

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ხელნაწერის უფლებით

დავით თედორაძე

მდინარე არაგვის აუზის თანამედროვე ეგზოგეოდინამიკური  
პროცესების კვლევა და საინჟინრო-გეოლოგიური შეფასება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი 2019 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის  
გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელები: პროფესორი მარინე მარდაშოვა

გმმკ ზურაბ ვარაზაშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი ზ. კაკულია

გმმკ. გ. ტლაშაძე

დაცვა შედგება 2019 წლის “20” ივლისს, 14:00 საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო  
საბჭოს კოლეგიის № 76 სხდომაზე  
კორპუსი III, აუდიტორია 239  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,  
ასოცირებული პროფესორი

დ. თევზაძე

## შესავალი

**თემის აქტუალურობა.** კაცობრიობის ისტორია და გამოცდილება მოწმობს, რომ ეგზოდინამიკური პროცესები არის მრისხანე, ხშირად კატასტროფული მოვლენები. ამასთან, ეს პროცესები უშუალო საფრთხეს უქმნს ადამიანის საყოფაცხოვრებო პირობებს, შენობა-ნაგებობებს, სასოფლო-სამეურნეო, სამრეწველო და სატრანსპორტო ობიექტებს. შესაბამისად, ნებისმიერი ტიპის საინჟინრო ნაგებობის მშენებლობა და ექსპლუატაცია ეგზოდინამიკური პროცესების გავრცელების ან მათი შესაძლო წარმოქმნის ადგილებში ურთულეს პრობლემას წარმოადგენს.

ეგზოგოდინამიკური პროცესების შედეგად ქვეყანა ყოველწლიურად დიდ ეკონომიკურ ზარალს განიცდის, ხშირია ადამიანთა მსხვერპლიც, ამ პროცესებიდან გამომდინარე იზრდება ეკომიგრანტების რაოდენობა, მცირდება დასახლებული პუნქტები. ქვეყნის მდგრადი განვითარებისთვის კი აუცილებელი პირობაა მოსახლეობის საცხოვრებელი გარემოს უსაფრთხოება.

აღსანიშნავია, რომ ეგზოგოდინამიკური პროცესები არაგვის აუზში საფრთხეს უქმნის მცხეთა-სტეფანწმინდა-ლარსის საავტომობილო გზას, შიდა სასოფლო გზებს, ხიდებს, მაღალი ძაბვის გადამცემ ხაზებს, გაზსადენის მილებს, საცხოვრებელ სახლებს, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს, ეკლესიებს, ციხე-კოშკებს და სხვა მრავალ ტურისტულ და ინფრასტრუქტურულ ობიექტებს.

**კვლევის მიზანი და ამოცანები:** სადისერტაციო კვლევის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მდ. არაგვის აუზში განვითარებული ეგზოგოდინამიკური პროცესების კვლევა მოსახლეობის, ინფრასტრუქტურის დაცვის მიზნით და ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური შეფასება.

კვლევის მიზნიდან გამომდინარე სამუშაოების ძირითად ამოცანებს შეადგენდა:

- ფონდური მასალების მოძიება, დამუშავება და ანალიზი;

- საველე და ლაბორატორიული კვლევების შედეგების ანალიზი;
- საკვლევ ტერიტორიაზე განვითარებული ეგზოგეოდინამიკური პროცესების შესწავლა, აგრეთვე მათი წარმოშობა-განვითარების ხელშემწყობი მიზეზების და ფაქტორების დადგენა;
- შეგვეფასებინა საკვლევ ტერიტორიაზე სტიქიური პროცესებით დაზიანებული ტერიტორიების მდგომარეობა, დაგვედგინა პოტენციურად სარისკო ფართობები, შეგვესწავლა მათი წარმოქმნა-გააქტიურების ბუნებრივი და ტექნოგენური ფაქტორები;
- მდ. არაგვის აუზში ტექტონიკური, გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური პირობებიდან გამომდინარე შეგვედგინა საინჟინრო-გეოლოგიურ სქემა, გამოგვეყო სისტემები, რაიონები, ქვერაიონები, ფორმაციები, ქვეფორმაციები და საინჟინრო-გეოლოგიურ-გენეტიკური კომპლექსები;
- დაგვემუშავებინა მდ. არაგვის აუზში გავრცელებული საინჟინრო-გეოლოგიურ-გენეტიკური კომპლექსების, კლდოვანი, ნახევრად კლდოვანი, ფხვიერ- შეუკავშირებელი, რბილი შეკავშირებული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები;
- შეგვეფასებინა ამა თუ იმ ფორმაციის საინჟინრო-გეოლოგიურ კომპლექსში მეწყრული, ღვარცოფული ქვათაცვენითი და ეროზიული პროცესების გავრცელების არეალი, დაზიანების კოეფიციენტი;
- გამოგვეყო უაღრესად მაღალი რისკის შემცველი ტერიტორიები, სადაც განვითარებულია ეგზოგეოდინამიკური პროცესები და არსებობს შესაძლო წარმოქმნის მაღალი რისკი;

**მეცნიერული სიახლე.** გეოდინამიკური პროცესების შეფასების საკითხი იყო და დღესაც რჩება აქტუალური. არსებობს

ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშების მრავალი მეთოდი, რომელთა ნაწილიც გამოყენებულია საკვლევ ტერიტორიაზე, ესენია: მდგრადობის ანგარიში „ჰორიზონტალურ ძალთა მეთოდით“, უკუდანგარიშების მეთოდი, განაწილების ანალიზი, დისკრიმინაციული ანალიზის მეთოდი, ფიზიკურად დაფუძნებული მეწყრის მგრძობელობის მეთოდი. აღნიშნული მეთოდების საშუალებით საკვლევ ტერიტორიაზე პირველად შედგა ეგზოგეოდინამიკური პროცესების საშიშროების ზონირების რუკები. შეფასდა წვიმის წყლებზე მეწყრის დინამიკა და განისაზღვრა პოტენციური მეწყრული უბნები. ლითოლოგიურ-გენეტიკურ კომპლექსებზე დაყრდნობით შემუშავდა საინჟინრო-გეოლოგიური სქემა. საველე სამუშაოებით, ლაბორატორიული კვლევებით, თანამედროვე ტოპო გეოდეზიური ხელსაწყოებით და კომპიუტერილი პროგრამებით შეფასდა მდ. არაგვის აუზის ეგზოგეოდინამიკური პროცესები და საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები.

საველე-საექსპედიციო კვლევების განხორციელების საფუძველზე გამოვლენილ იქნა მდ. არაგვის აუზში მიმდინარე საშიში გეოდინამიკური მოვლენები და პროცესები, დადგინდა მათი მორფოლოგიური მახასიათებლები, დინამიკის განმსაზღვრელი ფაქტორები და მიზეზები. აეროფოტო დეშიფრირების მასალებისა და თანამედროვე GPS ხელსაწყოების საშუალებით შემოკონტურებულ და შესაბამის რუკებზე გადატანილ იქნა მათი საზღვრები, შერჩეულ უბნებზე აღებულ იქნა ამგები ქანების ნიმუშები, რომლებიც მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დასადგენად დაექვემდებარა ლაბორატორიულ კვლევებს.

საფონდო, სალიტერატურო და საველე მასალების დამუშავებისა და გაანალიზების საფუძველზე შეიქმნა საკვლევ ტერიტორიის განახლებული საინჟინრო-გეოლოგიური სქემა

ცალკეულ მეწყრულ უბნებზე დამონტაჟდა მყარი მონუმენტები და მოძრავი მარკერები, მოხდა რამდენიმე მეწყრული უბნის აგეგმვა. ფოტოფიქსაციის მეთოდით მეწყრების

გამომწვევი ურთიერთცვლადი ფაქტორების გავლენით შეფასდა მეწყრის დინამიკა. რამდენიმე ღვარცოფული ხევის გამოტანის უბნებზე მოეწყო ტოპოგეოდეზიური დაკვირვების წერტილები, სადაც გატარებულმა შესაბამისმა პროფილებმა ნათლად წარმოგვიჩინა ღვარცოფული ნაკადის აქტიურობის ხარისხი.

