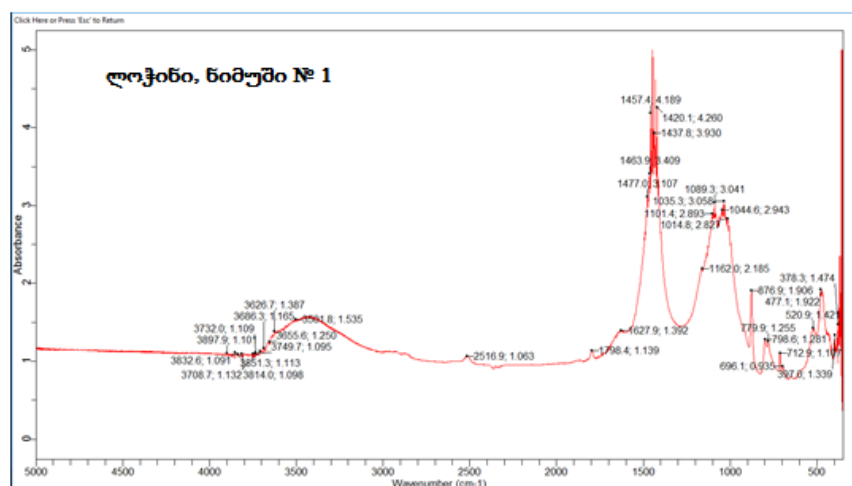
ხოლო რაც შეეხება ჩატარებული ანალიზის შედეგებს მეორე საკვლევ ობიექტზე, მდ. ლოჭინის ფსკერიდან აღებული საწყისი ნიმუშის (ნიმუში № 1) იწ-სპექტრში უკვე სოლიდური რაოდენობით გამოვლინდა კარბონატ-იონები. როგორც ჩანს, ამ მდინარის კალაპოტი საკმაო რაოდენობით შეიცავს კირქვებს და აქედან გამორეცხილი კალციუმის კარბონატი (CaCO_3) ბუნებრივია, რომ დაილექება კიდევ მდინარის ფსკერზე. ხოლო დანარჩენი სამი ნიმუშის იწ-სპექტრებში (ნიმუშები №№ 2, 3, 4) მცირე რაოდენობით შეინიშნება SO_4^{2-} , SO_3^{2-} და NO_3^- იონები.

აღნიშნული ნიმუშების გადაღებულ სპექტრებში ჩანს ასევე, რომ ადგილი აქვს CO₃²⁻-იონების კონცენტრაციის კიდევ უფრო მატებას. ანალოგიურად ამ მდინარისთვისაც, ისევე როგორც მდ. ორხევის შემთხვევაში, ორგანული ნივთიერებები შეინიშნება კვალის სახით.

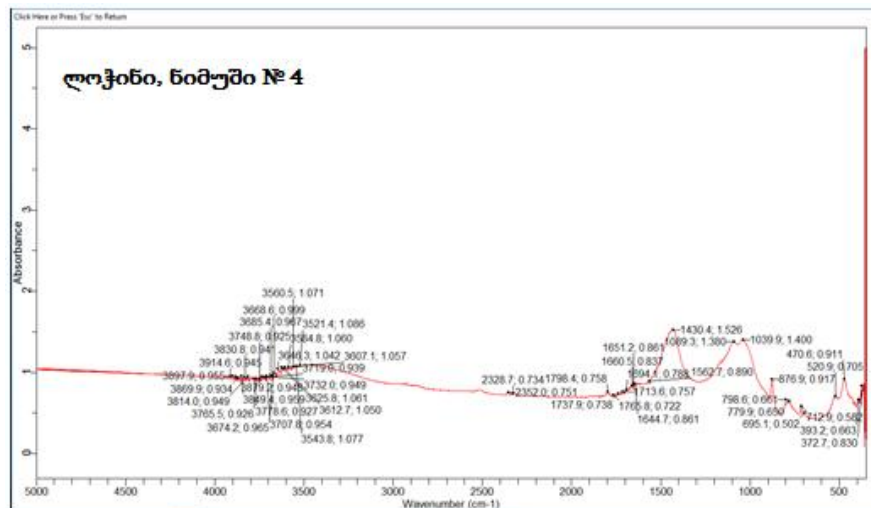
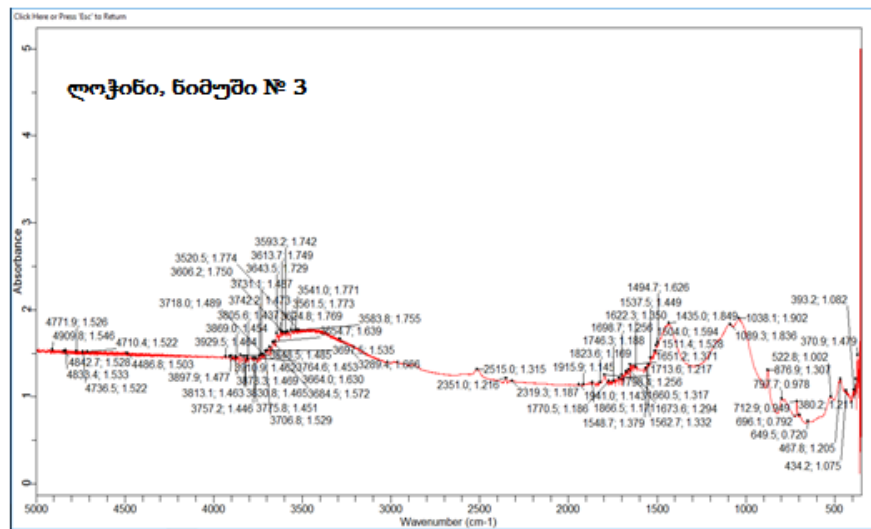
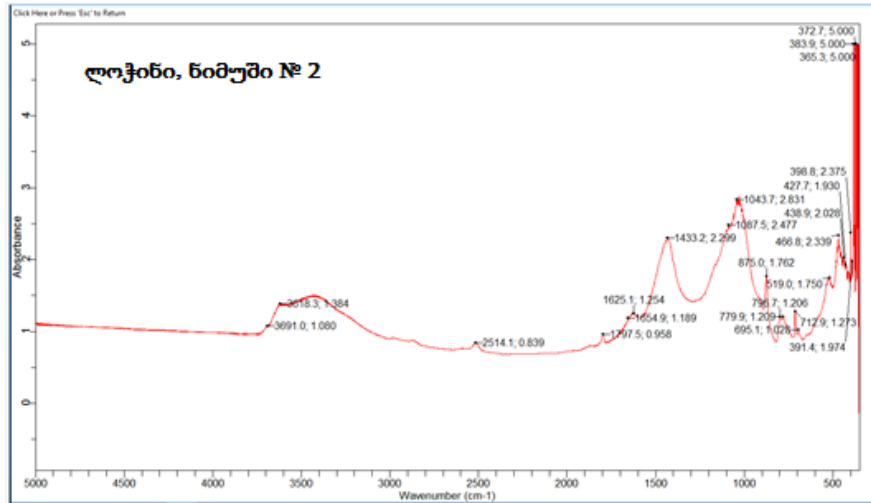
მდ. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრალური ანალიზის მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილი 17 და ნახაზზე 10.

ცხრილი 17. მდ. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრალური ანალიზის მონაცემები

რხევის სიხშირის მიკუთვნება	ნიმუში № 1	ნიმუში № 2	ნიმუში № 3	ნიმუში № 4
δSi-O	477, 520	436,466	434, 467, 522	438, 465, 473, 522
Fe-O, SO ₃ ²⁻ , SO ₄ ²⁻	696	648, 695	649, 696	587, 647, 695
CO ₃ ²⁻	712	712	712	712
ν Si-O-Si(Al)	779,798	778,797	797	779, 798
CO ₃ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₃ ²⁻	876	876	876	876
ν Si-O-Si(Al), SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ²⁻	1035,1044,1089, 1101	1036,1090	1038, 10889	1029, 1037, 1090
NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	1420, 1457	1430	1435, 1494	1440, 1562
δ H-O-H	1627	1633	1622	1660
C=C, C=O	1798	1798	1798	1798
R-NH ₃ ⁺	2516	-	2515	-
ν OH ⁻	3501, 3626	3530	3520, 3624	3439, 3561,3686



ნახაზი 16. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები



ნახაზი 17. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექის ნიმუშების იწ-სპექტრები

აღსანიშნავია, რომ ორივე საკვლევი მდინარის კალაპოტიდან აღებული დაბინძურებული ფსკერული ლამის სინჯებზე ჩატარებული იწ-სპექტრალური ანალიზით დადგინდა, რომ გადაღებულ სპექტრებში შეინიშნება მძიმე ლითონთან დაკავშირებული რხევის სიხშირის შესაბამისი ზოლები. ამ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებზე ჩატარებულ ქიმიური ანალიზებსა და ფსკერული დანალექების რენტგენოსპექტრალურ კვლევებზე დაყრდნობით და მათი შედეგების გათვალისწინებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ეს ნავარაუდები მძიმე ლითონი, რომელიც სხვებისაგან თავისი რაოდენობრივი დომინანციით და აქედან გამომდინარე, ერთგვარი პრიორიტეტულობითაც გამოირჩევა, არის რკინა.

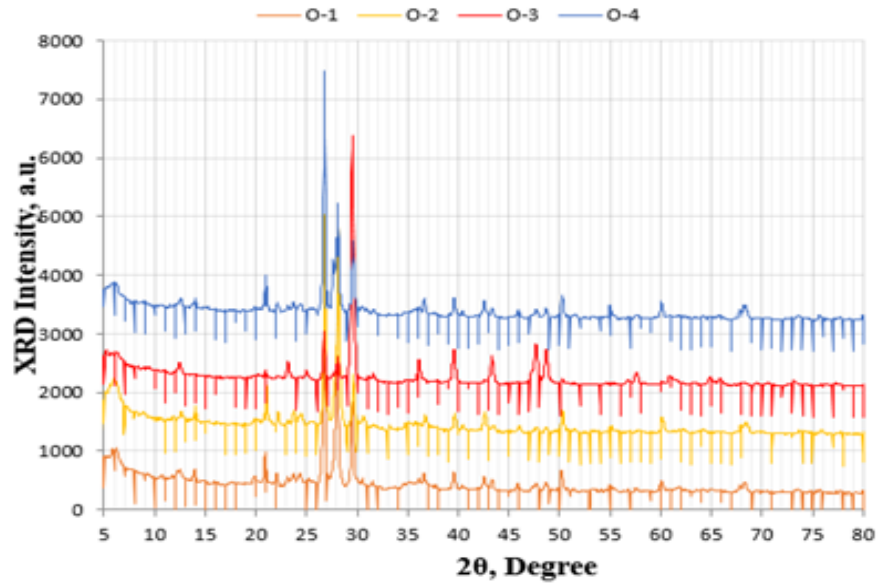
გამომდინარე იქიდან, რომ საკვლევ მდინარეთა ფსკერიდან აღებულ ნიმუშებში, გადაღებული იწ-სპექტრების მიხედვით, ორგანულ ნივთიერებათა არსებობა დაფიქსირდა მხოლოდ კვალის სახით, ამიტომაც მოცემულ ეტაპზე მოიხსნა ფსკერული დანალექების ნიმუშების შემდგომი თხევადი ქრომატოგრაფიული გამოკვლევის ჩატარების საჭიროება.

სრულიად განსხვავებული მიზანი იყო დასახული ზამთრის იმავე პერიოდში, საკვლევი მდინარეებიდან აღებული ფსკერული დანალექების იგივე რვა ნიმუშის მიმართ რენტგენოფაზური ანალიზის ჩატარებისას ДРОН-3M რენტგენოდიფრაქტომეტრით. ამ შემთხვევაში საჭირო გახდა ფსკერული დანალექების რენტგენოფლოუორესცენტული გამოკვლევით მიღებული ელემენტური შემადგენლობის ამსახველ სპექტრებში, ერთმანეთისგან განსხვავებულ ფაზათა დონეზე მომხდარიყო მკვეთრი გამიჯვნა იმ ელემენტებისა, რომლებიც ფსკერული დანალექების მინერალურ შემადგენელს წარმოადგენს, ამასთან მის სტრუქტურულ კარკასს ქმნის იმ მძიმე ლითონებთან მიმართებაში, რომლებიც საკვლევ მდინარეთა როგორც ზედაპირული წყლის, ასევე მათი ფსკერული დანალექის ძირითად ანთროპოგენურ დამაბინძურებლებად მიიჩნევა.

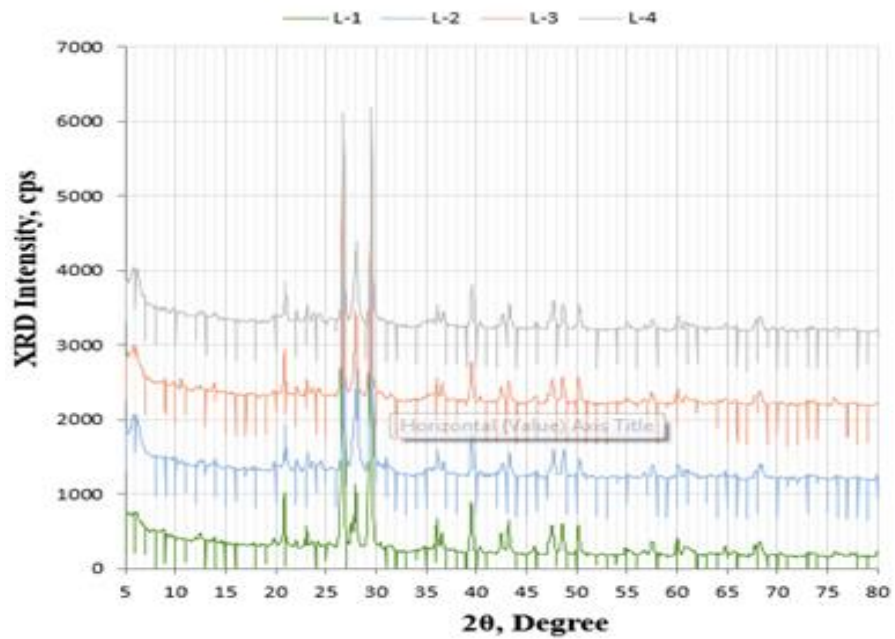
რენტგენოფლოუორესცენცული ანალიზის სპექტრები ასეთი მკვეთრი გამიჯვნის შესაძლებლობას მოკლებულია, რადგანაც ასეთნაირად გადაღებულ სპექტრებში ქიმიური ელემენტები მართალია მრავლადაა წარმოდგენილი, თუმცა ისინი დაფიქსირებულია მხოლოდ წილობრივად, ფსკერულ დანალექებში მათივე რაოდენობრივი შემცველობიდან გამომდინარე.

