

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ანზორ გიორგაძე

**მდ. ტეხურზე მშენებარე ჰესების კასკადის ტერიტორიის სტრუქტურული  
და საინჟინრო გეოლოგიური კვლევის თავისებურებები**

სადოქტორო პროგრამა გეოლოგია

შიფრი 0532.1.3

დოქტორის აკადემიური ხარისხის

მოსაპოვებლად წარდგენილი

დისერტაციის

**ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი**

თბილისი

2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში  
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი  
გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები: ასოც. პროფესორი ლევან გორგიძე  
აკად. დოქტორი ვიქტორ ალანია

რეცენზენტები: გმმკ ზ. ცომაია  
გმმკ დ. ზაქარაია

დაცვა შედგება 2023 წლის "14" ივლისს, 14:00 საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური  
ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,  
კორპუსი III, აუდიტორია 437  
მისამართი: 0160, თბილისი, მ. კოსტავას №77

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

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,  
ასოცირებული პროფესორი

დარეჯან თევზაძე

## შესავალი

**თემის აქტუალობა.** საქართველო ჰიდრორესურსებისა და ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის მიხედვით ერთ-ერთ საინტერესო ქვეყანას წარმოადგენს. ჰიდროენერგეტიკული რესურსების რაციონალურად ათვისება და გამოყენება თანამედროვე საქართველოს ეკონომიკური განვითარების ერთ-ერთი მთავარი წინაპირობაა. საქართველოს 26 ათასი მდინარიდან ენერგეტიკული მნიშვნელობით 300-მდე გამოირჩევა, რაც მათი ეფექტიანად ათვისების შემთხვევაში, ქვეყნის ენერგეტიკული პოტენციალის სწრაფი გაძლიერების საშუალებას იძლევა. ამ მხრივ, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს მდ. ტეხურზე დაგეგმილი ჰიდროელექტროსადგურების კასკადი (ლექხა, ერჯია, ხიფა, ცხიმრა და ნობულევი). ჰიდროელექტროსადგურების ექსტენსიური მშენებლობის შედეგად გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედებისა თუ შემდგომი გართულებების თავიდან აცილებისთვის, აუცილებელია შერჩეულ ტერიტორიაზე კომპლექსური საინჟინრო-გეოლოგიური და გეოტექნიკური კვლევების ჩატარება.

**კვლევის ძირითადი მიზანი და ამოცანები.** კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მდ. ტეხურის ხეობაში დაგეგმილი ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის ტერიტორიის სტრუქტურული და საინჟინრო გეოლოგიური კვლევა. დასახული მიზნის გადასაწყვეტად აუცილებელი იყო შემდეგი ძირითადი ამოცანების გადაწყვეტა:

- (1) საკვლევ ტერიტორიასთან დაკავშირებული ფონდური და ლიტერატურული მასალის მოძიება/დამუშავება;
- (2) ტერიტორიის სიღრმული აგებულების დადგენა და დეფორმაციის სტრუქტურული სტილის განსაზღვრა;
- (3) საველე პირობებში ტერიტორიის ამგები ქანების ნაპრალოთა ტიპების და ინტენსივობის დადგენა, ასევე მათი სტრუქტურულ-სტატისტიკური ანალიზი;
- (4) ქანის მასივების სამი საერთაშორისო გეოტექნიკური კლასიფიკაციით (Q, RMR, GSI) დახასიათება;

- (5) ქანების ფიზიკურ-მექანიკური, ფილტრაციული, ქიმიური, პეტროგრაფიული და სეისმური მახასიათებლების დადგენა;
- (6) გეოდინამიკური პროცესების (მეწყერი, ღვარცოფი, ქვათაცვენა) იდენტიფიკაცია, კადასტრირება და მოდელირება.

**კვლევის თეორიული და მეთოდოლოგიური საფუძვლები.** ნაშრომი წარმოადგენს საკვლევი ტერიტორიის გეოლოგიის ორი უმნიშვნელოვანესი მიმართულების - საინჟინრო გეოლოგიისა და სტრუქტურული გეოლოგიის თანამედროვე კვლევის მეთოდებით შესწავლას და შეფასებას.

- (1) ნაპრალების შესაწავლისათვის გამოყენებული იყო ნაპრალი-ნაოჭის ურთიერთდამოკიდებულების, ხოლო ნაოჭების გეომეტრიის დასადგენად კირღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორიები.
- (2) აღნიშნული თეორიები დაედო საფუძვლად ბალანსირებული და რეკონსტრუირებული ჭრილების შედგენას და სტრუქტურულ-სტატისტიკური ანალიზის ჩატარებას.
- (3) საველე სამუშაოების ჩატარებისას მოხდა ტერიტორიის ამგები ქანის მასივების, საერთაშორისო სტანდარდების მიხედვით, სხვადასხვა გეოტექნიკური კლასიფიკაციით (Q, RMR, GSI) დახასიათება და ჭაბურღილებიდან მიღებული გრუნტის, კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანის ნიმუშების ლაბორატორიული შესწავლა (როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ).
- (4) მაღალი გარჩევადობის ციფრული სასიმალო მოდელის (DEM) გამოყენებით მოხდა ხეობის სამგანზომილებიანი მოდელის შექმნა, მომზადდა ხეობის ფერდობების ექსპოზიციისა და დახრილობის ფენები.
- (5) RAMMS პროგრამის საშუალებით ჩატარდა საშიში გეოდინამიკური პროცესების (მეწყერი, ღვარცოფი) მოდელირება.
- (6) ფონდური მასალის საფუძველზე მოხდა ციფრული გეოლოგიური რუკის შექმნა.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე და ძირითადი შედეგები. თემის სიახლე იყო საკვლევო ტერიტორიის ფარგლებში ინტეგრირებული, თანამედროვე ტექნოლოგიების, მეთოდების და სტანდარტების გამოყენებით კვლევების ჩატარება და გეოდინამიკური პროცესების შეფასება. ახლებურადაა წარმოდგენილი მდ. ტეხურზე დაგეგმილი ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის გეოლოგიური აგებულება.

- (1) მდ. ტეხურის ხეობის ფარგლებში სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭებით;
- (2) მდ. ტეხურის ხეობისა და მომიჯნავე ტერიტორიის კუმშვითი დეფორმაცია 40%-ს შეადგენს, რაც 42.78 კმ-ის ექვივალენტია.
- (3) საკვლევო ტერიტორიის ამგები ქანებში გამოიყოფა ჭიმვითი (2 ტიპის) და ირიბი ნაპრალები, ხოლო მათი ინტენსივობა 1 კვ. მეტრ ფართობზე 13-დან 20-მდე მერყეობს;
- (4) საკვლევო ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების სირთულის კატეგორია არის III (რთული), რისი მიზეზიც არის ტერიტორიის რთული ტექტონიკური, მორფოლოგიური და გეოდინამიკური პირობები;
- (5) ჭაბურღილებიდან მიღებული მონაცემების შედეგად, საკვლევო ტერიტორიის ამგები გრუნტები და ქანები ქმნის 11 საინჟინრო-გეოლოგიურ ელემენტს (სგე);
- (6) ხეობის ფარგლებში იდენტიფიცირებულია 30 გეოდინამიკური პროცესი (მეწყერი, ღვარცოფი, ქვათაცვენა), მათგან 15 აღწერილი და კადასტრირებულია;
- (7) საკვლევო ტერიტორიის ამგები კლდოვანი ქანების მასივის რეიტინგი (RMR), იცვლება 54-დან 75-მდე, რის მიხედვითაც კლდოვანი ქანები მიეკუთვნება II და III კლასს და კლასიფიცირდება კარგ და საშუალო ხარისხის კლდოვან მასივებად, გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის (GSI) მაჩვენებლები 42-დან 58-მდე, ხოლო Q მნიშვნელობა 8.5-დან 14.3-მდე იცვლება;
- (8) ქანის მასივის გეოტექნიკური შესწავლისას გამოყენებული გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის (GSI) შედეგები მაღალი სანდობის მქონეა, ასევე

აღნიშნული კლასიფიკაციის გამოყენება საქართველოს ტერიტორიაზე გეოტექნიკური კვლევებისას წარმოადგენს პირველ პრეცედენტს;

(9) ხეობაში არსებული მეწყრებისა და ღვარცოფული ხევების პროგრამა RAMMS-ში მოდელირების შედეგად დადგინდა, რომ აღნიშნული გეოდინამიკური პროცესები საფრთხეს არ შეუქმნის ჰიდროელექტროსადგურების მდგრად ფუნქციონირებას.

**ნაშრომის თეორიული ღირებულება.** საკვლევ რაიონში ჩატარებული კვლევები ითვალისწინებს ბუნებრივი გარემოს გეომორფოლოგიურ, ტექტონიკურ, გეოდინამიკურ, ლითოლოგიურ-პეტროლოგიურ, ჰიდროგეოლოგიურ და სეისმურ პირობებს. ტექტონიკური თვალსაზრისით, მდ. ტეხურის ხეობა მდებარეობს ორი ტექტონიკური ერთეულის - რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლისა და კავკასიონის სამხრეთი ფერდობის საზღვარზე. ამ თვალსაზრისით კი საკვლევ ობიექტი ერთ-ერთი საინტერესო ობიექტია საინჟინრო-გეოლოგიური კუთხით.

**ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა და გამოყენების სფერო.** მიღებული კვლევის შედეგები და მოდელები მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს საინჟინრო გეოლოგიური სამუშაოების მიზანდასახულ ჩატარებას, განსაკუთრებით კავკასიონის სამხრეთი ფერდობის ფარგლებში. გარდა ამისა, ნაშრომის ფარგლებში გამოყენებული ინტერდისციპლინური კვლევის მეთოდები, შესაძლებელია წარმატებით იქნას გამოყენებული სხვა მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობის წინასწარი კვლევის ეტაპზე.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია შესავლის, 8 თავის, 10 ქვეთავის, დასკვნის, 30 დანართისა და ნაბეჭდი 148 გვერდისაგან. ნაშრომში მოტანილია 58 ნახაზი და 9 ცხრილი. გამოყენებული ლიტერატურის სია შედგება 89 დასახელებისგან.