მეწყრული უბნის მდგრადობა დაანგარიშებულ იქნა, როგორც კომპიუტერული მეთოდებით, ასევე მასლოვ ბერერის მეთოდით და უკუდაანგარიშების მეთოდით. გეოინფორმაციულ სისტემებში დათვლილია ლითოლოგიურ გენეტიკური ფორმაციების და ჩვენს მიერ ამ ფორმაციებიდან გამოყოფილი საინჟინრო-გეოლოგიური კომპლექსების ფართობები. აღნიშნულ კომპლექსებში ეგზოგეოდინამიკური პროცესების ფართობების დაანგარიშებით, შესაბამის ცხრილებზე მოცემულია ღვარცოფულ, მეწყრულ და ქვათაცვენის უბნების დაზიანების კოეფიციენტი.

**გამოყენების სფერო.** ეგზოგეოდინამიკური მოვლენებიდან გამომდინარე, აღნიშნული კვლევის შედეგები საფრთხეების პრევენციისა და აღკვეთის საფუძველია.

გამოიყო უაღრესად მაღალი რისკის შემცველი ტერიტორიები, სადაც განვითარებულია ეგზოგეოდინამიკური პროცესები და არსებობს შესაძლო წარმოქმნის მაღალი რისკი.

წინამდებარე ნაშრომში მოწოდებული ინფორმაცია ძალზე მნიშვნელოვანია, წინასწარ შერჩეულ კონკრეტულ უბნებზე, სხვადასხვა სახის საინჟინრო, სასოფლო-სამეურნეო და ინფრასტრუქტურული პროექტების განსახორციელებლად. მისი გათვალისწინებით, პროექტანტებს ეძლევათ საშუალება აარჩიონ უსაფრთო საპროექტო ტერიტორია.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავლის, 7 თავის, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 118 ნაბეჭდ გვერდზე, მათ შორის 14 ცხრილი, 22 ნახაზი, 14 სურათი, 57 დასახელების ლიტერატურა. ნაშრომს თან ერთვის 3 დანართი.

## მდ. არაგვის აუზის საინჟინრო-გეოლოგიური თავისებურებანი

### საკვლევი ტერიტორიის ამგები ლითოლოგიურ-გენეტიკური კომპლექსები და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

საკვლევ ტერიტორიაზე საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების დახასიათება წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს საკითხს რეგიონის განვითარების თვალსაზრისით.

გეოლოგიური ფორმაციების გავრცელება, ასაკობრივი დიაპაზონი, პეტროგენული აღწერა და მათი საინჟინრო-გეოლოგიური პარამეტრები მოცემულია ჩვენს მიერ შედგენილ სქემაზე, ეს საშუალებას იძლევა კომპლექსურად გავეცნოთ რელიეფს, სედიმენტების გავრცელებას, ენდო და ეგზოტექტონიკური პროცესების ურთიერთდამოკიდებულებას, საშიში დენუდაციური პროცესების რეკონოსცირებას. საკვლევ ტერიტორიაზე გავრცელებული კლდოვანი, ნახევრად კლდოვანი ფხვიერი შეუკავშირებელი და რბილი შეკავშირებული ქანების ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებლების სტატისტიკურად დამუშავებული შედეგები ასახულია ნაშრომში

### ეგზოგეოდინამიკური პროცესები

**მეწყრული წარმონაქმნები** არაგვის აუზში დაკავშირებულია თიხურ-ღორღოვან აგრეთვე, თიხა-ქვიშიან, ალუვიურ-დელუვიურ ნალექებთან, ძლიერ გამოფიტულ იურის და ცარცის კარბონატულ ტერიგენულ ქანებთან.

მეწყრები საკვლევი ტერიტორიის სხვადასხვა დახრილობის ფერდობზე, ლითოლოგიურ-გენეტიკურ კომპლექსებში, ტექტონიკურ, ჰიდროგეოლოგიურ პირობებში, კლიმატურ ზონებში, სხვადასხვაგვარად არის წარმოდგენილი, როგორც გავრცელების, ისე ფართობის, ფორმის, გადაადგილების სიჩქარის და სიმძლავრის მიხედვით.

მეწყერის გააქტიურება პირდაპირ კავშირშია კლიმატურ-მეტეოროლოგიურ პირობებთან. აღნიშნული პროცესის გავრცელების არეალი საკმაოდ დიდია. აღსანიშნავია, რომ მდ. არაგვის აუზში დაფიქსირებულია 264 მეწყრული, 126 ღვარცოფული და 180 კლდეზავაფური უბანი. გათავაზობთ მეწყრული პროცესების განვითარების შეფასებას ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების ფორმაციულ პრინციპებზე დაყრდნობით, სადაც გამოითვლება დაზიანების კოეფიციენტი ყოველი საინჟინრო-გეოლოგიური კომპლექსისთვის და ამავე დროს ფორმაციისთვის - მრიცხველში გვაქვს კომპლექსში არსებული ყველა მეწყერის ფართობი მნიშვნელში კი კომპლექსის მთლიანი ფართობი, მათი შეფარდება გვამღევს  $Ka$  დაზიანების კოეფიციენტს  $Km = S_m / S_k$ .

### ცხრილი 1

მეწყრული პროცესების განვითარების შეფასება ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების ფორმაციულ პრინციპებზე დაყრდნობით $Km = S_m / S_k$		
გეოლოგიური ფორმაცია მისი გავრცელების ფართი კმ <sup>2</sup> S გ.ფ	საინჟინრო-გეოლოგიური კომპლექსი და მისი გავრცელების ფართი კმ <sup>2</sup> S <sub>კ</sub>	მეწყერი S <sub>მ</sub> ფართი K <sub>მ</sub> კოეფ.
მაგმური ინტრუზიული) S გ.ფ 3.5	კლდოვანი (S <sub>კ</sub> =3.5)	-
ზღვიური S გ.ფ 1675 2.1 ფლიშიდური  2.2 ოლისტოსტრომული	კლდოვანი (S <sub>კ</sub> =880.0)	-
	კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი (S <sub>კ</sub> =675.0)	S <sub>მ</sub> =30 K <sub>მ</sub> =0.044
	კლდოვან-ბრეკჩიული (S <sub>კ</sub> =120)	-
3. კონტინენტური ფერდის და შელფური S გ.ფ 220.5	ნახევრადკლდოვანი (S <sub>კ</sub> =60.5)	S <sub>მ</sub> =18 K <sub>მ</sub> =0.297
	ფხვიერი და სუსტად შეკავშირებული (S <sub>კ</sub> =160.0)	S <sub>მ</sub> =35 K <sub>მ</sub> =0.21
4. კონტინენტური 4.1 ვულკანოგენური	კლდოვანი (S <sub>კ</sub> =70.0)	-



(ლავერი) S გ.ფ 70		
4.2 ტბიური S გ.ფ 21	ფხვიერი და სუსტად შეკავშირებული (S <sub>კ</sub> =21.0)	Sმ=0.7 Kმ=0.033
4.3 ფერდობული S გ.ფ 180	ფხვიერი თიხნარის შემავსებლით (S <sub>კ</sub> =180.0)	Sმ=29 Kმ=0.16
4.4 მდინარეული S გ.ფ 490	ფხვიერშუქავშირებელი (S <sub>კ</sub> =490.0)	-
4.5 მყინვარული S გ.ფ 80	ფხვიერშუქავშირებელი (S <sub>კ</sub> =80.0)	Sმ=17 Kმ=0.212

**მდინარე არაგვის აუზში ღვარცოფები** დაკავშირებულია, პირველ რიგში, ზედაპირული წყლების ინტენსიურ ჩამონადენთან. მძლავრი ზედაპირული ნაკადების წარმოშობა განპირობებულია ინტენსიური ხასიათის ნალექებით.

საკვლევი ტერიტორიის ფარგლებში გავრცელებული მდინარეების უმეტესი ნაწილი ქმნიან მძლავრ გამოტანის კონუსებს. ზოგიერთი ხეობის გამოტანის კონუსის სიმძლავრე 23 მეტრია, სიგანე კი ცვალებადობს 200-დან 600 მ-დე, მაგალითად ნაღვარევის ხევის კონუსის სიგანე 600 მ-ია. ნადიბანის ხევის კონუსი 500 მ-ია, ამირთის ხევის კონუსი 300 მ-ია, ხარხეთის ხევის კონუსი-300 მ-ია. და ა.შ. გამოტანის კონუსების ზოგიერთ მონაკვეთზე გადის საქართველოს სამხედრო გზა და გაშენებულია სოფლები.