ამგვარად, საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე ჩატარებული ანალიზური კვლევის შედეგად გადაღებული დიფრაქტოგრამები მოცემულია ნახაზზე 11,12. ამ დიფრაქტოგრამებზე წარმოდგენილი ძირითადი კრისტალური ფაზებია: α -კვარცი (SiO_2), კალციტი (CaCO_3) და პლაგიოკლაზები $[(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si}) \text{AlSi}_2\text{O}_8]$. ასევე ფიქსირდება თიხოვანი მინერალების შესაბამისი დიფრაქციული მაქსიმუმებიც ($2\theta \approx 6^\circ$ -ზე). თიხოვანი მინერალების სახით ორივე მდინარიდან აღებული ნიმუშების დიფრაქტოგრამებზე წარმოდგენილია მონტმორილონიტი $[(\text{Na}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, კაოლინიტი $[\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4]$ და ჰიდროქარსი $[\text{K}_x(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_{2-3}\text{Si}_4-x\text{Al}_x\text{O}_{10} \cdot (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, სადაც $x=0,5$, $n=1,5$. ნიმუშებს შორის განსხვავება გამოიხატება ამ კრისტალური ფაზებისა და თიხოვანი მინერალების კონცენტრაციულ თანაფარდობებში.

ყოველივე ეს გვაფიქრებინებს, არა მარტო ვივარაუდოთ, არამედ დავასკვნათ, რომ ჩვენი ორივე საკვლევ მდინარის ანთროპოგენური დაბინძურება სახეზეა, რისი გამომწვევი მიზეზიც შეიძლება იყოს ერთის მხრივ, ატმოსფერული ჰაერის სამრეწველო თუ საყოფაცხოვრებო აეროზოლებით გლობალური (ფონური) დაბინძურება, მეორეს მხრივ, საკვლევ მდინარეთა მიმდებარედ არსებული სამრეწველო საწარმოები, რომელთა ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოყენებული სხვადასხვა სახის ტოქსიკური ქიმიკატებითა და გამხსნელებით საკმაოდ გაჯერებული და წარმოქმნილი ჩამდინარე წყლებით ინტენსიურად მიმდინარეობს ამ მდინარეთა ეკოსისტემების დაბინძურება,



ნახაზი 18. მდ. ორხევიდან აღებული ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე ჩატარებული რენტგენოფაზური ანალიზით მიღებული დიფრაქტოგრამები



ნახაზი 19. მდ. ლოჭინიდან აღებული ფსკერული დანალექების ნიმუშებზე ჩატარებული რენტგენოფაზური ანალიზით მიღებული დიფრაქტოგრამები

მესამე და რაც, ასევე ძალიან მნიშვნელოვანია, არის ის, რომ საკვლევ მდინარეთა კალაპოტებისა და ხეობების ნაპირები ამჟამად გადაქცეულია სამრეწველო-სამშენებლო და საყოფაცხოვრებო მყარი ნარჩენების საკმაოდ მასშტაბურ ნაგავსაყრელებად, რომლიდანაც სეზონური კოკისპირული წვიმებით განპირობებული წყალმოვარდნებითა და გახშირებული ღვარცოფული და მეწყრული მოვლენების ხელშეწყობით მიმდინარეობს ამ გამოსაკვლევ სამდინარეო ეკოსისტემების სრული ანთროპოგენური დეგრადაცია, რაც აისახა კიდევაც ჩატარებულ ჩვენს კვლევებში, ვიმედოვნებთ, რომ დარჩენილი ჩასატარებელი კვლევებით იგი კიდევ უფრო მეტად აისახება.

3.4. საკვლევ მდინარეთა ხეობებისა და კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგური გრუნტის სინჯების ელემენტური შემადგენლობის განსაზღვრა

სადისერტაციო ნაშრომის ლიტერატურული მიმოხილვის ნაწილში ნაჩვენებია, რომ საკვლევ არეალის ნიადაგური საფარი ძირითადად წარმოდგენილია ყავისფერი ნიადაგებით, რომელთათვისაც დამახასიათებელია კარგი სტრუქტურა და ფიზიკური თვისებები. ეს ნიადაგები ასევე გამოირჩევა ზომიერი ნაყოფიერებით, რაც, თავის მხრივ, ჰუმუსისა და საკვებ ნივთიერებათა საკმარისი რაოდენობითაა განპირობებული.

საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლისა და ფსკერული დანალექების ანთროპოგენური დაბინძურების ხარისხზე სრული წარმოდგენის შესაქმნელად ასევე აუცილებელი გახდა ამ მდინარეთა ხეობებისა და კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიებიდან, საკვლევ წელიწადის ზამთრის სეზონზე უნალექო პერიოდის გათვალისწინებით, ნიადაგური საფარის ზედაპირული (5 სმ სიღრმეზე) და აკუმულაციური (20 სმ სიღრმეზე) ფენებიდან აღებულ სინჯებში

ელემენტური შემადგენლობის (მათ შორის, მძიმე ლითონთა შემცველობის) განსაზღვრა და კვლევის შედეგების დედამიწის ქერქში და ქალაქის ნიადაგებში ქიმიურ ელემენტთა (კლარკებში) შემცველობასთან შედარება.

ლაბორატორიულ პირობებში, ბუნებრივად, ჰაერზე გამშრალი ნიადაგების საანალიზო ნიმუშების რენტგენოფლოუორესცენციურ სპექტრალურ დანადგარზე EDX 3600B ჩატარებული ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზების შედეგები ორივე საკვლევი მდინარისათვის წარმოდგენილია ცხრილში 18,19. ცხრილებში მოცემულია საკვლევი ობიექტების მიმდებარე ტერიტორიებიდან აღებული ნიადაგის გრუნტის ზედაპირული და აკუმულაციური ფენების სინჯებში 22 სხვადასხვა ქიმიური ელემენტის შემცველობაზე ჩატარებული ანალიზის შედეგები, რომელთა გასაშუალოებით შემდგომ მიღებულ იქნა შესადარებელი მონაცემები ქიმიურ ელემენტთა შემცველობაზე (კლარკებში), როგორც დედამიწის ქერქთან [58], ასევე ქალაქის ნიადაგებთან [59] მიმართებაში. ყველა ეს შესადარებელი მონაცემი, თავის მხრივ, უკვე შეტანილ იქნა ცხრილში 20.

საკვლევი ობიექტებიდან აღებული ნიადაგის გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული ანალიზის შედეგების გასაშუალოებული მონაცემები, რომელიც შედარებულია ცხრილში 19 წარმოდგენილ ქიმიურ ელემენტთა კლარკებში შემცველობასთან როგორც დედამიწის ქერქში, ასევე ქალაქის ნიადაგებში, საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ თავისი ელემენტური შემადგენლობის 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 ანდა მნიშვნელოვანწილად ნაკლებია ამავე ელემენტების კლარკების რიცხვზე როგორც დედამიწის ქერქში, ასევე ქალაქის ნიადაგებშიც.

ცხრილი 18. მდ. ლოჭინის კალაპოტის მიმდებარედ ნიადაგის გრუნტის
 სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური
 სპექტრალური ანალიზის მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური
 ელემენტების შემცველობაზე (მკგ/გ)

№	ელემენტების დასახელება	სინჯი № 1/5	სინჯი № 1/20	სინჯი № 2/5	სინჯი № 2/20	სინჯი № 3/5	სინჯი № 3/20	სინჯი № 4/5	სინჯი № 4/20
1	Na	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1268
2	Mg	2988	4141	4141	5056	5192	3892	3621	3588
3	Al	33561	33583	32590	32651	35629	33670	32791	32729
4	Si	131561	139647	133565	134403	124352	129819	133855	134657
5	P	1199	446	424	402	971	772	503	560
6	S	561	596	612	606	704	1026	1048	2283
7	K	6323	7530	5916	7659	4602	5017	6435	6293
8	Ca	69662	69472	80509	68481	74473	77055	73604	67690
9	Ti	2088	2545	2772	2451	2422	2451	2649	2467
10	V	113	68	64	64	107	89	91	88
11	Cr	59	154	156	83	125	112	176	130
12	Mn	499	496	624	474	591	531	656	451
13	Fe	15394	16757	20248	17554	20131	20038	19712	19849
14	Ni	147	97	41	45	93	52	75	59
15	Cu	204	189	188	200	198	188	194	177
16	Zn	173	153	151	141	168	184	147	183
17	As	8	9	8	9	11	10	9	11
18	Rb	41	47	45	50	32	36	42	43
19	Sr	261	256	364	257	461	440	361	408
20	Zr	258	157	149	125	197	168	119	140
21	Ba	499	720	122	122	888	393	935	626
22	Pb	14	22	18	17	11	19	17	22

ცხრილი 19. მდ. ორხევის კალაპოტის მიმდებარედ ნიადაგის გრუნტის
 სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლოუორესცენციური
 სპექტრალური ანალიზის მონაცემები სხვადასხვა ქიმიური
 ელემენტების შემცველობაზე (მკგ/გ)

№	ელემენტის დასახელება	სინჯი № 1/5	სინჯი № 1/20	სინჯი № 2/5	სინჯი № 2/20	სინჯი № 3/5	სინჯი № 3/20	სინჯი № 4/5	სინჯი № 4/20
1	Na	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3342	4817
2	Mg	5465	4855	5128	5080	4141	4314	4477	5289
3	Al	38027	36793	34404	33075	35968	34026	32124	33087
4	Si	127864	139405	129912	123904	135802	128250	118900	125546
5	P	505	336	276	312	305	310	758	889
6	S	2165	1414	1491	1451	1288	1255	4280	6201
7	K	7739	8034	7328	5939	7621	6665	4386	5534
8	Ca	22120	25261	24487	26100	31652	32207	97029	42082
9	Ti	2965	3344	3137	2981	3074	2936	2242	2507
10	V	164	115	103	117	83	105	91	114
11	Cr	171	183	163	165	121	139	256	148
12	Mn	710	461	393	784	365	606	564	315
13	Fe	33686	31448	34768	33158	29165	35282	18016	24371
14	Ni	82	29	74	43	129	58	136	108
15	Cu	215	280	208	287	211	217	253	201
16	Zn	199	265	185	288	210	224	217	254
17	As	13	13	13	11	10	13	13	14
18	Rb	51	55	43	38	49	35	31	34
19	Sr	273	241	268	250	301	293	386	309
20	Zr	204	136	119	113	135	113	112	136
21	Ba	122	519	1025	1227	122	122	122	1682
22	Pb	13	22	16	18	17	24	34	32

ცხრილი 20. 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	Na	N/A	1 268	3 342	4 817	5 800	26 400
2	Mg	3 986	4 169	4 803	4 885	7 900	21 000
3	Al	33 643	33 158	35 131	34 245	38 200	88 000
4	Si	130 833	134 632	128 120	129 276	289 000	276 000
5	P	774	545	461	462	1 200	800
6	S	731	1 128	2 306	2 580	1 200	520
7	K	5819	6 625	6 769	6 543	13 400	26 000
8	Ca	74 562	70 675	43 822	31 413	53 800	36 300
9	Ti	2 483	2 479	2 855	2 942	4 758	6 000
10	V	94	77	110	113	105	150
11	Cr	129	120	178	159	80	200
12	Mn	593	488	508	542	729	1 000
13	Fe	18 871	18 550	28 909	31 065	22 300	51 000
14	Ni	89	63	105	60	33	100
15	Cu	196	189	222	246	39	100
16	Zn	160	165	203	258	158	50
17	As	9	10	12	13	16	5
18	Rb	40	44	44	41	58	300
19	Sr	362	340	307	273	458	400
20	Zr	181	148	143	125	256	200
21	Ba	611	465	348	888	853	500
22	Pb	15	20	20	24	55	16

ჩატარებული ანალიზებით კი განსაკუთრებით საყურადღებო ვითარება შეინიშნება საკვლევი ნიადაგების გრუნტში სპილენძისა და თუთიის გადაჭარბებულ შემცველობათა დაფიქსირების კუთხით, ეს უფრო მეტად ითქმის სპილენძის შემცველობაზე, რომელიც მდ. ლოჭინის მიმდებარე ნიადაგებისათვის დაახლოებით 2-ჯერ აღემატება კლარკებში გამოხატულ მისსავე შემცველობას დედამიწის ქერქში, ხოლო მდ. ორხევის მიმდებარე ნიადაგებისათვის მათში სპილენძის შემცველობის მატების მაჩვენებელი უკვე 2,2-2,5-

ის ფარგლებშია, ასევე დედამიწის ქერქში მისსავე კლარკებში გამოხატულ მაჩვენებელთან შედარებით.

უფრო რთული მდგომარეობაა საკვლევ მდინარეთა მიმდებარე ნიადაგებში სპილენძის შემცველობის კუთხით, ქალაქის ნიადაგებში დადგენილ მისსავე კლარკებთან მიმართებაში, რადგანაც მდ. ლოჭინის მიმდებარე ნიადაგებში ეს მაჩვენებელი უკვე 5-ჯერ მეტია, ხოლო მდ. ორხევის მიმდებარე ნიადაგებში სპილენძის კონცენტრაციის გადაჭარბების მაჩვენებელი 5,7-6,3 ფარგლებშია.

რაც შეეხება საკვლევ მდინარეთა მიმდებარე ნიადაგებში თუთიის კონცენტრაციებს, მათი საგრძნობი გადაჭარბება შეინიშნება მხოლოდ დედამიწის ქერქში დადგენილ მისივე კლარკის რიცხვთან მიმართებაში, რომელიც მდ. ლოჭინის შემთხვევაში 3,2-3,3 ფარგლებშია, ხოლო მდ. ორხევისათვის ეს მაჩვენებელი ნორმირებულზე 4-5-ჯერ უფრო მეტია.

გარკვეული თავისებურებით გამოირჩევა საკვლევ მდინარეთა მიმდებარე ნიადაგებში სხვა მძიმე ლითონების კონცენტრაციული სიჭარბეც. ამ მხრივ, აღსანიშნავია რკინის, ქრომისა და ნიკელის კონცენტრაციათა გადაჭარბება ქალაქის ნიადაგებში მათთსავე კლარკებთან შედარებით, რომელიც მდ. ორხევის მიმდებარე ნიადაგების შემთხვევაში შეადგენს: რკინისათვის -1,3-1,4; ქრომისათვის- 2,0-2,2; ხოლო ნიკელის შემთხვევაში ეს მაჩვენებელი აღწევს 3,2-ს.

მდ. ლოჭინის მიმდებარე ნიადაგებისათვის კი დაფიქსირდა ქრომის შემცველობის მატება 1,5-1,6-ჯერ, ხოლო ნიკელისა 2,0-2,7-ის ფარგლებში.

უთუოდ აღსანიშნავია აგრეთვე მდ. ლოჭინის მიმდებარე ნიადაგებში კალციუმის ელემენტური შემცველობის დაახლოებით ორჯერ უფრო მეტად გაზრდილი მაჩვენებელი, დედამიწის ქერქში მისივე კლარკის რიცხვთან შედარებით და ასევე მდინარე ორხევის მიმდებარე ნიადაგებში გოგირდის შემცველობის 4,5-5,0 ფარგლებში გაზრდის დაფიქსირება, აქაც დედამიწის ქერქში მისივე კლარკის რიცხვთან მიმართებაში.

და ბოლოს, ორივე საკვლევი მდინარის მიმდებარე ტერიტორიათა ნიადაგურ გრუნტში ანალიზური გამოკვლევით დაფიქსირდა დარიშხანის შემცველობის მომატება 2,0-2,5 ჯერ, ხოლო ტყვიისა 1,25-1,50 ფარგლებში, ესეც ასევე დედამიწის ქერქში ამ მიკროელემენტთა კლარკების მაჩვენებელთან შედარებით.