## ნაშრომის მოკლე შინაარსი

**თავი 1.** მოცემულია ცნობები ტერიტორიის შესწავლილობის შესახებ. პირველი მონაცემები ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების შესახებ მოიპოვება მე-19 საუკუნის 70-იანი წლების შრომებში, რომელიც ეკუთვნის ს. სიმონოვიჩს, ლ. ბაცევიჩს და ა. სოროკინს. აღსანიშნავია ე. ვახანიას და დ. პაპავას (1954) მიერ შედგენილი გეოლოგიური რუკა (მასშტაბი 1:50 000) დასავლეთ საქართველოს ცენტრალური ნაწილისთვის, რომელიც მოიცავს მდ. ტეხურის ხეობასაც. აღსანიშნავია 1955 წელს რ. ჯაფარიძისა და ვ. ედილაშვილის მიერ ჩატარებული აგეგმვითი (1:50 000 მასშტაბი) სამუშაოები K-38-49-A და K-38-49-B ფურცლების ფარგლებში, რომელიც მოიცავს ტერიტორიის გეოლოგიურ, ჰიდროგეოლოგიურ და ტექტონიკურ რუკებს. გარდა ამისა, საკვლევ ტერიტორიის ჩრდილოეთ ნაწილს მოიცავს 1955 წელს პ. ავალიშვილისა და ო. შირიაშვილის მიერ ჩატარებული აგეგმვითი სამუშაოები K-38-37-Γ ფურცლის ფარგლებში.

უახლოესი ფართომასშტაბიანი აგეგმვითი (1:50 000 მასშტაბი) სამუშაოები რაჭა-სვანეთის (შ. გეგუჩაძე და სხვა, 1976) და K-38-49-B ფურცლის (ლ. ღვინერია და სხვა, 1975) ფარგლებში, რომლებიც აგრეთვე მოიცავს მდ. ტეხურის აუზის ზემო წელსაც, შესაბამისად ჩატარდა 1960-1969 და 1973-1975 წლებში. ამ ნაშრომებში დეტალურადაა გაანალიზებული ადრე ჩატარებული რეგიონალური გეოლოგიის, სტრატეგრაფიის, ტექტონიკის, გამადნების, ჰიდროგეოლოგიის და სხვა საკითხები. უშუალოდ რიონის აუზის გეოლოგიური აგებულებისა და ტექტონიკური პირობების შესწავლას, რომლის ნაწილი მდ. ტეხურის ხეობაც არის, ავტორიტეტული გეოლოგების მრავალი კვლევა მიემდვნა, მათ შორის აღსანიშნავია ალ. ჯანელიძის (1942), პ. გამყრელიძის (1966), ე. ვახანიას (1973), ე. მილანოვსკის, ვ. ხაინის (1963) და სხვათა შრომები. ბოლო წლებში ეს პრობლემა განხილულია ახლებურად ფილაქნების ტექტონიკის თეორიის საფუძველზე (მაგ. ადამია და სხვ., 2010, 2011; ალანია და სხვ., 2021, 2022; ბენქსი და სხვ., 1997; ქოუგილი და სხვ., 2016; გიორგობიანი, 2004; თარი და სხვ., 2018; ტიბალდი და სხვ., 2018, 2018; ვახანია, 2008; ზაქარაია, გიორგობიანი, 2003). საკვლევ ტერიტორიაზე ჩატარებული ჰიდროგეოლოგიური კვლევებიდან აღსანიშნავია ლ. ხარატიშვილისა და შ.

გაბულდანის მიერ 1964-1974 წლებში სამეგრელოსა და გურიის არტეზიული აუზების ფარგლებში, მტკნარი მიწისქვეშა წყლების მეზნა-ძიების და საექსპლუატაციო მარაგების გამოთვლის მიზნით ჩატარებული კვლევები (მასშტაბი 1:50 000), ი. მიქაძის, ნ. დოლიძისა და სხვათა მიერ მდ. მდ. ცივი-გუბისწყლის შუამდინარეთის 1:50 000 მასშტაბის კომპლექსური ჰიდროგეოლოგიური და საინჟინრო გეოლოგიური აგეგმვა მელიორაციული მიზნებისთვის, 1975-1977 წლებში ვ. მიქაშავიძის მიერ „ნოსირის“ უბნის, მდ. ტეხურის ალუვიური ნალექების გრუნტის წყლების დაძიება ქალაქების - ფოთისა და ცხაკაიას (დღევანდელი სენაკის) წყალმომარაგებისათვის (მასშტაბი 1:50 000), ასევე ო. გოგრიჭიანისა და გ. კუჭუხიძის მიერ სამეგრელოს არტეზიული აუზის 1:50 000 მასშტაბის ჰიდროგეოლოგიური აგეგმვა, რომელიც მოიცავდა მდ. ტეხურის ხეობას.

საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევებიდან აღსანიშნავია ბოლო წლებში შპს „გეოტექსერვისის“ (GTS), შპს „როიალ-ჰასკონინგ დიეიჩვის“ (RH-DHV) და შპს „ტეხური ენერჯის“ (TE) მიერ ჩატარებული კვლევები.

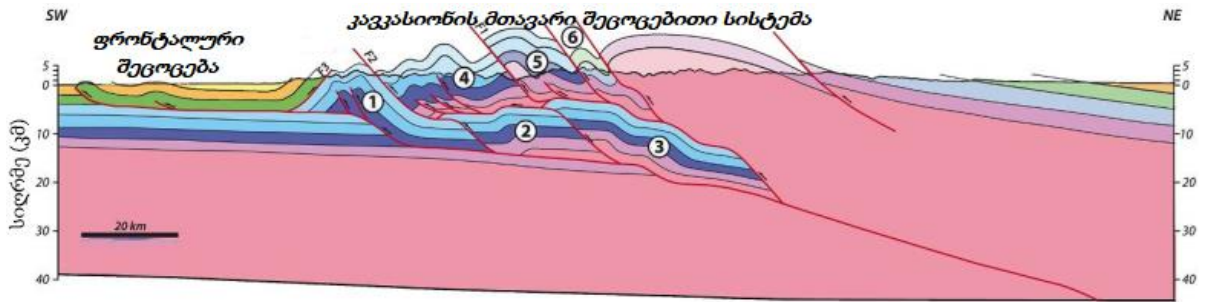
**თავი 2.** მოცემულია ცნობები ჩატარებული კვლევის მეთოდოლოგიის შესახებ. აღსანიშნავია, რომ კვლევები ჩატარდა რამდენიმე მიმართულებით: (1) კვლევის პირველ ეტაპზე განხორციელდა საფონდო და გამოქვეყნებული ბეჭდური და ელექტრონული პუბლიკაციების მოძიება, დამუშავება, სხვადასხვა გეოლოგიური მასალის კრიტიკული ანალიზი; (2) საველე სამუშაოების ჩატარების ეტაპი გულისხმობდა საკვლევი ტერიტორიის გეოლოგიურ შესწავლას, სტრუქტურულ-გეოლოგიური და ლითოლოგიური ჭრილების შედგენას, საველე პირობებში ქანთა მასების ნაპრალოვნების ხარისხის შეფასებას, სამი გეოტექნიკური კლასიფიკაციის: ქანის მასივის რეიტინგის (RMR), Q კლასიფიკაციისა და გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის (GSI) გამოყენებას ამგები ქანების კლასიფიცირებისთვის; (3) მესამე ეტაპი - ველზე მოპოვებული ნიმუშების შესწავლას, სხვადასხვა ინფორმაციის დამუშავებას, ანალიზს, სინთეზს, ინტერპრეტაციასა და განზოგადებას. კვლევის პროცესში მოხდა მაღალი გარჩევადობის (5 და 20 მეტრი) ციფრული სასიმალო მოდელის (DEM) და ციფრული აეროფოტოსურათების გამოყენება საკვლევი ტერიტორიისთვის, ხეობის ფარგლებში დაფიქსირებული საშიში გეოდინამიკური პროცესების (მეწყერი, ღვარცოფი, ქვათაცვენა) მოდელირება განხორციელდა



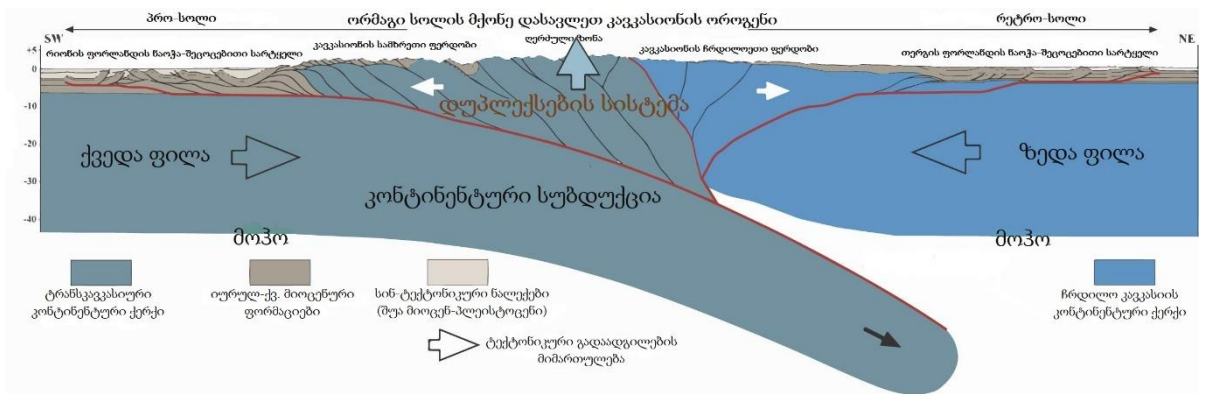
პროგრამა RAMMS-ის საშუალებით. სტრუქტურული ჭრილების აგებისა და ნაპრალობა სტატისტიკური ანალიზისათვის გამოყენებული იყო პროგრამა MOVE, რომელიც სპეციალურად შექმნილია სტრუქტურული გეოლოგიური ამოცანების გადასაწყვეტად. პროგრამაში, ალგორითმების სახით შეტანილი და ინტეგრირებულია ნაპრალობა ორიენტაციის, სტატისტიკური ანალიზის და რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორიის ძირითადი პრინციპები და მეთოდები. სტრუქტურული ჭრილების და 2-3 განზომილებიანი სტრუქტურული მოდელების აგებისათვის გამოყენებული იყო რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორია. კვლევის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანა დეფორმაციაში ჩართული იურული ქანების ნაპრალობების შესწავლა იყო - იქ სადაც იგეგმება ჰესების კასკადის აშენება. ზოგადად, ნაოჭებთან დაკავშირებული ნაპრალების ფორმირება და მათი სივრცობრივი გავრცელება ძირითადად დაკავშირებულია ნაოჭის ფორმირების ტიპთან და მის კინემატიკასთან.

