

გივი გავარდაშვილი

მდინარე ღურუჯის
ეკოლოგიური პრობლემები
და გარემოსდაცვითი
ინოვაციური ღონისძიებები



თბილისი
2018

გივი ბავარდაშვილი

მდინარე ღურუჯის ეკოლოგიური პრობლემები და გარემოსდამცავი ინოვაციური ღონისძიებები

დამტკიცებულია მონოგრაფიად
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ცენტრე მირცხულავას სახელობის
წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის
სამეცნიერო-სასწავლო მეთოდური
ლიტერატურის სარედაქციო
საგამომცემლო საბჭოს მიერ.
01/09/2017, ოქმი №19



გამომცემლობა „უნივერსალი“
თბილისი, 2018

UDC(უაკ) 556.535.8+502.1

გ-15

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების

სამინისტრო

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ცოტნე მირცხულავას სახელობის

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი

ბარემოს დაცვის ეკოცენტრი

ავტორი: გივი გავარდაშვილი,

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,

პროფესორი

სამეცნიერო რედაქტორი: ოთარ ნათიშვილი,

საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული

აკადემიის აკადემიკოსი

რეცენზენტი: ედუარდ კუხალაშვილი,

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,

პროფესორი

© გ.ვ. გავარდაშვილი

ISBN 978-9941-26-067-4

თბილისი, 2018

მდინარე დურუჯის ეკოლოგიური პრობლემები და გარემოსდაცვაში ინოვაციური ღონისძიებები

ანოტაცია

ნაშრომში 2000-2017 წლებში ჩატარებული საველე-ექსპედიციური და თეორიული კვლევების ანალიზის საფუძველზე შეფასებულია მდინარე დურუჯის წყალშემკვრებ აუზში მიმდინარე ეროზიული პროცესები და დამუშავებულია მათი პროგნოზირების მეთოდები.

საველე სტატისტიკური რიგისა და ალბათობის თეორიის გამოყენებით დადგენილია მდინარე დურუჯის ღვარცოფებისათვის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯები და ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის მოცულობები.

თეორიული კვლევის საფუძველზე მიღებულია დამოკიდებულებები, რომელთა დახმარებით იანგარიშება ბმული ღვარცოფის ფრონტის ძირითადი მაჩვენებლები.

კატასტროფების თეორიის გამოყენებით შესწავლილია ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესებისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედებისას მწყობრიდან გამოსვლის თვისობრივი ხასიათი.

მდინარე დურუჯის კალაპოტის რეგულირებისათვის წარმოდგენილია მდინარის ეკოლოგიური პრობლემების დაზუსტებული პროგნოზი და გარემოსდამცავი ახალი ინოვაციური ღონისძიებები.

განხილულია კონსტრუქციების დაპროექტებისათვის შესაბამისი გაანგარიშების მეთოდოლოგია, ნაგებობების მუშაობის საიმედოობისა და კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლის რისკის მხედველობაში მიღებით.

ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის მდინარე დურუჯის ღვარცოფებისაგან უსაფრთხოების მიზნით დამუშავებულია სტრატეგიული სქემა და ღვარცოფული მასის უტილიზაციის სხვადასხვა მიმართულებები.

წარმოდგენილია ქ. ყვარლის მოსახლეობის მდინარე დურუჯის ღვარცოფებისგან დაცვის ღონისძიებათა კომპლექსური სქემა, სტიქიის საწინააღმდეგო შესაბამისი მთელი რიგი პრევენციული ღონისძიებების მხედველობაში მიღებით.

ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის მდ. დურუჯის ღვარცოფებისგან დამცავი კომპლექსური ღონისძიებების განხორციელებისათვის საჭირო ინვენსტიციების მოძიების მიზნით მონოგრაფიაში მოცემულია საორიენტაციო ხარჯთაღრიცხვა მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა დარგების მიმართულებების მიხედვით.

მონოგრაფიაში ყურადღება გამახვილებულია მდ. დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის საველე-სამეცნიერო კვლევაზე სასოფლო-სამეურნეო მიზნებისათვის, კერძოდ, ქინძმარაულის ყურძნის სავარგულების ფართობების გაზრდის მიმართულებით.

ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE RIVER DURUJI AND INNOVATIVE ENVIRONMENTAL MEASURES

Summary

The work gives the evaluation of the erosive processes taking place in the water catch basin of the river Duruji and develops the methods to forecast them based on the field-and-expedition and theoretical studies of 2000-2017.

By using the field statistical series and theory of probability, the peak discharge values for the mudflows of the river Duruji of different provisions and volumes of mudflow masses transported by the mudflows are identified.

Based on the theoretical studies, the relations used to calculate the principal indicators of cohesive mudflow front are deduced.

By using the theory of catastrophes, the qualitative properties of the erosive-mudflow processes and breakdown of a springboard-type anti-mudflow structure due to the impact of a mudflow are explored.

A forecast of ecological problems of the river and new innovative environmental structures are proposed to regulate the river Duruji bed.

The calculation methods needed to design the structures are reviewed by considering the performance reliability of the facilities and risks of the structure breakdown.

With the goal of protecting the population of the city of Kvareli against the mudflows across of the river Duruji,

a strategic plan and various options to utilize the mudflow mass are developed.

A thorough plan of measures to protect the population of the city of Kvareli against the mudflows of the river Duruji is developed by considering a number of relevant preventive measures against rudiments.

Aiming at obtaining the investments needed to realize the thorough measures to protect the population of the city of Kvareli against the mudflows of the river Duruji, the monograph gives an approximate budget for different branches of industry and agriculture.

The monograph accents the field-and-scientific studies of colloid mudflow drift of the river Duruji to be used for agricultural purposes, in particular, to increase the areas of the plots with the vine of Kindzmarauli variety.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКИ ДУРУДЖИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Аннотация

В настоящей работе на основании анализа полевых экспедиционных и теоретических исследований, проведенных в 2000-2017 годах, оценены эрозионные процессы, происходящие в водосборном бассейне реки Дуруджи и разработаны методы их прогнозирования.

С применением полевого статистического ряда и теории вероятности установлены максимальные расходы для различного обеспечения безопасности от селей на реке Дуруджи и от объемов селевых масс, транспортированных селями.

На основании теоретических исследований получены зависимости, посредством которых рассчитываются основные показатели фронта связных селей.

С применением теории катастроф изучены эрозионно-селевые процессы и качественный характер выхода из строя противоселевого сооружения трамплинного типа при воздействии на него селя.

Для регулирования русла реки Дуруджи представлен прогноз экологических проблем реки и новые инновационные природоохранные конструкции.

Рассмотрена методология соответствующего расчета для проектирования конструкций с учетом надежности работы сооружений и риска выхода конструкций из строя.

С целью обеспечения безопасности населения города Кварели от селей реки Дуруджи разработаны стратегическая схема и различные направления утилизации селевой массы.

Представлена комплексная схема мероприятий по защите населения г. Кварели от селей р. Дуруджи с учетом целого ряда соответствующих противостихийных превентивных мероприятий.

С целью привлечения инвестиций, необходимых для осуществления комплексных мероприятий по защите населения города Кварели от селей р. Дуруджи, в монографии представлена ориентировочная смета по разным направлениям отраслей промышленности и сельского хозяйства.

В монографии заострено внимание на полевым научном исследовании селевого коллоидного наноса р. Дуруджи для сельскохозяйственных целей, в частности, в направлении увеличения площадей виноградников сорта Киндзмараули.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

გამოყენებულ ტერმინთა განმარტებები	12
შესავალი	21
თავი I. მდინარე ღურუჯის წყალშემკრები	
აუზის ზოგადი დასასნიათება	25
თავი II. მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ	
აუზში ჩატარებული სავალე	
მაქსიმალური კვლევის შედეგები	31
2.1. მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე	
ეროზიულ პროცესების პროგნოზირება	38
თავი III. საიმპლოზისა და რისკის	
თეორიის გამოყენებით მდინარე ღურუჯის	
წყალშემკრებ აუზში ეროზიული	
პროცესების პროგნოზი	50
თავი IV. მდინარე ღურუჯის კალაპოტში	
ფორმირებული ღვარცოვის სხვადასხვა	
უზრუნველყოფის მაქსიმალური	
ხარჯების დადგენა	56
თავი V. მდინარე ღურუჯის კალაპოტში	
ნაკადით ტრანსპორტირებული	
ღვარცოფული მასის პროგნოზირება	62
თავი VI. ღვარცოვის დინამიკის	
ზოგიერთი საკითხები	66
6.1. ბმული ღვარცოვის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის	
წინაღობის გათვალისწინებით	66
6.2. ბმული ღვარცოვის დაუმყარებელი მოძრაობა	
ჰაერის შუბლური წინაღობის გათვალისწინებით	73
6.3. ბმული ღვარცოვის ტალღის ფორმების დადგენა	
ხანუნისა და ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით..	83
6.4. ნაგებობებზე ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფე-	
ბის დინამიკური ზემოქმედების პროგნოზი	88

თავი VII. ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება კატასტროფების თეორიის გამოყენებით	98
7.1. ღვარცოფული მასის წონასწორობისა და მისი დაძვრის ანალიზი	98
7.2. ღვარცოფის ზემოქმედებისას ტრამპლინის ტიპის ახალი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების წყობიდან შესაძლო გამოსვლის ალბათობის გამოკვლევა	107
თავი VIII. ინოვაციური საინჟინრო-მკოლო-გიური ღონისძიებები მდინარე ღურუჯის კალაპოტის რეგულირებისათვის	120
8.1. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობების ახალი კონსტრუქციები	122
8.2. მდინარის კალაპოტის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა	128
8.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები	130
8.4. თოვლის ზეავის საწინააღმდეგო ნაგებობა	141
თავი IX. ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფ-საწინააღმდეგო ნაგებობების დაკრომქტი-ბისათვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია და მათი მუშაობის საიმედოობის შეფასება ..	144
9.1. ნაგებობის გაანგარიშების მეთოდოლოგია	144
9.2. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის საიმედოობის შეფასება	150
9.3. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულების დაპროექტებისათვის მეთოდოლოგიის დამუშავება ..	156
თავი X. მდინარე ღურუჯის ღვარცოფები-საბან ქალაქ ჟვარლის მოსახლეობის უსაფრთხოების გენერალური სქემის დამუშავება და ღვარცოფული მასის უტილიზაციის მიმართულებები	159

10.1. მდ. ღურუჯის თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობა და სტიქიის საწინააღმდეგო პრევენციული ღონისძიებები	161
10.2. ქ. ყვარლის მოსახლეობის მდ. ღურუჯის ღვარცოფებისგან დაცვის ღონისძიებათა კომპლექსური სქემა ..	168
10.3. ქ. ყვარლის მოსახლეობის მდ. ღურუჯის ღვარცოფებისგან დამცავი კომპლექსური ღონისძიებების საორიენტაციო ხარჯთაღრიცხვა მიმართულებების მიხედვით	174

თავი XI. მდინარე ღურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის კვლევა

სასოფლო-სამეურნეო მიწებისათვის	177
11.1 საქართველოს მევენახეობის სპეციფიკური ზონები ..	177
11.2. ქინძმარაულის ტერიტორიის ზოგადი გეოგრაფიული დახასიათება	183
11.3. ქინძმარაულის ტერიტორიის ზოგადი კლიმატური შეფასება	186
11.4. ქინძმარაულის ტერიტორიის ზოგადი გეოლოგიურ-მელიორაციული შეფასება	189

თავი XII. ქინძმარაულის ტერიტორიაზე საველე სამეცნიერო კვლევების განხორციელება და მათი შეფასება

12.1. საველე საქსპერიმენტო კვლევებისათვის შერჩეული ტერიტორიების ზოგადი დახასიათება	195
12.2. საველე სამეცნიერო კვლევების შედეგები და მათი შეფასება	213
დასკვნა	226
Conclusion	232
Заключение	237
დანართი	242
ლიტერატურა	246

გამოყენებულ ტერმინთა განმარტებები

- **ადაპტაცია** [ლათინური „adaptation“ – „შეგუება“, „შეწყობა“] – ორგანიზმის შეგუება გარემო პირობებთან არსებობის შესანარჩუნებლად.
- **გეოგრაფიული ადნიშვნა** – სპეციფიკური ადგილის, რეგიონის ან ქვეყნის სახელი, რომელიც გამოიყენება იქ წარმოებული ისეთი პროდუქტის აღსანიშნავად, რომლის განსაკუთრებული ხარისხი და თვისებები განპირობებულია იმ ადგილისთვის დამახასიათებელი გარემო პირობებითა და ადამიანური ფაქტორით.
- **გეოდეზია** [ბერძნული „gē“ და „daizō~ – „დედამიწა“ და „კეოფ (ნაწილებად)“] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს დედამიწის ფორმებსა და ზომებს (უმაღლესი გეოდეზია) და ადგილზე იღებს ზომებს დედამიწის ზედაპირის ასასახავად რუკებსა და გეგმებზე (ტოპოგრაფია).
- **გეოლოგია** [ბერძნული „gē“ და „logos“ – „დედამიწა“ და „მოძღვრება“] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს დედამიწის აგებულებასა და შედგენილობას, დედამიწის ქერქის ცვალებადობის ისტორიას, დედამიწაზე ორგანული სიცოცხლის ისტორიასა და სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებს.
- **გრუნტი** [გერმანული „Grund“ – „მიწა“, „ნიადაგი“] – მიწისა, ნიადაგის მყარი ზედაფენა.
- **დეგრადაცია** [ფრანგული „dégradation“] – თანდათანობით გაუარესება რაიმე თვისებისა; დაქვეითება, დაცემა; სინონიმი – დეგრადირება.

- **ეკოლოგია** [ბერძნული „oikos“ და „logos“ – „სახლი“ და „მოდღერება“] – ბიოლოგიის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის ორგანიზმებისა და მათი გარემოს ურთიერთდამოკიდებულებას.
- **ენდემური სახეობა** – მცენარეთა და ცხოველთა სახეობები, რომლებსაც ახასიათებთ ერთ გარკვეულ ტერიტორიაზე გავრცელება; ადგილობრივი.
- **ეროზია** [ლათინური „erosion“ – „გამოჰმა“] – გადატანითი მნიშვნელობით ნიადაგის ეროზია, დაშლა, რღვევა და წარეცხვა ღვარებისაგან.
- **ვალიდაცია** – მიზანთან შესაბამისობის დადასტურება.
- **ვეგეტაცია** (ლათინური „vegetatio“ – ბოტანიკური ტერმინი) – მცენარის სასიცოცხლო მოქმედება, მისი ზრდის პროცესი; სავეგეტაციო – იგივე, რაც ვეგეტაციური.
- **ინდიკატორი** (ლათინური „indico“ – „უჩვენებ“) – სახელწოდება სხვადასხვა სახის ხელსაწყოებისა, რომელთაც იყენებენ ფიზიკური სიდიდეების (მაგ., წნევის, დატვირთვის და სხვ.) გასაზომად.
- **კლიმატი** [ბერძნული „klima“, („klimatos“)] – ამა თუ იმ ადგილის მეტეოროლოგიურ პირობათა ერთობლიობა, ამინდის რეჟიმი; ჰავა.
- **კომბინირება** [ლათინური „kombin“] – ერთმანეთთან შეხამება, შეთანწყობა, კომბინაცია - რთული ჩანაფიქრი რაიმე მიზნის მისაღწევად.
- **კრიზისული მდგომარეობა** – ბუნებრივად ან ადამიანის მიერ გამოწვეული მოულოდნელი და სახიფათო

მდგომარეობა, რომელიც სერიოზულ საფრთხეს უქმნის ადამიანის, ცხოველის ჯანმრთელობასა და სიცოცხლეს, მცენარის სიჯანსაღეს, ინფრასტრუქტურას, გარემოს და დროულ რეაგირებას მოითხოვს.

- **ლანდშაფტი** [გერმანული “Landschaft“] – რაიმე ადგილის (სოფლის, მინდვრის, ტყის და სხვ.) საერთო ხედი; დედამიწის ზედაპირის ნაწილი, რომლისთვისაც დამახასიათებელია რელიეფის, ჰავის, ნიადაგის, მცენარეულობის, ცხოველების და სხვ. გარკვეული შეხამება.
- **მაღალმთიანი რეგიონი** – გეოგრაფიული არეალი, რომელიც შეესაბამება „მაღალმთიანი რეგიონების სოციალურ-ეკონომიკური და კულტურული განვითარების შესახებ“ საქართველოს კანონით განსაზღვრულ მაღალმთიანი რეგიონის ცნებას.
- **მდინარის აუზი** [„River basin“] – დედამიწის ზედაპირი, საიდანაც წყალი ცალკეულ მდინარესა თუ მდინარის ქსელში ჩაედინება. ყოველი მდინარის აუზი შეიცავს ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყალშემკრებებს. ზედაპირული წყალშემკრებები დედამიწის ზედაპირის უბანია, რომლიდანაც წყალი მდინარის ქსელში ან მდინარეში ჩაედინება.
- **მეტეოროლოგია** [ბერძნული „meteōra“ და „logos“ – „ატმოსფერული მოვლენები“ და „მოძღვრება“) – 1. მეცნიერება დედამიწის ატმოსფეროს, მისი აგებულების, თვისებებისა და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესახებ. 2. მოძღვრება ამინდისა და მისი წინასწარი გამოცნობის შესახებ.

- **მეწვერი** [„Landslide“] – მიწის მასების ან ქანების ფენის მოწვევება და გადაადგილება მთის კალთაზე, ან ფერდობზე სიმძიმის ძალის გავლენით. წარმოიქმნება მთის ქანების სიმტკიცის წონასწორობის დარღვევის ან მთის ქანების სიმტკიცის შესუსტების შედეგად, რაც გამოწვეულია, როგორც ბუნებრივი მიზეზით, ასევე ადამიანი ზემოქმედებით.
- **მიწის კადასტრი** – მიწის ნაკვეთების შესახებ გრაფიკული (რუკები, გეგმები) და ტექსტური ინფორმაციის კრებული, რომელიც ასახავს: ნაკვეთის გეოგრაფიულ მდებარეობას, ფართობს, იურიდიულ სტატუსს (მესაკუთრე/მოსარგებლე, სარგებლობის ფორმა, შეზღუდვები), მფლობელთა ვინაობას, მიწის დანიშნულებას, კატეგორიას, მიწათსარგებლობისა და ნიადაგის ხარისხობრივი მახასიათებლების შესახებ მონაცემებს.
- **მუნიციპალიტეტი** [გერმანული „Munizipalität“] – ქალაქის ან სოფლის თვითმმართველობის ორგანო.
- **პროგნოზი** [ბერძნული „Prognōsis“] – რაიმე მოვლენის განვითარებისა და შედეგების წინასწარ განჭვრეტა, წინასწარმეტყველება არსებული მეცნიერული მონაცემების საფუძველზე.
- **რეკოგნოსცირება** [ლათინური „Regocnosco“ – „ვათვალიერებ“] – წინასწარი დათვალიერება, გამოკვლევა (ადგილმდებარეობისა) გეოდეზიურ სამუშაოთა საწარმოებლად.
- **რისკი** [ფრანგული „Risque“] – მოსალოდნელი საფრთხე, საშიშროება. საფრთხიდან გამომდინარე, ადამიანის, ცხოველის ჯანმრთელობაზე, მცენარის სიჯანსა-

ღებზე მავნე ზემოქმედების გამოვლენის ალბათობა და სიმძიმე. რისკის გაწევა – ალაღბედზე მოქმედება, სახიფათო მდგომარეობაში ჩადგომა.