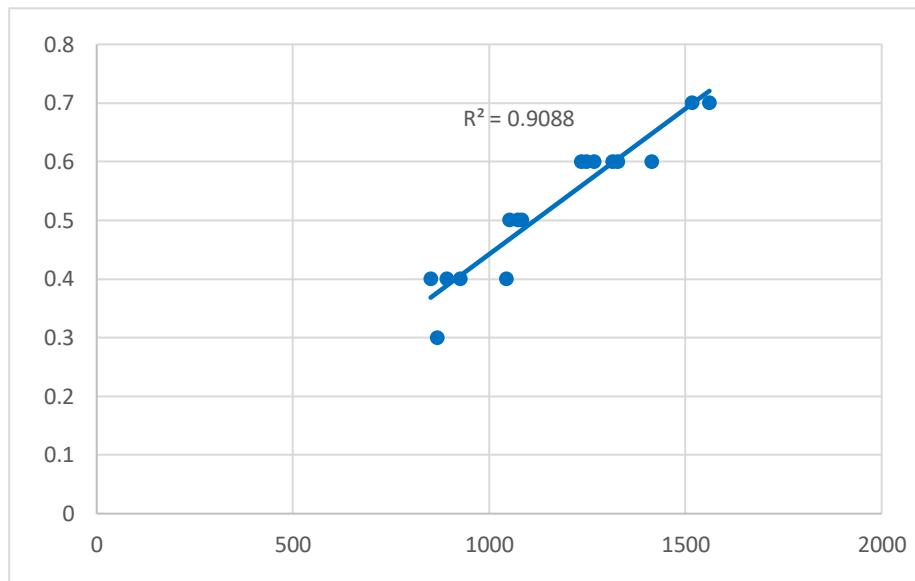
ამრიგად, ორივე საკვლევი მდინარის მიმდებარე ტერიტორიებიდან აღებული ნიადაგების გრუნტის სინჯებზე ჩატარებული რენტგენოფლორესცენციური სპექტრალური ანალიზით დადგენილ იქნა გამოსაკვლევ ნიადაგთა ელემენტური შემადგენლობა, რომელიც ზოგიერთ მძიმე ლითონთან მიმართებაში მათივე კონცენტრაციების მიხედვით ნორმატიულზე უფრო მეტად გაზრდილი მაჩვენებლებით ხასიათდება, ეს კი თავის მხრივ, ამ ნიადაგებთან დაკავშირებული სამდინარეო სისტემების, მათი ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების ანთროპოგენური დაბინძურების დამადასტურებელი კიდევ ერთი უტყუარი ფაქტორია.

3.5. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების კორელაციური სტატისტიკური ანალიზი

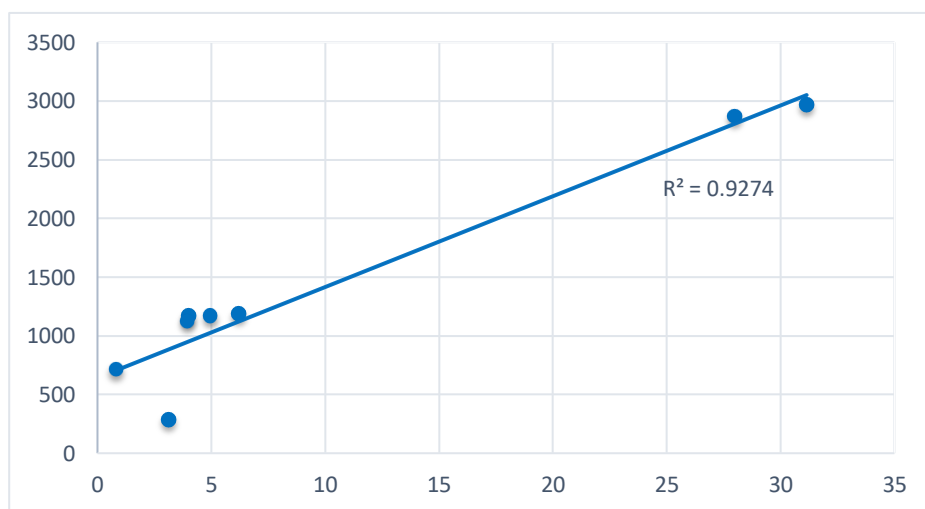
საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების მძიმე ლითონებითა და ბიოგენური ნივთიერებებით დაბინძურების შესახებ არსებული ჰიპოთეზის დასაბუთებისათვის, რაც განპირობებულია, ერთის მხრივ, ამ მდინარეებში არაორგანიზებული ზედაპირული ჩანადენების მოხვედრით და ამასთანავე, მათ ძირითად ჰიდროქიმიურ მახასიათებლებს შორის არსებული ურთიერთკავშირების დასადგენად, ჩვენს მიერ შესრულებული იქნა სტატისტიკური კორელაციური ანალიზი სტატისტიკური ანალიზის თეორიის საფუძველზე [60] და ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით, დადგენილ იქნა კორელაციური კავშირი ორ ცვლადს შორის. MS Excel-ის კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით აგებულ იქნა წერტილოვანი გაბნევის დიაგრამები.

ამავე პროგრამის დახმარებით გამოითვალა კორელაციისა (r) და რეგრესიის (R^2) კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობებიც.

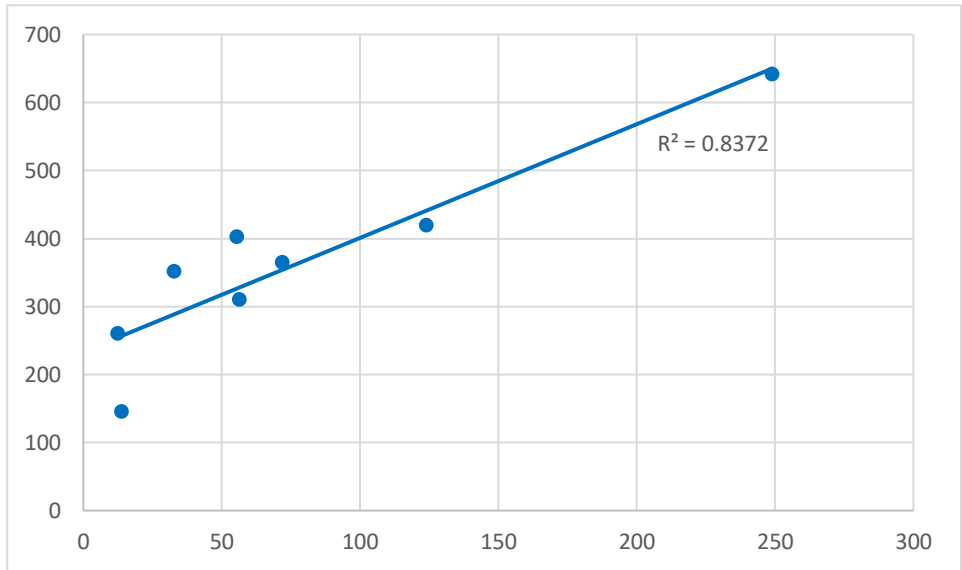
ჩვენი საკვლევი მდინარეებისათვის წერტილოვანი დიაგრამები აგებულ იქნა ცვლადი პარამეტრების შემდეგი წყვილებისათვის: ჟბმს და მარილიანობა, მინერალიზაცია/მარილიანობა და ელექტროგამტარობა, სულფატ- და ნიტრატ-იონები და ა. შ. (იხილეთ ნახაზში 13-19).



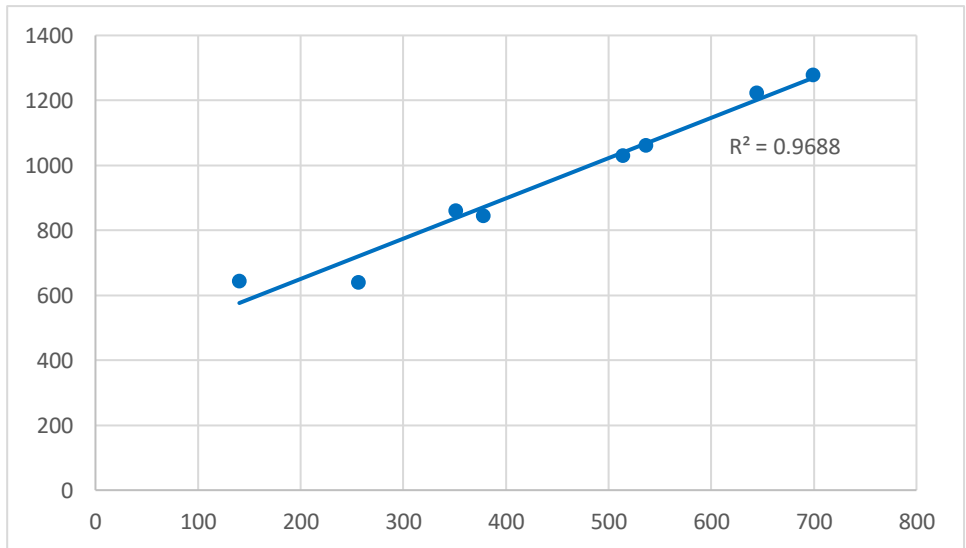
ნახაზი 20. მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში ელექტროგამტარობასა და მარილიანობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.95$) დიაგრამა



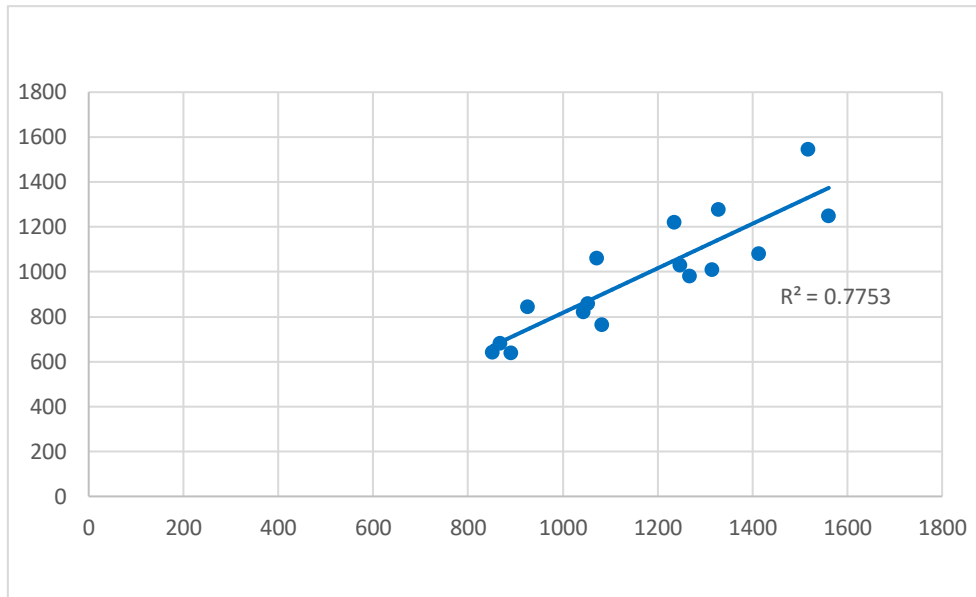
ნახაზი 21. ორხევის ზედაპირულ წყალში სულფატი და ნიტრატ-იონებს შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.96$) დიაგრამა



ნახაზი 22. მდ. ორხევის ზედაპირულ წყალში Ca²⁺ და Mg²⁺ იონებს შორის კავშირის (r = 0.91) დიაგრამა



ნახაზი 23. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში სულფატ-იონებსა და მინერალიზაციას შორის კორელაციური კავშირის (r = 0.98) დიაგრამა



ნახაზი 24. ლოკინის ზედაპირულ წყალში მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.88$) დიაგრამა

კორელაციური ანალიზი კალენდარულად ჩატარდა 2022 წლის სეზონებზე ორივე საკვლევი მდინარისათვის წინასწარ შერჩეული სადამკვირვებლო კვთებიდან როგორც ზედაპირული წყლების, ასევე ფსკერული დანალექების აღებულ სინჯებზე ჩატარებული ექსპერიმენტული ანალიზების შედეგებიდან გამომდინარე (იხილეთ ცხრილში 6-17), რის საფუძველზეც შემდგომში განისაზღვრა კორელაციის კოეფიციენტები და შედგენილ იქნა კორელაციური მატრიცული ცხრილები (ცხრილი 21-24).

წარმოდგენილ მატრიცულ ცხრილებში მუქი შრიფტით გამოყოფილია კორელაციის კოეფიციენტთა ის მნიშვნელობები, რომელიც მიუთითებს მჭიდრო კორელაციურ კავშირზე ერთმანეთთან დაწყვილებულ ცვლადებს შორის. ამავე დროს კორელაციის არარსებობა ორ სიდიდეს შორის არ ნიშნავს იმას, რომ მათ შორის არავითარი კავშირი არ არსებობს, რადგანაც ასეთ დამოკიდებულებას სავსებით შეიძლება ჰქონდეს უფრო რთული და ამასთანავე გრაფიკულად არაწრფივად გამოხატული ხასიათი.

წარმოდგენილი მატრიცული ცხრილებიდან ნათლად ჩანს, რომ პირდაპირპროპორციული ფუნქციონალური დამოკიდებულება მაღალი სანდლობით ($R^2 > 0.90$) გამოვლენილია შემდეგ წყვილებს შორის: მდ. ორხევის

შემთხვევაში – მინერალიზაცია და $(Na^+ + K^+)$ -ის იონები; სულფატ და ნიტრატ-იონები; ნიტრატი და ქლორიდ-იონები. მდ. ლოჭინის შემთხვევაში – ჰიდროკარბონატისა და $(Na^+ + K^+)$ -ის იონები; მინერალიზაცია და სულფატ-იონები.

დადებითი კორელაციის მაღალი მნიშვნელობა დამაკმაყოფილებელი სანდოობით ($R^2 > 0.80$) დამახასიათებელია შემდეგი წყვილებისთვის: მდ. ლოჭინის შემთხვევაში – მაგნიუმისა და სულფატ-იონები; ნიტრატ- და ფოსფატ-იონები; მინერალიზაცია და მაგნიუმის იონები; აგრეთვე, მინერალიზაცია და $(Na^+ + K^+)$ -ის იონები. მდ. ორხევის შემთხვევაში – სულფატ- და ჰიდროკარბონატ-იონები; ნიტრატისა და კალციუმის იონები; ნიტრატ- და ჰიდროკარბონატ-იონები; ასევე მინერალიზაცია და ჰიდროკარბონატ-იონები.

ამასთანავე, ცალკე აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ უარყოფითი კორელაციის მაღალი მნიშვნელობით ხასიათდება ნიტრატებისა და კალციუმის იონების წარმოდგენილი წყვილი მდ. ლოჭინზე აღებულ ნიმუშებში.

აქვე ცალსახად უნდა აღინიშნოს კორელაციური უკუკავშირი საკვლევ მდინარეთა ზედაპირულ წყალში გახსნილ ჟანგბადსა და მარილიანობას შორის, რადგანაც მარილიანობა გავლენას ახდენს წყალში გახსნილი ჟანგბადის დონეზე. წყალში ჟანგბადის ხსნადობა მცირდება მარილიანობის მომატებასთან ერთად.