**თავი 3.** განხილულია მდ. ტეხურის ხეობის და მიმდებარე ტერიტორიის რეგიონული ტექტონიკის საკითხები. რიონის აუზი, რომელიც მდებარეობს კავკასიონსა და აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებით სარტყელს შორის, იყოფა ორ ნაწილად: რიონის ფორლანდური აუზი და რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი. რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი დასავლეთ კავკასიონის ოროგენის პრო-სოლის შემადგენელი ნაწილია და განლაგებულია არაბეთ-ევრაზიის კოლიზიური ზონის უკიდურეს ჩრდილოეთ ნაწილში. რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი თხელ-ზეწრულია და მის ფარგლებში განვითარებულია მრუდე-ფორმის სამხრეთ-ვერგენტული შეცოცებები. სხვადასხვა სტრუქტურული ჭრილების ინტერპრეტაციის შედეგად, ზოგიერთი მკვლევარის მიხედვით, დასავლეთ კავკასიონი წარმოადგენს მონოვერგენტულ ოროგენულ სოლს, რომელიც განვითარებულია ჩრდილოეთისკენ დაქანებული სუბდუქციონის ბლოკის თავზე. ე. ქოუგილის და სხვათა (2016) მიხედვით, კავკასიონი მონოვერგენტულიდან ორმაგი ვერგენტულობის მქონე ოროგენში გადასვლის მნიშვნელოვანი ბუნებრივი მაგალითია (ნახ. 1), მისი აზრით, ცენტრალური და აღმოსავლეთ კავკასიონისგან განსხვავებით, რომელიც წარმოადგენს ორმაგი ვერგენტულობის სოლს, დასავლეთ კავკასიონი

მონოვერგენტული ოროგენია. ვ. ალანას და სხვ. მიხედვით (2022), დასავლეთ კავკასიონი წარმოადგენს ტიპურ ორმაგი ვერგენტულობის მქონე ოროგენს, რომელიც წარმოდგენილია რეტრო და პრო-სოლებით, ასევე ფორლანდური აუზებით (ნახ. 2).



ნახაზი 1. დასავლეთ კავკასიონის სტრუქტურული მოდელი (ქოუგილი და სხვ., 2016)

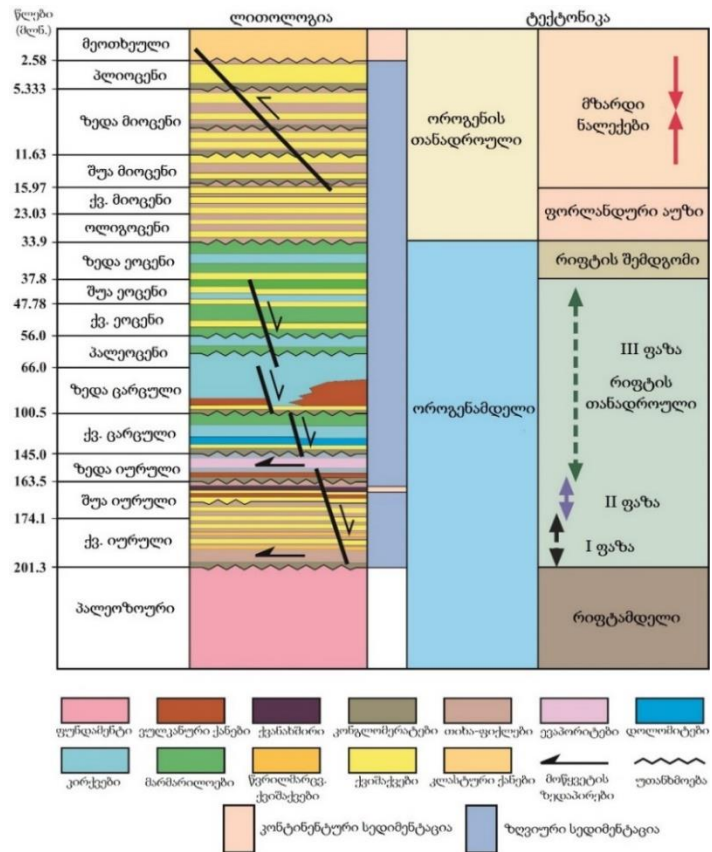


ნახაზი 2. დასავლეთ კავკასიონის ტექტონიკური მოდელი (ალანია და სხვ., 2022).

თავი 4. განხილულია რაიონის სტრატეგრაფიული და ტექტონიკური პირობები.

4.1 განხილულია რაიონის აუზის სტრატეგრაფია. რაიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის დანალექი საფარი, რომლის სიმძლავრე 7 კმ-ზე მეტია, წარმოდგენილია ოროგენამდელი და ოროგენის თანადროული წყებებისგან (იხ. ტექტონოსტრატეგრაფიული სვეტი, ნახ. 3). რაიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის მეზოზოურამდელი ფუნდამენდტი გაშიშვლებულია იმერეთის აზეგების ტერიტორიაზე და ცენტრალურ ნაწილში წარმოდგენილია ჰერცინული გრანიტული მეტამორფული ქანებით, რომლებიც გადაფარულია

დეკონურ-კარბონული ფილიტებით. ფუნდამენტის უმეტესი ნაწილი გაკვეთილია გრანიტოიდებით და გადაფარულია შუა იურული ასაკის ვულკანოგენური ქანებით. აღსანიშნავია, რომ ოროგენამდელი წყებები წარმოდგენილია იურულ-გვიან ეოცენური მარჩხი და ღრმა ზღვის ნალექებით და დაყოფილია რიფტამდელ, რიფტულ და რიფტის შემდგომ მეგაწყებებად.



**ნახაზი 3.** რიონის აუზისა და მიმდებარე ტერიტორიის ტექტონოსტრატოგრაფიული სვეტი.

**4.2** წარმოდგენილია ტერიტორიის გეოდინამიკური განვითარების შესახებ არსებული მოსაზრებები, თანამედროვე შეხედულებები, დახასიათებულია ტერიტორიაზე გავრცელებული ძირითადი სტრუქტურები და მათი დეფორმაციის სტილი. ბოლო ათწლეულების განმავლობაში რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის გენეზისის შესახებ რამდენიმე მოსაზრება იქნა შემოთავაზებული. გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან სეისმური პროფილების ინტერპრეტაციის შედეგად რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის სტრუქტურა და დაფარული ფრონტი კარგად იქნა შესწავლილი, თუმცა კვლავ არსებობს დებატები მის გეომეტრიასა და დეფორმაციის სტრუქტურული სტილის

შესახებ. სტრუქტურული სტილის გათვალისწინებით, არსებობს რამდენიმე მოდელი: პირველის მიხედვით, რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი წარმოდგენილია რამპ-ანტიკლინებით, მეორე მოსაზრების მიხედვით, წარმოდგენილი ანტიკლინები ტიპური მოწყვეტის ნაოჭებია. აღსანიშნავია, რომ რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ფარგლებში დეფორმაციის სტილი წარმოდგენილია რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭების სერიებით, დუპლექსებით და სამკუთხა ზონით. კომპრესიული სტრუქტურების ბალანსირებული ჭრილის აღდგენის საფუძველზე დადგინდა, რომ ტერიტორიის მინიმალური შეკუმშვის სიდიდე შეადგენს 40%-ს, რაც 42.78 კმ-ის ექვივალენტია.

**თავი 5.** წარმოდგენილია მდ. ტეხურის ხეობის დეფორმაციაში ჩართული ამგები ქანების ნაპრალიანობის დახასიათება და მათი სტრუქტურულ-სტატისტიკური ანალიზი. მეთოდოლოგია ეფუძნება გასული საუკუნის 60-70 წლებში შექმნილ ნაოჭი-ნაპრალის ურთიერთდამოკიდებულების კონცეპტუალური მოდელებს. საინტერესოა, რომ თანამედროვე შეხედულებების მიხედვით, ნაპრალთა რაობის დადგენა გვეხმარება ნაოჭა-შეცოცებით სარტყლებში ნაპრალთა ფორმირებისა და განვითარების ძირითადი ეტაპების გადადგენაში. ზოგადად, განარჩევენ ნაპრალთა შემდეგ ტიპებს: ჭიმვითი (extensional, tensional) და ირიბი (shear). ქანის მასივის ნაპრალიანობის შესწავლა უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა, როგორც სტრუქტურულ გეოლოგიური, ისე გეოტექნიკური კვლევების დროს. ერთიანი კლდოვანი მასივის ფარგლებში დათვლილი იქნა ნაპრალთა სერიების ჯამური ინტენსივობა და იცვლება 13-დან 20-მდე 1 კვ. მეტრზე. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ქანის მასივის გეოტექნიკური შეფასებისთვის აქტიურად გამოიყენება 1974 წელს ბარტონის მიერ შექმნილი Q კლასიფიკაცია. ეს მნიშვნელობა მიწისქვეშა კლდოვანი ქანების მასის მდგრადობის მაჩვენებელია ნაპრალოვანი კლდოვანი ქანების მასებში, თუმცა სისტემა შეიძლება ასევე გამოყენებულ იქნას სავლე აგეგმვითი სამუშაოების დროს, კერძოდ აღწერისას და ჭაბურღილების ბურღვის დროს საკვლევი ტერიტორიის ამგები ქანების აღწერისას. Q მნიშვნელობის მაღალი მაჩვენებელი მიუთითებს მდგრადობის კარგ ხარისხზე, ხოლო დაბალი მაჩვენებელი მიუთითებს მდგრადობის ცუდ ხარისხზე. ცალკეული

პარამეტრები განისაზღვრება გეოლოგიური აგეგმვის დროს იმ ცხრილების გამოყენებით, რომლებშიც მოცემულია ის რიცხვითი მნიშვნელობები, რომლებიც უნდა მიენიჭოს აღწერილ სიტუაციას. საველე-კვლევითი სამუშაოების შედეგად მიღებული მონაცემების მიხედვით, ტერიტორიის ამგები ქანებისთვის Q მნიშვნელობა იცვლება 8.5-დან 14.3-მდე.