- **ტერასა, ტერასირება** [ფრანგული „Terrasse“] – 1. საცხოვრებელ სახლს მიშენებული აივანი, რომელსაც აქვს ბოძებზე დაყრდნობილი სახურავი. 2. ტერასები – ფერდობზე კიბე-კიბე გაჩენილი ან გაკეთებული ჰორიზონტალური ან ოდნავ დაქანებული ბაქნები.
- **ტოპოგრაფია** [ბერძნული „topos“ – „ადგილი“ და „grapho“ – „ვწერ“] 1. გეოდეზიის ნაწილი, რომელიც სწავლობს დედამიწის ზედაპირს, მისი გაზომვისა და გეგმაზე ან რუკაზე გამოსახვის ხერხებს. 2. რომელიმე ქვეყნის ან ადგილის ზედაპირი და მისი ნაწილების, პუნქტების ურთიერთგანლაგება.
- **ჰიდრაულიკა** [ბერძნული „hydraulikos“] – მეცნიერება სითხეების წონასწორობისა და მოძრაობის კანონთა შესახებ, აგრეთვე, ამ კანონების პრაქტიკული გამოყენების შესახებ.
- **ჰიდროლოგია** [ბერძნული „hydōr“ – წყალი და „logos“ – „მოძღვრება“] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს წყლის სივრცეებს, წყლის მიმოქცევას დედამიწის ზედაპირზე.
- **ჰიდრომეტეოროლოგია** [ბერძნული „hydōr“ – „წყალი“ და მეტეოროლოგია] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს წყლის მიმოქცევას ატმოსფეროში.
- **GIS** – გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემა.
- **GPS** – სატელიტური სანავიგაციო სისტემა.

- **წყალმოვარდნა** [„Flood“] – მდინარეში წყლის დონის სწრაფი, შედარებით მოკლევადიანი აწევა, რაც გამოწვეულია თავსხმა წვიმებით, თოვლისა და ყინულის ინტენსიური დნობით, ასევე მიწის კაშხლების გარღვევით.
- **ღვარცოფი** [Debris Flow ან Mudflow] – სწრაფი, უეცარი კალაპოტური ნაკადი, რომელიც შედგება წყლის, გრუნტის მცირე ნაწილაკების, კოლოიდებისა და მთის ქანების მონატეხებისაგან. ღვარცოფი ვითარდება მცირე ზომის მთის მდინარეების აუზებში.
- **ღვარცოფული პროცესი** [Debris Flow ან Mudflow Processes] – ბუნებრივი პროცესების ერთობლიობა, რომელიც აერთიანებს ღვარცოფების ფორმირებისა და მოძრაობის ეტაპს.
- **ღვარცოფული მოვლენა** [Debris Flow ან Mudflow Phenomena] – ღვარცოფული პროცესების რეალიზაციის ფორმა ბუნებრივ ან ადამიანის მიერ შეცვლილ, განსაზღვრულ გეოგრაფიულ გარემოში. ღვარცოფული მოვლენა ასევე მოიცავს ღვარცოფულ პროცესს და მის შედეგს – რელიეფისა და ღვარცოფული გენეზისის დანალექს.
- **ღვარცოფული რისკი** [Debris Flow ან Mudflow Risk] – ადამიანთა მსხვერპლის და ეკონომიკური ზარალის მოსალოდნელი რაოდენობა, რაც გამოწვეულია ღვარცოფის მოძრაობით. ღვარცოფული რისკის რაოდენობრივი შეფასება ხორციელდება ალბათობის თეორიის გამოყენებით.

- **ღვარცოფული კალაპოტი** [Debris Flow ან Mudflow Chanel] – წყალსადინარის კალაპოტი, რომელშიც მოძრაობს ღვარცოფი.
- **ღვარცოფული აუზი** [Debris Flow ან Mudflow Basin] – წყალშემკრები აუზი, რომლის საზღვრებში ხდება ღვარცოფის ფორმირება, ხოლო მათი მოძრაობა მდინარის კალაპოტში. ღვარცოფული აუზი იყოფა სამ ძირითად მორფოდინამიკურ ზონად: ღვარცოფის ფორმირების, ტრანზიტისა და აკუმულაციის ზონად.
- **ღვარცოფსაშიშროება** [Debris Flow ან Mudflow Basin Hazard] – ღვარცოფის მოძრაობის შედეგად ადამიანთა სიცოცხლისა და მატერიალური ღირებულებების დაკარგვის საფრთხე.
- **ღვარცოფის გამოტანის კონუსი** [Debris Flow ან Mud flow Fan] – ღვარცოფული მასის საბოლოო აკუმულაციის ტიპური ფორმა; აქვს დამრეცი კონუსის სეკმენტის ფორმა. ღვარცოფის გამოტანის კონუსი შედგება ღვარცოფული დანალექისაგან, სიგანის სიგრძესთან დამახასიათებელი შეფარდება შეადგენს 1:10.
- **ღვარცოფული მასის მოცულობა** [Debris Flow ან Mudflow Volume] – წარმოადგენს ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებულ მყარი და თხიერი მასის მოცულობას, რომელიც ერთჯერადად გამოიტანება ღვარცოფის მიერ (m^3).
- **ღვარცოფმცოდნეობა** [Debris Flow ან Mudflow Basin Studies] – მეცნიერული მიმართულება, რომლის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ღვარცოფები და ღვარცოფული აუზები, დედამიწის ზედაპირის ის უბნები სადაც

მიმდინარეობს ღვარცოფის წარმოქმნის პროცესი.

- **ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა** [Debris Flow ან Mudflow Protection Structures] – ერთ-ერთი (ტექნიკური) ღონისძიება ღვარცოფებისაგან დაცვის ღონისძიებათა სისტემაში. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დანიშნულებაა უშუალო ზემოქმედება მოძრავ ღვარცოფზე, მისი გაჩერების ან ზემოქმედების ზონის შეზღუდვის მიზნით. კონკრეტულად, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები, ძირითადად დანიშნულების მიხედვით, იყოფა სამ კლასად: სარეგულაციო, შემაკავებელი და მასტაბილიზებელი.
- **ღვარცოფსაშვი** [Debris Flow ან Mudflow Chute] – ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი, რომლის ძირითადი დანიშნულებაც არის ღვარცოფის ტრანსპორტირება. ღვარცოფსაშვი, თავის მხრივ წარმოადგენს რკინაბეტონის ღარს და ღვარცოფული კალაპოტის გაგრძელებას დასაცავი ხაზოვანი ობიექტის (რკინიგზის ან გზატკეცილის ვაკისი, არხი და ა.შ.) ზემოდან.
- **ღვარცოფსაცავი** [Debris Flow ან Mudflow-Storage Reservoir] – ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლის ზედა ბიეფთან ღვარცოფულ აუზში განლაგებული ხეობის უბანი, სადაც კონცენტრირდება ღვარცოფული მასის მყარი მასალა.
- **ღვარცოფის ტალღა** [Mudflow Wave] – ტალღის ფორმირება ღვარცოფული მასის კონცენტრაციის გაჯერების შემდეგ. ჰიდრომექანიკის თვალსაზრისით ღვარცოფი შეიძლება განისაზღვროს როგორც ერთჯე-

რადი ან მრავალჯერადი დაღმავალი, უწყვეტი ტალღა, რომელიც მოძრაობს მდინარის კალაპოტში.

- **ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლები [Debris Flow ან Mudflow Chek-Dams]** – ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი. გათვლილია ღვარცოფის შეჩერებაზე, მისი მყარი ჩანართის აკუმულირებასა და ღვარცოფის თხიერი ჩანართის ორგანიზებულ გაშვებაზე. ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლების კონსტრუქციები შეიძლება იყოს მასიური – ბეტონის, რკინაბეტონის, ქვის წყობის, გრუნტის (მიწის) ან გამჭოლი (გისოსებრი), განივი ან გრძივი ტრამპლინის ტიპის, ანაკრები რკინაბეტონის ან ლითონის დეტალებისგან. როდესაც ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლების სიმაღლე მერყეობს 10-15 მ-ის ფარგლებში, ნაგებობას ეწოდება საგუბარი ან ბარაჟი, ხოლო 15 მ-ზე მეტს – კაშხლები.
- **ღვარცოფმაფორმირებელი ნალექები [Debris Flow ან Mudflow Precipitation]** – მუნიციპალიტეტისათვის ან ღვარცოფული აუზისათვის დამახასიათებელი თხევადი ნალექების ჯამი. ღვარცოფმაფორმირებელი ნალექები უზრუნველყოფს ღვარცოფმაფორმირებელ ხარჯებს ან ღვარცოფული კერების აქტიურობას, ანუ ღვარცოფის წარმოშობას.

შესავალი

საქართველოს პრეზიდენტის 2001 წლის 2 თებერვლის №84 განკარგულების „ქ. ყვარლის, მისი მოსახლეობისა და მიმდებარე ტერიტორიების მდ. დურუჯის ღვარცოფული ნაკადებისაგან დაცვის ღონისძიებათა შესახებ“ თანახმად, მდ. დურუჯის წყალშემკრები აუზის თანამედროვე ეკოლოგიური მდგრადობის შეფასების მიზნით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მიერ (ყოფილი საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტი) ბოლო წლებში (2000–2017) აქტიურად მიმდინარეობს მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის საინჟინრო ეკოლოგიური გამოკვლევა.

საკვლე-ექსპედიციური კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მდინარე დურუჯის კალაპოტის თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება შესართავიდან (მდ. ალაზნიდან) მის სათავემდე (შავ კლდემდე).

უნდა აღინიშნოს, რომ მდ. დურუჯის მთლიანი წყალშემკრები აუზის ვიდეო-ვიზუალური აგეგმვა (ფილმი 2 სთ და 30 წთ ხანგრძლივობისაა) 2002-2003 წლებში ჩვენს მიერ, ასპირანტ გ. ჩახაიასთან ერთად ჩატარდა პირველად, რამაც საშუალება მოგვცა შეგვეფასებინა მდ. დურუჯის კალაპოტში გავლილი ღვარცოფებისა და მის მიერ გამოტანილი ღვარცოფული მასის ძირითადი მორფომეტრიული, ჰიდროლოგიური და ჰიდრაულიკური მაჩვენებლები.



სურ. გივი გაგარდაშეილი მდინარე ღურუჯის გამოტანის კონუსზე მუშაობისას

GPS-ის, თეოდოლიტისა და თანამედროვე ხელსაწყოების საშუალებით დაფიქსირდა შესაბამისი რეპერები. ამ კვეთებში გაზომილი და გადაღებულია მდ. დურუჯის მახასიათებელი განივი და გრძივი პროფილები დახრის კუთხეების მხედველობაში მიღებით.

ვიდეოს, ფოტომასალისა და სტატისტიკური რიგის დამუშავებით მდ. დურუჯის არსებული მდგომარეობა შეფასებულია კატასტროფულად და საჭიროა მდ. დურუჯის საგანგებო ეკოლოგიურ ზონად გამოცხადება - შესაბამის სამთავრობო, სამეცნიერო თუ არასამთავრობო ორგანიზაციების მიერ, თუნდაც ინვესტიციებისა თუ გრანტების გათვალისწინებით, სასწრაფოდ ჩასატარებელია შესაბამისი გადაუდებელი ან პრევენციული ღონისძიებები, რაც დაიცავს ქ. ყვარლის მოსახლეობასა და მიმდებარე ტერიტორიებს მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული კატასტროფული ღვარცოფებისაგან (მართალია ჩატარდა მცირე მოცულობის პრევენციული სამუშაოები, მაგრამ ეს აღნიშნული პრობლემის უმნიშვნელო გადაწყვეტასაც ვერ უზრუნველყოფს).

ავტორი დიდ მადლობას უცხადებს წიგნის სამეცნიერო რედაქტორს, აკადემიკოს *ოთარ ნათიშვილს*, რომლის მეცნიერული კონსულტაციებისა და რეკომენდაციების გარეშე შეუძლებელი იქნებოდა როგორც მონოგრაფიის გამოცემა, ისე მდინარე დურუჯის კალაპოტში საველეექსპედიციური კვლევების მაღალ მეცნიერულ დონეზე განხორციელება.

ავტორი დიდი მადლიერია რეცენზენტის, პროფესორ *ედუარდ კუხალაშვილისა*, იმ შენიშვნებისთვის, რომლებიც გათვალისწინებულ იქნა ნაშრომში დასახული ამოცანის უფრო ღრმად განხილვისა და წარმოდგენისათვის.

უნდა აღინიშნოს გაზეთ „საქართველოს რესპუბლიკის“ რედაქციის ის ოპერატიული შრომა, რომელმაც დროის მოკლე პერიოდში გაზეთში გააშუქა მდ. ღურუჯვის თანამედროვე ეკოლოგიური პრობლემები, რაც ინფორმაციული გახდა მკითხველთა ფართო მასებისათვის.

ავტორის მიერ მდინარე ღურუჯვის ეკოლოგიური პრობლემების კვლევის ამსახველი მასალა მოხსენიებულ იქნა 2002–2011 წწ. საქართველოს პარლამენტში, 2005–2006 წწ. საქართველოს შინაგან სამინისტროს საგანგებო სიტუაციების მართვის დეპარტამენტში, 2000–2006 წწ. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდიუმისა და აკადემიური საბჭოს სხდომებზე, 2011 წელს იტალიაში, ქალაქ პადუაში ღვარცოფების მე-5 მსოფლიო კონფერენციაზე, 2011 წელს აშშ-ს მერილენდის უნივერსიტეტში გამართულ I მსოფლიო კონფერენციაზე „რისკი, მოწყვლადობა და საიმედოობის შეფასება“, ასევე 2015 წელს იაპონიაში, ქ. ცუკუბაში ღვარცოფების VI მსოფლიო კონფერენციაზე.

საველე-ექსპედიციური კვლევებისას ქ. ყვარელში მხარში გვედგნენ: კახეთის რეგიონისა და ქ. ყვარლის მუნიციპალიტეტის ადგილობრივი ხელმძღვანელები, ხოლო საველე კვლევების განხორციელებაში - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მეცნიერ-თანამშრომლები, ასპირანტები და დოქტორანტები.

ყველა იმ შენიშვნას, სურვილს, რაც წარმოიშობა მონოგრაფიის გაცნობისას, ავტორი გაითვალისწინებს შემდეგი სამეცნიერო კვლევების განხორციელებისას.

თაში I.
მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის
ზოგადი დახასიათება

მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზში ჩატარებულმა საველე-ექსპედიციურმა კვლევამ ნათელი გახადა, რომ როგორც თეთრი, ასევე შავი დურუჯის აუზებში კალაპოტის თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობა რთულია.

როგორც ცნობილია შავი დურუჯის ეროზიულ-ღვარცოფული კერა შავი კლდის სახელით არის ცნობილი, ხოლო თეთრი დურუჯის ეროზიული კერა მდებარეობს ფოხალოს მთის სამხრეთ ფერდობზე ზღვის დონიდან 2994 მ სიმაღლეზე, რომლის ჩრდილოეთ ფერდობი ესაზღვრება დაღესტანს.

შავი და თეთრი დურუჯის ღვარცოფწარმოქმნელი კერების საერთო ფართობი 308 ჰექტარია, მათ შორის, 250 ჰა განლაგებულია სუბალპურ და ალპურ ზონებში, აქედან, 60÷70 ჰა ფართობი განლაგებულია ტყიან ზოლში [18,22]. მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის მთლიანი ფართობი, გამოტანის კონუსის ჩათვლით, 116 კმ²-ია, აქედან გამოტანის კონუსის ფართობი - 36 კმ².

მდინარე დურუჯის გამოტანის კონუსის სიგრძემ შესართავიდან ხერხეულიძის ნაგებობამდე 8 კმ შეადგინა, მდინარის სიგრძე ხეობაში კი დაახლოებით 18 კმ-ია. აქედან გამომდინარე, მდინარის მთლიანი სიგრძეა - 26 კმ, კალაპოტის საშუალო ქანობით $i = 0,222$.

მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის სიგანის

საშუალო სიდიდე 4,3÷4,5 კმ-ის ფარგლებში მერყეობს, მაქსიმალური კი უტოლდება - 6,5÷7,0 კმ-ს [18].

გეოლოგია. მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზი გეოტექნიკური მიმართულებით იყოფა ორ ნაწილად: მთავარი კავკასიონის ქედი და ალაზნის ველი [51]. მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზი ლითოლოგიური ჭრილის მიხედვით იყოფა 3 ტიპად: 1. ძირითადი ფიქლების წყობა; 2. თიხა-ფიქლებისა და ქვიშა-ქვების ჩანართები მორიგეობის სახით და 3. მეოთხეული დანალექები.

კლიმატი. მდინარე დურუჯის აუზის საშუალო წლიური ტემპერატურა მერყეობს $+12,2\div 14^{\circ}\text{C}$ -ის ფარგლებში, ხოლო ზამთარში კი საშუალო წლიური ტემპერატურა $-3,7^{\circ}\text{C}$ -ია. ზაფხულში ყველაზე მაღალი ტემპერატურა $+25^{\circ}\text{C}$ -ს აღემატება.

ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა მდ. დურუჯის აუზში ტოლია 960 მმ, ყვარელში კი 901 მმ [18, 22, 51]. ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა მოდის გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში (მაისი-ივნისი). მეტეოსადგურის მონაცემების მიხედვით, ნალექების მაქსიმალური რაოდენობის 1/4 მოდის მაისი-ივნისის პერიოდში. კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით ქ. ყვარელსა და მთლიანად მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე, ასევე მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზში ფიქსირდება შემდეგი კლიმატური მდგომარეობა:

● **არსებული საშუალო მრავალწლიური
კლიმატური მონაცემები
(2015–2020 წლებში):**

ტემპერატურა: საშუალო წლიური – $9,4 \div 10,4^{\circ}\text{C}$,
ზაფხულის თვეების – $18,5 \div 19,1^{\circ}\text{C}$; ნალექების ჯამი:
წლიური – $817 \div 968$ მმ, ზაფხულის თვეების – $253 \div 303$ მმ;
ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე – $1 \div 2$ მ/წმ.

● **მეტეოროლოგიური პროგნოზი:**

- ✓ **2021–2050 წწ.** ტემპერატურის მატება: საშუალო წლიური – $1,53 \div 1,55^{\circ}\text{C}$, ზაფხულის თვეებში – $1,72 \div 1,77^{\circ}\text{C}$; ნალექების კლება: წლიური – $9,79 \div 8,57$ მმ, ზაფხულის თვეებში – $14,76 \div 11,07$ მმ; ქარის სიჩქარის კლება – $0,1$ მ/წმ.
- ✓ **2071–2100 წწ.** ტემპერატურის მატება: საშუალო წლიური – $3,88 \div 3,92^{\circ}\text{C}$, ზაფხულის თვეებში – $4,45 \div 4,53^{\circ}\text{C}$; ნალექების კლება: წლიური – $18,65 \div 16,64$ მმ, ზაფხულის თვეებში – $25,79 \div 23,35$ მმ; ქარის სიჩქარის მატება – $0,2$ მ/წმ.

ნიადაგები. მდინარე დურუჯის აუზში ძირითადად გავრცელებულია ნიადაგის ექვსი ტიპი: ტყის ყავისფერი, ყომრალი ყავისფერი, ნაკლებად განვითარებული წარეცხილი (ფერდობები), მთა-ტყის-მდელოს, განუვითარებელი ღია წაბლისფერი (ისინი ძირითადად გვხვდება ალპურ და სუბალპურ ზონებში), აგრეთვე პროლუვიური და დელუვიური ნიადაგები [24].

მცენარეულობა. მდინარე დურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთლიანი ფართობი განაწილებულია შემდეგი თანმიმდევრობით: ტყით დაფარულია 76% (6600 ჰა), ტყით არ არის დაფარული 4,3% (390 ჰა), საზაფხულო საძოვრები – 16% (1400 ჰა), კლდეები – 4,3% (330 ჰა).

სურათზე 1.1 ნაჩვენებია მდ. დურუჯის კალაპოტში ღვარცოფის გავლის კვალი ყრუ კაშხლიდან (ყრუ კაშხალი მდებარეობს შესართავიდან 10 კმ-ის მანძილზე) 560 მ-ის დაშორებით - მდინარის სათავის მიმართულებით.

ჩატარებულმა საველე-ექსპედიციურმა გამოკვლევამ დაადასტურა, რომ მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფების სიმძლავრეზე მომავალში დიდ გავლენას მოახდენს ასევე მდ. თეთრი დურუჯის წყალშემკრები აუზი, რადგან ფოხალოს მთაზე ზღვის დონიდან 2990 მეტრზე დაფიქსირებული იყო მთის ქანების ტექტონიკური რღვევის ხაზი (სურ. 1.2), რომელიც მომავალში მეწყრული პროცესების გააქტიურებას გამოიწვევს, ეს კი ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების გაძლიერების დასაწყისია [18,51].

ეროზიულ-ღვარცოფულ და მეწყრულ პროცესებს მდ. დურუჯის აუზში დაემატა აგრეთვე თოვლის ზვავების მოქმედებაც. 2001 წლის 22 ივნისს მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში დაფიქსირებული იყო მდინარე წიფელგორის წყლის ხეობიდან (მდ. შავი დურუჯის მარცხენა შენაკადი) ჩამოცურებული თოვლის ზვავი (სურ. 1.3), რომლის სიგრძემ 150 მ, ხოლო სიმაღლემ კი 5÷6 მ შეადგინა.



სურ. 1.1. მდ. დურუჯის კალაპოტში დვარცოფის გავლის კვალი (ფოტო ავტორისა)



სურ. 1.2. ფოხალოს მთის მწვერვალზე მთის ქანების ტექტონიკური რღვევის ხაზი (ფოტო ავტორისა)



**სურ. 1.3. თოვლის ზვავი მდინარე შავი დურუჯის კალაპოტში
2001 წ. (ფოტო ავტორისა)**

მდინარე დურუჯის კალაპოტის გრძივი პროფილის დახრის კუთხემ ამ ადგილას 17° შეადგინა, კალაპოტის სიგანემ – 4,6 მ, ხოლო წყლის ნაკადის სიღრმემ კი - 0,32 მ [13, 14, 17].

ამრიგად, მდინარე შავი და თეთრი დურუჯის წყალ-შემკრებ აუზში ჩატარებული საველე-ექსპედიციური კვლევის ანალიზი იძლევა საშუალებას, რომ აღნიშნული ტერიტორიების ეკოლოგიური მდგომარეობა შეფასებული იყოს კატასტროფულად, რომელიც დაუყოვნებლივ საჭიროებს შესაბამისი საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებების განხორციელებას.

თავი II.

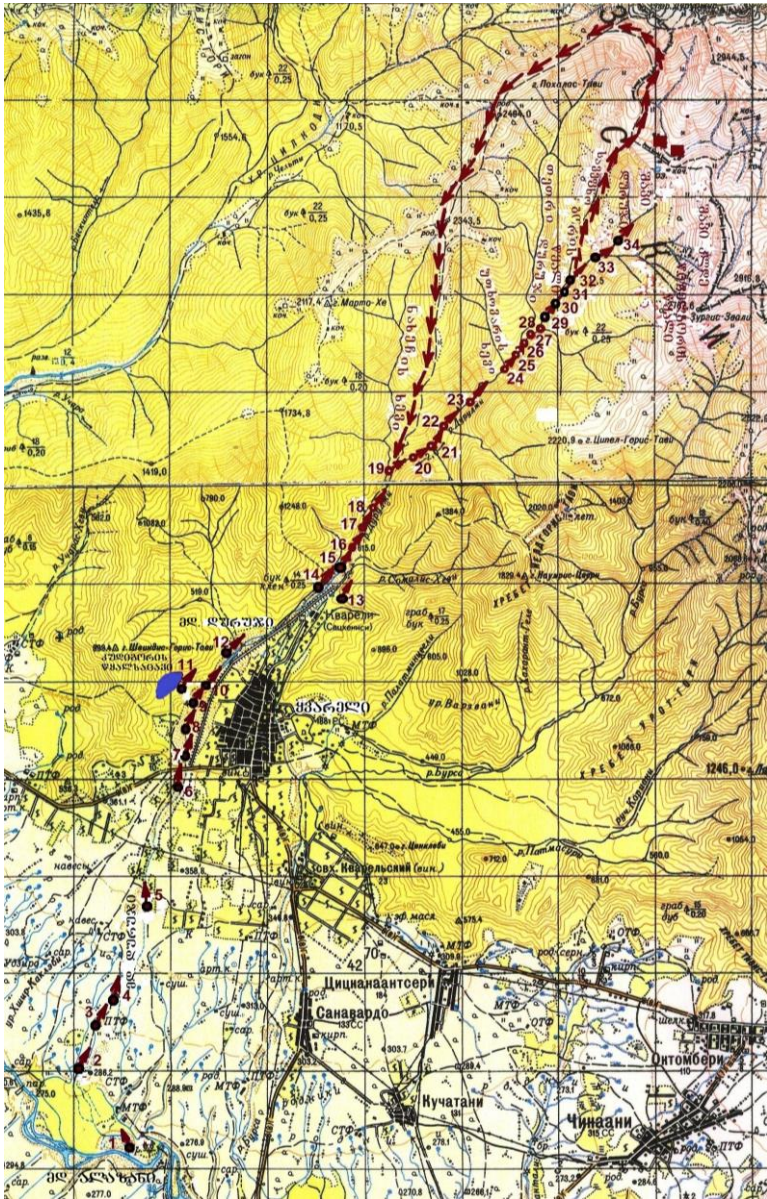
მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში ჩატარებული საველე მქსაჲდიციური კვლევის შედეგები

ჩატარებული საველე-ექსპედიციური კვლევები წარმოადგენს იმ ტრადიციული სამეცნიერო კვლევების გაგრძელებას, რომელსაც საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტში საფუძველი ჩაუყარა პროფესორმა *მ. გაგოშიძემ*, ხოლო შემდგომ ეტაპზე ეს კვლევები გაგრძელებული იყო აკადემიკოსების *ც. მირცხულავას*, *ო. ნათიშვილის* და პროფესორ *ე. თევზაძის* ხელმძღვანელობით [51, 64÷67].

სურათზე 2.1 ნაჩვენებია მდ. ღურუჯის კალაპოტში სამეცნიერო კვლევის ჩატარების მიმართულება და მარშ-რუტი, ხოლო სურ. 2.2-ზე – მდ. ღურუჯის წყალშემკრები აუზის საერთო ხედი კოსმოსიდან.

საველე-ექსპედიციური კვლევის შედეგად მიღებული სტატისტიკური რიგისა და სამეცნიერო ლიტერატურის [9, 16, 21÷23, 32, 49, 59, 62÷66, 71, 79] ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს შემდეგი სახის დასკვნები:

- ქ. ყვარლის მდ. ღურუჯის ღვარცოფებისაგან დამცავი მიწის დამბასა და მდინარის კალაპოტის ნიშნულებს შორის სხვაობა გამოტანის კონუსზე ქ. თელავსა და ქ. ყვარელს შორის შემაერთებელ მაგისტრალურ გზატკეცილზე აშენებული ხიდიდან 100÷150 მ მანძილის დაცილებით (მდინარის სათავის მიმართულებით) არ აღემატება 0,5 მ-ს;



სურ. 2.1. მდ. დურუჯის კალაპოტში სამეცნიერო კვლევის ჩატარების მიმართულება და მარშრუტი



სურ. 2.2. მდ. დურუჯის წყალშემკრები აუზის
საერთო ხედი კოსმოსიდან

- მდ. დურუჯის გამოტანის კონუსზე კალაპოტის გაწმენდის შედეგად ხელოვნურად გაკეთებული ე.წ. „ღვარცოფმიმღები საგუბარები“ მთლიანად შევსებულია ღვარცოფული მასით და შესაძლებელია ღვარცოფის მოვარდნისას მდინარის კალაპოტმა ვერ დაიტიოს ინერტული მასა და ნაკადი გადმოვიდეს კალაპოტიდან, რაც ქ. ყვარელს ნგრევისა და დატბორვის საშიშროებას შეუქმნის;
- მდ. დურუჯის კალაპოტში კრიტიკული წერტილი, სადაც შესაძლებელია ღვარცოფის კალაპოტიდან გადმოსვლა, რომელიც საფრთხეს შეუქმნის ქ. ყვარელის მოსახლეობას, დაფიქსირდა მდ. სამალის ხევისა და მდ. დურუჯის შეერთების ადგილში, სადაც ნაპირდამცავი კედლის სიმაღლე არ აღემატება 3÷4 მეტრს;
- მდ. დურუჯის კალაპოტში აშენებული ყველა ის ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, რომელიც წინააღმდეგობას უწევდა ღვარცოფებს და აკავებდა ღვარცოფული მასის გარკვეულ მოცულობას, მთლიანად მწყობრიდან არის გამოსული (სურ. 2.3);
- ვიდეოსა და ფოტომასალის დამუშავების შედეგად მიღებული სტატისტიკური რიგის ანალიზმა დაგვანახა, რომ მდ. დურუჯის კალაპოტში ბოლო ათწლეულებში მოვარდნილი ღვარცოფების მაქსიმალურმა სიმაღლემ ტრანზიტულ უბანზე 17÷20 მ-ს მიაღწია;



**სურ. 2.3. მდინარე დურუჯის კალაპოტში
მწვობრიდან გამოსული გამჭოლი ტიპის
ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა (2000 წ.)**

- ჩატარებულმა გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ მდ. დურუჯის გამოტანის კონუსის გრძივი პროფილის დახრის კუთხის მნიშვნელობა შესართავიდან (მდ. ალაზნიდან) მისი მარჯვენა შენაკადის - მდ. სამალის ხევაძე 2÷6 გრადუსის ფარგლებში იცვლებოდა, ხოლო სატრანზიტო უბნიდან სათავეძე კი 7÷22 გრადუსის საზღვრებში მერყეობს;
- მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერდობებზე შეიმჩნევა თიხა-ფიქლების აქტიური ეროზიულ-მეწყურული პროცესები, რომელიც კიდევ უფრო აძლიერებს კატასტროფული ღვარცოფის მოვარდნის საშიშროებას; უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ მდ. დურუჯის აუზში

მთის ფერდობების ორივე მხარეს შეიმჩნევა ხევების მძლავრი გამოტანის კონუსები, რომელთა სიმაღლე მდ. დურუჯის კალაპოტში დაფიქსირდა 2÷6 მ-ის ფარგლებში, ხოლო დახრის კუთხე კი 8÷35 გრადუსის ფარგლებში იცვლება;

- მდ. დურუჯის კალაპოტში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფულ პროცესებს დაემატა აგრეთვე თოვლის ზვავეების მოქმედებაც, რომელიც კიდევ უფრო აძლიერებს კატასტროფული ღვარცოფის ფორმირების საშიშროებას;
- მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში დაფიქსირებულ შავი კლდის ეროზიულ ღრანტეებს დაემატა აგრეთვე მისი მარჯვენა შენაკადის მდ. სავეფხო-გორის წყლისა და მდ. თეთრი დურუჯის წყალშემკრებ აუზებში მიმდინარე აქტიური ეროზიულ-მეწყრული პროცესები, რაც კიდევ უფრო ზრდის მყარი მასის მოცულობის მომატების საშიშროებას და კატასტროფული ღვარცოფის ფორმირებისათვის მხოლოდ შესაბამისი კლიმატური პირობები არის საჭირო. ამას ისიც ადასტურებს, რომ მდ. შავი დურუჯის კალაპოტში დაფიქსირებული იყო ქვის დიდი ლოდი (სურ. 2.4) რომლის წონამ 63,1 ტონა შეადგინა და 2 თვის განმავლობაში შავი დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული წყალმოვარდნებმა და საშუალო სიმძლავრის ღვარცოფებმა ის 200 მეტრის მანძილით ქვემოთ ჩამოიტანა. ჩატარებულმა გამოკვლევამ დაადასტურა, რომ აღნიშნული ქვის ლოდი ეკუთვნის მდ. სავეფხო-გორის წყლის (მდ. დურუჯის მარჯვენა შენაკადი) წყალშემკრებ აუზს;



**სურ. 2.4. ქვის 63,1 ტონის ლოდი მდ. დურუჯის კალაპოტში
(ფოტო ავტორისა)**



**სურ. 2.5. შავი კლდის ეროზირებული ფერდობები
(ფოტო ავტორისა)**

- მდ. შავი დურუჯის სათავეებში შავი კლდის მიდამოში (სურ. 2.5) შეიმჩნევა მთის ფერდობებზე აქტიური ეროზიული პროცესები, ხოლო თვით კალაპოტში დაგროვილია დიდძალი მოცულობის ინერტული მასალა, რომელიც ღვარცოფის ფორმირების ერთ-ერთ ძირითად კომპონენტად ითვლება.

2.1. მდინარე დურუჯის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე ეროზიული პროცესების პროგნოზირება

მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში ჩამდინარე აქტიური ეროზიულ-ღვარცოფული ხასიათის ხევეების ეროზიული ღრანტეების პროგნოზირების მიზნით მთის ფერდობებზე ნიადაგის დანაკარგები განისაზღვრა მსოფლიოში ცნობილი და აპრობირებული უნივერსალური განტოლების გამოყენებით (*ვიშმეიერის, სმიტის* განტოლება).

საანგარიშო განტოლებას აქვს შემდეგი სახე [106]:

$$A = R \times K \times S \times L \times C \times P \text{ (ტ/ჰა წელიწადში)}, \quad (2.1)$$

სადაც, A ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგია (ტ/ჰა წელიწადში); R – ატმოსფერული ნალექების ეროზიული ფაქტორი (მმ), რომელიც იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$R = 0,4 P \times EI_{30} \text{ (მმ)}, \quad (2.2)$$

სადაც P შტორმის წვიმების ჯამია (მმ), E – ეროზიული წვიმის ერთეულის კინეტიკური ენერგია, რომელიც ტოლია:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I_{30}, \quad (2.3)$$

სადაც I_{30} არის 30-წუთიანი წვიმიანობის მაქსიმალური ინტენსივობა (მმ/წთ); K – გრუნტის ეროზიულობის ფაქტორი, რომელიც იანგარიშება გრუნტის საშუალო დიამეტრის გამოყენებით:

$$K = 0,0034 + 0,0397 \exp \left[\frac{-0,5(\log D_g + 1,533)^2}{0,7671} \right], \quad (2.4)$$

სადაც D_g არის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი, რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$D_g = \exp \left(0,01 \sum_{i=1}^n f_i \log m_i \right), \quad (2.5)$$

სადაც f_i ნაწილაკის ზომის ფრაქციის პროცენტული წონა; m_i – ნაწილაკის ფრაქციის ზომა.

S ფერდის დახრილობის ფაქტორია, რომელიც იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2, \quad (2.6)$$

სადაც s ფერდის დახრილობაა პროცენტებში (%).

L – ფერდის სიგრძის ფაქტორი, რომელიც იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$L = (l/22,13)^{0,5} \quad (მ), \quad (2.7)$$

სადაც l არის ფერდის სიგრძე (მ).

C – მცენარეული საფარის გავლენა, რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$C = e^{-0,06v}, \quad (2.8)$$

სადაც ν არის მცენარეული საფარის პროცენტული ფუნქცია; C -ს მნიშვნელობა შეიძლება ავიღოთ $C = 1,0$ გამიშვლებული ნიადაგის უბანზე, $C = 1,2$ მანქანით ძლიერ დატკეპნილი და გამკვრივებული უბნისათვის.

P – დამცავი ფაქტორი. $P = 0,5$ – წყალამრიდი ზეინულების შემთხვევაში, ხოლო $P = 1,0$ – იქ, სადაც არანაირი დაცვის ზომა გამოყენებული არ არის.