მდ. არაგვის აუზის თითქმის ყველა შენაკადი ღვარცოფული პროცესების განვითარების მაღალი რისკით ხასიათდება, რომელთა ფორმირებას ხელს უწყობს თავსხმა წვიმები, თოვლის სწრაფი დნობა, მეწყრების და კლდეზვავების მიერ ხეობების ჩახერგვა.

გთავაზობთ ღვარცოფული პროცესების განვითარების შეფასებას ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების ფორმაციულ პრინციპებზე დაყრდნობით  $K_m = S_m / S_k$

ცხრილი 2

ღვარცოფული პროექსების განვითარების შეფასება ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების ფორმაციულ პრინციპებზე დაყრდნობით		
Kმ= Sმ/ Sკ		
გეოლოგიური ფორმაცია მისი გავრცელების ფართი კმ <sup>2</sup> S გ.ფ	საინჟინრო-გეოლოგიური კომპლექსი და მისი გავრცელების ფართი კმ <sup>2</sup> Sკ	ღვარცოფი Sმ ფართი Kმ კოეფ.
მაგმური (ინტრუზიული) S გ.ფ 3.5	კლდოვანი (Sკ=3.5)	-
ზღვიური S გ.ფ 1675	კლდოვანი (Sკ=880.0)	Sმ=215 Kმ=0.24
2.1 ფლიშოიდური	კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი (Sკ=675.0)	Sმ=370 Kმ=0.548
2.2 ოლისტოსტრომული	1. კლდოვან-ბრეკჩიული (Sკ=120)	-
3. კონტინენტური ფერდის და შეღფური S გ.ფ 220.5	ნახევრადკლდოვანი (Sკ=60.5)	Sმ=4 Kმ=0.06
	ფხვიერი და სუსტად შეკავშირებული (Sკ=160.0)	Sმ=27 Kმ=0.168
კონტინენტური	კლდოვანი (Sკ=70.0)	-
4.1 ვულკანოგენური (ლავური) S გ.ფ 70		
4.2 ტბიური S გ.ფ 21	ფხვიერი და სუსტად შეკავშირებული (Sკ=21.0)	Sმ=0.5 Kმ=0.023
4.3 ფერდობული S გ.ფ 180	ფხვიერი თიხნარის შემავსებლით (Sკ=180.0)	Sმ=12 Kმ=0.066
4.4 მდინარეული S გ.ფ 490	ფხვიერი შეუკავშირებელი (Sკ=490.0)	Sმ=180 Kმ=0.367
4.5 მყინვარული S გ.ფ 80	ფხვიერი შეუკავშირებელი (Sკ=80.0)	Sმ=21 Kმ=0.26

კლდეზავები და ქვათაცვენები განსაკუთრებით აქტიურად არის წარმოჩენილი ისეთ ფერდობებზე, რომლებიც წარმოადგენენ ნასხლეტებს, შეცოცებებს. აქტიურად მოქმედებენ გრავიტაციული პროცესები კირქვიან ფერდობებზე, სადაც განვითარებულია

მეწყრები. ამ შემთხვევაში კოლუვიური ფხვიერი მასალა თავს ადევს თიხა-მერგელოვან ქანებს. ასეთი მასალა დიდი სიმძლავრით არ ხასიათდება, მაგრამ თიხა-მერგელოვან მასალასთან ერთად იქმნება პირობები პროცესების განვითარებისათვის.

მდ. არაგვის აუზში ეროზიული პროცესები სხვა პროცესებთან შედარებით დომინირებენ, ამის დამადასტურებელია ის დიდი რაოდენობის მყარი ჩამონატანი, რომლებიც მდინარეებს თან მოაქვთ წყალდიდობისას.

ცხრილში მოცემულია ქვათაცვენიტი პროცესების განვითარების შეფასება ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების ფორმაციულ პრინციპებზე დაყრდნობით  $K\delta = S\delta / S_3$ .

ცხრილი 3

ქვათაცვენიტი პროცესების განვითარების შეფასება ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების ფორმაციულ პრინციპებზე დაყრდნობით $K\delta = S\delta / S_3$		
გეოლოგიური ფორმაცია მისი გავრცელების ფართი კმ <sup>2</sup> S გ.ფ	საინჟინრო-გეოლოგიური კომპლექსი და მისი გავრცელების ფართი კმ <sup>2</sup> S <sub>3</sub>	ქვათაცვენა S $\delta$ ფართი K $\delta$ კოეფ.
მაგმური (ინტრუზიული) S გ.ფ 3.5	კლდოვანი (S <sub>3</sub> =3.5)	S $\delta$ =0.8 K $\delta$ =0.22
ზღვიური S გ.ფ 1675 2.1 ფლიშოიდური 2.2 ოლისთოსტრომული	კლდოვანი (S <sub>3</sub> =880.0)	S $\delta$ =80.0 K $\delta$ =0.090
	კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი (S <sub>3</sub> =675.0)	S $\delta$ =55.0 K $\delta$ =0.081
	კლდოვან-ბრეკჩიული (S <sub>3</sub> =120)	-
3. კონტინენტური ფერდის და შელფური S გ.ფ 220.5	ნახევრადკლდოვანი (S <sub>3</sub> =60.5)	S $\delta$ =20.0 K $\delta$ =0.33
	ფხვიერი და სუსტად შეკავშირებული (S <sub>3</sub> =160.0)	-
კონტინენტური 4.1 ვულკანოგენური (ლავეური) S გ.ფ 70	კლდოვანი (S <sub>3</sub> =70.0)	S $\delta$ =21 K $\delta$ =0.3

4.2 ტბიური S გ.ფ 21	ფხვიერი და სუსტად შეკავშირებული (S <sub>კ</sub> =21.0)	-
4.3 ფერდობული S გ.ფ 180	ფხვიერი თიხნარის შემავსებლით (S <sub>კ</sub> =180.0)	Sმ=21 Kმ=0.11
4.4 მდინარეული S გ.ფ 490	ფხვიერ შეუკავშირებელი (S <sub>კ</sub> =490.0)	-
4.5 მყინვარული S გ.ფ 80	ფხვიერ შეუკავშირებელი (S <sub>კ</sub> =80.0)	-

### **გეოდინამიკური პროცესების შეფასების არსებული მეთოდების მიმოხილვა და შეფასების თანამედროვე მეთოდები**

გეოდინამიკური პროცესების შეფასების საკითხი იყო და დღესაც რჩება აქტუალურ და იმავე დროს საინჟინრო გეოლოგიის ერთ-ერთ ურთულეს პრობლემად. არსებობს ფერდობებისა და ფერდობების, მათ შორის მეწყრული ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშების მრავალრიცხოვანი მეთოდი, რომლებიც ორ მთავარ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს:

ზღვრული წონასწორობის თეორიის მკაცრ მათემატიკურ გადაწყვეტაზე დაფუძნებული მეთოდები და მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც დამყარებულია ფერდობზე მიწის მასების ზღვრული წონასწორობის გათვლაზე ცოცვის სავარაუდო ზედაპირის გასწვრივ, რომელსაც დაადგენენ თანდათანობითი მიახლოების გზით.

არჩევნ სხვადასხვა შემთხვევას, რომელთა შორის საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების პრაქტიკაში უფრო გავრცელებულია გამოთვლის შემდეგი ხერხები:

- მდგრადობის პირობების სრიალის ბრტყელი ზედაპირის შემთხვევისათვის;
- მდგრადობის პირობები ტეხილი ზედაპირის შემთხვევისათვის;

- წრიულცილინდრული ცოცვის ზედაპირიანი მეწყრები;
- გრაფიკულ-ანალიტიკური მეთოდით წრიულცილინდრული ზედაპირის ცენტრის დადგენა;
- სრიალის სავარაუდო ზედაპირის აგება (გ. ფისენკოს ხერხი);
- ფერდობის მდგრადობის შეფასება ფართობული მეთოდით;
- ხახუნის წრიული ზედაპირის მეთოდი;
- მასლოვ-ბერერის ჰორიზონტალურ ძალთა მეთოდი;
- წონასწორული ფერდობის აგების ნ. მასლოვის ხერხი;
- მდგრადი ფერდობის პროფილის აგება გ. სოკოლოვსკის მეთოდით და სხვ.