**თავი 6.** მოცემულია ინფორმაცია საკვლევი ტერიტორიის გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური და საინჟინრო გეოლოგიური პირობების შესახებ.

**6.1** საკვლევი ტერიტორიის ჩრდილოეთი ნაწილი წარმოადგენს მაღალმთიან ოლქს. იგი განვითარებულია სამეგრელოს ქედის ფარგლებში, რომელიც წყალგამყოფია მდ. ცხენისწყალსა და მდ. ტეხურს შორის. მას აქვს განედური მიმართულება და აგებულია შუა და ქვედა იურული ვულკანოგენური და თიხა-ქვიშაქვიანი ქანებით. ყველაზე მაღალი მწვერვალებია: ტეხურიშდუდი 3005 მ ზღვის დონიდან, დეკარაში 2890 მ და ლეზარდე 2733 მ. აღნიშნული ოლქი დაფარულია ჰიდროქსელით და ახასიათებს ციცაბო, ძნელად მისადწევი ფერდობები, მაღალი წყალგამყოფები და ვიწრო, ძნელად გასავლელი ხეობებით.

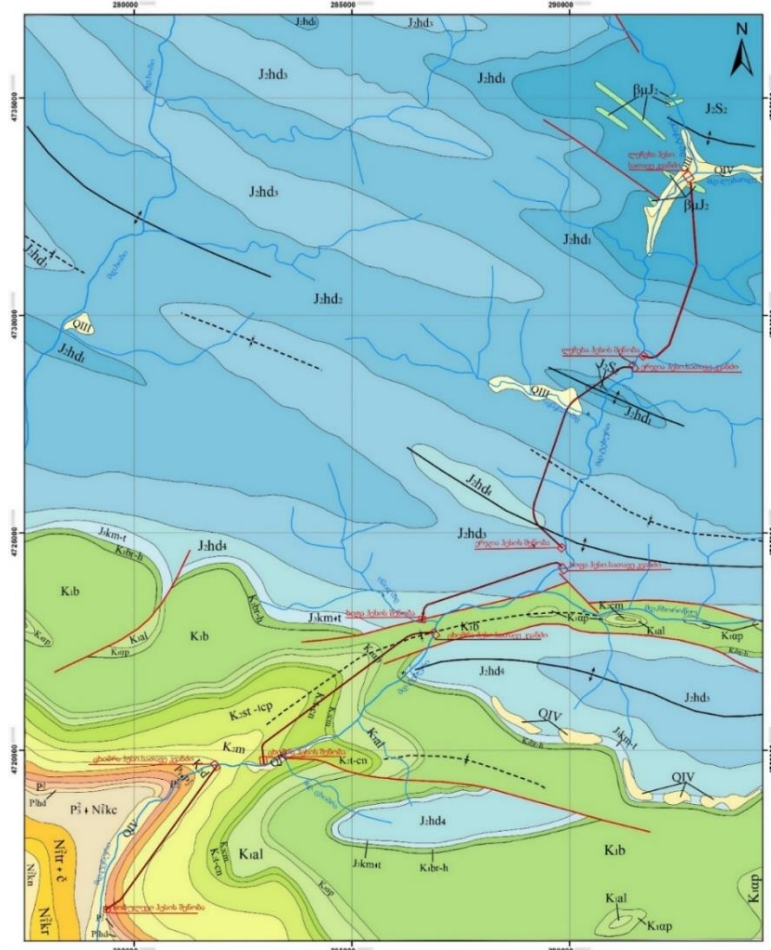
**6.2** საკვლევი ტერიტორიის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობენ სხვადასხვა ასაკის ნალექები, მათგან ყველაზე ძველია იურული ასაკის ქანები. იურული ნალექები წარმოდგენილია შუა და ზედა იურული განყოფილებებით. განსაკუთრებით ფართოდაა გავრცელებული შუა იურული - ბაიოსური ასაკის ხოჯალის (პორფირიტული) წყება (J<sub>2</sub>hd). ზედა იურული - კიმერიჯ-ტიტონური, ლაგუნურ-კონტინენტური და ვულკანოგენური ნალექებით აგებულია ფერადი წყება.

შუა იურულ ნალექებს უჭირავს საკვლევი ტერიტორიის უდიდესი ნაწილი. გარდა ამისა, ჩრდილოეთით ტერიტორიის გარეთ შიშვლდებიან ქვედა იურული - ტოარსული სართულის სორის წყების ქვედა ქვეწყება, რომელიც წარმოდგენილი მუქი ნაცრისფერი თიხაფიქლებისა და თხელშრეებრივი, წვრილმარცვლოვანი ქარსიანი-კვარციანი ქვიშაქვების მორიგეობით. ხოჯალის წყების სიმძლავრე 1500-2000 მეტრის ფარგლებშია. მისი ზედა საზღვარი განისაზღვრება კიმერიჯულ-

ტიტონური ასაკის ფერადი წყების ან ქვედა ცარცულის ასაკის კირქვების ტრანსგრესიული განლაგებით. ამ წყების ქანებს მიკუთვნება გარკვეულ სტრატეგრაფიულ ჰორიზონტთან, რამდენადაც ისინი სწრაფად იცვლებიან როგორც ვერტიკალურ ჭრილში, აგრეთვე მიმართებაზე, გაძნელებულია. საკვლევი ტერიტორიის ფარგლებში, ხოჯალის წყება იყოფა 4 ქვეწყებად. ფერადი წყება - კიმერიჯულ-ტიტონური ( $J_{km+t}$ ) ტრანსგრესიულადაა განლაგებული ხოჯალის წყების სხვადასხვა ჰორიზონტზე. ბერიასულ-ვალანჟინურ-ჰოტრივული ( $K_{ibr-h}$ ) ნალექები ტრანსგრესიულადაა განლაგებული იურული სისტემის სხვადასხვა სართულებზე, ხოლო თავის მხრივ ის გადაფარულია ბარემული კირქვებით. ბარემული ( $K_{ib}$ ) სარგებლობს ფართო გავრცელებით. მის შემადგენლობაში გამოყოფილია ორი ფაციესი - ურგონული და ამონიტური. აპტური ( $K_{iap}$ ) წარმოდგენილია თხელშრეებრივი მერგელოვანი კირქვებით, მერგელებით და იშვიათად მერგელოვანი თიხებით. სიმძლავრე დაახლოებით 20-25 მ. ალბური ( $K_{iab}$ ) თანხმობით აგრძელებს აპტურ ნალექებს და ასევე თანხმობით გრძელდება სენომანური ასაკის ქანებით. სენომანური ( $K_{2cm}$ ) მჭიდროდ არის დაკავშირებული ალბურ ნალექებთან და მათი გამოსავლები ყველგან გაიდევნება პარალელურად. ძირითადად აგებულია გლაუკონიტის ქვიშაქვებით, ზოგან ტუფების შუაშრეებით. ტურონულ-კონიაკური ( $K_{2t+cn}$ ) წარმოდგენილია ორი ფაციესით - ვულკანოგენური და კარბონატული. პირველი საკვლევ ტერიტორიაზე სარგებლობს შეზღუდული გავრცელებით, კარბონატული ფაციესი ძირითადად წარმოდგენილია შრეებრივი, მკვრივი, თეთრი, ვარდისფერი და მოწითალო კირქვებით. სანტონურ-კამპანური ( $K_{2st+cp}$ ) თანხმობით მოყვება ქვემდებარე ტურონულ-კონიაკურ კირქვებს და ასევე თანხმობით იცვლებიან მაასტრიხტული ნალექებით. პალეოგენური ასაკის ქანებში გამოიყოფა შემდეგი სტრატეგრაფიული ერთეულები: 1. პალეოცენურ-ქვედა ეოცენური; 2. შუა ეოცენური; 3. ზედა ეოცენური;

4. ქვედა ეოცენური-ხადუმის ჰორიზონტი; 5. შუა-ზედა ოლიგოცენური, რომელიც გაერთიანებულია ქვედა მიოცენის და შუა მიოცენის ქვედა ნაწილთან (კოწახურის ჰორიზონტი). მეოთხეული ნალექები საკვლევ ტერიტორიაზე სარგებლობენ მნიშვნელოვანი გავრცელებით და წარმოდგენილია სხვადასხვა ასაკის

კონტინენტური, მდინარეული, დელუვიური, კოლუვიური, პროლუვიური და შერეული გენეზისის ნალექებით. საზღვარი ჩამოთვლილ, სხვადასხვა გენეტურ ტიპებს შორის პირობითია. პირობითია აგრეთვე მათი ასაკის განსაზღვრაც, რომელიც დამყარებულია მხოლოდ გეომორფოლოგიურ მეთოდზე (ნახ. 4).