ზემოთ აღნიშნული მეთოდოლოგიის გამოყენებით, მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში 8 სენსიტიური ობიექტისათვის მთის ფერდობების ეროზიული პროცესების პროგნოზი შეფასდა ინგლისელი მეცნიერის, პროფ. რ.მორგანის [106] ეროზიული შკალის მიხედვით, რომლის რაოდენობრივი მაჩვენებლებიც მოცემულია 2.1 ცხრილში.

ცხრილი 2.1

ეროზიის კლასის განსაზღვრა

ეროზიის კლასი	შეფასება	ეროზიის ინტენს. (ტ/ჰა /წელი)	ვიზუალური შეფასების კრიტერიუმი
1	2	3	4
1	ძალიან უმნიშვნელო	< 2	ნიადაგის გამკვრივება და ქერქის წარმოშობა არ ფიქსირდება. არ შეინიშნება გადარეცხვის ნიშნები. არ გვხვდება წყლისმიერი ეროზიის ნიშნები, გამიშვლებულ ფესვთა სისტემა და არხები.

1	2	3	4
2	უმნიშვნელო	2÷5	ქერქის წარმოშობა ერთეულ ადგილებში. ცალკეულ ადგილებში ზედაპირის ლოკალიზებული რეცხვა გრუნტის გამორეცხვის გარეშე ან უმნიშვნელო გამორეცხვით. ღარები ყოველ 50-100 მ-ში. მცირე წყლისმიერი ეროზია. ფსკერის გამორეცხვა იმ ადგილებში, სადაც ქვები ან გაშიშვლებული ფესვები იცავს მის ქვეშ მდებარე ნიადაგის ფენას.
3	საშუალო	5÷10	ჩამორეცხვის ნიშნები. წყვეტილი ღარები ყოველ 20-50 მ-ში. წყლისმიერი ეროზიით გამორეცხილია ფსკერი და გაშიშვლებულია ფესვები, რომელზეც შესამჩნევია ნიადაგის ზედაპირის დონის ანაბეჭდი.
4	მაღალი	10÷50	შეერთებული და მუდმივი ღარული ჩამონადენების ქსელი ყოველ 5÷10 მ-ში ან ხრამების წარმოშობა ყოველ 50÷100 მ-ში. თესლებისა და ახალგაზრდა მცენარეების გადარეცხვა. ხელმეორედ თესვის შესაძლო საჭიროება. დაბინძურებისა და სედიმენტაციის პრობლემები ფერდობის ქვედა წელზე.

1	2	3	4
5	ძლიერი	50÷100	ღარების მუდმივი ქსელი ყოველ 2÷5 მ-ში ან ხრამები ყოველ 20 მ-ში. ობიექტთან მისვლა გართულებულია. აღდგენილი მცენარეული საფარი სუსტია და საჭიროებს ხელახალი აღდგენითი ზომების მიღებას. ეროზიისა და სელიმენტაციის მიერ გზების დაზიანება.
6	ძალიან ძლიერი	100÷500	ღარების ხშირი ქსელი, ხრამები ყოველ 5÷10 მ-ში. მათ ირგვლივ არსებული ნიადაგის ძლიერი გაქერქება. ძლიერი დაშლამვა, დაბინძურება და ევტროფიკაციის შესაძლო პრობლემა.
7	კატასტროფული	>500	ღარებისა და ხრამების ინტენსიური ქსელი; დიდი ხრამები (>10 000 მ ²) ყოველ 20 მ-ში. გადარეცხილია ზედაპირის უმეტესი ნაწილი. ეროზიის და სელიმენტაციის მიერ გამოწვეულია ძლიერი დაზიანება როგორც ფერდობზე, ასევე ფერდობს მიღმა.

საველე კვლევების მიზანს წარმოადგენდა მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში ეროზიულად სენსიტიური უბნების დაფიქსირება, მისი გეომეტრიული ზომების დადგენა შესაბამისი სკეჩების მომზადებით.

სკეჩებზე დატანილ იქნა რელიეფის ოროგრაფია შესაბამისი ნაღვარეკებისა და დახრამული ნაწილების

დატანით. ასევე დაფიქსირდა ეროზირებული ფერდობის ქანობი (დახრის კუთხე), მცენარეული საფარის პროცენტული შემცველობა. მცენარეული საფარის ინტენსივობის დადგენის მიზნით საჭირო გახდა ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური ანალიზის განხორციელება, რისთვისაც მდინარე დურუჯის თითოეულ შენაკადზე – სენსიტიურ 8 უბანზე აღებულ იქნა ნიადაგის 10 ნიმუში 1,5 კგ-მდე წონის (სულ 80 ნიმუში), ხოლო ეროზირებული ხევის მთის ფერდობების ზედაპირზე ეროზიული პროცესების შეფასების მიზნით გეოლოგიური ანალიზის ჩასატარებლად აღებულ იქნა გრუნტის ნიმუშები, თითოეულის წონა – 3 კგ-მდე (ასევე 80 ნიმუში). გრუნტის ნიმუშების საერთო რაოდენობამ ჯამში შეადგინა 160 ნიმუში.

უნივერსალური განტოლების (*ეიშმეიერის, სმიტის* განტოლება) პარალელურად მდინარე დურუჯის წყალშემკრებ აუზში ჩამდინარე აქტიური ეროზიულ-ღვარცოფული ხასიათის ხევების ეროზიული ღრანტეების შესაფასებლად გამოყენებულ იქნა სავსე კვლევებისა და აეროკოსმოსური გადაღებები. ფოტოების დემიფირირების საფუძველზე მონოგრაფიის ავტორის მიერ მიღებულ იქნა დამოკიდებულება, რომლითაც დადგინდა მთის ფერდობის ეროზიის კოეფიციენტის (E) მნიშვნელობა.

ემპირიულ დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე [18]:

$$E = [0,58 + 1,40(F_1 / F_0)] \cdot (t/T)^{0,21}, \quad (2.9)$$

სადაც: F_1 არის მდინარის წყალშემკრებ აუზში ეროზირებული ფართობი (კმ^2), F_0 – მდინარის მთლიანი წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ^2), t – საკვლევი დროის ინტერვალი (წელი), T – მთლიანი დაკვირვების პერიოდი (ჩვენს შემთხვევაში $T=35$ წელს).

(2.9) დამოკიდებულების პრაქტიკაში გამოყენების ზღვრებია:

$$0,061 \leq (F_1 / F_0) \leq 0,24; \quad 0,1 \leq (t / T) \leq 1,0. \quad (2.10)$$

(2.9) დამოკიდებულებით გაანგარიშებული იყო მდ. დურუჯის წყალშემკრები აუზის მთის ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები, შესაბამისი დაზიანების ხარისხის მხედველობაში მიღებით, რომელთა რიცხობრივი მაჩვენებლებიც მოცემულია ცხრილში 2.2.

მდინარე დურუჯის სათავეებში ე.წ. „შავ კლდეზე“ ზოგ ადგილებში დაფიქსირებული იყო ღარებისა და ხრამების ინტენსიური ქსელი სიხშირით 15-20 მ, რომელიც ცნობილი ინგლისელი პროფესორის *რ. მორგანის* [22] კლასიფიკაციით შეესაბამება ეროზიის მე-7 კლასს, სადაც ეროზიის ინტენსიურობა მეტია 500 ტ/ჰა წელიწადში.

რაც შეეხება 2.2 ცხრილში დამყარებულ კავშირს მთის ფერდობის ეროზიის კლასსა და ეროზიის კოეფიციენტს შორის, იგი შეფასებულია პროფესორ *რ. მორგანის* შკალის მიხედვით [22].

ცხრილი 2.2

მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერდობის
ეროზიის კოეფიციენტისა და ეროზიის კლასის
მნიშვნელობები.

№	მდინარის დასახელება	ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები წლების მიხედვით				ეროზიის კლასი (2017 წ.)	ეროზიის ინტენსივობა წელიწადში (ტ / ჰა)
		2017	2030	2040	2050		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ნახეჩის ხევი	0,195	0,199	0,201	0,207	მეორე	2-5
2	სამალის ხევი	0,072	0,082	0,134	0,171	მეორე	2-5
3	სალესაგის ხევი	0,68	0,77	0,82	0,95	მესამე	5-10
4	უთხოვარის ხევი	0,98	1,07	1,23	1,29	მეოთხე	10-50
5	მშრალი გორის ხევი	1,00	1,17	1,21	1,30	მეოთხე	10-50
6	სავეფხო გორის წყალი	1,11	1,19	1,20	1,25	მეოთხე	10-50
7	წიფელ- გორის წყალი	1,21	1,32	1,44	1,67	მეხუთე	50-100
8	დურუჯის სათავეები (შავი კლდე)	1,38	1,45	1,95	2,01	მეექვსე	100-500

მდ. დურუჯის კალაპოტის მდგრადობის შესაფასებლად გაზომილ იქნა კალაპოტის ცოცხალი კვეთისა (b) და ნოღა კალაპოტის სიგანეები (B); წყლის ნაკადის სიღრმეები (h), მდინარის კალაპოტის დახრის კუთხეები (α) და ნაკადის სიჩქარეები (V), რის შემდეგაც გაანგარიშებული იყო წყლის ნაკადის ხარჯები (Q); სტატისტიკური დაკვირვებების რიცხვმა 450 წერტილი შეადგინა.

ემპირიულ გამოსახულებებს აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned} (h/b) &= 0,3 \cdot (\alpha)^{-0,62}, \\ (b/B) &= 0,001(\alpha)^{2,11}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

(2.11) დამოკიდებულებების გამოყენების ზღვრებია:

$$\begin{cases} 0,01 \leq (h/b) \leq 0,185; & 4^\circ \leq \alpha \leq 25^\circ \\ 0,01 \leq (b/B) \leq 0,75; & 2^\circ \leq \alpha \leq 22^\circ \end{cases} ; \quad (2.12)$$

მიღებული (2.12) დამოკიდებულებების პრაქტიკაში გამოყენების საიმედოობის დასადგენად გაანგარიშებული სიდიდეები შედარებულ იქნა ბუნებაში გაზომილ მონაცემებთან, ცდომილება მათ შორის 0,95% უზრუნველყოფის ალბათობით იცვლება 5-20%-ის საზღვრებში, რაც პრაქტიკაში ჰიდროლოგიური ანგარიშისათვის დამაკმაყოფილებელ სიდიდედ ითვლება.

მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში დაგროვილი ღვარცოფული მასის მოცულობის პროგნოზირებისათვის მდინარის ნოღა კალაპოტში გაზომილი იყო მთის ფერდობებიდან დენუდირებული მასის ძირითადი მახასიათებლები, როგორც არის: გამოტანის კონუსის გეომეტრიული

ზომები, ხევის გამოტანის კონუსზე მყარი ფრაქციების ზედაპირის დახრისა და შიგა ხახუნის კუთხეები, ფრაქციების საშუალო დიამეტრები და ა.შ.

სურათზე 2.6 ნაჩვენებია შავი ღურუჯის სათავეების ეროზირებული ღრანტების საერთო ხედი შავი კლდიდან 700 მეტრის დაშორებით, ხოლო 2.7 სურათზე კი მდ. თეთრი ღურუჯის სათავეებში ფოხალოს მთაზე ზღვის დონიდან 2800 მ-ზე ორიარუსიანი ეროზირებული მთის ფერდობი.

მდ. ღურუჯის გამოტანის კონუსიდან აღებული მყარი შემადგენლის ნიმუშების გრანულომეტრიული ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია 2.3 ცხრილში [18, 51].

ცხრილი 2.3

მდ. ღურუჯის გამოტანის კონუსზე აღებული ღვარცოფული მასის მექანიკური შემადგენლობა

№	ფრაქციის ზომები (მმ)	წონა (კგ)	პროცენტული შემცველობა (%)
1	2	3	4
1	ქვები >30	116,0	42,0
2	ღორღი 30-10	48,9	17,7
3	ხრეში და მსხვილი სილა (10-1)	43,4	15,7
4	წვრილმარცვლოვანი ფრაქცია:	68,0	24,6
	(1-0,05)		8,4
	(0,05-0,005)		8,8
	(0,005-0,001)		4,0
	< 0,001		3,4



**სურ. 2.6. შავი კლდის ეროზირებული ფერდობები,
2001 წლის 21 ივნისი (ავტორის ფოტო)**



**სურ. 2.7. ფოხალის მთის ორ იარუსიანი ეროზირებული
ფერდობი, 2001 წლის 21 ივნისი (ავტორის ფოტო)**

ხოლო ღვარცოფული მასის წარმოებაში გამოყენების თვალსაზრისით ჩატარდა კოლოიდური მასის ქიმიური ანალიზი [18], რომლის შედეგებიც მოყვანილია ცხრილში 2.4 (ქიმიური ელემენტების რაოდენობა მოცემულია %-ში).

ცხრილი 2.4

მდ. ღურუჯის კოლოიდური მასის ქიმიური ანალიზი %-ში

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	NaO	K ₂ O
49,5	27,0	12,02	0,29	0,90	2,90	0,80	1,08	5,60

რაც შეეხება მდ. შავი ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერდობებიდან დენუდირებული მასის მოცულობას, 2001 წლის ივნის-ივლისის მონაცემებით შეადგინა 300 000 მ³-მდე, რაც ამ კალაპოტის პირობებისათვის საშუალო მაჩვენებლად ითვლება.

ამრიგად, მდ. თეთრი და შავი ღურუჯის წყალშემკრებ აუზებში 2001–2017 წლებში ჩატარებულმა საველე-ექსპედიციურმა კვლევებმა დაგვანახა, რომ მთის ფერდობების ეროზიული პროცესების მდგომარეობა კრიტიკულია და ზოგ ადგილებში შეესაბამება ეროზიის მე-6 კლასს.

თაში III.

საიამლოობისა და რისკის თეორიის გამოყენებით მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში მროზიული პროცესების პრობნოზი

მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში ჩვენ მიერ დაფიქსირებულ იქნა აქტიური ეროზიული ტიპის 7 შენაკადი – ნახეჩის ხევი, სამალის ხევი, სალესავის ხევი, უთხოვარის ხევი, მშრალი გორის ხევი, სავეფხო გორის წყალი და წიფელ-გორის წყალი, სადაც მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში მთის ფერდობებზე დაფიქსირდა ნალვარევეები და ხრამები, ხოლო მთის ფერდობის დახრის კუთხეები იცვლებოდა $\alpha = 5 \div 45^\circ$ -ის ფარგლებში.

მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში წვიმის ინტენსივობის შედეგად მთის ფერდობებზე წარმოშობილი ზედაპირული წყლის ნაკადით ფორმირებული ნალვარევეების სიღრმისა (H) და სიგანის (B) თანაფარდობა იცვლებოდა $(H/B) = 0,20 \dots 2,55$ საზღვრებში.

მთის ფერდობებზე განხორციელებულმა საველე კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ხრამებთან მიმდებარე ფერდობის მონაკვეთები ხასიათდება წარეცხვებითა და ნალვარევეებით, ხოლო ზოგიერთ ფერდობზე აღინიშნება ნალვარევეების ხშირი ქსელი. მთის ფერდობებზე ეკოლოგიური წონასწორობის ხარისხის გამოსაკვლევად აუცილებელი იყო ნალვარევეების დინამიკის შესწავლა მათი გეომეტრიული ზომების გათვალისწინებით. ნალვარევეების სიღრმის დასადგენად საჭირო იყო ეროზიული პროცესების მკვებავი

ზედაპირული ჩამონადენების დადგენა.

ამ პროცესების განვითარების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია (მცენარეულ საფართან ერთად) ნალექების ინტენსივობა, რომლებითაც ფორმირდება ზედაპირული ნაკადები კოკისპირული წვიმებისა და თოვლის საფარის ინტენსიური დნობის შედეგად.

ზემოთ აღნიშნული მიზნის მისაღწევად გამოყენებული იყო მეტეოსადგურების მონაცემები, სახელდობრ წვიმის ინტენსივობა (σ_0) 10%-იანი უზრუნველყოფისას.

ჩატარებულ სავსელე სამუშაოებზე დაყრდნობით გაანგარიშებულია სტატისტიკური მონაცემები და მიღებულია დამოკიდებულება, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ვიანგარიშოთ ნალვარევის სიღრმე (H), რომლებიც წარმოიშობა ზედაპირული წყლის ნაკადის ზემოქმედებით ნიადაგის ზედაპირზე:

$$H = \left(\frac{\sigma_0 - 3,8}{1,04} \right)^{0,35} \cdot \alpha^{1,33}, \quad (3.1)$$

სადაც $\sigma_0 > 3,8$ მმ/წთ; $\alpha = 5^\circ \dots 45^\circ$.

განვსაზღვრავთ რა ნალვარევის სიღრმეს (H), აუცილებელია ვიცოდეთ მისი სიგანეც (B), რომლის გამოყენებით შემდგომ ეტაპზე გამოითვლება ნიადაგის ეროზირებული მასალის ის მოცულობა, რომელიც ტრანსპორტირდება ზედაპირული წყლის ნაკადით.

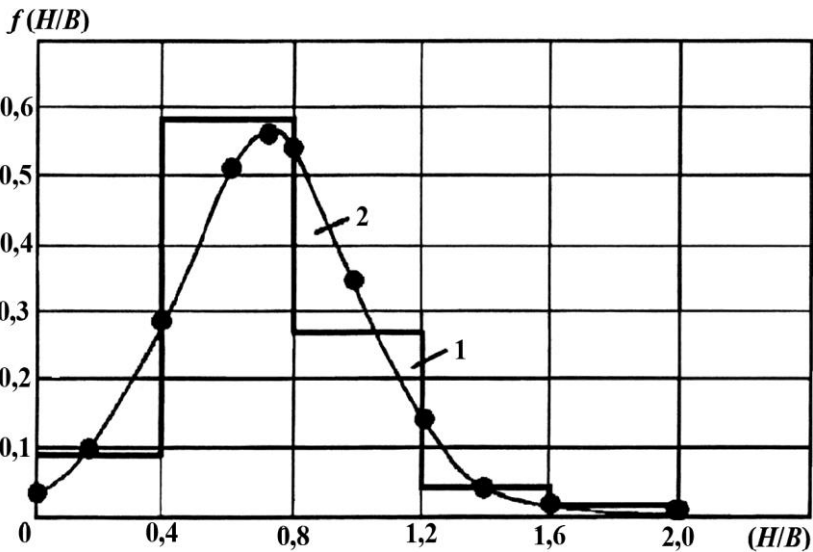
კვლევებმა საშუალება მოგვცა დავადგინოთ ნალვარევის სიგანე (B), რომლის გამოსახულებასაც აქვს შემდეგი სახე:

$$B = \frac{9,31 \cdot H^{0,94}}{\alpha^{0,6}}, \quad (3.2)$$

სადაც $2^\circ \leq \alpha \leq 42^\circ$, $H > 2$ სმ.