აუცილებელია კონკრეტულ ობიექტზე რეალურად არსებული ბუნებრივი პირობების, აგრეთვე ანთროპოგენული ფაქტორების გათვალისწინება. იგივეს ვერ ვიტყვი ფერდობებისა და ფერდობის მდგრადობის შეფასებისას. განსხვავება იმაშია, რომ მეწყერს, როგორც მომხდარ მოვლენას, უკვე გააჩნია სრიალის (ცოცვის) ფაქტორივი ზედაპირი (სიბრტყე), მაშინ როდესაც ფერდობის ან ფერდოს შემთხვევაში ამგვარი ზედაპირი ჯერ არ არსებობს, მაგრამ შეიძლება წარმოიქმნას, როდესაც ძვრის (მხები) დაძაბულობა გადააჭარბებს ფერდობის ამგვარი გრუნტის ძვრაზე წინააღობის სიდიდეს ძალებს.

აზრთა სხვადასხვაობაა აგრეთვე პროცესების გამომწვევი მიზეზებისა და ხელშემწყობი ფაქტორების შეფასებაშიც, სახელდობრ, იმ საკითხში, თუ რომელ მიზეზს ან ფაქტორს ეკუთვნის პრიორიტეტული როლი. ასეა თუ ისე, როგორც წესი, პრაქტიკულად საქმე გვაქვს რამდენიმე მიზეზის ან ფაქტორის ერთობლივ ზემოქმედებასთან, რომელთა სრულად გათვალისწინება (იგულისხმება რაოდენობრივი შეფასება) შეუძლებელია და ამის გამო მდგრადობის შეფასებაში ზუსტი მათემატიკური გამოთვლების გამოყენება შეზღუდულია და საჭირო ხდება პრაქტიკით გამართლებული ნახევრად ემპირიული ხერხების შერჩევა.

ეგზოგეოდინამიკური პროცესებისაგან მოსახლეობის და ინფრასტრუქტურის დაცვის მიზნით აქტიურად მიმდინარეობს მთელ მსოფლიოში პრევენციული ღონისძიებები, საინჟინრო-გეოლოგიური და გეოსაშიშროების რუკების შედგენა. აღნიშნული სახის რუკები დამუშავებულია საკვლევი ტერიტორიაზე.

ეგზოგეოდინამიკური პროცესების კონცეფცია ბევრ ავტორს განსხვავებული აქვთ, განსხვავებულია მათი სახეობის შინაარსი, დასახელება და კლასიფიკაცია.

**განაწილების ანალიზი** არის მეწყრული საშიშროების ზონირების რუკების შედგენის ერთ-ერთი მეთოდი. ამ ანალიზზე გამოისახება მეწყრის გავრცელება, მოძრაობის ტიპი, გადაადგილების სიჩქარე, გადაადგილებული მასალის ტიპი. სატელიტური და აეროფოტოსურათების გამოსახულებების შედარებით მეწყრების გავრცელება და სხვა მეწყრული უბნების სენსიტიურობა.

**სტატისტიკური მეთოდი.** ბოლო წლებში მეწყრული საშიშროების ზონირების მიმართ დამოკიდებულება იცვლებოდა მონაცემთა ორიენტირებულ მიდგომებზე (სტატისტიკური მიდგომა), რის შედეგადაც სტატისტიკურ ანალიზზე დაფუძნებული მეთოდები, მეწყრული საშიშროების ზონირების მრავალფეროვან სტატისტიკურ ანალიზს მოიცავს.

**დისკრიმინაციული ანალიზის მეთოდი** არის მეწყრული საშიშროების ზონირების ერთ-ერთი ხშირად გამოყენებული სტატისტიკური მოდელი. დისკრიმინაციული ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვყოთ მაქსიმალური განსხვავება თითოეული დამოუკიდებელი ცვლადი ფაქტორების ზეგავლენა მეწყრის აქტიურობაზე.

**ფიზიკურად დაფუძნებული მეწყრის მგრძობელობის მოდელი** აღწერს მეწყრული მოვლენებისკენ მიმავალ ფიზიკურ პროცესებს და ეფუძნება უბრალო მექანიკურ კანონებს. ეს მოდელები ითვალისწინებს წვიმის წყლებზე მიწისქვეშა წყლების რეაგირებას. ეს მოდელები არ საჭიროებს გრძელვადიანი მეწყრის

მონაცემებს და შესაბამისად, ასევე შეიძლება გამოყენებული იქნეს არასრული მეწყრული ინვენტარის მქონე ტერიტორიებზე.

**მონიტორინგი ფოტოფიქსაციის მეთოდი** გამოყენებულია ეგზოგეოდინამიკური პროცესების კვლევის დროს, რაც გულისხმობს ეგზოგეოდინამიკური პროცესის ფოტოფიქსაციას, მის დინამიკის შეფასებას სეზონურობის და კლიმატურ-მეტეოროლოგიური ფაქტორის გავლენის გათვალისწინებით. ძველი და ახალი მასალის ურთიერთმედარებით ვლინდება მორფოლოგიური ელემენტების თავსებადობა, რაც მათი დინამიკის მიმართულებას და ინტენსიურობას გვანახებს.

შერჩეულ უბნებზე აღებული იქნა ამგები ქანების ნიმუშები, რომლებიც მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დასადგენად დაემქვემდებარა ლაბორატორიულ კვლევებს.

განსაკუთრებულად მოწყვლად უბნებზე მოეწყო სამონიტორინგო ქსელი მათი დინამიკის შესასწავლად. მონიტორინგი განხორციელდა მეწყრულ სხეულებზე ეტაპობრივი ტოპო-გეოდეზიური დაკვირვებების გზით სტაციონალური მონუმენტებიდან მოძრავ მარკერებზე GPC ხელსაწყოების საშუალებით; გარდა ამისა, ღვარცოფული მასალის აკუმულაციის სახასიათო ზონებში აიგო სადამკვირებლო პროფილები, სადაც თანამედროვე გეოდეზიური ხელსაწყოების საშუალებით გარკვეული პერიოდულობით მოხდა ამ პროფილების გადამოწმება მაღალი სიზუსტით, რამაც საშუალება მოგვცა წარმოდგენა შეგვექმნა მყარი მასალის აკუმულაციის (ან გარეცხვის) ინტენსიურობაზე.

ერთ-ერთი მეწყერი რომელიც ჩვენ შევისწავლეთ წარმოადგენს ურთულეს უბანს და მდებარეობს დაბა. ჟინვალის ჩრდილოეთით. კორდ: X-479813 Y-466680 ეს უბანი ხასიათდება ციცაბო ( $> 30^\circ$ ) და არამდგრადი ფერდობებით, რომლებიც აგებულია ზედა ეოცენის, ე.წ. „ველური ფლიშის“ ძალზე განსხვავებული ლითოლოგიისა და არათანაბარი განლაგების, ინტენსიურად დამსხვრეული ქანებით, უმეტესად იურული კირქვებით, ნაწილობრივ ლიასის თიხა-

ფიქლებით, ბაიოსის პორფირიტებით, პალეოგენის ქვიშაქვებით და სხვ. ალაგ-ალაგ ეოცენის "ველური ფლიშის" არამყარი სუბსტრატი გადაფარულია მძლავრი (10 მ-ზე მეტი სისქის) დელუვიური შლიეფით, რომელიც შედგენილია უმთავრესად ჭარბად ტენიანი მონაცრისფრო - ყვითელი თიხნარებით და პლასტიკური თიხებით. დელუვიურ საფარს მკაფიოდ გამოხატული მეწყრული ტენდენცია აქვს. ამგვარ დელუვიურ ფერდობებზე მეწყრული პროცესის ჩასახვისა და გააქტიურების პერიოდები ემთხვევა წელიწადის წვიმიან სეზონებს. ამასთან, აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ინტენსიური წვიმები საკმაოდ ხშირი მოვლენაა მდ. არაგვის მარჯვენა სანაპიროს ჟინვალ-ანანურის მონაკვეთზე.