ცხრილი 21. მდ. ორხევის ზედაპირული წყლის ძირითადი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების კორელაციური მატრიცა

კომპონენტები	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺⁺ K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	მინ-ცია
Ca ²⁺	1.00											
Mg ²⁺	0.91	1.00										
Na ⁺ + K ⁺	0.26	0.09	1.00									
NH ₄ ⁺	0.72	0.8	0.39	1.00								
HCO ₃ ⁻	0.63	0.53	0.76	0.81	1.00							
CO ₃ ⁻²	-0.49	-0.7	-0.12	-0.66	-0.52	1.00						
Cl ⁻	0.77	0.65	0.62	0.73	0.73	-0.17	1.00					
SO ₄ ⁻²	0.87	0.79	0.64	0.80	0.85	-0.57	0.81	1.00				
PO ₄ ⁻²	-0.31	-0.12	-0.36	0.23	-0.05	-0.23	-0.35	-0.29	1.00			
NO ₃ ⁻	0.84	0.74	0.69	0.83	0.86	-0.42	0.93	0.96	-0.29	1.00		
NO ₂ ⁻	0.87	0.77	-0.11	0.52	0.31	-0.16	0.62	0.57	-0.22	0.58	1.00	
მინერალიზაცია	0.46	0.41	0.90	0.64	0.85	-0.51	0.64	0.82	-0.21	0.81	0.02	1.00

ცხრილი 22. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლის ძირითადი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების კორელაციური მატრიცა

კომპონენტები	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	მინ-ცია
Ca ²⁺	1.00											
Mg ²⁺	-0.43	1.00										
Na ⁺ + K ⁺	-0.43	0.52	1.00									
NH ₄ ⁺	-0.37	-0.26	0.15	1.00								
HCO ₃ ⁻	-0.58	0.26	0.90	0.34	1.00							
CO ₃ ⁻²	-0.48	0.68	0.69	0.11	0.74	1.00						
Cl ⁻	0.02	-0.43	0.19	-0.33	0.26	-0.24	1.00					
SO ₄ ⁻²	-0.55	0.88	0.77	-0.03	0.57	0.69	-0.21	1.00				
PO ₄ ⁻²	-0.76	0.28	0.70	-0.03	0.51	0.28	0.32	0.35	1.00			
NO ₃ ⁻	-0.84	0.67	0.77	-0.17	0.58	0.56	-0.17	0.65	0.85	1.00		
NO ₂ ⁻	0.76	-0.03	-0.36	-0.35	-0.48	-0.29	-0.17	-0.18	-0.53	-0.52	1.00	
მინერალიზაცია	-0.59	0.82	0.86	-0.05	0.67	0.71	-0.04	0.98	0.45	0.73	-0.18	1.00

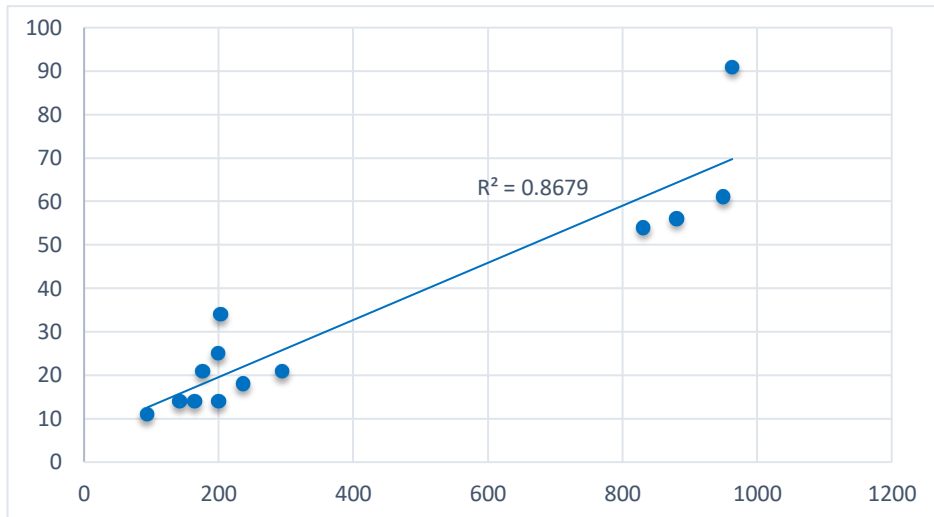
ცხრილი 23. მდ. ლოჭინის კორელაციური მატრიცა ფსკერულ დანალექში მძიმე ლითონების შემცველობაზე

კომპონენტი	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
Mn	1.00				
Fe	0.24	1.00			
Cu	0.17	0.11	1.00		
Zn	-0.07	0.25	0.80	1.00	
Pb	-0.05	-0.25	0.50	0.50	1.00

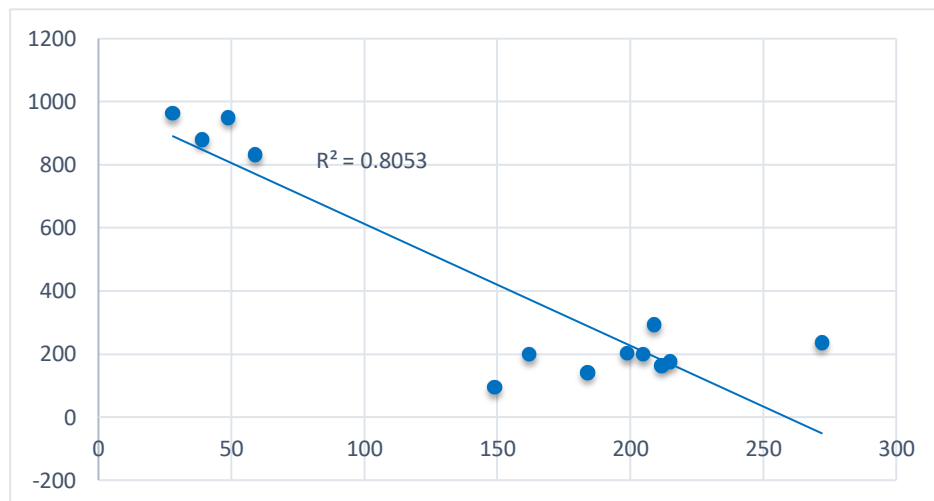
ცხრილი 24. მდ. ორხევის კორელაციური მატრიცა ფსკერულ დანალექში მძიმე ლითონების შემცველობაზე

კომპონენტი	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
Mn	1.00				
Fe	0.63	1.00			
Cu	-0.68	-0.23	1.00		
Zn	0.64	0.22	-0.89	1.00	
Pb	0.70	0.18	-0.80	0.91	1.00

საკვლევ მდინარეთა ფსკერულ დანალექებში მჭიდრო კორელაციური კავშირი გამოვლენილია რიგ ლითონთა წყვილებს შორის, განსაკუთრებით მდ. ორხევის ფსკერულ დანალექებში (ცხრილი 23,24). მეტი თვალსაჩინოებისათვის ნახაზზე 18, 19 ნაჩვენებია მდ. ორხევის ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების წყვილების დადებითი და უარყოფითი კორელაციის (იგულისხმება კორელაციის კოეფიციენტების მაღალი მნიშვნელობები) ამსახველი წერტილოვანი გაბნევის დიაგრამები.



ნახაზი 25. მდ. ორხევის ფსკერულ დანალექში თუთიასა და ტყვიას შორის კორელაციური კავშირის ($r = 0.91$) დიაგრამა



ნახაზი 26. მდ. ორხევის ფსკერულ დანალექში თუთიასა და სპილენძს შორის კორელაციური კავშირის ($r = -0.89$) დიაგრამა

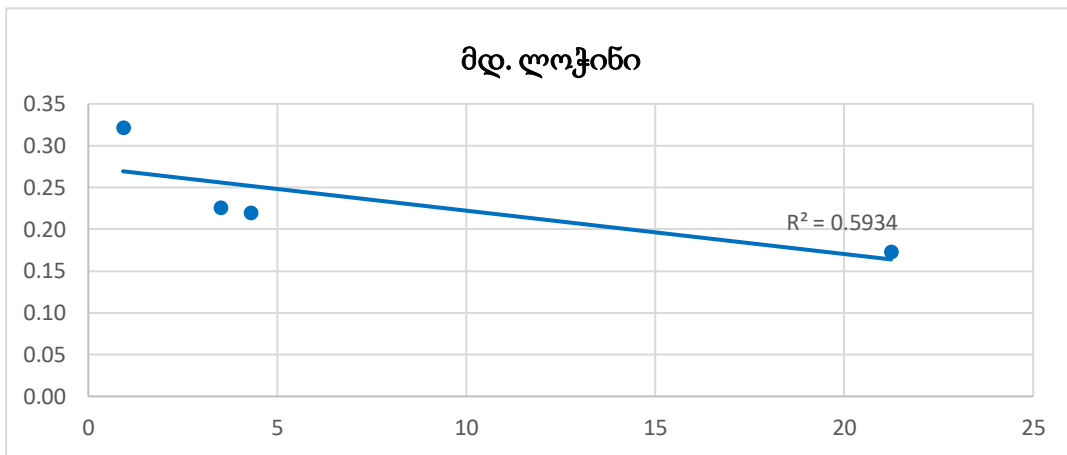
ჩატარებული სტატისტიკური კორელაციური ანალიზი ცხადყოფს მდ. ორხევის ანთროპოგენულ დაბინძურებას მდ. ლოჭინთან შედარებით უფრო მეტად, რაც, თავის მხრივ, გამოწვეულია ქ. თბილისის ორხევის დასახლებაში მდ. ორხევის მიმდებარე ტერიტორიებზე განთავსებული ტყავის გადამამუშავებელი მცირე სიმძლავრის არაერთი საწარმოთი, თუმცა ე.წ. „მჭიდრო“ სტატისტიკური კორელაციის არსებობა, თავის მხრივ, მიუთითებს გარემოში დამაბინძურებლების ერთ კონკრეტულ წყაროზე, რომლის ზუსტი დადგენაც მოცემულ შემთხვევაში ვერ მოხერხდა.

საკვლევ მდინარეთათვის საგაზაფხულო წყალმოვარდნებითა და მოსალოდნელი წყალდიდობებითა და ღვარცოფებით განპირობებული მათივე ზედაპირული წყლის სიმღვრივის, როგორც ორგანოლექტიკური მაჩვენებლის, განსაზღვრა საგაზაფხულო სეზონისათვის აღებულ წყლის სინჯებში ჩატარებულ იქნა ლაბორატორიულ პირობებში (ცხრილი 25).

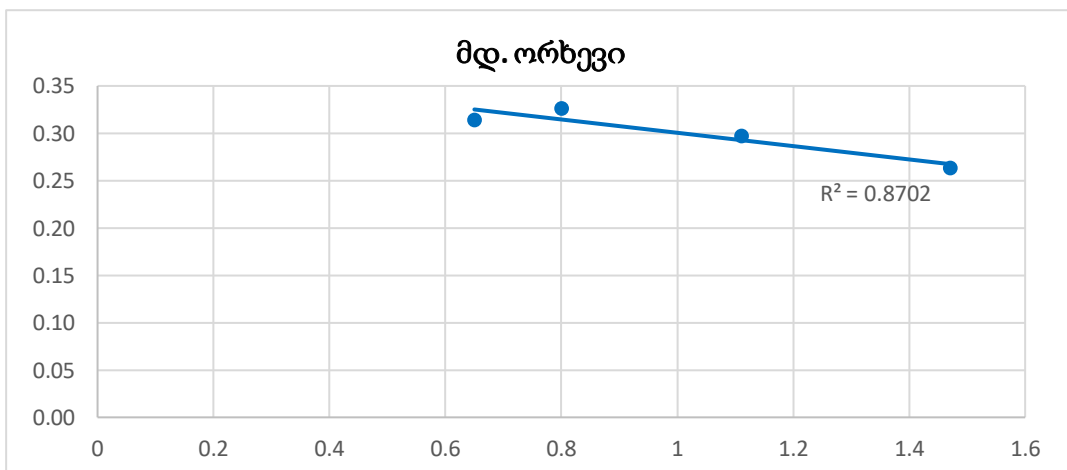
როგორც ცხრილი 25-დან ჩანს, ლაბორატორიული გაზომვებით დადგენილ იქნა სიმღვრივის გაცილებით მაღალი მაჩვენებლები მდ. ლოჭინიდან აღებულ ზედაპირული წყლის თითქმის ყველა საანალიზო ნიმუშში, რომლებიც ამ მახასიათებლისათვის [51]-ით დადგენილ ნორმატიულ მაჩვენებელს 2-3 ჯერ, ხოლო ცალკეულ შემთხვევაში 20-ჯერაც კი აღემატებოდა, განსხვავებით მდ. ორხევიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯებისაგან, რომელიც ძირითადად დადგენილი ნორმატივის ფარგლებში იმყოფებოდა. საკვლევ მდინარეთა სიმღვრივის მაჩვენებლის დადგენის პარალელურად ლაბორატორიულ პირობებში იმავე სინჯებში ასევე გაიზომა ელექტროგამტარობის სიდიდეც, რომლის მონაცემებიც ასევე შეტანილია ცხრილი 25-ში ლაბორატორიულ პირობებში გაზომილი ამ ორ დამოუკიდებელ ცვლადს შორის არსებული კორელაციური კავშირის დასადგენად ასევე გამოყენებულ იქნა უკვე აპრობირებული სტატისტიკური კორელაციური ანალიზის მეთოდოლოგია, რომლის შედეგები აისახა ნახაზზე 20, 21 წარმოდგენილი დიაგრამებით.

ცხრილი 25. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების სიმღვრივისა და ელექტროგამტარობის მაჩვენებლები

№	ბუნებრივი წყლის სიმღვრივე, FTU, ფორმაზინის ერთეული	ბუნებრივი წყლის ელგამტარობა, λ, მსიმ/მ
მდ. ორხევი		
ო-1	0.80	0.326
ო-2	0.65	0.314
ო-3	1.11	0.297
ო-4	1.47	0.263
მდ. ლოჭინი		
ლ-1	0.92	0.322
ლ-2	3.50	0.226
ლ-3	4.30	0.220
ლ-4	21.24	0.173



ნახაზი 27. მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალში სიმღვრივესა და ელექტროგამტარობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = -0.77$) დიაგრამა



ნახაზი 28. მდ. ორხევის ზედაპირულ წყალში სიმღვრივესა და ელექტროგამტარობას შორის კორელაციური კავშირის ($r = -0.93$) დიაგრამა

რეგრესიის წრფეებისა და რეგრესიის კოეფიციენტების მონაცემებით, ზემოაღნიშნულ პარამეტრებს შორის არსებობს უარყოფითი კორელაციური კავშირი; მდ. ლოჭინისაგან განსხვავებით ($r = -0.77$, $R^2 > 0.59$), მდ. ორხევის ზედაპირულ წყლებში მათ შორის გამოვლენილია პირდაპირპროპორციული ფუნქციონალური დამოკიდებულება ($r = -0.93$) დამაკმაყოფილებელი სანდოობით ($R^2 > -0.87$).