მთის ფერდობზე ნალვარევეების წარმოშობის შემთხვევაში მისი სიღრმისა და სიგანის ფარდობითი სიდიდის (H/B) ფუნქციის განაწილების გრაფიკი ნაჩვენებია 3.1 ნახაზზე, ხოლო (H/B) ფუნქციის თეორიული განაწილების მრუდს აქვს შესაბამისი სახე [61÷65]:

$$f(H/B) = 0,564 \cdot \exp\{-6,2[(H/B) - 0,724]^2\}. \quad (3.3)$$



ნახ. 3.1. ნალვარევეების ფარდობითი სიღრმის (H/B)
ჰისტოგრამისა (1) და შესაბამისი თეორიული
განაწილების მრუდის (2) გრაფიკი

მდინარე ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერდობზე ეკოლოგიური სიტუაციის მდგომარეობის აღბათობა წყლისმიერი ეროზიის შემდგომ ნაღვარევეების წარმოშობისას შეადგენს:

$$P_1(H/B) = \int_0^{2,0} 0,564 \cdot \exp\{-6,2[(H/B) - 0,724]^2\} d(H/B) = 0,421. \quad (3.4)$$

ხოლო მთის ფერდობების ეკოლოგიური უსაფრთხოების რისკი ეროზიულ მონაკვეთებში ნაღვარევეების წარმოქმნისას ტოლია:

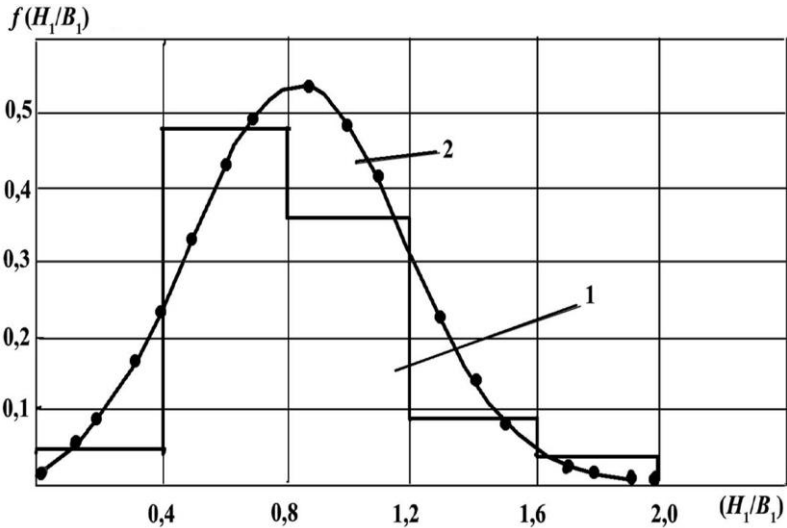
$$R_1(H/B) = 1 - P_1(H/B) = 1 - 0,421 = 0,579. \quad (3.5)$$

ამრიგად, მთის ფერდობის ეკოლოგიური უსაფრთხოების რისკი წყლისმიერი ეროზიის დროს ნაღვარევეების წარმოშობისას საკმაოდ მაღალია და შეადგენს $R_1(H/B) = 0,579$, რაც მიუთითებს ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების განხორციელების აუცილებლობაზე.

ახლა განვიხილოთ მთის ფერდობის ეკოლოგიური წონასწორობა მის ზედაპირზე ხრამების წარმოშობის შემთხვევაში.

სტატისტიკური მასალის დამუშავებით ხრამების წარმოშობის შემთხვევაში მივიღეთ მისი სიღრმისა და სიგანის ფარდობითი სიდიდის (H_1/B_1) ფუნქციის განაწილების გრაფიკი (ნაჩვენებია 3.2 ნახაზზე), ხოლო მისი სიმკვრივის ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$f(H_1/B_1) = 0,554 \cdot \exp\{-4,249[(H_1/B_1) - 0,847]^2\}. \quad (3.6)$$



ნახ. 3.2. ჰისტოგრამა (1) და ხევის გეომეტრიული ზომების ფარდობითი სიდიდეების (H_1/B_1) თეორიული განაწილების მრუდი (2)

მთის ფერდობებზე ხევის წარმოქმნისას ფერდობის საიმედოობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$P_2(H_1/B_1) = \int_0^{2.0} 0.544 \cdot \exp\{-4.249[(H_1/B_1) - 0.847]^2\} d(H_1/B_1) = 0.414, \quad (3.7)$$

ხოლო მთის ფერდობზე ხევის წარმოქმნისას ეკოლოგიური უსაფრთხოების რისკი ტოლია:

$$R_2(H_1/B_1) = 1 - P_2(H_1/B_1) = 1 - 0.414 = 0.586. \quad (3.8)$$

თუ ჩავატარებთ ანალიზს და შევაფასებთ მთის ფერდობების ეკოლოგიური უსაფრთხოების რისკს ხეებისა და ნაღვარეგების წარმოქმნისას, მივიღებთ, რომ

$R_2(H_1/B_1) > R_1(H_1/B_1)$, ანუ $0,586 > 0,579$, რაც შეესაბამება ბუნებრივ მდგომარეობას და მდინარე დურუჯის წყალშემკრებ აუზში შენაკადების ფერდობებზე ეროზიული პროცესების გააქტიურებას.

მდინარე დურუჯის წყალშემკრებ აუზში, მთის ფერდობებზე განვითარებული წყლისმიერი ეროზიისას, მიმდინარეობს ნალვარევეებისა და ხეების გააქტიურების არა ცალ-ცალკე გაძლიერება, არამედ თანმხვედრი წარმოშობა, ე.წ. ერთობლივი უარყოფითი მუშაობა. ასეთ შემთხვევაში, მთის ფერდობზე განთავსებული მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის სრული საიმედოობა ხეებისა და ნალვარევეების ერთობლივი მოქმედებისას ტოლია:

$$P_0 = P_1(H/B) \cdot P_2(H_1/B_1) = 0,421 \cdot 0,414 = 0,174, \quad (3.9)$$

ხოლო მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის ეკოლოგიური უსაფრთხოების რისკი მთის ფერდობებზე ხეებისა და ნალვარევეების წარმოქმნისას ტოლია:

$$R_0 = 1 - P_0 = 1 - 0,174 = 0,826. \quad (3.10)$$

მიღებული შედეგი $R_0 = 0,826$ გვიჩვენებს მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის ეკოლოგიური უსაფრთხოების რისკის მაღალ მნიშვნელობას, რაც მიუთითებს დურუჯის აუზში ეროზიული პროცესების კონტროლისათვის შესაბამისი ეროზიის საწინააღმდეგო ინოვაციური ღონისძიებების განხორციელების სასწრაფო აუცილებლობაზე.

თავი IV.

მდინარე ღურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების დადგენა

მდინარე ღურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების დადგენის მიზნით გამოყენებული იყო სამეცნიერო ლიტერატურა [9÷18, 21÷24, 32, 42÷51, 57÷69, 73, 74, 77÷79, 80÷99, 100÷123], აგრეთვე ავტორის მიერ დამუშავებული და აღდგენილი სტატისტიკური რიგი, რისთვისაც გამოყენებულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ობსერვატორიის მონაცემები.

მდინარე ღურუჯის კალაპოტში სხვადასხვა დროს (1899–1999 წწ.) გავლილი ღვარცოფების ხარჯის ფარდობითი სიდიდის ჯამური მნიშვნელობა ტოლია

$$\sum_{i=1}^{46} Q_i / Q_{\max} = 7,856(\text{მ}^3), \text{ ხოლო საველე დაკვირვებების}$$

სტატისტიკურმა რიცხვმა კი შეადგინა $N = 46$ წერტილი.

ღვარცოფის ხარჯის ფარდობითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა (\bar{Q}_i / Q_{\max}) ტოლია:

$$(\bar{Q}_i / Q_{\max}) = \frac{\sum_{i=1}^{46} Q_i / Q_{\max}}{N} = \frac{7,856}{46} = 0,187; \quad (4.1)$$

ღვარცოფის ხარჯის ვარიაციის კოეფიციენტი კი ტოლია [18, 22, 67]:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(Q_i / Q_{\max}) - 1]^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{57,34}{45}} = 1,128; \quad (4.2)$$

ასიმეტრიის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$C_s = 2 \cdot C_v = 2 \cdot 1,128 = 2,256; \quad (4.3)$$

მიღებული სიდიდეების გამოყენებით გაანგარიშებულია მდინარე ღურუჯის ღვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის ხარჯები, რომელთა მნიშვნელობებიც მოყვანილია ცხრილში (ცხრ. 4.1)

ცხრილი 4.1

მდ. ღურუჯის სხვადასხვა უზრუნველყოფის ხარჯები

განმეორება- ლობა წელი- წადში (<i>n</i>)	1000	100	33	20	10	4
უზრუნველყოფა, <i>P</i> (%)	0,1	1	3	5	10	25
საველე მონაცემები	3094,89	1967,62	1421,06	1216,09	891,57	491,90
(4.4) დამოკი- დებულებით	4267,55	1778,14	1244,69	1066,88	889,07	533,44
ცდომილება, <i>P</i> (%)	27,5	9,6	12,4	12,3	2,8	7,8

საველე ექსპედიციური მონაცემების შესაფასებლად,

რაც შემდგომ ეტაპზე მდინარე დურუჯის ღვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირების საშუალებას იძლევა, გამოყენებულ იყო ემპირიული დამოკიდებულება [18,22], რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$Q_{\max} = A \cdot (34 + 400 \cdot i) \cdot F^{0,61} (\text{მ}^3/\text{წმ}), \quad (4.4)$$

სადაც: A – კოეფიციენტი, რომლის კავშირი ხარჯის უზრუნველყოფის კოეფიციენტთან მოცემულია ცხრილში 4.2; i – მდინარე დურუჯის საშუალო ქანობი, რომელიც ტოლია $i = 0,222$; F – მდინარე დურუჯის წყალშემკრები აუზის ფართობი – $F = 80,0$ (კმ²);

ცხრილი 4.2

A კოეფიციენტსა და ხარჯის უზრუნველყოფას P (%) შორის კავშირი

უზრუნველყოფა, P (%)	0,1	1	3	5	10	25
A კოეფიციენტი	2,4	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3

ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯის საშუალო კვადრატული გადახრა იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით [67]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{46} [(Q_i / Q_{\max})_j - (Q_i / Q_{\max})]^2}{N}} = \sqrt{\frac{1,6873}{46}} = 0,1915 (\text{მ}^3/\text{წმ}). \quad (4.5)$$

მათემატიკური ლოდინი გამოითვლება შემდეგი

ფორმულით [22, 67]:

$$m_* = \sum_{i=1}^{46} f(Q_i / Q_{\max}) \cdot (Q_i / Q_{\max}) = 0,891 \cdot 0,125 + 0,044 \cdot 0,375 + 0,022 \cdot 0,625 + 0,044 \cdot 0,875 = 0,1801; \quad (4.6)$$

ჰისტოგრამის ასაგებად საჭირო მონაცემები კი მოცემულია 4.3 ცხრილში.

ცხრილი 4.3

ღვარცოფის ხარჯის ფარდობითი მნიშვნელობები შესაბამის ინტერვალებში

ღვარცოფის ხარჯის ინტერვალები (Q_i / Q_{\max})	0 ÷ 0,25	0,25 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,75	0,75 ÷ 1,00
სიხშირე, m_i	41	2	1	2
$f(Q_i / Q_{\max})$	0,891	0,044	0,022	0,044

მდინარე ღურუჯის მაქსიმალური ხარჯების ფარდობითი მნიშვნელობების ჰისტოგრამა და შესაბამისი თეორიული განაწილების მრუდი ნაჩვენებია 4.1 ნახაზზე.

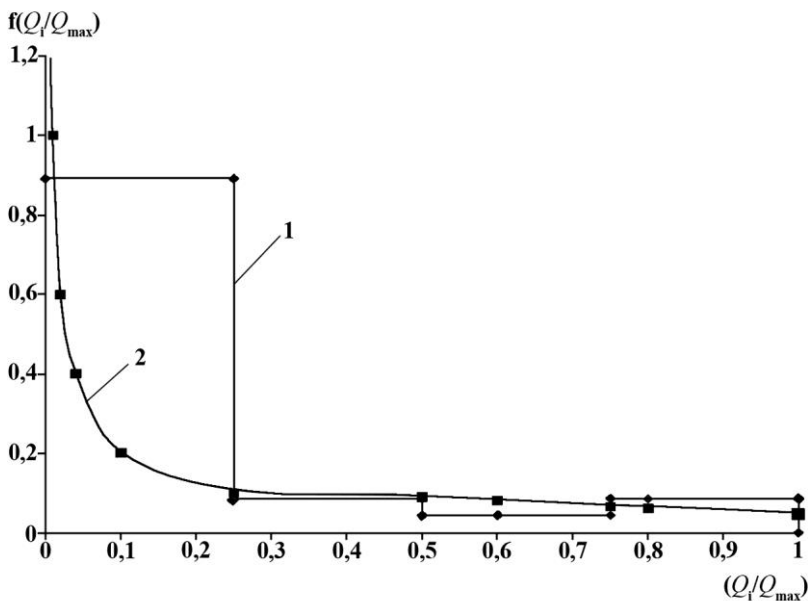
4.1 ნახაზზე გამოსახულ მრუდს შეესაბამება ვეიბულის განაწილება [18, 67], რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$f(Q_i / Q_{\max}) = 0,035 \cdot (Q_i / Q_{\max})^{-0,82} \times \exp[-0,192 \cdot (Q_i / Q_{\max})^{0,18}]. \quad (4.7)$$

თუ გავიანგარიშებთ მდინარე ღურუჯის მაქსიმალურ

ხარჯებს ვეიბულის გამოსახულებით, მაშინ (4.7) დამოკიდებულებით მიღებული სიდიდეების საიმედოობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$P(Q_i / Q_{\max}) = \int_0^1 0,035(Q_i / Q_{\max})^{-0,82} \times \exp[-0,192 \cdot (Q_i / Q_{\max})^{0,18}] \times d(Q_i / Q_{\max}). \quad (4.8)$$



ნახ. 4.1. ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯის პისტოგრამა (1) და შესაბამისი თეორიული განაწილების მრუდი (2)

(4.8) განტოლების ამოხსნის შემდეგ მივიღებთ

$P(Q_i / Q_{\max}) = 0,549$, ხოლო წარმოდგენილი ანგარიშის რისკი კი ტოლია:

$$R = 1 - P(Q_i / Q_{\max}) = 1 - 0,549 = 0,461. \quad (4.9)$$

თუ ჩავატარებთ ანალიზს, დავინახავთ, რომ მდინარე დურუჯის მაქსიმალური ხარჯის პროგნოზირებისათვის (4.4) დამოკიდებულებით გაანგარიშებული სიდიდეები უფრო საიმედოა და ახლოსაა ბუნებაში გავლილი ღვარცოფების ხარჯის მონაცემებთან, ვიდრე *კეიბულის* ფორმულით გაანგარიშებულ მაჩვენებლებთან (ცხრ. 4.1).

მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა აგრეთვე აკადემიკოს *ცოტნე მირცხულავას* მიერ დამუშავებულ მეთოდოლოგიასთან [52], რომელმაც პირველად მათემატიკური მოდელირებით, კერძოდ ალბათობის თეორიის გამოყენებით, დადგინდა ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯების ცვლილების ხასიათი. თანხვედრა მათ შორის დამაკმაყოფილებელია.

თავი V.

მდინარე ღურუჯის კალაპოტში ნაკადით ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის პროგნოზირება

მდინარე ღურუჯის კალაპოტში ღვარცოფის მიერ გამოტანილი ღვარცოფული მასის პროგნოზირების მიზნით გამოყენებული იყო, როგორც 2001-2016 წლებში ზაფხულის პერიოდში ჩატარებული საველე-საექსპედიციო კვლევის შედეგები, აგრეთვე განვლილ პერიოდში გამოქვეყნებული სამეცნიერო ლიტერატურა [18, 22, 23, 32, 44÷46, 51, 59, 64, 65, 67÷69, 73, 77÷79].

მდინარე ღურუჯის კალაპოტში გავლილი ღვარცოფების სტატისტიკური რიგი, ავტორის მიერ გადამუშავებული და, ზოგიერთ შემთხვევაში, აღდგენილიც კი, მოცემულია სამეცნიერო ნაშრომებში [18, 65]. ზემოთ აღნიშნული სტატისტიკური რიგის (40 წერტილი) დამუშავებით მიღებულია ემპირიული დამოკიდებულება, რომლითაც იანგარიშება მდინარე ღურუჯის კალაპოტში ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის მოცულობა (W).

მათემატიკურ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$W = 0,138 \cdot T^{1,52} \cdot Q_{\max}^{0,73} \cdot (\text{მ}^3), \quad (5.1)$$

სადაც, T არის მდინარის კალაპოტში ღვარცოფის მოძრაობის დრო (წმ); Q_{\max} – ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯი ($\text{მ}^3/\text{წმ}$).

(5.1) დამოკიდებულების გამოყენების ზღვრებია:

$$180 \leq T \leq 2160 \text{ (წმ)};$$

$$100 \leq Q_{\max} \leq 2000 \text{ (მ}^3/\text{წმ)}.$$
(5.2)

(5.1) დამოკიდებულებით გაანგარიშებულია მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის მოცულობები (W), რომელთა მაჩვენებლებიც შედარებულია ბუნებაში გავლილ მონაცემებთან; მათი თანხვედრის პროცენტული მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 5.1.