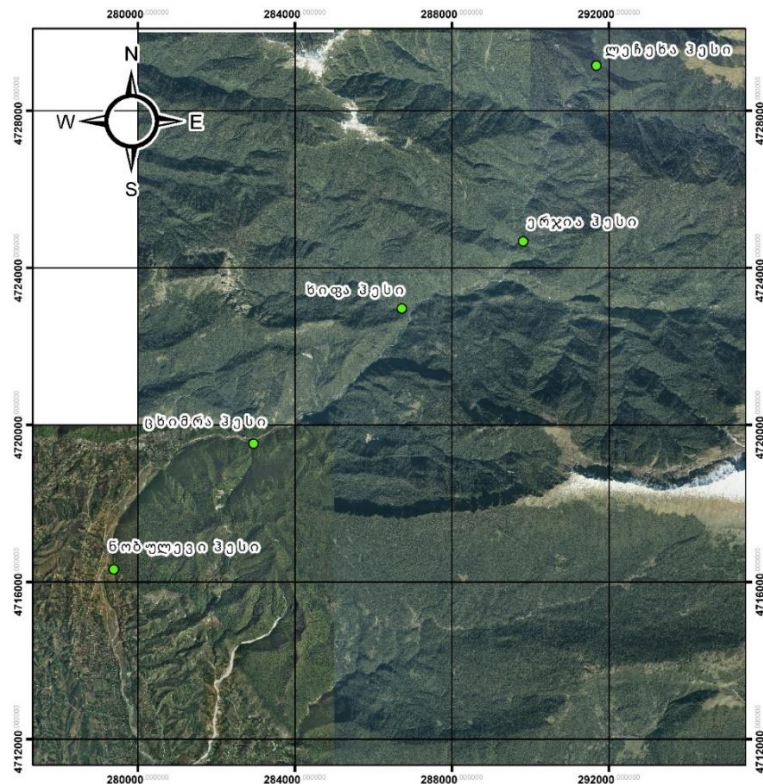


**ნახაზი 4.** საკვლევ ტერიტორიის მოდიფიცირებული ციფრული გეოლოგიური რუკა (ღვინერია, გეგუჩაძე 1973-75).

**6.3** საკვლევ ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლები ძალზე დიდ როლს თამაშობს, რომლებიც ინტენსიურად მოძრაობენ ტექტონიკურ ნაპრალებში და რელიეფის დანაწევრებაში დიდ როლს ასრულებენ. ტექტონიკური, გეომორფოლოგიური და ლითოლოგიური თავისებურებებიდან გამომდინარე რაიონის ფარგლებში გამოყოფილია 11 წყალშემცველი კომპლექსი და ჰორიზონტი. მდ. ტეხურისა და მისი შენაკადების ფარგლებში, სადაც შეინიშნება მკვეთრი გრანულომეტრიული ცვლილება ნალექებში, განვითარებულია ჭალისა და მდინარის კალაპოტის დროებითი წყალშემცველი ჰორიზონტები. ალუვიური ნალექების ფილტრაციული

თვისებები, როგორც წესი, მაღალია. ფილტრაციის კოეფიციენტი შეადგენს დაახლოებით 100-150 მ/დღეში. წყლის მინერალიზაცია დაბალია – 0,3– 1,0 გ/ლ. ქიმიური შედგენლობით წყლები ჰიდროკარბონატული, კალციუმ-ნატრიუმანია. წყალი სასარგებლოა წყალმომარაგებისთვის და არ არის აგრესიული ბეტონის მიმართ. წყალშემკრები ფენის შევსება ძირითადად ხდება უფრო მეტად ზედაპირული წყლების საშუალებით, ვიდრე მოსული ნალექებით.

**6.4** განხილულია ხეობის ფარგლებში დაგეგმილი ჰესების ნაგებობების საინჟინრო გეოლოგიური პირობები. მდინარე ტეხურზე დაგეგმილი ჰიდროელექტროსადგურის კასკადის (ლეჩხა, ერჯია, ხიფა, ცხიმრა, ნობულევი) საპროექტო სქემის მიხედვით, ნაგებობათა განთავსება დაგეგმილია ხეობის ვრცელ მონაკვეთზე. პროექტი იწყება მდინარეების ლეხარდესა და ტეხურის შესართავიდან და სრულდება სოფელ ნობულევის მიმდებარედ. აღნიშნულ მონაკვეთზე მდინარე ტეხური თავის შენაკადებთან ერთად აწარმოებს აქტიურ გეოლოგიურ მოქმედებას. შენაკადების უმეტესობა ღვარცოფული ხასიათისაა, რაზეც მოწმობს მძლავრი გამოზიდვის კონუსების არსებობა. საკვლევ ტერიტორიაზე მრავლად გვხვდება სხვადასხვა სახის გეოლოგიური პროცესები (მეწყრები, კლდეზვავები, ქვათაცვენები და ა.შ).



**ნახაზი 4.** ჰესების კასკადის განლაგება 2018 წლის ორთოფოტოზე.



**6.5** განხილულია ხეობის ფარგლებში არსებული გეოდინამიკური მდგომარეობა. მდ. ტეხურის ხეობა საშიში გეოდინამიკური პროცესების ფართო გავრცელებით ხასიათდება. მდინარის სათავეებთან, განსაკუთრებით კურორტ ლებარდესთან, ფიქსირდება რამდენიმე მეწყრული სხეული, ასევე ღვარცოფული კერებისა და ქვათაცვენის უბნების არსებობა, თუმცა ისინი ჰესების გავრცელების არეალს მიღმა რჩებიან. საკვლევი ტერიტორიის საველე პირობებში შესწავლისას, ასევე ციფრული სასიმალო მოდელისა და ახალი, მაღალი ხარისხის ორთოფოტოების დეშიფრირების საფუძველზე, ხეობის ფარგლებში, ჩვენ მიერ იდენტიფიცირებული იქნა 6 მეწყრული სხეული, 14 ქვათაცვენის უბანი და 10 ღვარცოფული ხევი, ჯამში 30 გეოდინამიკური პროცესი. განსაკუთრებით დაძაბული უბნებისთვის მომზადდა სპეციალიზებული კადასტრი, სადაც მოცემულია გეოდინამიკური პროცესის პარამეტრები, განსაზღვრულია საშიშროების რისკი და გასატარებელი პრევენციული ღონისძიებები.

**თავი 7.** განხილულია ხეობის ამგები კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანების, ასევე გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური, წყლოვანი, ქიმიური, პეტროგრაფიული, სეისმური და გეოტექნიკური მახასიათებლები.

**7.1** საკვლევი ტერიტორიის ამგები ქანების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა გეოტექნიკური კვლევის უმნიშვნელოვანეს ნაწილს წარმოადგენს. მდ. ტეხურზე დაგეგმილი ჰესების კასკადის სამშენებლო ტერიტორიის ამგები ქანების ლაბორატორიული შესწავლა განხორციელდა შპს „გეოტექსერვისის“ გეოტექნიკურ აკრედიტირებულ ლაბორატორიაში და გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში, კარსლრუეს ტექნოლოგიური ინსტიტუტის (KIT) გამოყენებითი გეომეცნიერებების ინსტიტუტის გეოტექნიკურ (შვეიცარიული კომპანია proceq-ის ხელსაწყო-დანადგარებით) და პეტროგრაფიულ ლაბორატორიებში. მდ. ტეხურის ხეობაში განხორციელებული გეოლოგიური აგეგმვის, საველე კვლევებისა და ლაბორატორიული შესწავლის საფუძველზე, 5 ჰესის გავრცელების ფარგლებში, გამოიყო ერთმანეთისგან განსახვავებული 11 საინჟინრო გეოლოგიური ელემენტი.

**7.2** საველე-გეოლოგიური აგეგმვისა და ჭაბურღილებში გამოვლენილი კლდოვანი ქანების სახესხვაობების დაზუსტების მიზნით ჩატარდა პეტროგრაფიული ანალიზი. მდ. ტეხურის ხეობის ამგებ ქანებზე (ტუფოგენური ქვიშაქვები და

კირქვები) ჩატარებული პეტროგრაფიული ანალიზის მიხედვით, ტუფოქვიშაქვების სტრუქტურა ალევროპელიტური და პორფირულია, პელიტურ (თიხურ მასაში) კალციტის და კვარცის ნატეხებით. კალციტები უმეტესად შეცვლილია რკინის შემცველი ნაერთებით, რაც იწვევს მათ მეწამულ ფერს, დაიკვირვება ჰემატიტის და აპატიტის კრისტალებიც. აღსანიშნავია, ზოგიერთ თლილში მინდვრის შპატები ჩანაცვლებულია თიხის მასით, კალციტისა და კვარცის ძარღვებთან ერთად. ტუფოგენურ ქვიშაქვებში საკმაო რაოდენობით არის გაქლორიტებული უბნები, რიგ შემთხვევებში კვარცის კრისტალები ძლიერ სახეცვლილია. რაც შეეხება კირქვებს, სტრუქტურა უმეტესად პელიტური და ალევროპელიტურია. ძირითადი მასა შედგება კალციტის სხვადასხვა ზომის მარცვლებისგან, რომელიც სხვადასხვა შემთხვევებში გათიხებულია. თლილებში კარგად დაიკვირვება სხვადასხვა ზომისა და ფორმის ფაუნისტური ნაშთები.

**7.3 ხეობის ამგები კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანები შეფასებულია ორი გეოტექნიკური კლასიფიკაციის - ქანის მასივის რეიტინგისა (RMR) და გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის (GSI) მიხედვით. თანამედროვე საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევები წარმოუდგენელია ტერიტორიის ამგები ქანების გეოტექნიკური პარამეტრების შეფასების გარეშე, რადგანაც ისინი მნიშვნელოვან ინფორმაციას გვაძლევს მომავალში ნაგებობების მდგრადი ფუნქციონირების უზრუნველყოფის მიზნით. ქანის მასივის ექსპერტული შეფასება კვლევის პროცესში იძლევა ნათელ სურათს მისი მდგომარეობის შესახებ. ზოგადად, ქანის მასივი შესაძლოა შეფასდეს რამდენიმე გზით: 1) ლაბორატორიული ტესტირებით; 2) ადგილზე (in-situ) ტესტირებით; 3) ბექ-ანალიზით; 4) სხვადასხვა ქანის მასივის კლასიფიკაციის გამოყენებით. მსოფლიოში ქანის მასივის შეფასების რამდენიმე გამორჩეული კრიტერიუმი არსებობს, მათ შორისაა: ბიენიავსკის მიერ შემოთავაზებული ქანის მასივის რეიტინგი (RMR), ბარტონის Q კლასიფიკაცია, პალმსტრომის ქანის მასივის ინდექსი (RMI), ჰოეკისა და მარინოსის გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსი (GSI) და ა.შ. საკვლევი ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობებიდან და სპეციფიკიდან გამომდინარე, ტერიტორიის ამგები ქანების დასახასიათებლად არჩევანი შეჩერდა RMR-სა და GSI-ზე. მიუხედავად იმისა, რომ ქანის მასივის რეიტინგის (RMR) კრიტერიუმი 50 წელზე მეტი ხნის წინ**