ნაშრომის წინამდებარე ნაწილში მოცემულია ჩვენს მიერ შესწავლილი ორი მეწყრული ფერდობის მდგრადობის გაანგარიშება/შეფასება სხვადასხვა მეთოდებით და ერთმანეთთან არის შეჯერებული მიღებული შედეგები. განხილულია პროფესორი მარინე მარდაშოვას ორიგინალური ხერხი. მსგავსი აგებულების მეწყრული ფერდობების დაწყვილებისა და ანგარიშის ისეთი მეთოდის გამოყენებისა, რომელიც საშუალებას იძლევა დავადგინოთ მეწყრული პროცესის მთავარი რაოდენობრივი პარამეტრები გრუნტის ნიმუშების სპეციალური ლაბორატორიული შესწავლის გარეშე.

ერთ-ერთი ამ მეწყერთაგანი მდებარეობს ჟინვალის დასახლების ჩრდილოეთით. კორდ: X-479813 Y-4666680, საავტომობილო გზის ვაკისის ზედა მხარეს გზასთან უშუალო სიახლოვეში.

- მეწყრის ძირითადი მორფოლოგიური ელემენტები შემდეგია:
- ფერდობის ბუნებრივი დახრილობის კუთხე,  $\alpha = 30$ ;
- მეწყრული ფერდობის სიმაღლე,  $H = 10$  მ;
- მეწყრის სიგრძე ფერდობის გასწვრივ  $L = 16$  მ.



მორფოლოგიურად მეწყერი მიეკუთვნება ერთგვაროვანი გრუნტით (დელუვიონი) აგებულ ასექვენტური მეწყრების ტიპს, რომლის სრიალის ზედაპირი დამაკმაყოფილებელი მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ წრიულ – ცილინდრულად.

მეწყრული სხეულიდან აღებული ნიმუშების ლაბორატორიული შესწავლით დადგინდა იქნა შემდეგი მაჩვენებლები:

- გრუნტის მოცულობითი წონა.  $\gamma = 1.6$  ტ/მ<sup>3</sup>;
- შიგა ხახუნის კუთხე,  $\varphi = 16^{\circ}$ ;
- კუთრი შეჭიდულობა,  $c = 0.4$  კვ/სმ<sup>2</sup>.

მეწყრული ფერდობის სქემის ასაგებად ვსარგებლობთ მასლოვ - ბერერის მეთოდით [მასლოვი], რომლის მიხედვითაც ფერდობის

$$\text{პირობითი სიმაღლე } H' = \frac{H}{H_{90}} \quad (\text{IV.1}),$$

სადაც  $H_{90}$  - არის ერთგვაროვან ქანებში სრიალის პატარა მოედნის

$$\text{სიღრმე ( მ ) და თავის მხრივ ტოლია: } H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \times ctg\left(45^{\circ} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

(IV.2), .

სქემის ასაგებად საჭიროა აგრეთვე ჩამოქცევის პრიზმის პირობითი სიგანის –  $a'$  განსაზღვრა, რაც ხდება სპეციალური გრაფიკის საშუალებით ВНИМИ-ის მეთოდის გამოყენებით, გრაფიკი ასახავს დამოკიდებულებას ფერდობის პირობით სიმაღლესა და ე.წ. ჩამოქცევის პრიზმის სიგანეს შორის.

თავდაპირველად განვსაზღვროთ სრიალის მოედნის სიღრმე  $H_{90}$ ; (IV.2), ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$H_{90} = \frac{2 \times 4.0}{1.6} ctg(45^{\circ} - 8^{\circ}) = 6.65 \text{ m}$$

$$H' = \frac{10}{6.65} = 1.5$$

ვიცით რა შიგა ხახუნის კუთხე  $\varphi = 16^{\circ}$  და ფერდობის პირობითი

სიმაღლე  $H' = 1.5$  მ., გრაფიკიდან მოვხსნით  $a' = \frac{a}{H_{90}}$  სიდიდეს,

რომელიც ტოლია - 0,17 მ;

აქედან  $a = a' \times H_{90} = 0.17 \times 6.65 = 1.13$  მ;  $a = 1.13$  მ.

ზემოთ აღნიშნული სიდიდეების მიხედვით ავაგებთ მეწყერული ფერდობის ჭრილს 1 : 100 მასშტაბით

ფერდობის მდგრადობას ვანგარიშობთ ორი სხვადასხვა მეთოდით. პირველ შემთხვევაში მდგრადობის კოეფიციენტი გამოითვლება

$$\text{ფორმულით: } n = \frac{\sum Ntg\varphi + cL}{\sum T} \quad (\text{IV.3})$$

სადაც  $\sum N$  - სიმძიმის ნორმალური მდგენელების ალგებრული ჯამია, თავის მხრივ,  $N = P \cos\alpha$ ;

$\sum T$  - სიმძიმის ძალის მძვრელი მდგენელების ალგებრული ჯამი, თავის მხრივ,  $T = P \sin\alpha$

$P$  - საანგარიშო ბლოკის წონაა, ტ;

$\alpha$  - საანგარიშო ბლოკის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე.

მეწყერს ვყოფთ სამ საანგარიშო ბლოკად, ქვემოდან ზევით I, II და III. მეწყერის სქემის შესაბამისად შედგენილია საანგარიშო პარამეტრების ჯამური

### ფერდობის მდგრადობის საანგარიშო პარამეტრები

№	ფერდობის დახრილობა $\alpha^{\circ}$	ბლოკის ფართობი $S$ (მ <sup>2</sup> )	ბლოკის წონა $P$ (ტ)	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	ნორმალური მდგენელი $N$ (ტ/მ <sup>2</sup> )	ძვრის მდგენელი $T$ (ტ/მ <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-6	7,43	11,89	0,99	0,10	-11,77	1,19

2	6	19,96	31,94	0,9 9	0,1 0	31,62	3,10
3	36	25,30	44,22	0,8 1	0,5 9	35,79	26,07

$$\Sigma N = 55,64 \quad \Sigma T = 27,98$$

ცხრ. 11- ში მოცემული რიცხვითი სიდიდეების ჩასმით (IV.3)- ში მივიღებთ:  $n = \frac{55.64 \times 0.29 + 0.4 \times 16}{27.98} = 0.805$ ;  $n = 0.8$

რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ფერდობი არამდგრადია და ადგილი აქვს მეწყერულ მოვლენას.

ქვემოთ მოცემულია იმავე ფერდობის მდგრადობის ანგარიში „ჰორიზონტალურ ძალთა მეთოდით“ [მასლოვი]. ამ მეთოდის ძირითადი ფორმულებია:

$$H = P \operatorname{tg} \alpha \quad (\text{IV.4})$$

$$R = P \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) \quad (\text{IV.5})$$

$$T = H - R = P(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p)) \quad (\text{IV.6})$$

$$n = \frac{\sum T}{\sum \pm H} \quad (\text{IV.7})$$

სადაც  $\alpha$  - ყველა შემთხვევაში სრიალის ზედაპირის დახრილობაა ჰორიზონტის მამართ, საანგარიშო ბლოკის ფარგლებში;

$H$  - დაწოლა წარმოსახვით კედელზე იმ პირობებში, როდესაც გრუნტს არ გააჩნია ხახუნი და შეჭიდულობა, შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი;

$T$  - საერთო დამაბულობის ის ნაწილი, რომელიც მოდის წარმოსახვით კედელზე და რომელსაც იღებს გრუნტში არსებული ხახუნი და შეჭიდულობა, ტ / მ<sup>2</sup>;

$P$  - საანგარიშო ბლოკის წონა, ტ ;

$\psi_p$  -  $P$  დაძაბულობის სიდიდისას ძვრაზე წინაღობის კუთხე, რომელიც ტოლია  $\psi_p = \arctg F_p$

სადაც  $F_p$  - ძვრაზე წინაღობის კოეფიციენტი და თავის მხრივ, ტოლია:  $F_p = tg \varphi + \frac{c}{P}$

$P$  - ნორმალური დახრილობის ის სიდიდე, რომლის დროსაც ადგილი აქვს ძვრას, იგი ტოლია:  $P = \gamma \times h_{sa}$ .

სადაც  $\gamma$  - გრუნტის მოცულობითი წონაა, ტ / მ<sup>3</sup>;

$h_{sa}$  - საანგარიშო ბლოკის საშუალო სიმაღლე, მ;

$R$  - დაწოლის არაკომპენსირებული ნაწილი (აქტიური დაწოლა), კუთხის ნიშნის შესაბამისად, რაც დამოკიდებულია სრიალის ზედაპირის დახრის მიმართულებაზე.