ცხრილი 5.1

მდინარე დურუჯის ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის თანხვედრის მაჩვენებლები

№	ღვარცოფის გავლის წელი	ღვარცოფის ხარჯი, Q_{\max} (მ ³ /წმ)	ღვარცოფის გავლის ხანგრძლივობა, T (წმ)	ღვარცოფის მოცულობა, W (მ ³)		ცდომილება %-ებში
				საველე მონაცემები	(5.1) ფორმულით	
1	2	3	4	5	6	7
1	1899	434,8	1380	600024	689361	12,9
2	1906	2000,0	900	1 800000	1096675	39,6
3	1947	1666,6	960	1 599936	1058926	33,8
4	1949	370,4	1620	600048	782448	23,3
5	1956	253,2	900	227880	242579	6,1
6	1957	199,2	960	191232	224600	14,8
7	1961	159,6	900	143640	173197	17,1

ცხრილი 5.1-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7
8	1961	210,0	660	138600	132055	4,7
9	1961	740,0	1560	1 154400	1224423	5,7
10	1961	250	2160	540000	909388	40,6
11	1963	172,0	960	165120	201774	18,2
12	1963	132	420	55440	47341	14,6
13	1963	703	1740	1 223220	1 392487	12,2
14	1963	144	840	120960	144673	16,4
15	1963	73	420	30660	30722	0,2
16	1963	470	3300	1 551000	2 745691	43,5
17	1963	103	180	18540	10896	41,2
18	1963	1244	720	895680	552387	38,3
19	1963	443	1380	611340	698827	12,5
20	1963	288	300	86400	50172	41,9
21	1963	150	360	54000	41115	23,8
22	1963	262	720	188640	177167	6,1
23	1963	446	360	160560	91091	43,3
24	1963	205	900	184500	207926	11,3
25	1963	82	300	24600	20053	18,5
26	1963	62	1020	63240	105050	39,8
27	1973	200,6	900	180540	204658	11,8
28	1976	240,2	840	201768	210185	4,0
29	1977	167,6	720	120672	127863	5,6
30	1981	264,0	1200	316800	387263	18,2
31	1982	458,0	300	137400	70394	48,7
32	1983	229,0	720	164880	160585	2,6
33	1984	162,0	960	155520	193142	19,5
34	1986	282,0	720	203040	186942	7,9
35	1986	160,0	1500	240750	377177	36,2
36	1986	321,0	900	288900	288454	0,2
37	1990	114,0	1200	136800	209785	34,8

ცხრილი 5.1-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7
38	1992	330,2	1500	495300	640086	22,6
39	1997	221,1	1080	239868	289889	17,3
40	1999	333,3	1500	500000	644477	22,4

თუ ჩავატარებთ 5.1 ცხრილის ანალიზს, დავინახავთ, რომ მდინარე დურუჯის კალაპოტში ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის მოცულობის სიდიდეების შედარება (5.1) ფორმულით გაანგარიშებულ მონაცემებთან, იძლევა ცდომილებებს $0,2 \div 4,0\%$, რაც ჰიდროლოგიური ანგარიშისათვის დამაკმაყოფილებელია.

ამრიგად, მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში ჩატარებულმა საველე-ექსპედიციურმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა გამოგვეტანა შემდეგი დასკვნა:

– თეთრი და შავი დურუჯის მდინარეთა წყალშემკრები აუზების თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობა კატასტროფულია და აუცილებელია სასწრაფოდ განხორციელდეს შესაბამისი ინოვაციური: ფიტო-მელიორაციული, სატყეო-მელიორაციული, საინჟინრო-ეკოლოგიური და კომპლექსური დანიშნულების ღონისძიებები.

თავი VI.

ღვარცოფის ღინამიკის ზოგიერთი საკითხები

6.1. ბმული ღვარცოფის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით

მდინარე დურუჯის ტრანზიტულ, შევიწროებულ უბნებზე, ბმული ღვარცოფის დიდი სიჩქარით მოძრაობის დროს, როდესაც ნაკადის ფრონტზე *მახის* რიცხვი იცვლება $M = 0,015 \div 0,073$ საზღვრებში, ანალოგიურად თოვლის ზეგავის მოძრაობისა [55], თავს იჩენს ჰაერის წინაღობის ძალა, რომელიც, ჩვეულებრივ ჰიდრავლიკურ წინაღობასთან ერთად, ითვლება ღვარცოფის სიჩქარის ერთ-ერთ განმსაზღვრელ პარამეტრად. ამ დროს, ნაკადის მოძრაობის სრული წინაღობის კოეფიციენტი K^* წარმოდგენილი უნდა იყოს შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის (სიბლანტის) ძალით გამოწვეული წინაღობისა (K_b) და ნაკადის ფრონტის მიმართ ჰაერის წინაღობის (K_3) კოეფიციენტის ჯამის სახით [5], ე.ი.

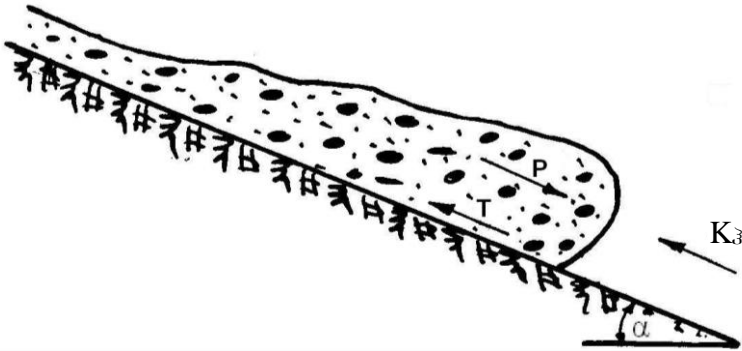
$$K^* = K_b + K_3 \quad (6.1)$$

ზემოთ მოყვანილი სქემის გათვალისწინებით განვიხილოთ ბმული ღვარცოფული მასის მოძრაობა ერთიანი, კომპაქტური, მაღალი კონცენტრაციის მქონე ნაკადის სახით [5], მდინარის α კუთხით დახრილ კალაპოტში (ნახ. 6.1).

ამ შემთხვევაში *შვედოვ-ბინგამის* მოდიფიცირებულ დამოკიდებულებას ექნება შემდეგი სახე [25]:

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{U_{აქ}}{h} + K\rho_3 V^2, \quad (6.2)$$

სადაც μ არის ღვარცოფის სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი (კგ.ძ.წმ/სმ²), $U_{აქ}$ – კვეთში ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე (სმ/წმ), V – ღვარცოფის ფრონტის საშუალო სიჩქარე (სმ/წმ), h – ღვარცოფის სიღრმე ფრონტის არეში (სმ), ρ_3 – ჰაერის სიმკვრივე ($\rho_3 = 1,0$), ხოლო τ_0 – საწყისი მხები ძაბვა ($\tau_0 = \gamma h_0$).

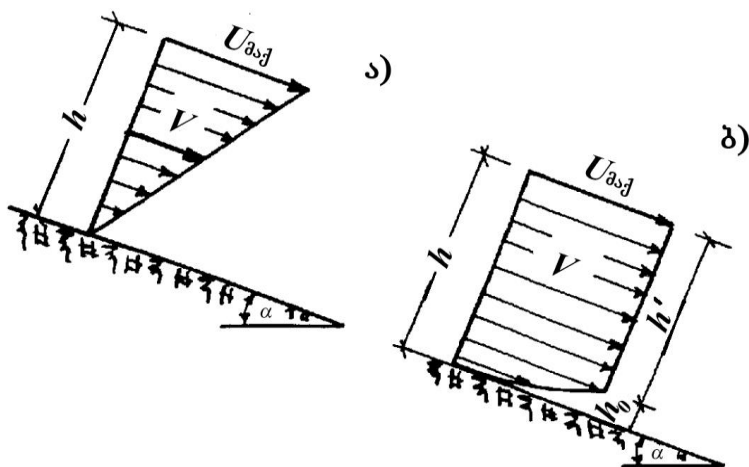


ნახ. 6.1. ბმული ღვარცოფის მოძრაობის საანგარიშო სქემა

როგორც ცნობილია, ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის დროს მხები ძაბვა ტოლია $\tau = \gamma h$ [5], სადაც γ – ღვარცოფის მოცულობითი წონაა (კგ.ძ./სმ³), ხოლო i – კალაპოტის ქანობი.

ღვარცოფის მოძრაობისას განვიხილოთ სიჩქარის ცვლილებების ორი სახის ეპიურა. პირველი, როდესაც სიჩქარის გრადიენტი მუდმივია ნაკადის მთელ სიღრმეზე და მეორე, როდესაც სიჩქარის გრადიენტი არსებობს მხოლოდ ნაკადის ფსკერთან თხელ შრეში (ნახ. 6.2). პირველ

შემთხვევაში ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარე ტოლია $U_{აჰ} = 2V$, ხოლო მეორეში $U_{აჰ} = V$.



ნახ. 6.2 სიჩქარის ცვლილების ეპიურები

თუ (6.2) განტოლებაში შევიტანთ მაქსიმალური სიჩქარის მნიშვნელობას $U_{აჰ} = 2V$ და გავამარტივებთ, მივიღებთ:

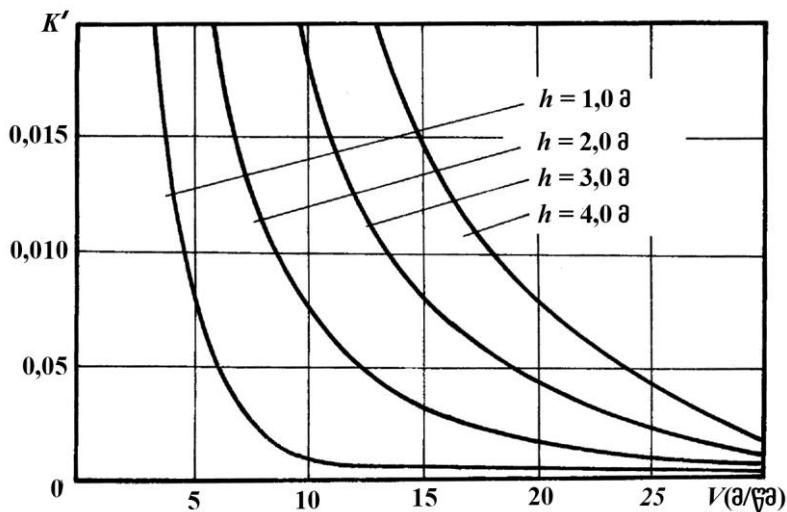
$$K_3 \rho_3 V^2 + \frac{2\mu}{h} V - \gamma(h - h_0) = 0. \quad (6.3)$$

(6.3) განტოლების ამოხსნით მივიღებთ ღვარცოფის ფრონტის საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობას, რომელსაც, ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით, აქვს შემდეგი სახე:

$$V = \frac{[\mu^2 + K_3 \rho_3 \gamma h^2 (h - h_0)]^{0.5} - \mu}{K_3 \rho_3 h}, \quad (6.4)$$

სადაც $h \neq h_0$.

ნაკადის ფრონტის საშუალო სიჩქარესა და ჰაერის წინაღობის კოეფიციენტს შორის გრაფიკული დამოკიდებულება პარამეტრთა შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: $i = 0,2$; $\mu = 6,0$ (კგ.დ.წმ/სმ²); $\gamma = 2,06$ (გრ.დ/სმ³); $h = 100, 200, 300$ და 400 (სმ) გამოსახულია 6.3 ნახაზზე.



ნახ. 6.3. $K_3 = f(V/h)$ დამოკიდებულების გრაფიკი ($K_3 = K'$)

თუ (6.3) განტოლებაში შევიტანთ მეორე დაშვებას, როდესაც $U_{აჟ} = V$, მივიღებთ დამოკიდებულებას, რომლის მიხედვით აგებულ გრაფიკებსაც აქვთ ანალოგიური ფორმა, ხოლო შესაბამისი მნიშვნელობები შემცირებული იქნება 2-ჯერ [68].

თუ ბმული ღვარცოფის მოძრაობის დროს ნაკადის ფრონტს განვიხილავთ როგორც ჰაერის ნაკადისაგან გარსშემოდინების ობიექტს, მაშინ ჰაერის შუბლური წინა-

ლობის კოეფიციენტსა და რეინოლდსის რიცხვს (Re) შორის დამოკიდებულების გრაფიკებს აგრეთვე აქვს ლოგარითმული ფორმა, ისეთი, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 6.3-ზე, იმ განსხვავებით, რომ ბმული ღვარცოფის მოძრაობის დროს, როდესაც ჰაერის შუბლური წინალობის კოეფიციენტი იცვლება შემდეგ საზღვრებში $K_3 = 0 \div 0,02$, რეინოლდსის რიცხვი (Re) 10^3 -ის რიგისაა.

თუ მოვახდენთ ჩატარებული კვლევის ანალიზს და შევადარებთ მყარი სხეულის მოძრაობის დროს ჰაერის შუბლურ წინალობასა და რეინოლდსის რიცხვს შორის დამოკიდებულებების გრაფიკებს [60], დავინახავთ, რომ ჰაერის შუბლური წინალობის კოეფიციენტი იცვლება შემდეგ საზღვრებში $K_3 = 0 \div 1,0$, ხოლო რეინოლდსის რიცხვი კი (Re) 10^5 რიგისაა. $K_3 = f(\text{Re})$ დამოკიდებულების გრაფიკის დასახასიათებლად, ისე, როგორც ეს მიღებულია აეროდინამიკასა და ჰიდროდინამიკაში (ნიკურაძის გრაფიკები), საჭიროა ლაბორატორიული ცდების ჩატარება და შედეგების განზოგადება.

განვიხილოთ ბმული ღვარცოფის მოძრაობა უფრო მკაცრი სქემით, როდესაც მხები ძაბვის გამომსახველ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dy} + \tau_3, \quad (6.5)$$

სადაც $\frac{du}{dy}$ სიჩქარის გრადიენტია ვერტიკალური y ღერძის გასწვრივ; $\tau_3 = K_3 \rho_3 U^2$ – ჰაერის მხები ძაბვა. თუ ანალო-

გიურად პირველი აღნიშვნისა, (6.5) განტოლებაში შევიტანთ შესაბამის მნიშვნელობებს და გარდავქმნით, მივიღებთ:

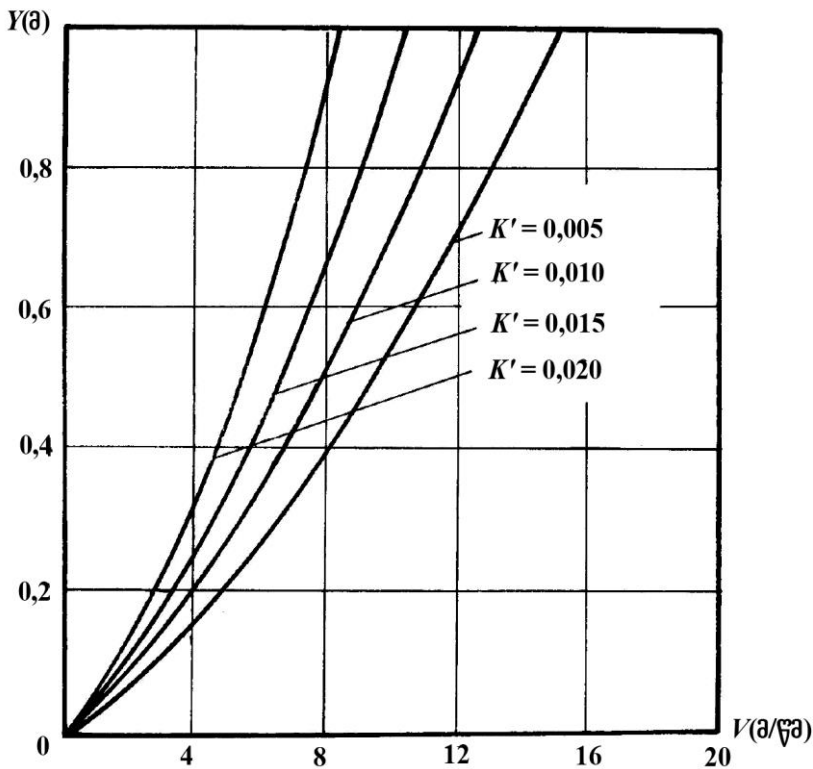
$$\frac{du}{dy} = \frac{1}{\mu} [\gamma i(h - h_0) - \gamma y - K_3 \rho_3 U^2]. \quad (6.6)$$

მათემატიკაში (6.6) განტოლება ცნობილია, როგორც *რიკატის* განტოლება, რომელსაც ჩაწერილი (6.6) დამოკიდებულების სახით ზოგადი ამონახსნი არ გააჩნია.

ამოცანის ამოსახსნელად ვსარგებლობთ დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის რიცხვითი მეთოდით [5, 52, 56, 66, 97]. ვიღებთ საწყის მონაცემებს და შეგვყავს სპეციალური პროგრამის დახმარებით კომპიუტერში; საწყისი მონაცემებია $i = 0,2$; $\gamma = 2,06$ (კგ.ძ./სმ³); $h = 100$ (სმ); $K_3 = 0,005 \div 0,02$; $\mu = 6,0$ (კგ.ძ.·წმ/სმ²).

კომპიუტერზე რეალიზაციის შემდეგ ფუნქციური კავშირი ღვარცოფის სიჩქარესა და ნაკადის სიღრმეს შორის ნაჩვენებია 6.4 ნახაზზე. თუ მიღებულ შედეგებს შევადარებთ იმ დამოკიდებულებებს [84], რომლებშიც გათვალისწინებული არ არის ჰაერის შუბლური წინაღობა, დავინახავთ, რომ როდესაც მაღალი კონცენტრაციის ბმული ღვარცოფი მოძრაობს დაბალი სიჩქარეებით (როდესაც *მახის* რიცხვი $M < 0,015$), განსხვავება მიღებულ და არსებულ დამოკიდებულებებს შორის იმდენად მცირეა, რომ ამ ფაქტორის გავლენა ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე შეიძლება უგულებელყოფილი იყოს ე.ი. $K_3 = 0$; ხოლო იმ შემთხვევაში, როდესაც, *მახის* რიცხვი იცვლება

$M = 0,015 \div 0,073$ საზღვრებში, ე.ი. როდესაც ბმული ღვარცოფი მოძრაობს დიდი სიჩქარით, განსხვავება მათ შორის იზრდება და იგი თითქმის $10 \div 25\%$ -მდე აღწევს.



ნახ. 6.4. $y = f(U, K_3)$ დამოკიდებულების გრაფიკი ($K_3 = K'$)

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფების ფიზიკურ-მექანიკური და დინამიკური მოდელების დამუშავებაში პრიორიტეტი დამსახურებულად ეკუთვნით აკადემიკოს *ო. ნათიშვილსა* და პროფესორ *ვ. თევზაძეს* [16, 66, 69].

ჩატარებული თეორიული კვლევების ანალიზმა და ზემოთ დასახელებული ავტორების მონოგრაფიებში დამუშავებულ მოდელებთან შედარებამ დაგვანახა, რომ მიღებული შედეგები ზუსტად ასახავს ბმული ღვარცოფის ბუნებას და მისი მოძრაობის კანონებს, ეს კი მიუთითებს ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევების საიმედო მიმართულებაზე.