3.6. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების დაბინძურების ხარისხის შეფასება

3.6.1. ზედაპირული წყლის დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდექსის გაანგარიშება

საკვლევ მდინარეების – ლოჭინისა და ორხევისათვის მათი დაბინძურების ხარისხის შესაბამისი კლასიფიკაციის მისანიჭებლად, გამოვიანგარიშეთ ე.წ. წყლის დაბინძურების ინდექსები. ამისათვის გაცემული რეკომენდაციის [38] საფუძველზე შერჩეული იქნა ჰიდროქიმიური მაჩვენებელი (ინდიკატორი) სათანადო ოდენობით. იმის გათვალისწინებით, რომ ორივე საკვლევ მდინარისათვის დაბინძურების კერები ერთმანეთის მსგავსია და ეს აისახება კიდევ მათი კალაპოტების სიახლოვეს განლაგებული სტიქიური ნაგავსაყრელების არსებობით, რომელსაც ემატება საყოფაცხოვრებო-კომუნალური და ნაწილობრივ სამრეწველო დანიშნულების ჩამდინარე წყლები, ამიტომაც ამ მდინარეთა როგორც ეკოლოგიური შეფასებისათვის, ასევე მათი ზედაპირული წყლებისათვის ხარისხობრივი კლასიფიკაციის მისანიჭებლად შევარჩიეთ 10 ჰიდროქიმიური ინდიკატორი: pH, წყალში გახსნილი ჟანგბადი (Do), ჟანგბადის ბიოქიმიური მოთხოვნილება (ჟბმ), მინერალიზაცია, ამონიუმი, ნიტრიტები, ნიტრატები, ფოსფატები, სულფატები, ქლორიდები.

ცხრილში 26 წარმოდგენილი ჰიდროქიმიური ინდიკატორებისათვის შესაბამისი ზდკ-ის მნიშვნელობები აღებულია ზედაპირული წყლის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად [48].

საკვლევ მდინარეებზე საანალიზო სინჯების აღების სეზონურობიდან გამომდინარე (იგულისხმება მონიტორინგული დაკვირვების 4 სეზონის არსებობა: 2021 წლის ზაფხული და შემოდგომა და 2022 წლის ზამთარი და გაზაფხული) წყლის დაბინძურების ინდექსების ანგარიში, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილში 26, ჩატარდა შემდეგი თანმიმდევრობით:

თავდაპირველად გამოთვლილ იქნა ჰიდროქიმიურ ინდიკატორთა სეზონური საშუალო ჯამური მაჩვენებლები, რომელთა საანგარიშო განტოლებაში შეტანილ მიღებული იქნა საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების სეზონური ინდექსები და თითოეული მდინარისათვის დაბინძურების ინდექსის საშუალო წლიური მნიშვნელობა.

ცხრილი 26. საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლების დაბინძურების ინდექსების გამომანგარიშება შერჩეული წყლის ხარისხის ჰიდროქიმიური ინდიკატორებით

№	ინდიკატორი	ზღვ (მგ/ლ)	მდ. ლოჭინი				მდ. ორხევი			
			2021 ზაფხული	2021 შემოდგომა	2022 ზამთარი	2022 გაზაფხული	2021 ზაფხული	2021 შემოდგომა	2022 ზამთარი	2022 გაზაფხული
1	pH	6,5 - 8,5	1,23	1,33	1,15	1,26	1,18	1,30	1,16	1,23
2	D _o	7	1,04	1,53	1,49	1,29	1,12	1,45	1,56	1,26
3	ჟბმ 5	6	0,77	0,63	0,53	0,34	1,06	0,44	0,60	0,23
4	მინერალიზაცია	1000	1,10	0,93	1,10	0,79	2,43	2,53	2,31	2,02
5	ამონიუმი	0,39	0,87	1,20	8,82	0,42	1,35	1,56	4,96	6,21
6	ნიტრიტები	3,3	0,16	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,11
7	ნიტრატები	45	0,07	0,06	0,12	0,07	0,002	0,19	0,22	0,23
8	ფოსფატები	3,5	0,05	0,03	0,04	0,03	0,10	0,03	0,04	0,05
9	სულფატები	500	1,13	0,86	0,98	0,63	4,48	3,09	2,57	3,18
10	ქლორიდები	350	N/A	0,03	0,07	0,05	0,16	0,10	0,17	0,13
საშუალო ჯამური			6,42	6,62	14,31	4,93	11,90	10,71	13,61	14,65
სეზონური ინდექსი			0,71	0,66	1,43	0,49	1,19	1,07	1,36	1,47
წლიური ინდექსი			0,83				1,27			

ჩატარებულ გაანგარიშებათა შედეგად, ცხრილში წარმოდგენილი საკვლევ მდინარეთა დაბინძურების ინდექსის საშუალო წლიური მაჩვენებლების მიხედვით (მდ. ლოჭინისათვის 0,83 და მდ. ორხევისათვის 1,27) შეიძლება მოვახდინოთ ამ მდინარეთა წყლის ხარისხის კლასიფიკაცია და შეფასებითი ცხრილი N-ის მიხედვით მივანიჭოთ მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყალს პირობითად „სუფთას“ კლასიფიკაცია წყლის ხარისხის 1-ლი კლასის შესაბამისად, ხოლო მდ. ორხევის ზედაპირულ წყალს პირობითად „მცირედ დაბინძურებულის“ კატეგორია, წყლის ხარისხის მე-2 კლასის მიხედვით. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ მდ. ლოჭინის ხარისხობრივი მაჩვენებელი საკმაოდ მიახლოებული „მცირედ დაბინძურებულის“ ნიშნულთან, ამიტომაც ეს ფაქტი კიდევ ერთხელ ხაზს უსვამს იმას, რომ საჭიროა ორივე მდინარეზე განხორციელდეს ანთროპოგენური დატვირთვების მკაცრი კონტროლი, რათა არ გაუარესდეს მათი ამჟამად არსებული მდგომარეობა.

3.6.2. ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტის გაანგარიშება

საკვლევი წყლის ობიექტების დაბინძურების ინდიკატორების სახით პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტს, რომელიც იანგარიშება შემოთავაზებული მეთოდის [41] მიხედვით.

ცხრილში 27 წარმოდგენილია მონაცემები საკვლევ მდინარეთა როგორც ზედაპირული წყლების, ასევე მათი ფსკერული დანალექების მძიმე ლითონებით დაბინძურების შესახებ. ეს მონაცემები ამ საკვლევ მდინარეებზე წინასწარ შერჩეული 4 სადამკვირვებლო კვეთიდან საანგარიშო კალენდარული წლის განმავლობაში 4 სხვადასხვა სეზონის განმავლობაში აღებული სინჯებზე ჩატარებული საველე კვლევებითი და ლაბორატორიული ანალიზებით იქნა დადგენილი. წარმოდგენილი მონაცემებიდან, უპირველეს ყოვლისა, ნათლად ჩანს ის, რომ არცერთი საკვლევი მდინარე მძიმე ლითონებით ქრონიკული დაბინძურების კერას არ განეკუთვნება. ორივე მდინარისათვის ასევე ნიშანდობლივია ისიც, რომ მათ

ფსკერულ დანალექებში რკინა, სხვა საკვლევ მძიმე ლითონებთან მიმართებაში რაოდენობრივად თავისი დომინანტური პრიორიტეტულობით გამოირჩევა ფაკ-ის გასაშუალოებული მაჩვენებლის მიხედვით. დანარჩენი მძიმე ლითონების შემთხვევაში კი საკვლევ მდინარეთა ზედაპირული წყლის სინჯებში მიუხედავად მათივე ზღვ-თან შედარებით გაცილებით ნაკლები შემცველობის დაფიქსირებისა, ისინი ფსკერულ დანალექებში ფაკ-ის საშუალო მნიშვნელობის მომატებულობით ხასიათდებიან. ასეა მაგალითად, თუთიასთან მიმართებაში მდინარე ლოჭინის შემთხვევაში, რაც ამ მდინარის ფსკერული დანალექის მაღალი სორბციული უნარით უნდა აიხსნას. სპილენძისათვის ფაკ-ის საშუალო მნიშვნელობები დაახლოებით ერთნაირ მცირე დონეზეა ორივე მდინარისათვის, რისი მიზეზიც როგორც მათ ზედაპირულ წყლებში, ასევე ფსკერულ დანალექებში ამ ინგრედიენტის მხოლოდ დაბალი კონცენტრაციული მაჩვენებლებით აიხსნება. ფაკ-ის საშუალო მნიშვნელობების მიხედვით ერთგვარად შექცევადი უცნაურობანი გამოვლინდა ორივე მდინარისათვის ტყვიასა და მანგანუმთან მიმართებაში, ანუ დალექვისადმი სწრაფვა ტყვიისათვის მდ. ლოჭინში 8-ჯერ უფრო მეტია მდ. ორხევთან შედარებით და პირიქით, მანგანუმისათვის მდ. ორხევში დალექვისადმი მიდრეკილება თითქმის 2-ჯერ აღემატება მისსავე დაგროვებას მდ. ლოჭინთან მიმართებაში. ბუნებრივია, ასეთი შემთხვევები რაიმე კანონზომიერების ძებნას არ ექვემდებარება. მიზეზი უფრო მეტად საკვლევ მდინარეთა ფსკერული დანალექების მინერალური შედგენილობით არის განპირობებული.

ცხრილი 27. საკვლევ მდინარეთა ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტთა მნიშვნელობები

სინჯის №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	საშუალო
მდ. ლოჭინი																	
Fe	16	130	80	261	282	612	1084	522	16606	28616	4249	9959	320	18	114	61	3933
Zn	8270	7610	8450	8180	140	122	252	115	237	177	620	4	148	5	7	173	2157
Cu	---	---	289	230	276	325	283	170	150	332	173	207	228	289	7	292	232
Mn	1904	684	6	54	202	882	52	96	464	152	441	482	1053	9	19	41	409
Pb	36	101	12	25	5720	180	6840	150	170	9	75	110	6	4	5	5	841
მდ. ორბევი																	
Fe	37	240	101	4	1332	1832	97	767	13123	21282	335	11302	827	921	21	200	3276
Zn	629	567	462	279	167	245	590	338	220	237	313	498	126	79	9	45	300
Cu	---	140	59	245	203	418	247	221	215	204	213	342	236	169	175	141	215
Mn	136	139	4772	1	375	163	14	211	1423	1107	505	3240	164	201	14	39	781
Pb	21	48	540	36	140	210	180	340	23	70	22	83	3	6	13	26	110

3.7. მდინარე ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის როგორც დომინანტური ინგრედიენტის შემცველობის დროში ცვლილების კინეტიკური პროცესის რიცხვითი მოდელირება

როგორც საველე-საექსპედიციო და ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული გაზომვები აჩვენებს, მდ. ორხევის წყლები და ფსკერული დანალექები გაჯერებულია სხვადასხვა მინარევებით, მათ შორის მძიმე მეტალებით. მათი კონცენტრაციები იცვლება გარკვეულ დიაპაზონში და ამ მაჩვენებლით იგი ზოგჯერ აღწევს და აჭარბებს კიდევ ზღვრულად დასაშვებ დონეს. სხვა მეტალებთან შედარებით, კონცენტრაციული ჯერადობის მხრივ, თავისი დომინანტურობით განსაკუთრებულად გამოირჩევა რკინის შემცველობები მდ. ორხევიდან აღებულ როგორც წყლის სინჯებში, ასევე ფსკერულ დანალექებშიც, რაც წარმოდგენილი ცხრილებიდან და ჰისტოგრამებიდანაც ნათლად ჩანს.

რკინის ეს დომინანცია, მდინარის წყლიდან ფსკერულ დანალექში მისი სედიმენტაციის პროცესიდან გამომდინარეა. აღნიშნული პროცესის წარმართვის მექანიზმის გარკვევაში გადავწყვიტეთ სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებულ ჰიდროგრაფიულ და ჰიდროლოგიურ მონაცემებზე [61-64] და ასევე საკუთარი კვლევებით მიღებულ მასალებზე დაყრდნობით, ზედაპირულ წყლებში ნივთიერებათა გადატანა-დიფუზიის განტოლებისა და გარკვეულ თეორიულ დაშვებათა გამოყენების გზით მოგვეხდინა მდ. ორხევეზე საველე დაკვირვების ოთხი პუნქტიდან აღებული ფსკერული დანალექის სინჯებში რკინის შემცველობის დროში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება.

საკითხში უკეთ გარკვევის მიზნით, თავდაპირველად, განვიხილოთ საკვლევი მდინარის მოკლე მონაკვეთი. მონაკვეთის წერტილებში ცნობილია მდინარის წყალში არსებული რკინის კონცენტრაციები, რომელთა სიდიდეები დროში არ იცვლება. მაშინ მდინარის ფსკერის თითოეულ წერტილში,

ზედაპირულ წყლებში მინარევის გადატანა-დიფუზიის განტოლების [65] გამოყენებით, შეიძლება დავწეროთ ფსკერზე დალექილი მინარევის დროში ცვლილების განტოლება:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} = \frac{\partial w q_i}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial q_i}{\partial z}, \quad (3.1)$$

სადაც t - დროა, z - ვერტიკალური კოორდინატაა, i - მდინარეზე შერჩეული დაკვირვების პუნქტის ნომერია, q_i მდინარის წყალში მინარევის კონცენტრაციაა დაკვირვების i -ურ პუნქტში, w - სედიმენტაციის სიჩქარეა, რომელიც, თავის მხრივ, განისაზღვრება სტოქსის ფორმულით, v - ვერტიკალური ტურბულენტობის კოეფიციენტი. განტოლება (3.1)-ში დაშვებულია, რომ მდინარის პუნქტებს შორის მანძილი საკმარისად მცირეა. რაც საშუალებას იძლევა პირველ მიახლოებაში უგულებელყოფილ იყოს კონცენტრაციის ადვექციური და ჰორიზონტალური ტურბულენტური ცვლილება. ასევე, თუ გავითვალისწინებთ მდინარის მცირე სიღრმეს და შედარებით მაღალ ვერტიკალურ ტურბულენტობას [66,67], განტოლება (3.1) ფსკერის მიდამოებში შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial q_{s,i}}{\partial t} = \frac{w q_i}{H} + C |u_i| \frac{(q_i - q_{s,i})}{H^2}, \quad (3.2)$$

სადაც $q_{s,i}$ - არის მინარევის კონცენტრაცია ფსკერულ დანალექში, ხოლო u_i - მდინარის დინების სიჩქარეა.

ასევე გარკვეული დაშვების გზით, დროის საწყის მომენტად არჩეულია მომენტი წყალდიდობის შემდეგ, როდესაც ჩარეცხილია უკვე არსებული დანალექი, დამყარებულია გარკვეული კვაზისტაციონალური მდგომარეობა და ფსკერულ დანალექში საკვლევი ინგრედიენტის რკინის კონცენტრაცია ნულის ტოლია $q_{s,i}(0) = 0$.