ზემოთ მოცემულ ფორმულებში შესაბამისი რიცხვითი სიდიდეების შეტანით ჯამური ცხრილი

**მდგრადობის ანგარიში „ჰორიზონტალურ ძალთა მეთოდით“  
ცხრილი 4**

N <sup>o</sup>	S	P	$\gamma$	p	F <sub>p</sub>	$\Psi_p$	$\alpha$	tg $\alpha$	H	T	tg ( $\alpha - \Psi_p$ )	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	7,43	11,89	1,6	2,64	0,44	23 <sup>o</sup>	26 <sup>o</sup>	-0,1	-1,3	5,24	-0,6	6,8
2	19,96	31,94	1,6	6,88	0,35	19 <sup>o</sup>	6 <sup>o</sup>	0,11	3,5	3,85	0,23	7,4
3	27,62	44,19	1,6	9,20	0,33	18 <sup>o</sup>	36 <sup>o</sup>	0,73	32,3	18,11	0,32	14,0

$$\sum H = 34,45; \quad \sum T = 27,2$$

(IV.7) ფორმულის შესაბამისად ფერდობის მდგრადობის

$$\text{კოეფიციენტი ტოლია: } n = \frac{\sum T}{\sum \pm H} = \frac{27.2}{34.45} = 0.79$$

როგორც ვხედავთ, ჰორიზონტალურ ძალთა მეთოდით გამოთვლილი მდგრადობის კოეფიციენტის სიდიდე სრულ

შესაბამისობაშია პირველი მეთოდით მიღებულ სიდიდესთან, რაც გაანგარიშების სისწორეზე მეტყველებს.

მეორე მეწყრული ფერდობი მდებარეობს აღწერილი მეწყერიდან 1,5 კმ-ის მანძილზე ჩრდილოეთით იმ ადგილას, სადაც არაგვის ხეობის ფერდობი გაკვეთილია კირქვებში გამომუშავებული ღრმა და ვიწრო ხეობით. მეწყერი განვითარებულია აღნიშნული ხეობიდან ზემოთ, დაახლოებით 100 მ-იანი სიგანის დელუვიურ ზოლში. დელუვიური საფარის ლითოლოგია ანალოგიურია პირველი მეწყერისა, თუმცა, ფერდობის დახრის კუთხე აქ რამდენადმე უფრო ნაკლებია და  $\alpha = 25^{\circ}$ . ამ შემთხვევაშიც მეწყერის ტიპი ასექვენტურია სრიალის წრიულცილინდრული ზედაპირით. მორფოლოგიური პარამეტრების ამგვარი დამთხვევა გვამღევს ამ ორი მეწყერის დაწყვილების საშუალებას.

თავის მხრივ, დაწყვილება საჭიროა იმისათვის, რომ ვუჩვენოთ მეწყრული ფერდობის ძირითადი პარამეტრების  $\rho$  და  $\ell$  გამოთვლის ორიგინალური მეთოდის არსი, გრუნტების სპეციალური ლაბორატორიული გამოცდის ჩაუტარებლად. აღნიშნული მეთოდი ემყარება იმ თეორიულ დაშვებას, რომ მეწყრული ფერდობი იმყოფება ზღვრული წონასწორობის პირობებში, ანუ მდგრადობის კოეფიციენტი  $n = 1$ . ზემოთ აღწერილი ორი მეწყერისათვის გამოთვლილია ნორმალური დაძაბულობის ის ზღვრული სიდიდეები, რომლის ზემოთაც ადგილი აქვს ფერდობის ძვრას. როგორც ვიცით, ამ სიდიდეების საანგარიშოდ გამოყენებული ფერდობის ამგები გრუნტების მოცულობითი წონისა ( $\gamma$ ) და მეწყრული სხეულის საშუალო სიმძლავრის ( $h_{\text{ს.შ.}}$ ) მაჩვენებლები. გაანგარიშებით მიღებული გვაქვს შემდეგი სიდიდეები:

- პირველი მეწყერისათვის  $P_1 = 1.38 \text{ კგ/სმ}^2$ ;
- მეორე მეწყერისათვის  $P_2 = 2.2 \text{ კგ/სმ}^2$ .

ორივე მეწყერისათვის ვსარგებლობთ შემდეგი ტოლობით:

$$T = P \left[ \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} (\alpha - \psi_p) \right]$$

(IV. 7) ტოლობის მიხედვით  $T = H$ , თავის მხრივ,

$$H = P \operatorname{tg} \alpha \quad \text{ანუ} \quad T = P \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{ხოლო} \quad \psi_p = \operatorname{arctg} \left( \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{p} \right).$$

ამ გამოსახულებების შეტანით საანგარიშო ფორმულაში, მივდივართ საბოლოო სახემდე:  $\operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{p} = \operatorname{tg} \alpha$  ანუ ორი შეწყვილებული

მეწყერისათვის ვღებულობთ ორ განტოლებას. ამ განტოლებების ამოხსნა დეტერმინანტების მეთოდით მოცემულია ქვემოთ:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{1.38} = 0.58 \\ \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{2.2} = 0.44 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \operatorname{tg} \varphi + 0.72c = 0.58 \\ \operatorname{tg} \varphi + 0.45c = 0.44 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\left. \operatorname{tg} \varphi = \frac{\begin{vmatrix} 0.58 & 0.72 \\ 0.47 & 0.45 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 0.72 \\ 1 & 0.45 \end{vmatrix}} = \frac{0.261 - 0.34}{0.34 - 0.72} = 0.29 \right\}$$

$$\left. c = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0.58 \\ 1 & 0.47 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 0.72 \\ 1 & 0.45 \end{vmatrix}} = \frac{0.47 - 0.58}{0.45 - 0.72} = 0.41 \right\}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} 0.29 = 16^\circ$$

$$c = 0.41$$

როგორც ვხედავთ, მეწყერების დაწყვილების მეთოდით გამოთვლილი პარამეტრების - შიგა ხახუნის კუთხისა ( $\varphi$ ) და შეჭიდულობის ( $c$ ) - სიდიდეები თითქმის იდეალურად ემთხვევა გრუნტის

ნიმუშების ლაბორატორიული გამოცდის შედეგად მიღებულ  $\alpha$ -სა და  $c$  - ს სიდიდეებს აქედან გამომდინარეობს მეთოდის ორიგინალურობა და მისი უდავო მომგებიანობა იმდენად, რამდენადაც გამოირიცხა სავსე პირობებში ნიმუშების აღებისა და შემდგომში ამ ნიმუშების ლაბორატორიული გამოკვლევის აუცილებლობა. რაც შეეხება აღწერილ მეთოდში გამოყენებულ საანგარიშო პარამეტრებს, მათი განსაზღვრა მარტივად ხდება უშუალოდ ველზე მეწყრული ფერდობის ვიზუალური კარტირების გზით.

ცნობილია, რომ არსებობს მეწყრული ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდი, რომელთაც გამოყენების განსხვავებული პირობები გააჩნია. კოკრეტული საინჟინრო - გეოლოგიური პირობების მიხედვით უპირატესობა ენიჭება ამა თუ იმ მეთოდს, რომელიც იძლევა გაანგარიშების მაღალ სიზუსტეს.

წინა აღწერილობიდან ირკვევა, რომ საქართველოს სამხედრო გზის ჟინვალი - ანანურის მონაკვეთზე გავრცელებული მეწყრების მაგალითზე განხილული და დასაბუთებულია უკუგაანგარიშების მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობა. მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ საანგარიშო პარამეტრების - შიგა ხახუნის კუთხისა ( $\varphi$ ) და შეჭიდულობის ( $c$ ) განსაზღვრა ხდება ფაქტობრივი მეწყრული გადაადგილების პირობებში, როდესაც საინჟინრო - გეოლოგიური კვლევებით დადგენილი მეწყრული სხეულის ცოცვის ზედაპირი. ამისათვის საჭიროა ფერდობის დამეწყვრამდე არსებული რელიეფის წარმოსახვითი რესტავრაცია და დაცურების იმ თეორიული სიბრტყის აგება, რომელიც მაქსიმალურად უახლოვდება ცოცვის ფაქტობრივ ზედაპირს. ძალთა მომენტების განტოლების შედგენით და ამოხსნით ვლებულობთ  $\varphi$  - სა და  $c$  - ს სიდიდეებს, ამ პარამეტრების ლაბორატორიული ან სავსე მეთოდებით განსაზღვრის გარეშე.