6.2. ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობა ჰაერის შუბლური წინალობის გათვალისწინებით

ბუნებრივ კალაპოტებში, მათ შორის მდინარე დურუჯის ღვარცოფსადინარშიც ბმული ღვარცოფის სიჩქარის ანგარიში ხორციელდება მდინარის კალაპოტის ცალკეული უბნებისათვის, სადაც დაგეგმილი იყო ღვარცოფსაწინააღმდეგო სხვადასხვა ტიპის ნაგებობების მშენებლობა. ამ შემთხვევაში ღვარცოფის გაანგარიშებისას ჰიდრაულიკური ელემენტები განისაზღვრებოდა ნაკადის თანაბარი მოძრაობის განტოლებებით.

ასეთი სახით ღვარცოფის ანგარიში უგულვებლყოფს ისეთი ძირითადი დინამიკური სიდიდეების მხედველობაში არ მიღებას, რომელიც განაპირობებს სხვადასხვა დანიშნულების ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების სამშენებლო მასალის დიდი რაოდენობით გადახარჯვას და სხვ.

დურუჯის კალაპოტის ზედა უბნებში ბმული ღვარცოფის ფორმირებისა და მისი დაუმყარებელი მოძრაობისას ღვარცოფსადინარის ქვედა უბნებისაკენ, ნაკადი

სისტემატურად იცვლის თავის ჰიდრაულიკურ სიდიდეებს, რაც ნაკადის ანგარიშისას აუცილებლად მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული [7, 16, 52, 55, 56, 67, 68].

ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობისას ანგარიშის რიცხვითი მეთოდები ემყარება *სენ-ვენანის* განტოლებათა სისტემის ამოხსნას [80, 97, 98 და სხვ.], რომლის რეალიზაცია კომპიუტერზე ეფუძნება სასაზღვრო პირობების ზუსტ შერჩევას; ამ მონაცემებს უნდა ჰქონდეთ ფიქსირებული საზღვრები, რომლის გათვალისწინების გარეშე დასახული ამოცანა სასურველი სიზუსტით არ ამოიხსნება.

დურუჯის კალაპოტში ბმული ღვარცოფის მოძრაობა ზოგადად შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სქემით: „მოძრაობის დაწყება“ მოძრაობა ტრანზიტულ ზონაში და გაჩერება მდინარის გამოტანის კონუსზე. კერძო შემთხვევაში, ბმული ღვარცოფის ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური თვისებებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია ნაკადის გაჩერება მდინარის ტრანზიტულ უბნებზეც. თითოეულ ამ ფაზას აქვს თავისი განსაკუთრებული თავისებურება, გამომდინარე ამოცანის ამოხსნის მათემატიკური თვალსაზრისიდან. კერძოდ, ალგორითმის შედგენაში, პროგრამის დამუშავებაში და ა.შ., ყველა ამ ფაზების გათვალისწინებით ამოცანის ამოხსნის დროს, მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული სასაზღვრო პირობების ისეთი მნიშვნელობები, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ამ ფაზებში ჰიდრაულიკური ხახუნისა და ჰაერის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით გავიანგარიშოთ

ბმული ღვარცოფის ძირითადი მაჩვენებლები. რაც შეეხება ბმული ღვარცოფის მოძრაობას ცვალებადი ხარჯის გათვალისწინებით, ჰიდრაულიკური ხახუნისა და ჰაერის წინაღობების კოეფიციენტის მხედველობაში მიღებით, ჯერ კიდევ ნაკლებადაა შესწავლილი და მოითხოვს ამ მეთოდების დახვეწას.

კვლევის მიზანს წარმოადგენს, შევისწავლოთ ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობა მდინარე ღურუჯის კალაპოტის ნებისმიერ უბანზე, როდესაც ნაკადის საშუალო სიჩქარე $V > 5,0$ (მ/წმ).

როგორც ცნობილია, მდინარის კალაპოტში ფორმირებული ბმული ღვარცოფი ღვარცოფსადინარში ნელ-ნელა იკრებს სიჩქარეს და გადადის „მოძრაობის“ ფაზაში, რომელიც კალაპოტში იღებს ერთჯერადი ტალღის სახეს. ტალღა მოძრაობს კალაპოტის ტრანზიტული უბნისკენ ზემოთ განხილული სქემის მიხედვით, მისი სიჩქარე მატულობს და ნაკადის საწინააღმდეგოდ ყალიბდება ჰიდრაულიკური ხახუნისა და ჰაერის წინაღობის ძალები (ნახ. 6.1).

განვიხილოთ ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობა ცვლადი ხარჯის შემთხვევაში მდინარე ღურუჯის α კუთხით დახრილ კალაპოტში, რომლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე [5]:

$$\begin{cases} B \frac{\partial h}{\partial t} + B \frac{\partial (hV)}{\partial x} = q_* \\ \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} = g \sin \alpha - g \cos \alpha \frac{\partial h}{\partial x} - V^2 \left(\frac{K_b}{h} + \frac{K_3}{\lambda} \right) - \frac{q_* V}{\omega} \end{cases}, (6.7)$$

სადაც: B მდინარის სიგანეა (m), h – ღვარცოფის სიღრმე (m), V – ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე ($m/\text{წმ}$), x – მდინარის კალაპოტის უბნის სიგრძე (m), q_* – ღვარცოფის ხარჯის ცვლის ინტენსივობა, რომელიც განპირობებულია მდინარის სიგრძეზე ფაზების შედინებითა და გადინებით; g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ($m/\text{წმ}^2$), i – მდინარის კალაპოტის ქანობი, K_b – ჰიდრაულიკური ხახუნის კოეფიციენტი, K_3 – ჰაერის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტი, l – ნაკადის მოძრაობის სიგრძე (m), ω – ღვარცოფის ცოცხალი კვეთის ფართობი (m^2).

(6.7) განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად ვიყენებთ დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის რიცხვით მეთოდს, კერძოდ, „ნაკადის ვექტორის გახლეჩის სქემას“ [56].

ნაკადის ვექტორი, გამომდინარე განტოლებათა სისტემიდან, განსხვავდება *ელიერისა* და აეროდინამიკის ვექტორისაგან, იგი არ ითვლება ერთჯერად ფუნქციად. ამ შემთხვევაში იგი დაფუძნებულია ჰიპერბოლური განტოლებების თვისებების გამოყენებაზე, რომლის დახმარებით შესაძლებელია ვექტორის გახლეჩის სქემის აგება, რომელიც დიდი სიზუსტით ანგარიშის ჩატარების საშუალებას იძლევა.

როდესაც მიმდინარეობს ბმული ღვარცოფის სიჩქარის დადგენა ჰაერისა და ხახუნის წინაღობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით, ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას წარმოადგენს „ნაკადის ვექტორის გახლეჩის სქემის“ აგება. *სტეიჯერმა* და *უორმინგმა* [56] გამოიყენეს ის

ფაქტორი, რომ ნაკადის ვექტორი $f(G)$ განტოლებათა სისტემის (6.7) დამოკიდებულებისათვის ჩათვალეს G -ს ერთადერთ ვექტორ-ფუნქციად.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით, (6.7) განტოლებათა სისტემა ჩავწეროთ დივერგენციური ფორმით კონსერვატიული ცვლადებისათვის (J – იმპულსი, h – ნაკადის სიღრმე) ვექტორული ფორმით,

$$\frac{\partial G}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} f(G) = W(G), \quad f(G) = W(G), \quad (6.8)$$

სადაც, $Q = (J, h)^T$, $J = hV$ და

$$\left\{ \begin{array}{l} f(G) = (\bar{J}^2/h + gh^2/2; \bar{J})^T; \\ W(G) = \left[\frac{1}{h} \left\{ g \sin \alpha - V^2 \left(\frac{K_b}{h} + \frac{K_3}{\lambda} \right) - \frac{qV}{\omega} \right\}; q_* B \right]^T. \end{array} \right. \quad (6.9)$$

ბმული ღვარცოფის ფორმირების პროცესს განვიხილავთ, როგორც ბუნებრივი ზღუდარის ან მიწის კაშხლის განგრევის შემთხვევას, როდესაც სასაზღვრო პირობებს აქვს შემდეგი მნიშვნელობები:

ა) ნაკადის სიღრმისათვის:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1; & t < 0,12 \\ 1 + \frac{(t-0,12)}{0,3}; & 0,12 \leq t \leq 0,72 \\ 3,0; & 0,90 < t < 2,40; \\ 1,0; & t \geq 2,40. \end{array} \right. ; \quad (6.10)$$

ბ) ნაკადის სიჩქარისათვის:

$$V_0(x) = 0,2; \quad h_0(x) = 1,0; \quad (6.11)$$

ამოცანის რეალიზაციის პროცესში მხედველობაშია მიღებული, როგორც ღვარცოფული მასის ძირითადი ჰიდროლოგიური, ჰიდრაულიკური თვისებები, ასევე მდინარის კალაპოტის გეოლოგიურ-ტოპოგრაფიული მახასიათებლები. ამისათვის ვიყენებთ $\nabla F = \frac{\partial F}{\partial Q}$ მატრიცის საკუთრივ მნიშვნელობებს, რომლებსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$\lambda_1 = V + \sqrt{ghc\cos\alpha} ; \lambda_2 = V - \sqrt{ghc\cos\alpha} . \quad (6.12)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა $C_0 \equiv \sqrt{ghc\cos\alpha}$, რომელიც ბმულ ღვარცოფში სიჩქარის იმპულსის სიდიდეს აღნიშნავს. ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით ღვარცოფი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს შემდეგი სახით:

$$f(G) = \frac{h}{2} \begin{bmatrix} V(\lambda_1 + \lambda_2) + C_0(\lambda_1 - \lambda_2) / 2; \\ \lambda_1 + \lambda_2 \end{bmatrix}, \quad (6.13)$$

ხოლო საკუთრივი რიცხვითი მნიშვნელობები λ_1 და λ_2 კი წარმოვიდგინოთ:

$$\lambda_1 = \lambda_1^+ + \lambda_1^- ; \lambda_2 = \lambda_2^+ + \lambda_2^- . \quad (6.14)$$

სიდიდეები λ_1 და λ_2 შეიძლება შევარჩიოთ სხვადასხვა სახით, მაგალითად:

$$\begin{aligned} \lambda_1^+ &= 0,5(V + |V|) + C_0 ; \\ \lambda_1^- &= 0,5(V - |V|) + C_0 ; \\ \lambda_2^+ &= 0,5(V + |V|) ; \\ \lambda_2^- &= 0,5(V - |V|) . \end{aligned} \quad (6.15)$$

თუ (6.14) გამოსახულების მნიშვნელობებს შევიტანთ (6.13) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$\tilde{f}(\Pi) = a^+(\Pi) - a^-(\Pi) = p \begin{bmatrix} V(|V| + C_0); \\ |V| + C_0 \end{bmatrix}. \quad (6.16)$$

ჩავწეროთ მთლიანად კონსერვატიული სხვაობითი სქემა არაწრფივი რეგულატორით და, თუ გავითვალისწინებთ (6.7) განტოლებათა სისტემის მარჯვენა მხარეს, მივიღებთ:

$$G_t + f(G, \alpha, \sigma) = R_{xx}(G) + W(G), \quad (6.17)$$

სადაც, $G = (j^-, h)^T$; $j^- = hV$.

ე.ი.

$$\left\{ \begin{array}{l} f(G, \alpha, \sigma) = \left(\bar{J}^{(\alpha)} \cdot V^{(\sigma)} + 0,5 \cos \alpha (h^2)^\alpha; \bar{J}^{(\alpha)} \cdot V^\sigma \right)^T \\ R(G) = \frac{h\Delta x}{4} \begin{bmatrix} (|V + C_0| + |V - C_0|) \cdot V + 0,5 C_0 h |V + C_0| - |V - C_0|; \\ |V + C_0| - |V - C_0| \end{bmatrix}^T \\ W(G) = \left[\frac{1}{h} \left\{ g \sin \alpha - V^2 \left(\frac{K_x}{h} + \frac{K^h}{\lambda} \right) - \frac{g_* V}{\omega} \right\}; g_* B \right] \end{array} \right\} \quad (6.18)$$

როდესაც $\alpha = 0$ და $\sigma = 0$, სხვაობითი სქემა (6.17) იცვლის სახეს და მიიღება ბმული ღვარცოფის „ვექტორის გახლეჩის სქემა“, ე.ი.

$$G^{n+1} = G^n - \tau' [f(G)_x + 0,5 \Delta x f(G_{xx})] + \tilde{W}, \quad (6.19)$$

სადაც, τ' დროის ცვალებადობის ბიჯია; ΔX – თანაბარი სივრცით ბადის ბიჯი, n – დროებითი ფენის ნომერი,

ხოლო \tilde{W} – განტოლების სისტემის მარჯვენა ნაწილის დისკრეტული ანალოგია.

სქემის რეალიზაციისათვის საჭიროა შესრულდეს *კურანტ-ფრიდრიხ-ლევის* მდგრადობის პირობა [56]

$$\tau' \leq \frac{\text{Cr} \cdot \min \Delta x}{\max(|V| + C_0)}, \quad (6.20)$$

სადაც, Cr – *კურანტის* რიცხვია.

დამოკიდებულება (6.17) გამოვსახოთ გაშლილი სახით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} (hV)_i^{n+1} = & (hV)_i^n - \tau' \left[\frac{1}{2\Delta x} \left\{ \left(hV^2 + \frac{gh^2 \cos \alpha}{2} \right)_{i+1}^n - \left(hV^2 + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + \frac{gh^2 \cos \alpha}{2} \right)_{i-1}^n \right\} - \frac{1}{2\Delta x} \left\{ [hV(|V| + C_0)]_{i+1}^n - 2[hV(|V| + C_0)]_{i-1}^n \right\} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{h_i^n} \left[g \sin \alpha - (V_i^n)^2 \left(\frac{K_x}{h} + \frac{K_h}{\lambda} \right) - \frac{q_* V_i^n}{\omega} \right] \right]; \end{aligned} \quad (6.21)$$

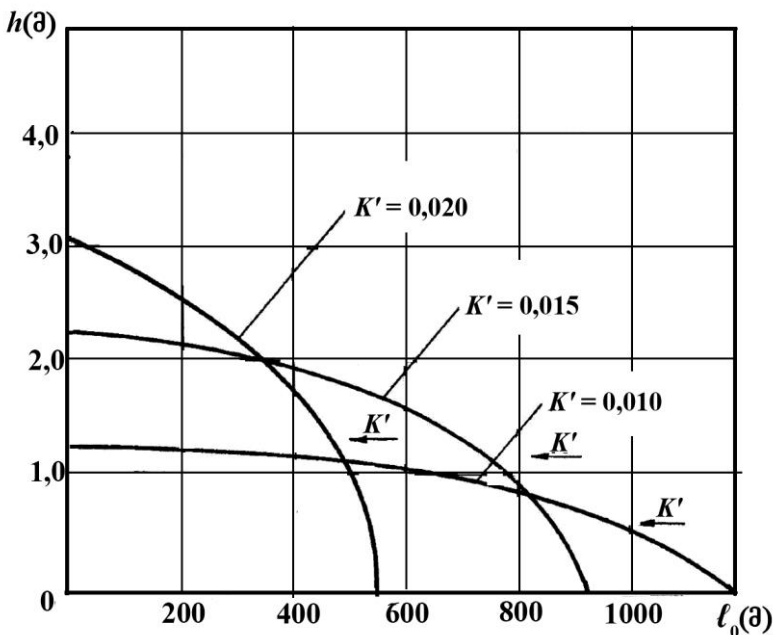
$$\begin{aligned} h_i^{n+1} = & h_i - \tau' \left[\frac{1}{2\Delta x} \left\{ \left((hV)_{i+1}^n - (hV)_{i-1}^n \right)_{n+1}^n \right\} - \frac{1}{2\Delta x} \left\{ [h(|V| + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + C_0)]_{i+1}^n - 2[h(|V| + C_0)]_i^n + [h(|V| + C_0)]_i^n \right\} + q_* B \right]. \end{aligned} \quad (6.22)$$

ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის ანგარიში ჰაერისა და ჰიდრაულიკური ხახუნის წინააღმდეგობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით რეალიზებულია კომპიუტერზე პროგრამირების Basic ენაზე.

საწყისი მონაცემების მნიშვნელობები იცვლებოდა

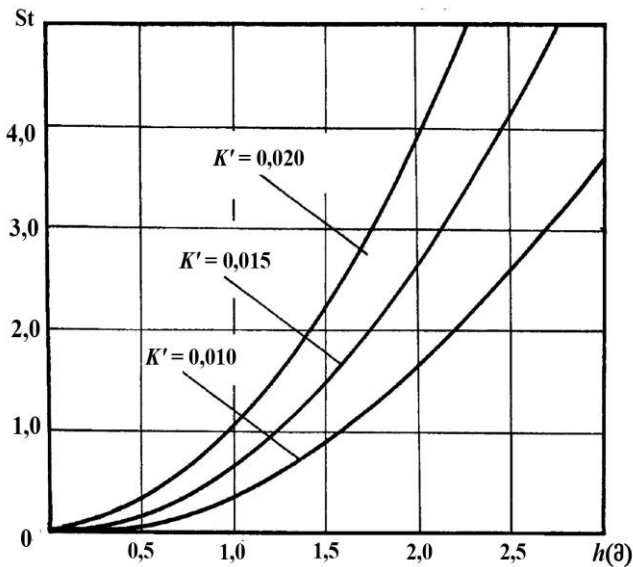
შემდეგ საზღვრებში: კალაპოტის ქანობი $i = 0,05 \dots 0,7$;
 კალაპოტის სიგანე $B = 5,0 \dots 25,0$ (მ); ბმული ღვარცოფის
 ხარჯის ცვლის ინტენსივობა $q^* = 500 \dots 4000$ (კგ/მ²წმ);
 ჰიდრაულიკური ხახუნის კოეფიციენტი $K_6 = 0,1 \dots 0,05$;
 ჰაერის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტი $K_3 = 0,01 \dots 0,05$;
 მდინარის ტრანზიტული უბნის სიგრძე $l = 300 \dots 1500$ (მ).

კონკრეტული მაგალითისათვის დაეუშვათ, რომ
 $i = 0,2$; $K_3 = 0,1$; ხოლო l კი 300...1500 მ-ის ფარგლებშია.
 ანგარიშის შედეგი დატანილია ნახაზზე 6.5.