ჩამოყალიბდა, ის დღემდე დიდი პოპულარობით სარგებლობს და მსოფლიოს მასშტაბით საუკეთესო და უნივერსალურ გეოტექნიკურ კლასიფიკაციად არის აღიარებული. ქანის მასივის რეიტინგის (RMR) მიხედვით, საკვლევ ტერიტორიაზე გავრცელებული ძირითადი კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანების რიცხოვრივი რეიტინგი 54-დან 75-მდე იცვლება და ამის მიხედვით ისინი კარგ (II) და საშუალო (III) ხარისხის ქანებს მიეკუთვნება. რაც შეეხება მეორე კლასიფიკაციას, გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსი იცვლება 42-დან 58-მდე და მოიცავს სამი კატეგორიის ქანებს: 1) სუსტად გამოფიტული, ძლიერ ბლოკური და ნაწილობრივ დარღვეული ნაპრალოთა სისტემების მიერ, 2) საშუალოდ გამოფიტული და შეცვლილი და ნაწილობრივ დარღვეული ნაპრალოთა სისტემების მიერ და 3) სუსტად გამოფიტული, ბლოკური, მჭიდრო სტრუქტურული კავშირის მქონე ქანის მასივი. ლაბორატორიული მონაცემების დამუშავების და გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის გამოთვლის შემდეგ, სპეციალური კომპიუტერული პროგრამის RocData-ს საშუალებით დადგინდა ნიმუშების კუთრი შეჭიდულობის (C, მპა) და შიდა ხახუნის კუთხის ( $\Phi$ , °) მნიშვნელობები, აიგო შესაბამისი მრუდები. აღსანიშნავია, რომ პროგრამაში ჩაშენებულია როგორც ჰუკი-ბრაუნის, ისე მორ-კულონის კრიტერიუმის ალგორითმი, შესაბამისად პროგრამა, გარდა ველზე მიღებული ინფორმაციისა, იყენებს ჰუკი-ბრაუნის კრიტერიუმით განსაზღვრულ სამ მუდმივას, რომელთაც პროგრამა ავტომატურად ანგარიშობს გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის, ნიმუშის ერთდერმა კუმშვაზე წინააღობის მონაცემისა და საიმედოობის კოეფიციენტის შეყვანის შედეგად. გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის საშუალებით მიღებული მონაცემების ლაბორატორიულ შედეგებთან შედარებისა და ანალიზის საფუძველზე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ აღნიშნული მეთოდით გამოთვლილი კუთრი შეჭიდულობისა და შიდა ხახუნის კუთხის მაჩვენებლები პრაქტიკულად იდენტურია ლაბორატორიული ტესტირების შედეგებისა (შიდა ხახუნის კუთხე  $\pm 3-4^\circ$ , კუთრი შეჭიდულობა  $\pm 0.01-0.02$  მპა), რაც აღნიშნული მეთოდის მაღალ საიმედოობაზე მიანიშნებს.

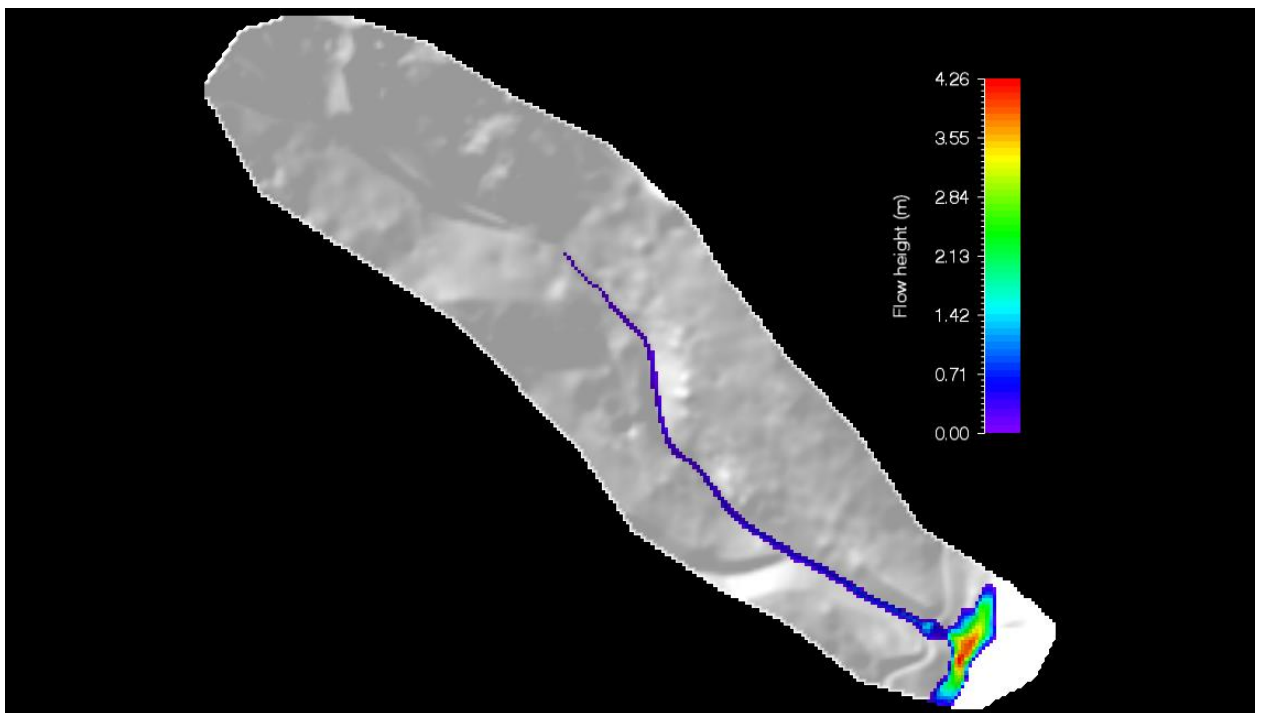
**თავი 8.** წარმოდგენილია პროგრამა RAMMS-ის საშუალებით ხეობის ფარგლებში საშიში გეოდინამიკური პროცესების (მეწყერი, ღვარცოფი) მოდელირება. ბუნებრივი გეოდინამიკური საფრთხეების კვლევის პროცესში სულ უფრო და

უფრო მეტად იზრდება მოდელების საჭიროება მასების მოძრაობების დასადგენად. მოდელების შექმნა საშუალებას აძლევს ინჟინრებს წინასწარ განსაზღვრონ საშიში გადაადგილებული მასის სიჩქარე რთულ რელიეფურ პირობებში. ასეთი მოდელები განსაკუთრებით საჭირო და ეფექტურია შემარბილებელი/პრევენციული ღონისძიებების დამუშავებისთვის. დინების მანძილის, სიჩქარისა და ზემოქმედების წნევის ზუსტი პროგნოზირება ზოგად სამგანზომილებიან რელიეფზე წარმოადგენს დინამიკაში მყოფი მასის მოძრაობის მოდელების შემუშავებისთვის აუცილებელ მოთხოვნას. RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) არის ორგანზომილებიანი, უახლესი კომპიუტერული პროგრამა ციფრული სიმულაციური მოდელის შესაქმნელად და მასების გეოდინამიკური მოძრაობის (თოვლის ზვავები, კლდეზვავები, ღვარცოფები და ზედაპირული მეწყრები) გამოთვლისთვის. რეალურად პროგრამა შექმნილია ინჟინერ-გეოლოგთათვის, რომლებსაც ყოველდღიურ რეჟიმში სჭირდებათ გეოდინამიკურ რისკებთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტა. RAMMS-ის ღვარცოფისა და მეწყრის ფიზიკური მოდელი იყენებს ვოელმის ხახუნის კანონს ფლუიდებისთვის და მშრალი მასისთვის. ეს მოდელი ხახუნის წინააღმდეგობას ორ ნაწილად ყოფს, ესენია: კულონის ტიპის ხახუნი (კოეფიციენტი  $\mu$ ), რომლის განზომილებაც ნორმული წნევაა და ბლანტ-ტურბულენტური ხახუნი (კოეფიციენტი  $\xi$ ). ხახუნის წინააღმდეგობა  $S$  (Pa) გამომდინარეობს შემდეგი ფორმულიდან:

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} \quad \text{with} \quad N = \rho h g \cos(\phi)$$

სადაც  $\rho$  არის სიმკვრივე,  $g$  გრავიტაციული აჩქარება,  $\phi$  დახრის კუთხე,  $h$  ნაკადის სიმაღლე და  $u$  ვექტორი  $u = (u_x, u_y)^T$ , რომელიც შედგება მოძრავი მასის სიჩქარისგან  $x$ - და  $y$ - მიმართულებებში. სატესტო ზედაპირზე ნორმალური დაძაბულობა,  $\rho h g \cos(\phi)$ , შეიძლება შეჯამდეს ერთ პარამეტრში  $N$ . ვოელმის მოდელი ითვალისწინებს როგორც მყარი ფაზის წინააღმდეგობას, ისე ბლანტი და ტურბულენტური სითხის ფაზას ( $\xi$  შემოიღებული იქნა ვოელმის მიერ ჰიდროდინამიკური არგუმენტების გამოყენებით). ბუნებრივია, რომ ხახუნის კოეფიციენტები პასუხისმგებელნი არიან ნაკადის ან მასის ქცევაზე.  $\mu$ -ს მაჩვენებელი იზრდება, როდესაც ნაკადი ჩერდება, ხოლო  $\xi$  დომინირებს, როდესაც ნაკადი სწრაფად მოძრაობს.