ყოველივე ამის გათვალისწინებით, განტოლება (3.2) ინტეგრირდება რიცხობრივად :

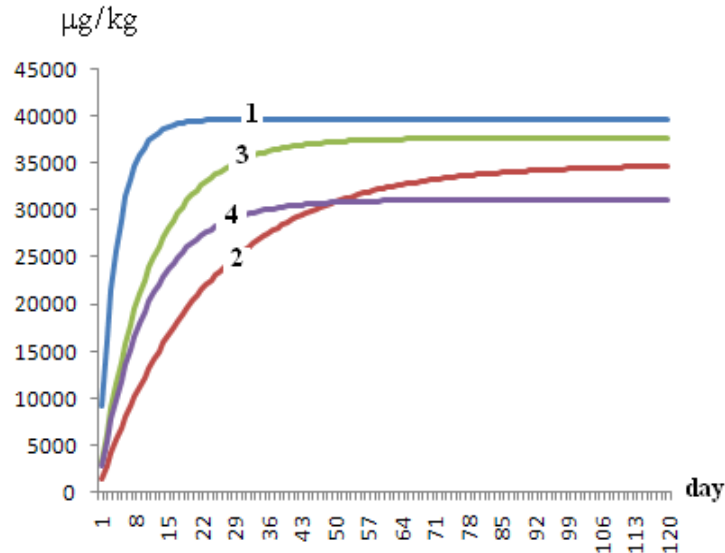
$$q_{s,i}^{n+1} = q_{s,i}^n + \Delta T \frac{w q_i^n}{H} + \Delta T C |u_i| \frac{(q_i^n - q_{s,i}^n)}{H^2}, \quad (3.3)$$

ალგორითმით $t = n \Delta t$ ($n = 0, 1, 2, \dots, n-1, N$) რიცხვით ბადეზე, აქ Δt - დროითი ბადის ბიჯია. ინტეგრირებისათვის გამოყენებულია პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობები: $H = 0.5$ მ, $C = 1.26 \times 10^{-5}$ მ. სადაც H - მდინარის სიღრმეა, ხოლო C - ტურბულენტური დიფუზიის მასშტაბის დამახასიათებელი პარამეტრი. ამასთან, $C|u_i|$ ის მხრივ, - ტურბულენტური დიფუზიის კინემატიკური კოეფიციენტი ($m^2/წმ$); საველე დაკვირვების პუნქტებზე 1-4 ჩატარებული ჰიდროგრაფიული და მორფომეტრული გაზომვებით დადგენილი და სათანადო გამოთვლებით მიღებული მდინარის წყალში რკინის მოცულობითი კონცენტრაციის, მდინარის ჰორიზონტალური დინების სიჩქარეების და ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 28.

ცხრილი 28. მდ. ორხევზე საველე დაკვირვების პუნქტებიდან 1-4 ადებულ წყლის სინჯებში რკინის მოცულობითი კონცენტრაციის, ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციისა და ამავე პუნქტებში მდინარის ჰორიზონტალური დინების სიჩქარეთა მნიშვნელობები

დაკვირვების პუნქტის №	Q_i (მგ/ლ)	u_i (მ/წმ)	Q_i (მკგ/კგ) გაზომილი	Q_i (მკგ/კგ) გამოთვლილი
1	1.0871	0.60	39 642	39 667
2	0.1611	0.10	38 606	34 637
3	0.3652	0.21	37 045	37 704
4	0.4135	0.22	31 493	31 404

ჩატარებული გაანგარიშებებით გამოთვლები ჩატარდა $\Delta t = 60$ წმ რიცხვითი ბიჯით ოთხი თვის ფიზიკური დროისათვის. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახაზზე 22.



ნახაზი 29. ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციების ცვლილება დაკვირვების პუნქტებში 1, 2, 3, 4.

ნახაზზე 22 ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული რკინის მასური კონცენტრაციის $Q_i = q_{s,i} / \rho$ (მკგ/კგ) ცვლილება 120 დღის განმავლობაში, სადაც ρ ფსკერული დანალექის სიმკვრივეა. ნახაზიდან 22 ჩანს, რომ რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობების დროში ცვლილება მიმდინარეობს თვისებრივად ერთნაირად, მაგრამ რაოდენობრივად განსხვავებულად. განხილულ ოთხივე პუნქტში მყარდება რკინის კონცენტრაციის კვაზისტაციონალური განაწილება, რომლის შემდგომაც რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობები ფსკერულ დანალექებში უკვე აღარ იცვლება. განსხვავებულია მხოლოდ რკინის სტაციონალური კონცენტრაციის დამყარების დრო და რკინის კონცენტრაციის ცვლილების სიჩქარეები დაკვირვების პუნქტებში.

რკინის კონცენტრაციის მუდმივი მნიშვნელობა ფსკერულ დანალექში ყველაზე სწრაფად (დაახლოებით 20 დღის განმავლობაში) მყარდება

დაკვირვების პუნქტში 1. ამ პუნქტისათვის დამახასიათებელია ზედაპირულ წყალში რკინის დიდი კონცენტრაცია და მდინარის დინების მომატებული სიჩქარე. პროცესის კინეტიკა შემდეგია: დალექვის საწყის ეტაპზე პრიორიტეტულია რკინის გრავიტაციული დალექვა. დალექვას ხელს უწყობს ასევე ტურბულენტური დიფუზიის პროცესი, ვინაიდან რკინის კონცენტრაცია წყალში მეტია ვიდრე ფსკერულ დანალექში. რის შედეგად სწრაფად იზრდება რკინის კონცენტრაცია ფსკერულ დანალექში. როდესაც ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაცია გადააჭარბებს წყალში მისსავე კონცენტრაციას, ტურბულენტური დიფუზია იწვევს საპირისპირო პროცესს – ნივთიერების გადატანას ფსკერული დანალექიდან წყალში. ამ დროს სწრაფად იზრდება ტურბულენტური დიფუზიით ინგრედიენტის გადატანა ფსკერიდან მდინარის წყალში. მყარდება ისეთი მდგომარეობა, როდესაც ინგრედიენტის ფსკერისკენ მიმართული გრავიტაციული ნაკადი გაუტოლდება ტურბულენტური დიფუზიის ნაკადს ფსკერიდან წყალში, ანუ მყარდება წონასწორული მდგომარეობა ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაციის მუდმივობით. ასევე აღსანიშნავია, მდინარის დინების სიჩქარის უკვე მომატებული მნიშვნელობა ინგრედიენტის სედიმენტაციის პროცესში.

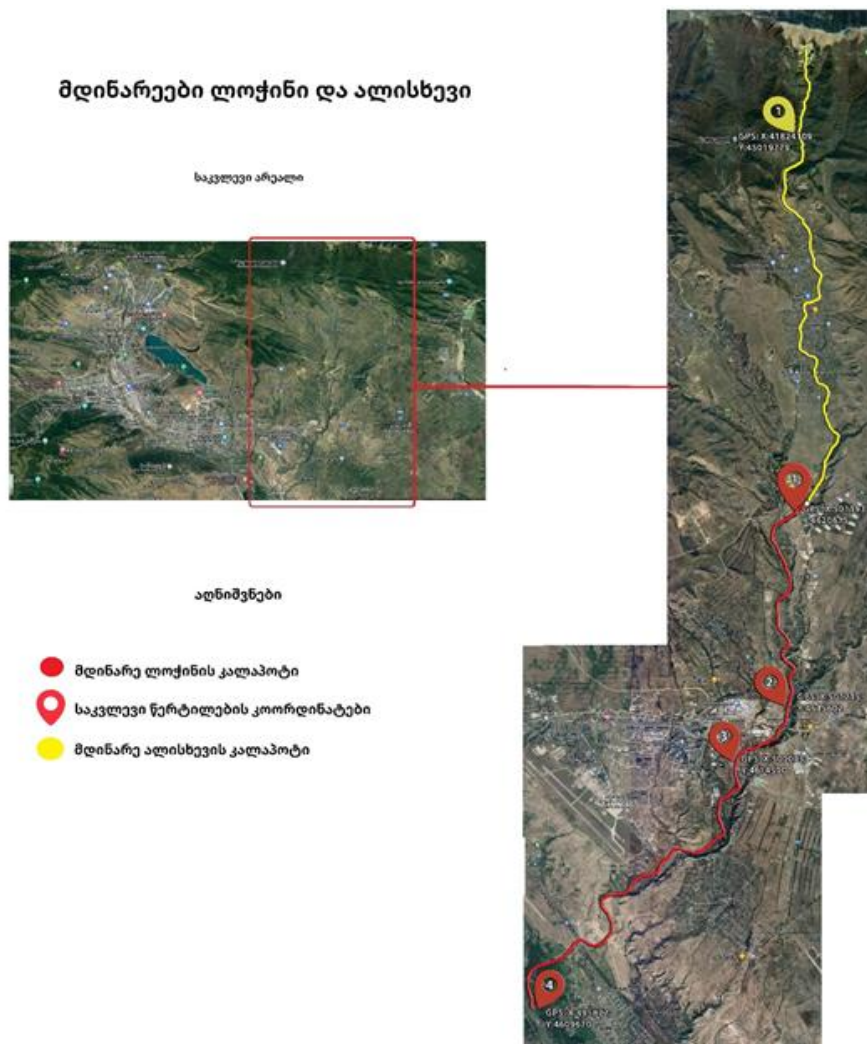
ყველაზე გვიან (110 დღე) ფსკერულ დანალექში რკინის მუდმივი კონცენტრაციის მნიშვნელობა მიიღწევა პუნქტში 2, რომლისთვისაც მცირეა როგორც რკინის კონცენტრაცია მდინარის წყალში, ასევე მდინარის დინების სიჩქარე და შესაბამისად მდინარის წყლის ტურბულიზაცია. რაც შეეხება დაკვირვებათა პუნქტებს 3 და 4, მათგან აღებულ ფსკერულ დანალექთა სინჯებში რკინის მუდმივი კონცენტრაციების მნიშვნელობები შესაბამისად მყარდება დაახლოებით მე-60 და 65-ე დღეს.

უნდა აღინიშნოს, ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაციების ექსპერიმენტულად გაზომილ და გამოთვლებით მიღებულ სიდიდეების შორის თანხვედრა დამაკმაყოფილებელია. მათ შორის მაქსიმალური განსხვავება მიღებულია პუნქტში 2 და ის დაახლოებით 10 %-ის ფარგლებშია, რაც სავსებით დასაშვებია.

3.8. მდინარე ლოჭინის მიკროშენაკად მდინარე ალისხევის კალაპოტზე ღვარცოფული ზემოქმედების შემარბილებელი ფრაგმენტული რევიტალიზაციის ღონისძიების შემუშავება და ორგანიზება

მდ. ლოჭინის კალაპოტში, მსგავსად დიდ ქალაქებში გამავალი მცირე მდინარეების კალაპოტებისა, მნიშვნელოვნად დარღვეულია ეკოლოგიური წონასწორობა, რომელიც გამოწვეულია ზემოთ ჩამოთვლილი ანთროპოგენური ფაქტორებითა და ბოლო პერიოდში ეკოლოგიური კატასტროფების მეტად გააქტიურებით. ამიტომ ჩვენ დავისახეთ მიზნად, ევროპული ქვეყნების რეკომენდაციების გათვალისწინებით, ზემოთ აღნიშნული მდინარეებისათვის ფრაგმენტული რევიტალიზაციის განხორციელება და მათ კალაპოტებში ეკოლოგიური წონასწორობის აღდგენა [68].

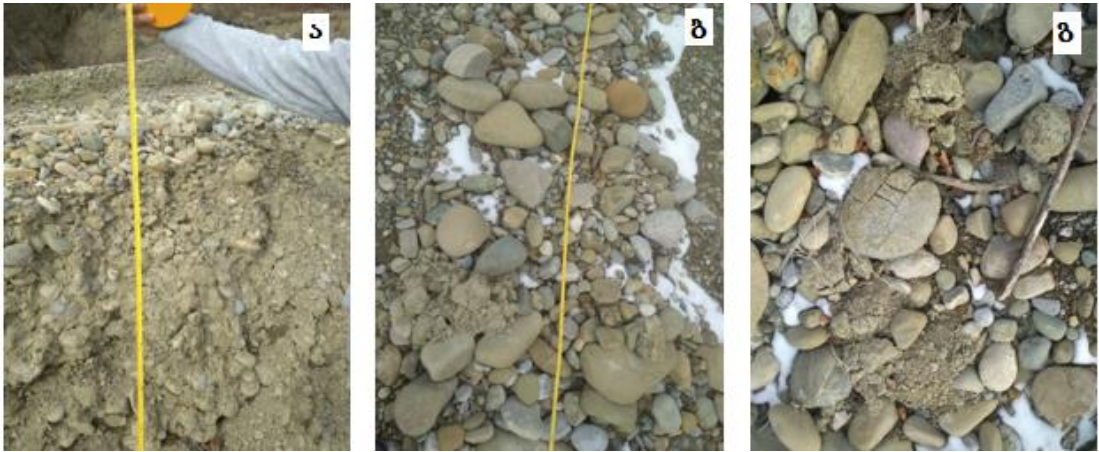
საყურადღებოა აგრეთვე საკვლევ მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი ბუნებრივი კატასტროფების მიერ გამოწვეული საფრთხეები, რათა არ მოხდეს შეფერხება ან/და ბუნებრივად მიმდინარე აღდგენითი პროცესების განადგურება [7]. ამის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ გამოკვლეული იქნა მდ. ლოჭინის ძირითადი შენაკადები, რომელთაგანაც საყურადღებოდ მივიჩნიეთ მისი ერთ-ერთი შენაკადის, მდ. ალისხევის ღვარცოფული ხასიათი (სურათი 9)



სურათი 9. საკვლევ მდინარეთა ადგილმდებარეობის რუკა-სქემა

მდ. ალისხევი, მსგავსად მდ. ლოჭინისა, სათავეს იღებს იაღნოს ქედიდან 1575 მ-ზე და სოფელ მარტყოფის სამხრეთით მარცხნიდან უერთდება მდ. ლოჭინს [8].

2022 წლის 19 იანვარს ჩვენს მიერ განხორციელებულმა საველე-საექსპედიციო კვლევებმა გვიჩვენა, რომ მდინარე ალისხევის კალაპოტი და მისი მიდებარე ტერიტორია მნიშვნელოვნად არის შევსებული ღვარცოფული ნატანით, რაც იმაზე მიგვითითებს, რომ ამ თვალსაზრისით იგი აქტიური ხევაა. მისი სიგრძე სატრანზიტო უბნის ბოლოდან სოფელ მარტყოფში არსებულ პირველ ხიდამდე არის დაახლოებით 2,7 კმ და მთელ ამ სიგრძეზე კალაპოტში აღინიშნება ღვარცოფული ნატანები, რომლის სიმაღლე ზოგიერთ ადგილებში 0,5-1,5 მეტრსაც აღწევს (სურათი 10,ა).



სურათი 10. მდ. ალისხევის კალაპოტში არსებული ღვარცოფული ნატანის ფრაგმენტაცია: ა - ნატანის სიმაღლე; ბ - ნატანის გეომეტრიული ზომები; გ - ნატანის შემადგენლობა.

ღვარცოფული მასის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია მსხვილი და საშუალო მარცვლოვანი ნატეხოვანი ქვები, რომელთა დიამეტრია დაახლოებით 5-15 სმ და მათი ზომები მდინარის სათავისკენ საგრძნობლად იზრდება (სურათი 10,ბ). ასევე გვხვდება თიხნარი კონგლომერატებიც (სურათი 10,გ), რაც იმაზე მეტყველებს, რომ აღნიშნული მდინარის კალაპოტში მიმდინარეობს ნიადაგის ეროზიული პროცესები და ნაპირების წარეცხვა, ჩამონგრევა-ჩამოშვავება (სურათი 11). როგორც გამოტანის კონუსის დასაწყისში და თვითონ სატრანზიტო უბანზე

გვხვდება დიდი ზომის ლოდებიც, რომელთა დიამეტრი ხშირად 1,5 მ-მდეა, რაც იმის მანიშნებელია, რომ ღვარცოფულ ნაკადს დიდი ენერგია გააჩნია (სურათი 12).