წინამდებარე ნაშრომის მიზანს შეადგენს მეწყრული ფერდობების მდგრადობის შეფასება, არა მხოლოდ ცალკეული ობიექტების მაგალითზე, არამედ ზოგადად მეწყრული ფერდობების ვრცელი

ჯგუფისათვის. ტერიტორიაზე გავრცელებულია მრავალრიცხოვანი მეწყრები, რომლებიც განვითარებულია სხვადასხვა ასაკისა და ლითოლოგიის გეოლოგიური ფორმაციების სუბსტრატზე, დაწყებული შუა იურას პორფირიტული წყლებიდან, ცარცული კარბონატებისა და პალეოგენ – ნეოგენის ტერიგენული წარმონაქმნების ჩათვლით. ამ ნალექების გამოფიტვის ქერქი ლითოლოგიურად და გენეტიკურად მრავალფეროვანია და წარმოდგენილია ელუვიური, დელუვიური, პროლუვიური ან მათი კომბინაციების მეოთხეული საფარით, რომელიც აგებულია თიხნარებით, პლასტიკური თიხებით, ქვიშნარებით, ხრეშოვან – ნატეხოვანი წარმონაქმნებით და ა.შ. ამიტომ, მდგრადობის შეფასება შესრულებულია რამოდენიმე მეწყერზე, ისე აღრიცხული და აღწერილია თითქმის ტერიტორიაზე გავრცელებული მეწყერი შესაძლებლობის ფარგლებში.

აღნიშნული მეწყერი აგრეთვე შეფასდა განაწილების ანალიზის მეთოდით, ფიზიკურად დამაბული მეწყრის მგრძობელობის მოდელით და დისკრიმინაციული ანალიზის მოდელით. მეწყრის აგეგმვა მოხდა თანამედროვე GPS “Leika Viva GSO8 net rover“ ის გამოყენებით, დამონტაჟდა მყარი და მოძრავი მონუმენტები დადგინდა მეწყრის გადაადგილების სიჩქარე, რომელიც ცენტრალურ უბანზე 19 თვის განმავლობაში შეადგინა 45 სანტიმეტრი, ხოლო ცალკეულ უბნებზე მიაღწია -1.7 მეტრს. ამავე მეწყერზე ფოტოხევის მობილური მეტეოსადგური მონაცემების გამოყენებით შეფასდა ატმოსფერული ნალექების რაოდენობის კავშირი მეწყრის დინამიკასთან.



## საინჟინრო-გეოლოგიური სქემის შედგენა

საკვლევ ტერიტორიაზე გეოლოგიური საფრთხეების და მათი გამომწვევი მიზეზების: გეოლოგიური აგებულების, გეომორფოლოგიის, ჰიდროგეოლოგიის, კლიმატის, სეისმურობის, ქანების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლის და შეფასების საბოლოო მიზანს წარმოადგენს საინჟინრო-გეოლოგიური და სტიქიური ეგზოგეოდინამიკური პროცესების საშიშროებისა და მოსალოდნელი რისკის დარაიონების სპეციალური სქემების შედგენა. ეს გარემოება სტიქიური ეგზოგეოდინამიკური პროცესების, მათი საშიშროების რისკის შემცირების ბაზისური საფუძველია, ასევე, რისკის წინაშე მყოფი მოსახლეობისთვის და თემებისათვის ინფორმაციის ხელმისაწვდომობას უზრუნველყოფს.

საინჟინრო-გეოლოგიური, დარაიონებისთვის საკვლევ ტერიტორიაზე გამოყოფილია, პირველ რიგში ყველაზე მსხვილი ტექტონიკური ერთეულები: სისტემები, რაიონები, ქვერაიონები, გეეტიკური ტიპები, ფორმაციები, ქვეფორმაციები და კომპლექსები.

საკვლევ ტერიტორიაზე დაფიქსირებულია და შესაბამისად სქემაზე ასახულია 126 დვარცოფული ხევი, 264 მეწყრული უბანი, 180 ქვათაცვენის უბანი და 76 სიღრმითი და ფართობული ეროზიის უბანი. დათვლილია სხვადასხვა ლითოლოგიურ-გენეტიკურ კომპლექსებში განვითარებული ეგზოგეოდინამიკური პროცესების რაოდენობრივი და ფართობული გავრცელება.

## დასკვნა

წინამდებარე ნაშრომში ასახული შესრულებული სამუშაოს ძირითადი შედეგები შეიძლება განვაზოგადოთ შემდეგი დასკვნების სახით:

- მდ. არაგვის აუზი თავისი გეოლოგიური, ტექტონიკური, სეისმური, გეომორფოლოგიური, კლიმატური, ჰიდროლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობებიდან გამომდინარე წარმოადგენს ერთ-ერთ ურთულეს ტერიტორიას, რომელზეც იშვიათობას არ წარმოადგენს მეწყრები, კლდეზვავები და ღვარცოფები, ხოლო ნაშრომი მნიშვნელოვან ინფორმაციას შეიცავს მდ. არაგვის აუზის ეგზოგეოდინამიკური პროცესების კვლევის და საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების შეფასების თვალსაზრისით;
- საკვლევ ტერიტორიაზე განვითარებული ქანების საინჟინრო-გეოლოგიური კომპლექსებიდან, ფერდობებზე გრავიტაციული ძვრების საშიშროებით გამორჩეულია ზედა ეოცენის ლოდნარი, ბრექჩია-კირქვების ბაზალური ჰორიზონტი. მის ფარგლებში საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობის და ექსპლუატაციის გამართულებელ ფაქტორთა შორის უმნიშვნელოვანესია:
- აღნიშნული ქანების მეორადი (არამირითადი) განლაგება;
- ცალკეული ლოდების და ნატეხების შემავსებლის ფხვიერი აგებულება;
- ინტენსიურად გაწყლიანებული, მაღალი ფერდობების გაზრდილი მობილურობა;
- ფერდობების ბუნებრივი დახრილობის დიდი კუთხეები, 40<sup>0</sup>-ის ფარგლებში;
- გეოდინამიკური პროცესების გამოსავლენად საჭიროა შესწავლა/კვლევები ვაწარმოოთ არა ინდივიდუალურად, არამედ რეგიონულ ასპექტში, ქანების ლითოლოგიური შემადგენლობის და გამოფიტვის გათვალისწინებით. ეს საშუალებას მოგვცემს

- დადგინდეს პროცესების განვითარების დინამიკა და შესაბამის ღონისძიებებს გაეწიოს რეკომენდაციები;
- მდ. არაგვის აუზი ეგზოგეოდინამიკური პროცესების განვითარების მასშტაბებით და მიყენებული ზიანით ერთ-ერთ ურთულეს ტერიტორიას წარმოადგენს, შესაბამისად საჭირო გახდა აღნიშნულ ტერიტორიაზე ჩატარებულიყო კვლევები, დამუშავებულიყო განახლებული საინჟინრო-გეოლოგიური სქემა;
  - პროცესების შესასწავლად ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა შეგვეფასებინა ეგზოგეოდინამიკური პროცესების დინამიკა და დაგვედგინა მათი შესაძლო განვითარების არეალები;
  - ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ საინჟინრო-გეოლოგიურ სქემაზე, მდ. არაგვის აუზში ტექტონიკური, გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური პირობებიდან გამომდინარე გამოიყო სისტემები, რაიონები, ქვერაიონები, ფორმაციები, ქვეფორმაციები და საინჟინრო-გეოლოგიურ-გენეტიკური კომპლექსები. შეფასდა სტიქიური პროცესებით დაზიანებული ტერიტორიების მდგომარეობა, დადგინდა პოტენციურად სარისკო ფართობები, შესწავლილ იქნა მათი წარმოქმნა-გააქტიურების ბუნებრივი და ტექნოგენური ფაქტორები, განისაზღვრა “კრიზისულ” სიტუაციაში მყოფი ტერიტორიები.
  - მდ. არაგვის აუზში გავრცელებული საინჟინრო-გეოლოგიურ-გენეტიკური კომპლექსების, კლდოვანი, ნახევრად კლდოვანი, ფხვიერ- შეუკავშირებელი, რბილი შეკავშირებული გრუნტების საფონდო მასალებზე და ჩვენს მიერ ჩატარებულ ლაბორატორიულ კვლევებზე დაყრდნობით სტატისტიკურად დამუშავებული და ცხრილის სახით შედგენილი იქნა გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები;
  - დადგინდა ეგზოგეოდინამიკური პროცესების წარმოქმნის განმაპირობებელი გეოლოგიური გარემოს თავისებურება.