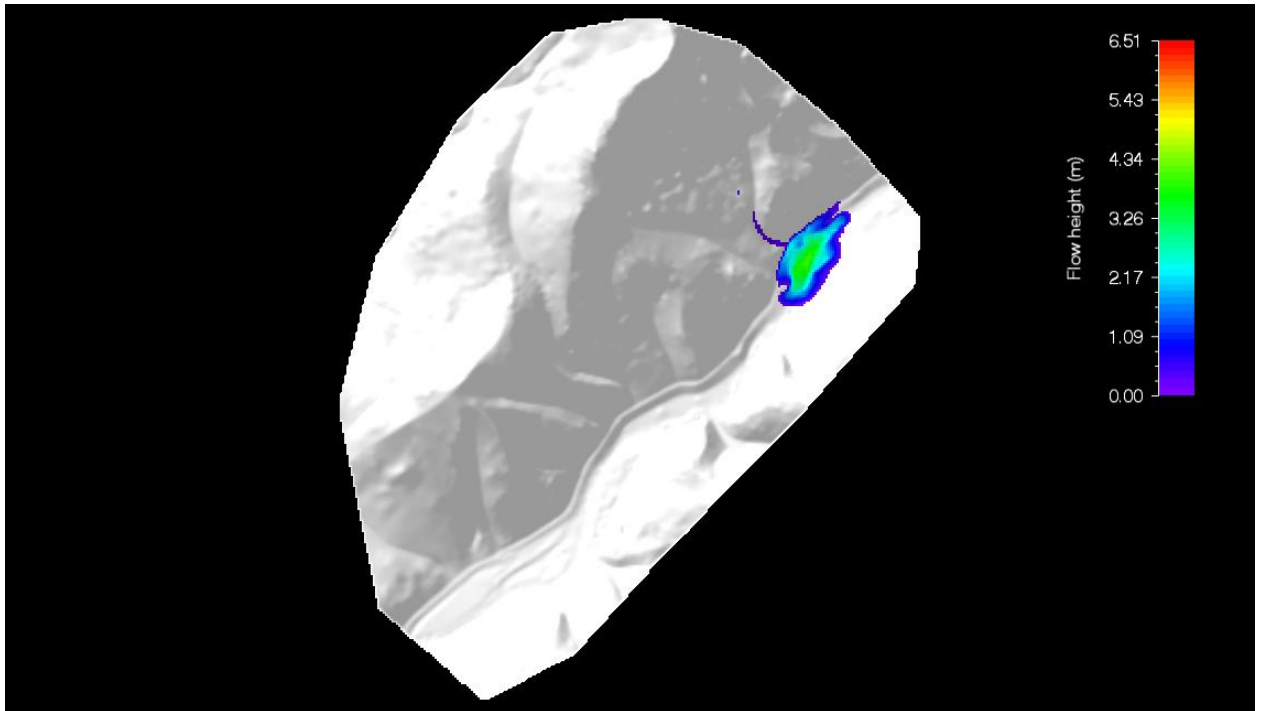
მიუხედავად იმისა, რომ მდ. ტეხურის ხეობაში საველე კვლევისას 30-მდე გეოდინამიკური პროცესი (მეწყერი, ღვარცოფი, ქვათაცვენა) იქნა დაფიქსირებული, RAMMS-ში მოდელირებისთვის მოხდა 5 ღვარცოფული ხევისა (მათ შორის 3 მდ. ტეხურის მარჯვენა, ხოლო 2 - მარცხენა შენაკადი) და 2 მეწყრული სხეულის (ორივე მდინარის ხეობის მარჯვენა ფერდობზე) შერჩევა. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ შერჩეული ადგილების მოდელირების დროს გამოყენებულია ამა თუ იმ გეოდინამიკური პროცესის განვითარების ყველაზე უარესი სცენარი. ღვარცოფული ხეების მოდელირება განხორციელდა ჰიდროგრაფ მოდულის მიხედვით, რომელიც იძლევა საშუალებას შეყვანილი პარამეტრების შედეგად დადგინდეს წლის მაქსიმალური ხარჯი და ნაკადის დონის მაქსიმალურ და მინიმალურ ნიშნულზე მიღწევის დრო. აღსანიშნავია, რომ მოდელირებული ხეების უმეტესობა მდებარეობს მდინარე ტეხურის ზემო წელში.



**ნახაზი 5.** მდ. ტეხურის მარჯვენა ხევის ნაკადის მაქსიმალური და მინიმალური სიმაღლითი მნიშვნელობები.

რაც შეეხება მეწყრებს, ორივე მათგანი მდებარეობს მდ. ტეხურის მარჯვენა ფერდობზე. პირველი მეწყრული სხეული მოქცეულია მდ. ტეხურის ორ მარჯვენა შენაკადს შორის არსებულ ფერდობზე, ხიფა ჰესსა და ცხიმრა ჰესს შორის არსებულ მონაკვეთზე, გზის გასწვრივ. მოდელირებისას გამოყენებული იქნა შემდეგი

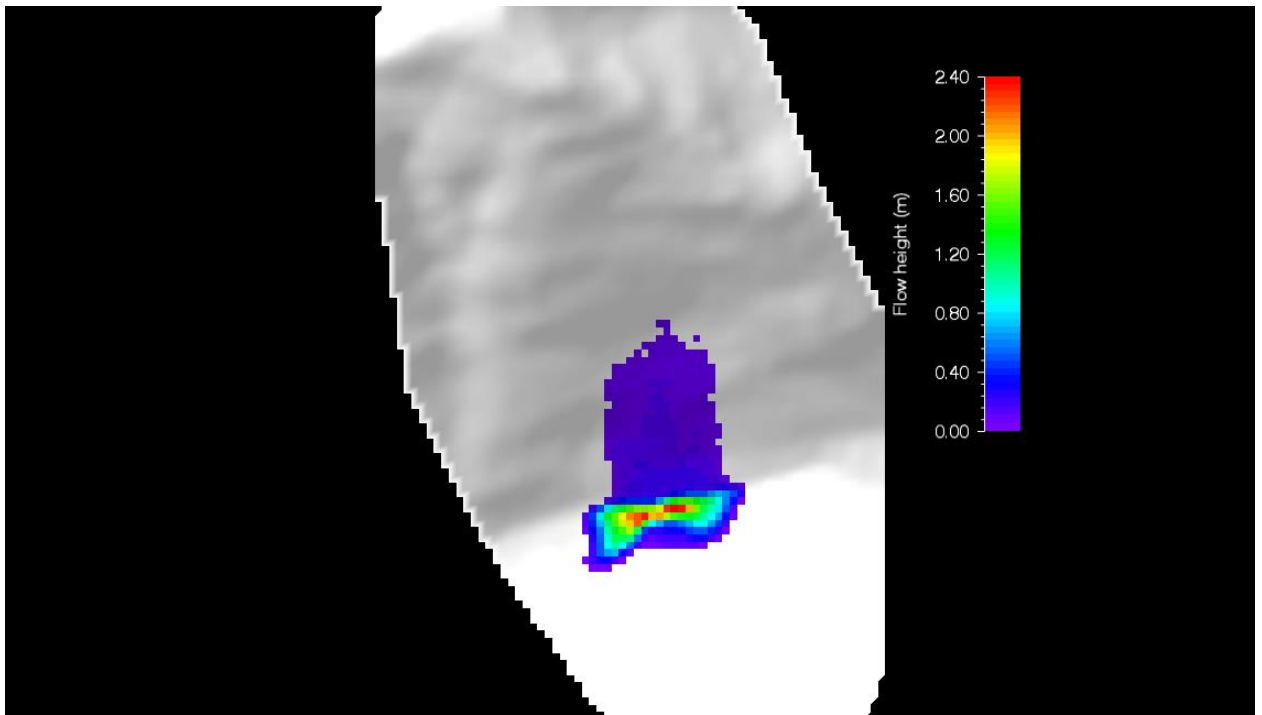
ხახუნის პარამეტრები: 0.2&200, ხოლო მეწყრული სხეულის პოტენციურმა მოცულობამ შეადგინა 38 200 მ<sup>3</sup>.



**ნახაზი 6.** მდ. ტეხურის ხეობის მარჯვენა მეწყრული სხეულის მოდელირება (უბანი I).

მიღებული მონაცემები აჩვენებს, რომ მეწყრული სხეულის გადაადგილების მაქსიმალური სიჩქარე 19.6 მ/წმ-ია, ზედაპირის მაქსიმალური წნევა 645 კპას შეადგენს. მოდელის მიხედვით, მეწყრული სხეულის განვითარების შემთხვევაში ის 6 წუთში გადაკვეთს გზას და განიტვირთება მდ. ტეხურის კალაპოტში, რა დროსაც მასალის მაქსიმალური სიმძლავრე 6.5 მეტრს მიაღწევს და მალევე გაირეცხება მდინარის ნაკადის მიერ.

მეორე მეწყრული სხეული მდებარეობს პირველი ზემოთ აღნიშნული მეწყრული სხეულიდან სამხრეთით, დაახლოებით 3 კმ-ზე, სოფ. დობერაზენტან. აღსანიშნავია, რომ როგორც პირველის, ისე მეორე მეწყრული სხეულის სავარაუდო სიმძლავრე მცირეა. აღნიშნული მეწყრის მოდელირებისას გამოყენებული ხახუნის შემდეგი პარამეტრები: 0.18&200, ხოლო მეწყრული სხეულის პოტენციურმა მოცულობამ შეადგინა 64 850 მ<sup>3</sup> შეადგინა.



ნახაზი 7. მდ. ტეხურის ხეობის მარჯვენა მეწყრული სხეულის მოდელირება (უბანი II).

### დასკვნები

- 1) საკვლევ ტერიტორიაზე სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია სამხრეთ ვერგენტული რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭებით და დუპლექსებით;
- 2) რიონის ფორლანდი თხელზეწრული ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელია;
- 3) კომპრესიული სტრუქტურების ბალანსირებული ქრილის აღდგენის საფუძველზე დადგინდა, რომ საკვლევ და მომიჯნავე ტერიტორიის კომპრესიული შეკუმშვის სიდიდე შეადგენს 40%-ს, რაც 42.78 კმ-ის ექვივალენტია;
- 4) საკვლევ ტერიტორიის ამგებ ქანებში გამოიყოფა 2 ტიპის ჭიმვითი (tensional, extensional) და ირიბი (shear) ნაპრალები;
- 5) საკვლევ ტერიტორია საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების სირთულის მიხედვით მიეკუთვნება III (რთულ) კატეგორიას, რაც გამოწვეულია მისი კომპლექსური გეოლოგიური, მორფოლოგიური და გეოდინამიკური ფაქტორებით (სახ. სტანდარტ 1.02.07-87, დანართი 10);
- 6) საველე-კვლევითი სამუშაოების შედეგად მიღებული მონაცემების მიხედვით,

ტერიტორიის ამგები ქანებისთვის Q მნიშვნელობა იცვლება 8.5-დან 14.3-მდე;

7) ქანის მასივის რეიტინგის (RMR) მიხედვით, საკვლევ ტერიტორიაზე გავრცელებული კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანების რიცხოვრივი რეიტინგი 54-დან 75-მდე იცვლება და ამის მიხედვით ისინი კარგ (II) და საშუალო (III) ხარისხის ქანებს მიეკუთვნება.

8) გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსი (GSI) იცვლება 42-დან 58-მდე და მოიცავს სამი კატეგორიის ქანებს: 1) სუსტად გამოფიტული, ძლიერ ბლოკური და ნაწილობრივ დარღვეული ნაპრალოთა სისტემების მიერ, 2) საშუალოდ გამოფიტული და შეცვლილი და ნაწილობრივ დარღვეული ნაპრალოთა სისტემების მიერ და 3) სუსტად გამოფიტული, ბლოკური, მჭიდრო სტრუქტურული კავშირის მქონე ქანის მასივი.

9) ქანის მასივის გეოტექნიკური შესწავლისას გამოყენებული გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის (GSI) შედეგები მაღალი სანდოობის მქონეა, ასევე აღნიშნული კლასიფიკაციის გამოყენება საქართველოს ტერიტორიაზე გეოტექნიკური კვლევებისას წარმოადგენს პირველ პრეცედენტს;

10) გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსისთვის შექმნილ სპეციალურ პროგრამა RocData-ში გამოთვლილი ქანის ცალკეული გეოტექნიკური მახასიათებლები (შიგა ხახუნის კუთხე, კუთრი შეჭიდულობა) თითქმის იდენტურია ლაბორატორიული ცდებით მიღებულ მონაცემებთან, რაც გვაძლევს იმის თქმის საფუძველს, რომ გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსის მაღალი სიზუსტით განსაზღვრის შედეგად მიღებული შედეგები მაღალი სანდოობის არის და შესაძლებელია წარმატებით იქნას გამოყენებული;

11) მდ. ტეხურის ხეობაში განხორციელებული საველე კვლევებისა და ლაბორატორიული შესწავლის საფუძველზე, დაგეგმილი 5 ჰესის გავრცელების ფარგლებში, გამოიყო 11 საინჟინრო გეოლოგიური ელემენტი;

12) საკვლევ ტერიტორიის ფარგლებში იდენტიფიცირებული იქნა 6 მეწყრული სხეული, 14 ქვათაცვენის უბანი და 10 ღვარცოფული ხევი, ჯამში 30 გეოდინამიკური პროცესი. განსაკუთრებით დაძაბული უბნებისთვის მომზადდა სპეციალიზებული კადასტრი, სადაც მოცემულია გეოდინამიკური პროცესის პარამეტრები, განსაზღვრულია საშიშროების რისკი და გასატარებელი პრევენციული



დონისძიებები.

13) ხეობის ფარგლებში შერჩეულ 5 ღვარცოფულ ხევსა და 2 მეწყრულ სხეულზე მოდელირება ჩატარდა პროგრამა RAMMS-ის საშუალებით. თითოეულ შემთხვევაში პარამეტრები შერჩეული იქნა ყველაზე უარესი სიტუაციისთვის (ე.წ. worst-case scenario). ღვარცოფებისა და მეწყრების მოდელირებისას დაანგარიშდა მოძრავი მასების (როგორც წყლის, ისე გრუნტის) მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარის, დონისა და ზედაპირული წნევის მაჩვენებლები. აღსანიშნავია, რომ არცერთი მეწყრული სხეული და ღვარცოფული ხევი საფრთხეს არ უქმნის ჰესების სათავე კვანძის ან უშუალოდ ჰესის შენობის ფუნქციონირებას.

14) საქართველოში ამჟამად მოქმედი სამშენებლო ნორმებისა და წესების „სეისმომდეგი მშენებლობა“ (პნ 01.01-09) მიხედვით, ჰიდროტექნიკური კომპლექსის განლაგების ტერიტორია მოქცეულია მაღალი სეისმური აქტივობის ზონაში, კერძოდ, ბალიანობა M SK64 სკალის მიხედვით შეადგენს 9 ბალს, ხოლო ლაბორატორიაში ჩატარებული ცდის შედეგების მიხედვით, ხეობის ამგები ქანების გრუნტის პიკური აჩქარების (PGA) მაჩვენებლები 0.08-დან 0.25-მდე იცვლება.

### **ნაშრომის აპრობაცია**

მიღებული კვლევის შედეგები და სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები განხილულ-იქნა სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტის კოლოქვიუმებზე, ასევე ახალგაზრდა მეცნიერთა და სტუდენტთა მე-8 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე ქ. ბაქოში (2021), მე-8 საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკულ კონფერენციაზე ქ. თბილისში (2022) და ევროპის გეომეცნიერებათა გენერალურ ასამბლეაზე ქ. ვენაში (2023).

## პუბლიკაციები

- 1) **Giorgadze, A.**, Alania, V., Busch, B., E nukidze, O., Quandt, D., Pace, P., Razmadze, A., & Shikhashvili, T. (2023). Structural architecture of the western Greater Caucasus pro-wedge: A case study from the Rioni foreland fold-and-thrust belt (No. EGU23-21). Copernicus Meetings, 23-28 April, Vienna, Austria.
- 2) Alania, V., Melikadze, G., Pace, P., F6rizs, I., Beridze, T., E nukidze, O., **Giorgadze, A.**, & Razmadze, A. (2022). Deformation structural style of the Rioni foreland fold-and-thrust belt, western Greater Caucasus: Insight from the balanced cross-section. *Frontiers in Earth Science*, 10, 968386.
- 3) **Giorgadze, A.** (2022). Primary Data on Rock Mass Classifications from the Tekhuri River Gorge Area, 8<sup>th</sup> International Scientific-practical Conference on Up-to-date Problems of Mining and Geology, Book of Abstracts, Tbilisi, Georgia.
- 4) **Giorgadze, A.**, Alania, V., & Gorgidze, L., (2022). Structure of the Rioni Foreland Fold-and-thrust Belt: A Review. *Works of GTU*, 2 (524).
- 5) **Giorgadze, A.** (2022). Engineering-geological Conditions of the Upper Stream of the Tekhuri River Gorge. *Works of GTU*, 1 (523).
- 6) **Giorgadze, A.** (2021). Structural Architecture of the Rioni Foreland Fold-and-thrust Belt: A Review. 8<sup>th</sup> International Scientific Conference of Young Scientists & Students, Book of Abstracts, Baku, Azerbaijan.

კვლევა (PHDF-21-087) განხორციელდა საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით [რიონის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის და კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის სტრუქტურული მოდელი (მდ. ტეხურის ხეობის მონაკვეთი)].

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF) [Structural model of the Rioni foreland fold-and-thrust belt and the Southern Slope of the Greater Caucasus (The Tekhuri river gorge area) Grant #: PHDF-21-087].

## Resume

### **Peculiarities of Structural Geological and Engineering Geological Research of the Tekhuri River Gorge HPP Cascades**

Georgia is one of the interesting countries in terms of hydro resources and hydropower potential. Rational exploitation and use of hydropower resources are one of the main prerequisites for the economic development of modern Georgia. Out of 26,000 rivers in Georgia, 300 are distinguished by their energy value, which, if they are used effectively, allows for the rapid strengthening of the country's energy potential. In this regard, the river deserves special attention. A Cascade of hydroelectric power stations is planned for the Tekhuri River (Lechekha, Erjia, Khifa, Tskhimra, and Nobulevi). To avoid a negative impact on the environment or further complications because of the extensive construction of hydroelectric power stations, it is necessary to conduct complex engineering-geological and geotechnical studies in the selected area. The research stage consisted of processing and critical analysis of the found materials, conducting fieldwork, determining the physical-mechanical, water-filtration, chemical, petrographic, seismic, and geotechnical parameters and properties of the samples taken in the field, and analyzing, interpreting, and to generalizing the results.

Both structural geology and engineering geology research methods were used in the research process, therefore, the research is interdisciplinary and innovative. In the process, a high-resolution (5 and 20 meters) digital elevation model (DEM) and modern aerial photographs were used, and various parameters (slope, slope exposure, and other layers) were determined, moreover, potentially dangerous geodynamic processes were selected, and their assessment, characterization, and mapping were conducted in the field. Geohazards such as landslides, debris flow, and rockfalls were observed within the gorge and then modeled using the RAMMS. The MOVE, specially designed software for solving structural geological problems, was used for the construction of structural cross-sections and statistical analysis of cracks. The software uses the basic principles and methods of crack orientation, statistical analysis, and the theory of folds related to faults have been included and integrated into the form of algorithms, which were used for the evaluation of cracks in

bedrocks of the gorge and their structural-statistical analysis, as well as for the creation of Schmidt stereonet and rose diagrams. The theory of fault-related folding was used for the construction of structural cross-sections and 2-3 dimensional structural models. One of the constituent parts of this theory is that the development and kinematics of fault-propagation and fault-bend folds are mainly related to the geometry of the horizontal and oblique segments (ramp) of the fault, along which it moves. The mentioned methodology allowed us to determine that the Rioni foreland is a thin-skinned fold-and-thrust belt, and the structures in the study area are mainly represented by south-vergent fault-propagating folds and duplexes. In addition, based on the reconstruction of the balanced cross-sections of the compressive structures, the minimum compression rate of the study area is 40%, which is equivalent to 42.78 km.

Various laboratory characteristics presented in the paper were determined both in Georgia and abroad (Karlsruhe Institute of Technology), the determination of the mentioned characteristics and properties turned out to be important in characterizing the bedrocks of the area. Special attention was paid to the assessment and characterization of rock masses according to modern geotechnical classifications. Three of them were selected from the worldwide - Rock Mass Rating (RMR), Q classification, and Geological Strength Index (GSI). However, the last one, unlike the previous two, is a classification adopted at the beginning of the 21st century. Based on the obtained results, we declare that this classification for evaluating the geotechnical characteristics of rocks is reliable and can be used in the study of both rocky and semi-rocky masses. The GSI can be determined both in field conditions and using empirical formulas, its correct determination allows us to determine rock characteristics (resistance to uniaxial bending, angle of internal friction, and shear stress) in the special software called RocData. The use and implementation of the above-mentioned classification during the engineering geological survey is the first precedent for the territory of Georgia.