სურათი 11. მდ. ალისხევის კალაპოტში არსებული დეფორმირებული ნაპირები: ა. მარცხენა ნაპირი; ბ. მარჯვენა ნაპირი.



სურათი 12. გამოტანის კონუსზე ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ლოდები სატრანზიტო უბანზე.

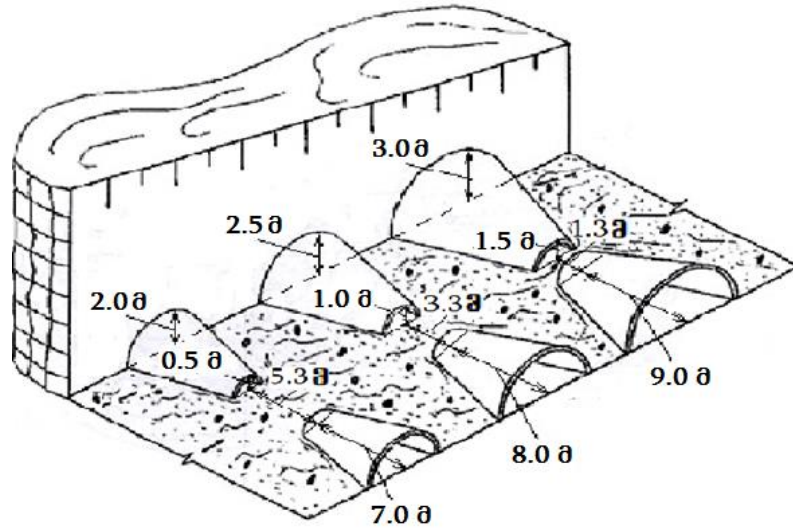
იმის გათვალისწინებით, რომ ჩვენი ინტერესი არის მდ. ლოჭინის დარღვეული ეკოლოგიური დისბალანსის აღდგენა და მის კალაპოტში ფრაგმენტული რევიტალიზაციის განხორციელება, აუცილებელი გახდა მისი შენაკადის – მდ. ალისხევის სტაბილურობის შენარჩუნება. ამ მიზნის მისაღწევად, ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ინოვაციური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა, რომლის პრიორიტეტულობა დამოწმებულია საქართველოს ეროვნული პატენტის (P-6808) მოწმობით[69]. ჩვენს მიერ საველე-საექსპედიციო კვლევების პერიოდში მდ. ალისხევის კალაპოტში

შევარჩიეთ ადგილი (სურათი 12,ბ.) კოორდინატებით – $X=41.824109$; $Y=45.019779$, სადაც წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ელემენტებისაგან შედგენილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) განთავსება ყველაზე ეფექტური იქნებოდა. დადგინდა ამ ადგილის განივი პროფილის გეომეტრიული ზომები, რის მიხედვითაც განისაზღვრა აღნიშნული ნაგებობის კალაპოტში განთავსება (სურათი 13).



სურათი 13. მდ. ალისხევის კალაპოტზე ღვარცოფ-საწინააღმდეგო ნაგებობის განთავსების სქემა

მდ. ალისხევის კალაპოტში მოსალოდნელი ღვარცოფული მოვლენების ეფექტურად მართვის მიზნით, ჩვენს მიერ კალაპოტში შერჩეული ადგილის გეომეტრიული ზომების მიხედვით განისაზღვრა ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) ელემენტების ზომები (ნახაზი 23) და მასზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესაფასებლად განხორციელდა სათანადო თეორიული კვლევები. ქვემოთ მოყვანილია მათემატიკური ანგარიში ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვან ბარაჟზე (საგუბარზე) ბმული ღვარცოფის ზემოქმედების შესაფასებლად [69].



ნახაზი 30. ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) ელემენტების ზომები

უნდა აღინიშნოს, რომ ნაგებობის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტები განლაგებულია სამ რიგად. რიგებს შორის დაცილება მცირეა $L=10$ მ, რის გამოც ანგარიშში არ არის გათვალისწინებული ღვარცოფის ენერგიის სიგრძეზე დანაკარგი ნაგებობის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტების პირველი რიგიდან მესამე რიგამდე ღვარცოფის გავლისას.

ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის სიდიდის საანგარიშო ფორმულას აქვს შემდეგი სახე [70]:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot V^2}{g} \cdot \left[\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right], \quad (3.4)$$

სადაც, γ – ღვარცოფის მოცულობითი წონა (კგ/მ³);

V – ღვარცოფის ტალღის მოძრაობის სიჩქარე (მ/წმ);

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ²);

ω – კალაპოტის ცოცხალი კვეთის ფართობი მ²;

h_0 – ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიმაღლე;

φ – შიგა ხახუნის კუთხე;

H – ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე;

α – კალაპოტის ქანობი.

ნაგებობაზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშოდ ვიღებთ ღვარცოფული ნაკადისა და კალაპოტის შემდეგ მახასიათებლებს: ღვარცოფსადინარის კალაპოტის სიგანე $B=19,3$ მ, ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე $H=3$ მ, მოსალოდნელი ღვარცოფის ტალღის მოძრაობის საანგარიშო სიჩქარე $V=5$ მ/წმ და მოცულობითი წონა $\gamma=2000$ კგ/მ³, შინაგანი ხახუნის კუთხე ამ ტიპის გრუნტებისათვის ავიღეთ $\varphi = 30^\circ$ -ის ტოლი და სადინარის ქანობი საკვლევ მონაკვეთში: $i = 0,174$ ($\alpha = 10^\circ$).

ზემოაღნიშნული პირობების გათვალისწინებით, ნაგებობაზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობა ტოლია:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot V^2}{g} \cdot \left[\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] =$$
$$= \frac{1,5 \cdot 2000 \cdot 19,3 \cdot 3 \cdot (5)^2}{9,81} \cdot \left[0,985 \cdot 0,577 + \frac{4}{2 \cdot 3} \cdot \frac{1 - 0,5}{0,866} \right] = 4218,6 \text{ კნ.}$$

რადგან ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ნაგებობა არის გამჭოლი, გამავლობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით.

$$Kn = \frac{\omega \text{ გამჭოლი } n \text{ რიგი}}{\omega}, \quad (3.5)$$

სადაც ω გამჭოლი n რიგი – ნაგებობის რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტებზე გადადინებული ღვარცოფის მიერ დაკავებული ფართი; n – ნაგებობის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტების რიგის ნომერი.

ნაგებობის ელემენტების ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტი ტოლია:

$$K_n^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}}{\omega}, \quad (3.6)$$

სადაც $\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}$ – არის ნაგებობის რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორი ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობების ჯამი (ელემენტების პროექციის ფართობი წარმოადგენს ტრაპეციის ფართობს).

განგარიშებები ნაგებობის პირველი რიგისთვის

გამავლობის კოეფიციენტი: $K_1 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. I რიგი}}}{\omega} = \frac{40.4}{57.9} = 0,7,$

სადაც $\omega_{\text{გამჭ. I რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ I რიგი}} = 57.9 - 17.5 = 40.4 \text{ მ}^2;$

$$\omega = B \cdot H = 19.3 \cdot 3 = 57.9 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ I რიგი}} = S_1 + S_2 = 8.75 + 8.75 = 17.5 \text{ მ}^2,$$

სადაც S_1 და S_2 – არის ნაგებობის პირველ რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_1 = \frac{a_1 + b_1}{2} \cdot h = \frac{0.5 + 2}{2} \cdot 7 = 17.5 \text{ მ}^2;$$

$$S_2 = \frac{a_1 + b_1}{2} \cdot h = \frac{0.5 + 2}{2} \cdot 7 = 17.5 \text{ მ}^2,$$

სადაც a_1 და b_1 – არის ნაგებობის პირველი რიგის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ტრაპეციული პროექციის მცირე და დიდი ფუძეები.

ნაგებობის პირველ რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია: $P_{\text{ყრუ I რიგი}} = P \cdot K_1^I = 4218,6 \cdot 0,3 = 1265,6 \text{ კნ};$

სადაც $K_1^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ I რიგი}}}{\omega} = \frac{17.5}{57.9} = 0,3.$

ნაგებობის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} = P - P_{\text{ყრუ I რიგი}} = 4218,6 - 1265,6 = 2953 \text{ კნ};$$

განგარიშები ნაგებობის მეორე რიგისთვის

$$\text{გამავლობის კოეფიციენტი } K_2 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. II რიგი}}}{\omega} = \frac{29.9}{57.9} = 0.52 ,$$

$$\text{სადაც } \omega_{\text{გამჭ. II რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ II რიგი}} = 57.9 - 28 = 29.9 \text{ მ}^2;$$

$$\omega = B \cdot H = 19.3 \cdot 3 = 57.9 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ II რიგი}} = S_1 + S_2 = 14 + 14 = 28 \text{ მ}^2,$$

სადაც S_1 და S_2 – არის ნაგებობის მეორე რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_1 = \frac{a^2 + b^2}{2} \cdot h = \frac{2.5^2 + 1^2}{2} \cdot 8 = 14 \text{ მ}^2;$$

$$S_2 = \frac{a^2 + b^2}{2} \cdot h = \frac{2.5^2 + 1^2}{2} \cdot 8 = 14 \text{ მ}^2,$$

სადაც a^2 და b^2 არის ნაგებობის მეორე რიგის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ტრაპეციული პროექციის მცირე და დიდი ფუძეები.

ნაგებობის მეორე რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის ნარჩენი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ II რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} \cdot K_2^I = 2953 \cdot 0.48 = 1417.4 \text{ კნ};$$

$$\text{სადაც } K_2^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ II რიგი}}}{\omega} = \frac{28}{57.9} = 0.48.$$

ნაგებობის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} - P_{\text{ყრუ II რიგი}} = 2953 - 1417.4 = 1535.6 \text{ კნ};$$

განგარიშები ნაგებობის მესამე რიგისთვის

$$\text{გამავლობის კოეფიციენტი: } K_3 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. III რიგი}}}{\omega} = \frac{12.9}{57.9} = 0,22,$$

$$\text{სადაც } \omega_{\text{გამჭ. III რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ III რიგი}} = 57.9 - 45 = 12.9 \text{ მ}^2;$$

$$\omega = B \cdot H = 19.3 \cdot 3 = 57.9 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ III რიგი}} = S_1 + S_2 = 22.5 + 22.5 = 45 \text{ მ}^2,$$

სადაც S_1 და S_2 – არის ნაგებობის მესამე რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_1 = \frac{a^3 + b^3}{2} \cdot h = \frac{2+3}{2} \cdot 9 = 22.5 \text{ მ}^2;$$

$$S_2 = \frac{a^3 + b^3}{2} \cdot h = \frac{2+3}{2} \cdot 9 = 22.5 \text{ მ}^2,$$

სადაც a^3 და b^3 არის ნაგებობის მესამე რიგის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ტრაპეციული პროექციის მცირე და დიდი ფუძეები.

ნაგებობის მესამე რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} \cdot K_3^I = 1536,6 \cdot 0,78 = 1198,5 \text{ კნ};$$

$$\text{სადაც } K_3^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ III რიგი}}}{\omega} = \frac{45}{57,9} = 0,78.$$

ნაგებობის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} - P_{\text{ყრუ III რიგი}} = 1536,6 - 1198,5 = 338,1 \text{ კნ};$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბარის) ელემენტებზე მოქმედი ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ღვარცოფის მიერ ნაგებობის საფეხუროვანი ელემენტების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ

დამრტყმელ ძალას შორის კავშირი მოცემულია შემდეგი ფუნქციური დამოკიდებულების სახით $K_n^I = f(P_{\text{ნარჩენი n რიგი}})$ [71]:

$$K_1^I = 0,3 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} = 2953 \text{ კნ.};$$

$$K_2^I = 0,48 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} = 1535,6 \text{ კნ.};$$

$$K_3^I = 0,78 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = 338,1 \text{ კნ.}$$

ამრიგად, ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგების მიხედვით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მდ. ალისხევი ნამდვილად წარმოადგენს ღვარცოფული ხასიათის წყალსადინარს, სადაც ღვარცოფის წარმოქმნისათვის ხელსაყრელი მეტეოროლოგიური პირობების შემთხვევაში მის კალაპოტში შესაძლებელია განვითარდეს ღვარცოფული მოვლენები.

განხორციელებულმა თეორიულმა და კარტოგრაფიულმა გამოთვლებმა კი გვიჩვენა, რომ მდ. ალისხევში შესაძლოა წარმოიქმნას დიდი სიმძლავრის ღვარცოფი, რომელიც საფრთხეს შეუქმნის პირველ რიგში სოფელ მარტყოფის მოსახლეობასა და მის ინფრასტრუქტურას, ხოლო შემდეგ მდ. ალისხევისა და შესაბამისად, მდ. ლოჭინის ეკოლოგიურ სტაბილურობასაც.

ჩატარებულმა თეორიულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიება ეფექტურია და შესაძლებელია განხორციელდეს მდ. ალისხევის კალაპოტში მოსალოდნელი ღვარცოფული მოვლენების ნეგატიური შედეგების შესარბილებლად, რადგანაც ნაგებობაზე ზემოქმედი ღვარცოფის ფრონტის საწყისი $P = 4218.6$ კნ ძალა, ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 12-ჯერ, რაც მიუთითებს წარმოდგენილი ნაგებობის ეფექტურობაზე. ასევე აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები მაღალია, რადგან მისი გამოყენება შესაძლებელია ავარიის გარეშე და ხანგრძლივად, რაც გამორიცხავს დამატებით ხარჯებს მისი რემონტისათვის.