შეფასდა ამა თუ იმ ფორმაციის საინჟინრო-გეოლოგიურ კომპლექსში მეწყრული, ღვარცოფული ქვათაცვენითი და ეროზიული პროცესების გავრცელების არეალი, დაზიანების კოეფიციენტი;

- წინამდებარე ნაშრომში მოწოდებული ინფორმაცია ძალზე მნიშვნელოვანია, წინასწარ შერჩეულ კონკრეტულ უბნებზე, სხვადასხვა სახის საინჟინრო, სასოფლო-სამეურნეო და ინფრასტრუქტურული პროექტების განსახორციელებლად. მისი გათვალისწინებით, პროექტანტებს ეძლევათ საშუალება აარჩიონ უსაფრთო საპროექტო ტერიტორია;
- გამოიყო უადრესად მაღალი რისკის შემცველი ტერიტორიები, სადაც განვითარებულია ეგზოგეოდინამიკური პროცესები და არსებობს შესაძლო წარმოქმნის მაღალი რისკი;
- კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით, სხვადასხვა საინჟინრო-გეოლოგიურ კომპლექსში, გაიმიჯნა ეგზოგეოდინამიკური პროცესების განვითარებისთვის ყველაზე ხელსაყრელი უბნები, განისაზღვრა სხვადასხვა სახის პროცესები, შეფასდა მათი რაოდენობრივი და ფართობული გავრცელებები;
- გეოდინამიკური მოვლენებიდან გამომდინარე, აღნიშნული კვლევის შედეგები საფრთხეების პრევენციისა და აღკვეთის საფუძველია;
- მდ. არაგვის აუზში შეირჩა რამდენიმე მეწყრული და ღვარცოფული უბანი, სადაც მოეწყო ტოპოგეოდეზიური დაკვირვების წერტილები, მოხდა რამდენიმე მეწყრის აგეგმვა. კვლევებში გამოყენებული იქნა კომპიუტერული პროგრამები, თანამედროვე ტოპოგეოდეზიური და ლაზორატორიული ხელსაწყოები, ადგილობრივი და უცხოელი სპეციალისტების, ასევე ქ. მარინე მარდაშოვას უკუდაანგარიშების მეთოდის საფუძველზე შეფასდა მეწყრული ფერდობის მდგრადობა;

## აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენების სახით გაშუქდა სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი 2019 წ.) და საქართველოს მინერალოგიური საზოგადოების მე-5-ე საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკულ კონფერენციაზე (თბილისი 2019 წ.). ასევე კოლოქვიუმებსა და თემატურ სემინარებზე.

## პუბლიკაციები

1. **თედორაძე დ.** მდინარე არაგვის აუზის ზონირება ეგზოგეოდინამიკური პროცესების საშიშროების მიხედვით. სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია თეზისების კრებული თბილისი 2019 წ.
2. **Tedoraze D.** Zoning of mountain territories in accordance with the danger of exodynamic processes. Mineralogical society of Georgia, Georgian Technical University Power of Geology is the precondition for regeneration of economics, 4<sup>th</sup> International Scientific-Practical Conference on up-to-date Problems of Geology Book of Abstracts Tbilisi 2018
3. **Tedoraze D., Gamkhrelidze M., Varazashvili Z.** Exogenidynamic-processes engineering-geological rate of River Aragvi bain's Mineralogical society of Georgia, Georgian Technical University Power of Geology is the precondition for regeneration of economics 5<sup>th</sup> International Scientific-Practical Conference on up-to-date Problems of Geology Book of Abstracts Tbilisi 2019
4. **თედორაძე დ.** მდ. არაგვის აუზის საინჟინრო-გეოლოგიური თავისებურებები. სამთო ჟურნალი N2(41), 2018.
5. **თედორაძე დ.** მდ. არაგვის აუზში განვითარებული ღვარცოფული პროცესები სამთო ჟურნალი N1(42), 2019.
6. **თედორაძე დ.** მდ. არაგვის აუზში განვითარებული მეწყრული პროცესების შეფასება სამთო ჟურნალი N1(42), 2019.

## Abstract

### **Research of modern exogeodynamic processes of the river Aragvi basin and engineering-geological assessment**

The ancient history and experience of mankind demonstrate that exodynamic processes are a ruthless, often catastrophic phenomenon, which causes a huge material loss and often it's accompanied by fatal cases. In addition, these processes directly threaten human living conditions, building-structures, agricultural, industrial and transport facilities. That is why building and exploitation of any type of engineering building is a serious problem on the territories where already is geodynamic processes or where is high possibility of their formation.

With exceptional intensity and frequency these processes can be seen in mountainous and heavily fragmented terrain regions where complex geological structures are formed, and Georgia belongs to such regions. Especially, the selected research area where the most dangerous geological processes occur: landslides, mudflows, livestock and other erosive-denudational processes. Therefore, it is very important to investigate and fight against the scope of the negative consequences of the disastrous processes.

The Aragvi River basin, geologically is situated between two mega tectonic units, great Caucasus fold mountains and intermountain lowland, in which the distinctly different magma, metamorphic and sedimentary complexes are formed.

The geological conditions of the study area are complicated by various geological structures, tectonic faults, geological chunks, allochthonous blocks.

Extremely active towards these exogeodynamic processes is the right slope of the River White Aragvi from the village of Ganis to the village Kvemo Mleta. Where the above-mentioned rocks are heavily damaged and desolate, the monolithic mountain range is distorted by tectonic dis-

location. The rocks are easily adapted to the erosion and gravitational processes. The level of the rock weathering extends from one meter to several meters.

On the basis of field-survey studies Dangerous geodynamic phenomena and processes were identified in Aragvi Basin, their morphological characteristics, dynamic determinants and causes are identified; their morphological characteristics, dynamic determinants and causes are identified; through aerial imagery and modern GPS tools these information have been transmitted to their respective and appropriate maps, rock samples were taken from selected districts and will be used for laboratory investigations to determine their physico-mechanical properties.

Based on the processing and analyzing of foundation, literary and field materials, the renewed engineering-geological schematic map of the study area will be created.

There are 126 mudflow gorges, 264 landslide bodies, 180 rockfall and 76 depth and area erosion areas on the research territories.

At various precincts various exogenodynamic processes were evaluated. The morphology, morphometry, geology, tectonics, lithology, hydrology and hydrogeology are described in separate areas and in the whole study area.

solid markers and mobile markers have been installed on separate landslides and several landslide precincts have been planned. The photo-fixing method has been used for assessment of the impact of landslides. topo-geodesic surveillance points have been installed at several mud flow spots, where the corresponding profiles made clear the intensity of mud flow.

The sustainability of the landslide precincts was calculated both by computer methods, as well as by the Maslov Berer method and by Marine Mardashova's method of reverse calculation. Geoinformation systems have been used for counting of areas of lithological genetic formations and engineering-geological complexes that we have allocated

from these formations. through calculation of the areas of exo-geodynamic processes, coefficient of damage is given in the corresponding tables of the mudflow, landslide and rockfall areas of the mentioned complexes.

It is noteworthy that several hundred mud flows, landslides and collapses are on the both banks of the river Aragvi. Exogeodynamic processes in the Aragvi Basin threaten Mtskheta-Stepantsminda-Larsi motorway, internal rural roads, bridges, overhead power lines, pipeline, residential houses, agricultural lands, churches, fortresses and many other tourist and infrastructural objects.

The Dissertation thesis is based on the foundation data, on the fieldwork and on the laboratory survey data, it contains important information on the river Aragvi In terms of assessing the engineering and geological conditions of the Aragvi Basin. The information in the work is very important for the implementation of various types of engineering, agricultural and infrastructural projects in selected precincts. Considering all if that projectors will be able to provide the safe and prospective planning of the work.