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. საკვლევ მდინარეებზე, წინასწარ შერჩეულ სადამკვირვებლო კვებებიდან სეზონურად აღებულ ზედაპირული წყლის სინჯებზე, საველე 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, გამოჩნდის 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, საკვლევ ნიმუშებში როგორც კატიონების ასევე ანიონების კონცენტრაციები ზდკ-ის მიხედვით ნორმატიულ ფარგლებშია. თუმცა, მდ. ლოჭინზე თუკი ადგილი აქვს ამონიუმის აზოტის. სულფატების, კალციუმისა და მაგნიუმის მიხედვით ზენორმატიული 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. საკვლევ 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 ზღვ-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), კალციუმთან (0,3 გ/ლ), მაგნიუმთან (0,4 გ/ლ) და ამონიუმთან (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), კალციუმთან (0,08 გ/ლ), მაგნიუმთან (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 გაძლიერებით და მეორეს მხრივ, ფსკერულ დანალექთა სუბსტრატის მიერ მძიმე ლითონთა მიმართ გამოვლენილი ადსორბციული შთანთქმის უფრო მეტი უნარით;

8. რენტგენოფლორესცენციური სპექტრალური ანალიზი ჩაუტარდა ასევე საკვლევ მდინარეთა კვეთების მიმდებარედ არსებული ნიადაგის გრუნტის ნიმუშებს, რითაც დადგინდა არამარტო 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 α -კვარცი, კალციტი, კაოლინიტი, მონტმორილონიტი, ჰიდროქარსები და პლაგიოკლაზები;

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 გაზნვის 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 $(Na^{++} K^+)$ -ის იონები; სულფატ- და ნიტრატ-იონები; ნიტრატ- და ქლორიდ-იონები. მდ. ლოჭინის შემთხვევაში – ჰიდროკარბონატისა და $(Na^+ + K^+)$ -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 ხარის-ხოვრივი ნიშნულის მიხედვით ძალზედ მიახლოებულია „მცირედ დაბინძურებულთან“.
12. საკვლევ იბიექტებისათვის ცალ-ცალკე გაანგარიშებულ იქნა მათი დაბინძურების დამატებით ხარისხოვრივ ინდიკატორად მიჩნეული ფსკერული აკუმულაციის კოეფიციენტი (ფაკ-ი), რომლის მიხედვით დადგინდა, რომ არცერთი საკვლევ 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 ძალეზად 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 პროგნოზირებადი 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 სამჯერ უფრო კლებულობს წარმოქმნილი ღვარცოფის დარტყმის ძალა, რაც მოსალოდნელი გართულებების აცილებას შეუწყობს ხელს და ასევე, უპირველეს ყოვლისა, დაიცავს სოფელ მარტყოფის მოსახლეობას სტიქიური უბედურებისაგან.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ლოლობერიძე მ. – წყლის ეკოსისტემები: დაცვა და რაციონალური გამოყენება, თბილისი, მეცნიერება, 1992, 133 გვ.;
2. გვენცაძე ნ. თბილისისა და განვითარებული ქვეყნების ქალაქების მცირე მდინარეების ფუნქციურ-გეგმარებითი მდგომარეობის შედარებითი ანალიზი. სტუ, თბილისი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „არქიტექტურა და ქალაქთმშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, № 2, 2012, გვ. 61- 67;
3. კატასტროფული წყალმოვარდნების საფრთხე ქალაქ თბილისში. ბუკლეტი. რედაქტორი ჭ. ჯანელიძე, CENN-ADC, თბილისი, 2019, 65 გვ.;
4. თბილისის ბუნებრივი კატასტროფები. ბუკლეტი. CENN. თბილისი, 2016, 66 გვ.;
5. ტრაპაიძე ვ. – წყლის რესურსები. თბილისი, თსუ-ის გამომცემლობა, 2012, 123 გვ.
6. ბასილაშვილი ც. – მდ. მტკვრის ჰიდროგრაფიული ქსელი თბილისის ქვაბულში. სამეცნიერო რეფერირებადი ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, № 3(737), 2021, გვ.17-29.
7. უკლება დ. – თბილისისა და მისი მიდამოების ბუნება. წიგნში: თბილისი ეკონომიკურ-გეოგრაფიული გამოკვლევა. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, გამომცემლობა „საბჭოთა საქართველო“, 1989. გვ. 22-62 ;
8. თოფურია თ. – თბილისის 12 მივიწყებული მდინარე. რადიო „თავი სუფლება“, 25 თებერვალი, 2020. radiotavisupleba.ge/a/30453676.html. უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022;
9. საქართველოს გეოგრაფიული ატლასი. თბილისი, პალიტრა L, 2019,184 გვ.;
10. მიქაძე ი. – ჰიდროგეოლოგია და საინჟინრო გეოლოგია, თბილისი, თსუ ის გამომცემლობა, 2010,143 გვ.;
11. ჩხეიძე დ. – საინჟინრო გეოლოგია, თბილისი, გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2000, 170 გვ.;
12. ურუშაძე თ., ქვრივიშვილი თ. – საქართველოს ნიადაგების სარკვევი, თბილისი, მწიგნობარი, 2014, 135 გვ.
13. Климат Тбилиси. Под ред. Г.Г. Сванидзе и Л.К. Папинашвили, Институт Гидрометеорологии АН Грузии, Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1992;

14. კეცხოველი ნ. - საქართველოს მცენარეული საფარი, თბილისი, ლიტერასი, 2018, 512 გვ.;
15. დარჩიაშვილი გ., ჯავახიშვილი ზ., გობელაშვილი რ. – საქართველოს გლობალურად მნიშვნელოვანი ფრინველები. თბილისი, გამომცემლობა: ბუნება პრინტი, 2006, 116 გვ.;
16. საქართველოს უხერხემლო ცხოველთა ფაუნა და ეკოლოგია. რედ. ი.ელიავა, თბილისი, მეცნიერება, 1996, 86 გვ.;
17. Neruda M. ENWAMA: Environmental Water Management 2008-2010. Ústi nad Labem: Univerzita J.E. Purkuně, 2010, 79 p.
18. Lange K., Nissen S. Urban Rivers –Vital Spaces. Guide for Urban River Revitalization. REURIS Project Team, 2012, 82 p.
19. Urban Rivers –Vital Spaces. Manual for Urban River Revitalization. REURI Project Team, 2012, 327 p.
20. Янин Е.П. – Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). Москва: ИМГРЭ, 2002, 51с.
21. საქართველოს კანონი წყლის შესახებ. თბილისი, 1997, <http://www.matsne.gov.ge>. უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.
22. Манихин В.И., Никаноров А.М. – Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. Санкт Петербург: Гидрометеиздат, 2001, 183 с.
23. ელიავა ი., ყვავაძე ე. – ეკოლოგიური ლექსიკონი. თბილისი, ილიაუნის გამომცემლობა, 2014, 293 გვ.;
24. Moore J.W., Ramamoorthy S. – Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment their Influence, Springer-Verlag, New York, 1984, 246 p.;
25. საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 3 იანვრის დადგენილება №26 ტექნიკური რეგლამენტის „წყლის სინჯის აღების სანიტარული წესების“ დამტკიცების შესახებ, თბილისი, 2014, <https://www.matsne.gov.ge/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.
26. ISO 5667-1:2020 Water quality–Sampling–Part 1: Guidance on the design of sampling and sampling techniques.
27. ISO 10304-1:2007 Water quality Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions – Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate in water.

28. ISO 11885:2007 Water quality Determination of selected elements by inductive-coupled plasma optical emission spectrometry (ICP–OES).
29. ISO 9964-3:2010 Water quality Determination of sodium and potassium – Part 3: Determination of sodium and potassium by flame emission spectrometry.
30. ISO 7150-1:2010 Water quality Determination of ammonium-Part 1: Manual spectrometric method.
31. ISO 7027:1999 Water quality - Determination of turbidity.
32. ISO 5815-1:2019 Water quality Determination of biochemical oxygen demand after n days-Part 1: Dilution and seeding method with allylthiourea addition.
33. ISO 6058:2008 Water quality Determination of Calcium Content – EDTA.
34. ISO 9308-1:2014 Water quality Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria - Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora.
35. ISO 10381-1: 2002 Soil quality Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.
36. ISO 11464:2006 Soil quality–Pretreatment of samples for physico-chemical analysis.
37. კობახიძე მ., ციციშვილი მ., შანავა ე., ბუაჩიძე ნ., გოლიაძე ც., ინწკირველი ლ. საქართველოს მდინარეების ერთობლივი მონიტორინგი. ეკოლოგიური პრობლემები, ტ. IV, თბილისი: მეცნიერება, , 2006, გვ. 59-101.
38. ბუაჩიძე ნ., შავლიაშვილი ლ., ბაქრაძე ე., გ. კუჭავა გ. – ქვემო ქართლის ზოგიერთი მდინარის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის დადგენა ჰიდროქიმიური ინდიკატორების მიხედვით. სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული „ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის პრობლემები“, თბილისი, ტ.132, 2022, გვ.55-60.
39. კორძახია გ., ბუაჩიძე ნ., აზარაშვილი მ., კეკელიძე ნ., ჯახუტაშვილი ტ., ჩხაიძე მ., მწარიაშვილი ლ. – ზოგიერთი მეთოდოლოგიური საკითხი მდ. მტკვრის წყლის ხარისხზე ბუნებრივი და ანთროპოგენური ზემოქმედების შეფასების შესახებ. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, თბილისი: თსუ-ის გამომცემლობა, ტ. 6, № 4, 2006, გვ. 474-478.
40. ბუაჩიძე ნ., ინწკირველი ლ., კუჭავა გ., ბაქრაძე ე., ბეგლარაშვილი ნ. საქართველოს ძირითადი ტრანსასაზღვრო მდინარეების ეკოლოგიური მდგომარეობა და მათი კლასიფიკაცია, სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი

შრომათა კრებული „ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის პრობლემები“, თბილისი, ტ.119, 2013, გვ. 238-243.

41. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. – Хроническое загрязнение пресноводных объектов, журнал „Водные ресурсы“, Москва, т. 34, № 3, 2007, с. 337-344.
42. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების ხარისხის წელიწადეული. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2015 წლის მონაცემები, თბილისი, 2016, 37გვ.
43. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების ხარისხის წელიწადეული. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2016 წლის მონაცემები, თბილისი, 2017, 62 გვ.
44. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების ხარისხის წელიწადეული. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2017 წლის მონაცემები, თბილისი, 2018, 69 გვ.
45. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების ხარისხის წელიწადეული. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2018 წლის მონაცემები, თბილისი, 2019, 66 გვ.
46. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების ხარისხის წელიწადეული. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2019 წლის მონაცემები, თბილისი, 2020, 69 გვ.
47. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების ხარისხის წელიწადეული. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2020 წლის მონაცემები, თბილისი, 2021, 69 გვ.
48. საქართველოს მთავრობის 2013 წლის 31 დეკემბრის დადგენილება № 425 „საქართველოს ზედაპირული წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის“ ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების თაობაზე, თბილისი, 2014, <https://www.matsne.gov.ge/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.
49. საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2001 წლის 16 აგვისტოს ბრძანება №297/ნ „გარემოს ხარისხობრივი მდგომარეობის ნორმების დამტკიცების შესახებ“, თბილისი, 2001; <https://www.matsne.gov.ge/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.

50. Фомин Г.С. Вода: Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник, \ Москва Издательство „Протектор“, 2000, 848с.
51. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. Под ред. Т.В. Гусевой, Москва: ФОРУМ; ИНФРА – М, 2010, 192с.
52. გვერდწითელი ლ., ბაზღაძე ი., გუგუშიძე ჯ., შარაშიძე თ. – გარემოს ობიექტების დაცვის ანალიზის მეთოდები და საშუალებები, ლაბორატორიული პრაქტიკუმი, I ნაწილი, თბილისი, საგამომცემლო სახლი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2007, 84 გვ.
53. Супаташвили Г.Д. – Гидрохимия Грузии (Пресные воды), Тбилиси, Издательство ТГУ, 2003, 399 с.;
54. დასახლებული ადგილების ნიადაგის მდგომარეობის ჰიგიენური შეფასება. მეთოდური მითითებანი მმ 2.1.7.003-02. დამტკიცებულია საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2003 წლის 24 თებერვლის № 38/ნ ბრძანებით, თბილისი, 2003, 23 გვ. <https://www.matsne.gov.ge> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.
55. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва: Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник, Москва: ВНИИСтандарт, 2001, 305с.
56. გვერდწითელი ლ. – ჰიდროსფეროსა და ნიადაგის დაცვის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. თბილისი, საგამომცემლო სახლი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014, 216 გვ.;
57. Korte F., Bakhadir M., Klein W., Lay J. P., Parlar H., Scheuert I. - Lehrbuch der Okologishen Chemie. Grundlagen und Konzepte fur die Okologische Beurteilung von Chemikalien, Stuttgart, New York, Springer Verlag, 1992. 353
58. Виноградов А.П. – Закономерности распределения химических элементов взем-ной коре. Геохимия, вып.1, 1956, с.6-52.
www.ru.wikipedia.org/wiki/кларковое_число
59. Алексеенко В.А., Алексеенко А. В. – Химические элементы в городских почвах. Москва: Логос, 2014, 312 с.
www.ru.wikipedia.org/wiki/кларковое_число
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.
60. გვასალია ლ. ტექნოლოგიური პროცესების თეორიის საფუძვლები. II ნაწილი, თბილისი: საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2014, 132 გვ.

61. დიაკონიძე რ., ფირცხალაიშვილი ი., ვეფხიაშვილი ნ., მარტიაშვილი ც., ჩანკაშვილი გ. – მდ. მტკვრის შენაკადების ეკოქიმიური მდგომარეობის შეფასება ქ. თბილისის ტერიტორიის ფარგლებში. თბილისი, სტუ-ს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, № 64, 2009, გვ. 71-76.
62. ტაბატაძე მ., დვალიშვილი ნ. – ქ. თბილისის ტერიტორიაზე მდ. მტკვრის ძირითადი შენაკადების თანამედროვე ეკოქიმიური მდგომარეობის შეფასება. თბილისი, სტუ-ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 119, 2013, გვ. 247-250;
63. ტაბატაძე მ. – აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მდინარეების თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება მათზე ანთროპოგენური დატვირთვის გათვალისწინებით. თბილისი, 2009, 101გვ.;
64. ტაბატაძე მ., დვალიშვილი ნ. – ქ. თბილისის მცირე მდინარეების თანამედროვე ეკოქიმიური მდგომარეობა, თბილისი, სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, 2013, 40 გვ.;
65. სურმავა ა. – მდინარე მტკვრის ჩანადენებში დამაბინძურებელ ნივთიერე ბათა განაწილების რიცხვითი მოდელირება. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მოამბე, ტ.9, №1, 2015, გვ. 78-84;
66. სურმავა ა., გვერდწითელი ლ., ბაგრატიონი ნ. – სამრეწველო ნარჩენების ჩაშვებით მდინარეებში ცხენისწყალსა და ლუხუნში მოხვედრილი დარიშხანის განაწილების რიცხვითი მოდელირება. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, ტ.42, №3, 2016, გვ. 413-415.
67. Обухов А.М. – Турбулентность и динамика атмосферы, Ленинград „Гидрометеориздат“, 1988, 414 с.
68. საქართველოს მთავრობის 2013 წლის 31 დეკემბრის დადგენილება № 445 „საქართველოს მცირე მდინარეების წყალდაცვითი ზოლების (ზონების) შესახებ“ ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების თაობაზე, თბილისი, 2014, <http://www.matsne.gov.ge>; უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022;
69. საქართველოს პატენტი. ღვარცოფული ნაკადებისაგან საფეხუროვანი დაცვა. სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი. თბილისი: საქპატენტი, 1(341). 2012, გვ.16.
70. ჩახაია გ., წულუკიძე ლ., ლაომვილი ზ., ბოსიკაშვილი შ., გუგუშვილი თ., ხუბულავა ი. – თანამედროვე ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის მშენებლობა და მისი საიმედოობის ეფექტურობის შეფასება მდინარე მლეთისხევის ხეობის მაგალითზე, სტუ, თბილისი: საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2021, 74 გვ.

71. Chakhaia G., Kvashilava N., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T. and others. The Assessment of Debris Flow Influence on the Debris Flow against Stepped Barrage. International Journal of Sciences: World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development. 3(2): 1-5. India. 2017, www.wwjmr.com. უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 01.10.2022.