ნახ. 6.5. ბმული ღვარცოფის ტალღური მოძრაობის გრძივი პროფილები ჰაერის წინაღობის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობებისას ($K_3 = K'$)

ბმული ღვარცოფის ტალღის დაუმყარებელი მოძრაობის დროს ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელ სიდიდედ ითვლება ინერციის ძალის მნიშვნელობის დადგენა, რომელიც აეროდინამიკაში [76] ცნობილია, როგორც *სტრუხალის* (St) რიცხვი. საქართველოს ღვარცოფული ტიპის მდინარეებზე, მათ შორის მდინარე დურუჯზე, გავლილი ღვარცოფის ბუნებრივი დაკვირვებების ანალიზმა დაგვანახა, რომ *სტრუხალის* რიცხვი იცვლება შემდეგ საზღვრებში – $0 < St < 10$, ხოლო კონკრეტული მაგალითისათვის *სტრუხალის* რიცხვსა და ნაკადის ტალღის სიღრმეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკები, ჰაერის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს ნაჩვენებია 6.6 ნახაზზე.



ნახ. 6.6. $St = f(h, K_3)$ დამოკიდებულების გრაფიკი ($K_3 = K'$)

ამრიგად, ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის ანგარიშის წარმოდგენილი მეთოდი, ჰიდრაულიკური ხახუნისა და ჰაერის შუბლური წინალობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით, გვაძლევს საშუალებას, დროის ნებისმიერ მომენტში ვიანგარიშოთ ნაკადის ყველა ის ძირითადი პარამეტრი, რომლებიც განაპირობებენ ბმული ღვარცოფის ტალღურ მოძრაობას ღვარცოფსადინარის იმ უბნებზე, სადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს მდინარე ღურუჯის კალაპოტის დეფორმაციული პროცესები.

6.3. ბმული ღვარცოფის ტალღის ფორმების დადგენა ხახუნისა და ჰაერის წინალობის გათვალისწინებით

ბმული ღვარცოფის კინეტიკური ენერგია და შესაბამისად, ამ ნაკადების დამანგრეველი ძალის სიდიდე, სხვა ფაქტორებთან ერთად, დამოკიდებულია ნაკადის ტალღის როგორც ფორმასთან, ასევე მის სიგრძესთან, რადგანაც ეს სიდიდეები განაპირობებენ ღვარცოფის სიმძლავრეს.

თეორიული კვლევებისა და მდ. ღურუჯზე გავლილ ბმულ ღვარცოფზე დაკვირვებებმა დაგვანახა, რომ ტალღის სიჩქარის მნიშვნელობები ფრონტის არეში გაცილებით მეტია, ვიდრე მის უკანა ნაწილში, ამიტომ ნაკადის ტალღის როგორც ფორმის, ასევე მისი სიგრძის შესწავლა ჰაერის შუბლური წინალობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით აქტუალურია.

ამ საკითხის შესწავლის მიზნით განვიხილოთ ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის განტოლება მუდმივი ხარჯის შემთხვევაში [56]:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hV)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} = g \sin \alpha - g \cos \alpha \frac{\partial h}{\partial x} - V^2 \left(\frac{K_b}{h} + \frac{K_3}{\lambda} \right); \end{cases} \quad (6.23)$$

ტალლის ფორმების დასადგენად (ხახუნისა და ჰაერის შუბლური წინალობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით) საჭიროა (6.23) განტოლებათა სისტემა ჩავწეროთ ნაკადის ტალლის ფრონტისათვის. ამისათვის დავუშვათ, რომ $X = (x - V_1 t)$. თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ განხილულ დაშვებას და გავამარტივებთ (6.23) დამოკიდებულებას, მივიღებთ:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial X} \cdot \frac{\partial(x - V_1 t)}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial X} (-V_1) \\ \frac{\partial(hV)}{\partial x} = \frac{\partial(hV)}{\partial X} \cdot \frac{\partial(x - V_1 t)}{\partial x} = \frac{\partial(hV)}{\partial X} \\ \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial X} \cdot \frac{\partial(x - V_1 t)}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial X} (-V_1) \\ \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial X} \cdot \frac{\partial(x - V_1 t)}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial X} \\ \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial X} \cdot \frac{\partial(x - V_1 t)}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial X} \end{cases} \quad , \quad (6.24)$$

სადაც V_1 – ნაკადის ფრონტში გავრცელების სიჩქარეა (მ/წმ).

თუ (6.24) გამოსახულების მნიშვნელობებს შევიტანთ (6.23) განტოლებათა სისტემაში და გავითვალისწინებთ სასაზღვრო პირობებს, მივიღებთ:

$$g \cos \alpha \frac{dh}{dx} = g \sin \alpha - V^2 \left(\frac{K_b}{h} + \frac{K_3}{\lambda} \right), \quad (6.25)$$

$$\text{ე.ო.} \quad \frac{dh}{dx} = \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{g \cos \alpha} \left(\frac{K_b}{h} + \frac{K_3}{\lambda} \right). \quad (6.26)$$

გავაინტეგრალოთ (6.26) დამოკიდებულება,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_3 V^2}{\lambda \cdot \cos \alpha}} h + \frac{K_b V^2 / g \cos \alpha}{\left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_3 V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right)^2} \cdot \ln \left| h \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_3 V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right) - \frac{K_3 V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right| - \frac{K_b V^2}{g \cos \alpha} = X + C. \end{aligned} \quad (6.27)$$

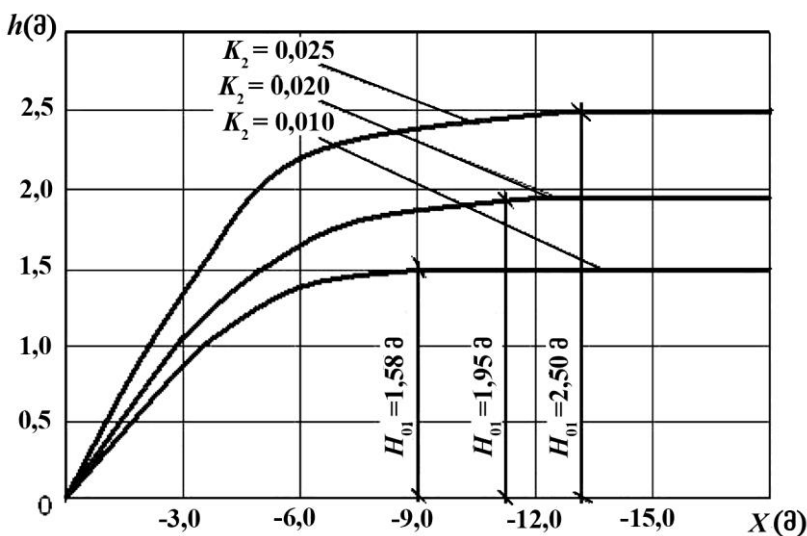
ინტეგრირების მუდმივას დასადგენად დავეუშვათ, რომ როდესაც $X=0$, მაშინ $h=0$, ე.ო.

$$C = \frac{K_b V^2}{g \cos \alpha \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_3 V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right)} \cdot \ln \left| - \frac{K_b V^2}{g \cos \alpha} \right|. \quad (6.28)$$

თუ (6.28) გამოსახულების მნიშვნელობას შევიტანთ (6.27) განტოლებაში და გარდავქმნით, მივიღებთ დამოკიდებულებას, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელი იქნება ნაკადის ტალღის ფრონტის ფორმების დადგენა:

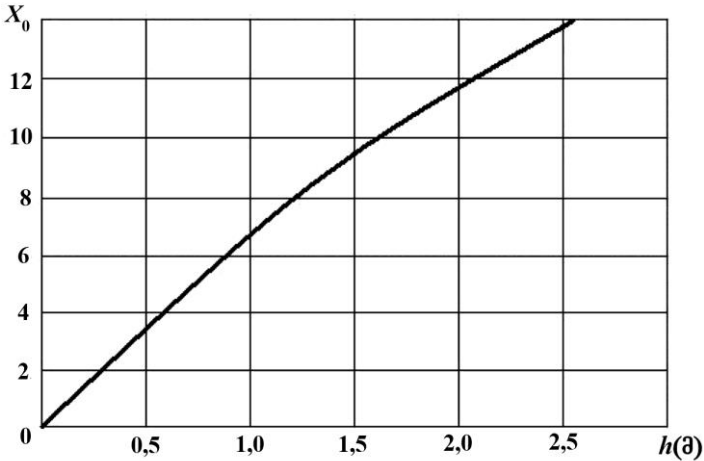
$$\begin{aligned} & h + \frac{K_x V^2}{g \cos \alpha \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_h V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right)} \cdot \ln \left| \frac{\frac{K_x V^2}{g \cos \alpha \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_h V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right)} - h}{K_x V^2} \right| = \\ & = X \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{K_h V^2}{\lambda \cdot g \cos \alpha} \right), \end{aligned} \quad (6.29)$$

სადაც X არის მანძილი, რომელიც დაკავშირებულია მოძრავ კოორდინატებთან. ნაკადის ტალღის ფორმების დასადგენად ჰაერის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტის ($K_3=K_2$) სხვადასხვა სიდიდეების გათვალისწინებით, ვუშვებთ საწყის მნიშვნელობებს: $K_6 = 0,2$; $V = 10$ (მ/მწ); $\alpha = 30^\circ$. $K_3 = 0,010$; $0,020$ და $0,025$ ანგარიშის მნიშვნელობები დატანილია 6.7 ნახაზზე.



ნახ. 6.7. $h = f(X, K_3)$ დამოკიდებულების გრაფიკი ($K_3=K_2$)

ღვარცოფის ნაგებობაზე დარტყმის ძალის მაქსიმალური სიდიდის დასადგენად სხვა ფაქტორებთან ერთად ერთ-ერთ ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს ბმული ღვარცოფის ტალღის სიგრძის დადგენა, რომლის მნიშვნელობაც ღვარცოფის საშუალო სიღრმის მიხედვით ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. 6.8).



ნახ. 6.8. $X_0 = f(h)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ღვარცოფის ტალღის სიგრძე იანგარიშება შემდეგი ემპირიული დამოკიდებულებით:

$$X_0 = 6,5h^{0,77}, (\text{მ}). \quad (6.30)$$

ჩატარებული კვლევის საიმედოობის დასადგენად მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა იაპონელი მეცნიერის, პროფესორ ტ. ტაკაკაშის [112, 113] მონაცემებთან. შედარებამ დაგვანახა, რომ ღვარცოფის დიდი სიჩქარეებით მოძრაობის შემთხვევაში (როდესაც $M > 0,015$), 20%-ით და ზოგჯერ მეტი სიდიდითაც განსხვავდებიან. ეს განსხვავება გამოწვეულია იმით, რომ ჩვენ მათემატიკურ მოდელში ღვარცოფის ტალღის ფორმების დადგენის დროს ჰიდრაულიკური ხახუნის კოეფიციენტთან ერთად გათვალისწინებულია ჰაერის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტიც, რომელიც ძირითადად განაპირობებს ნაკადის ტალღის როგორც ფორმის, ასევე სიგრძის მნიშვნელობას.

ნელობებს.

ამრიგად, ვიცით რა ღვარცოფის ტალღის როგორც ფორმის საანგარიშო გამოსახულება (6.29), ასევე მისი სიგრძის დასადგენი დამოკიდებულება (6.30), სირთულეს აღარ წარმოადგენს ვიანგარიშოთ ნაკადის მაქსიმალური (დამანგრეველი) ძალის სიდიდის მნიშვნელობა, გამოწვეული ნაკადის ტალღის მოქმედებით, რომლის მნიშვნელობაც გაცილებით დიდია, ვიდრე ნაკადის საშუალო სიჩქარის გათვალისწინებით გაანგარიშებული ძალისა.

6.4. ნაგებობებზე ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფების დინამიკური ზემოქმედების პროგნოზი

მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფების დამანგრეველ ზემოქმედებასთან ბრძოლის ღონისძიებების ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას საინჟინრო ნაგებობები წარმოადგენს. ხშირად ეს ნაგებობები კოჭოვან-ღეროვანი სისტემით არის წარმოდგენილი და კონსტრუქციულად რთული სახისაა. ასეთი ნაგებობების კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშება და თვით ნაგებობების მდგრადობის საკითხები, მოვლენის დიდი მასშტაბებისა და ანომალურობის გამო, ხშირად საჭიროებს დიფერენცირებულ მიდგომებს. ამასთან ერთად, ნაგებობებზე ასეთი ნაკადების ზემოქმედება შეიძლება სხვადასხვანაირად გამოვლინდეს მის მიმართ გამოყენებული ნაგებობის ტიპისა და ორიენტაციის გამო (*6.4 პარაგრაფი მომზადდა პროფ. ე. კუხალაშვილთან ერთად*).

მოვლენის სრულად წარმოჩენის მიზნით, ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფების ნაგებობებზე დინამიკური ზემოქმედების პროგნოზირებისთვის, ნაკადის რეოლოგიური ძირითადი მახასიათებლების (ბმულობა, შინაგანი ხახუნის კუთხე, მოცულობითი წონა) და ჰიდრავლიკური პარამეტრების სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით, პირველად ამოხსნილია ნაკადის მოძრაობის მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლება. თეორიული გზით მიღებულია ღვარცოფის ნაგებობაზე დარტყმის P ძალის და K_1 კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

თეორიული შედეგების საიმედოობისთვის იგეგმება ლაბორატორიული ექსპერიმენტები, რომლებიც განხორციელდება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე ძირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ჰიდრავლიკის ლაბორატორიაში.

გარემოს ბუნებრივი ანომალიების, კერძოდ, ღვარცოფების ზემოქმედება მკვეთრად ცვლის არსებულ სიტუაციას და დიამეტრულად იცვლება ეკოლოგიური წონასწორობა. ასეთი ნაკადების ინტენსიური ზემოქმედების განსაკუთრებულ ადგილს მათი მოძრაობის სატრანზიტო უბნები და გამოტანის კონუსები წარმოადგენს (სურ. 6.1). ეს სწორედ ის ადგილებია, სადაც ძირითადად დასახლებული პუნქტები, სასოფლო და სახალხო მეურნეობის ობიექტებია განთავსებული.

მდინარე ღურუჯის გამოტანის კონუსებზე დაფიქსირებულია როგორც ჰიპერკონცენტრირებული, ასევე გაუშლელი ღვარცოფების გავლა, რომლებიც მიედინება



სურ. 6.1. მდ. ღურუჯის გამოტანის კონუსის საერთო ხედი

დიდი - დამანგრეველი ძალით და ტრანსპორტირებული ათობითი მილიონი კუბური მეტრი მყარი ნატანიო, რაც დიდ საფრთხეს უქმნის როგორც ქ. ყვარლის მოსახლეობას, ასევე მდ. ღურუჯის გამოტანის კონუსის მიმდებარე ტერიტორიაზე განთავსებულ ინფრასტრუქტურას [27, 28, 29]. გარდა ზემოაღნიშნულისა, კალაპოტის მოწყვლად უბნებზე ღვარცოფებმა შეიძლება გამოიწვიოს როგორც წყალსადინართა გადაკეტვა, ასევე ისეთი ხელოვნური ხერგილების წარმოქმნა კაშხლების სახით, რომელთა მოსალოდნელ გარღვევას დიდი დამანგრეველი ძალის გამო შეიძლება უმძიმესი შედეგები და კატასტროფა მოჰყვეს.

მოვლენის დიდი მასშტაბებისა და სირთულის გამო, ასეთი სახის ნაკადებთან საანგარიშო მოდულების ადაპტირების შემთხვევაში, აუცილებელი ხდება პროცესის სარისკო სიტუაციების დიფერენცირება, რადგან დაზიანებულ ობიექტებზე მიყენებული ზარალი მთის მდინარეთა შენაკადების თითქმის 90%-სათვის არის დამახასიათებელი. ასეთი სახის ნაკადების რეგულირების საკითხი საინჟინრო ნაგებობებზე მათი განსხვავებული ზემოქმედებისა და მოძრაობის რეჟიმის სირთულის გამო კვლავ ერთ-ერთ აქტუალურ, თანამედროვე მსოფლიოსთვის გადაუჭრელ საკითხად რჩება.

ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებათა კომპლექსზე ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადების ზემოქმედება სხვადასხვანაირად შეიძლება გამოვლინდეს მის მიმართ ნაგებობის ტიპის, მიმართულებისა და მოძრაობის რეჟიმის

გამო. აქედან გამომდინარე, ასეთი ნაკადებისაგან გარემოს დაცვა მრავალი ურთიერთმართვადი ფაქტორის ფუნქციას წარმოადგენს და ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევის საკითხი ღვარცოფის ძალური ზემოქმედების ეფექტებთან არის უშუალოდ დაკავშირებული.

არსებული მონაცემებით, ღვარცოფების სარეგულაციო ნაგებობებზე დინამიკური ზემოქმედების შეფასების დროს, ოპერატიულ საშუალებას წარმოადგენს ნაკადის მოძრაობის რაოდენობის კანონი. ღვარცოფსადინარში კალაპოტისადმი α_1 კუთხით დახრილ ნაგებობაზე მოქმედი დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობა (P), როცა კალაპოტის ფუძესთან დახრის კუთხე α -ს ტოლია, განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$P = K_1 \frac{\gamma \omega V^2}{g} \cdot \frac{(1 - \cos \alpha_1)}{\sin \alpha_1}, \quad (6.31)$$

სადაც K_1 კოეფიციენტი და ღვარცოფის რეოლოგიური პარამეტრის ფუნქციას წარმოადგენს; ω – მოძრავი ღვარცოფის ცოცხალი კვეთის ფართობი (მ^2); V – ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადის სიჩქარე ($\text{მ}/\text{წმ}$); γ – მოცულობითი წონა ($\text{კგ}/\text{მ}^3$); g – სიმძიმის ძალის აჩქარება ($\text{მ}/\text{წმ}^2$).

წარმოდგენილ საანგარიშო დამოკიდებულებაში K კოეფიციენტის მნიშვნელობა დიდ დიაპაზონში იცვლება და მისი გასაშუალებელი სიდიდე ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგების საფუძველზე 4,5-ის ტოლია [26].

ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადების შემთხვევაში

K_1 კოეფიციენტის თეორიულად განსაზღვრის მცდელობა კიდევ უფრო რთულია და მისი განსაზღვრისათვის გამოყენებული აპრობირებული მეთოდები და მოდელები არ იძლევა იმის საშუალებას, რომ ტიპიზაცია და რეკომენდაცია გაეწიოს იმ კრიტერიუმებს, რომელთა საფუძველზე ზუსტად განხორციელდება თეორიული მოდელის შერჩევა.

პირველი მიახლოებით, K_1 კოეფიციენტის შეფასების მიზნით, დინამიკური დარტყმის ძალის K_1 კოეფიციენტის შეფასების დროს 1-1 კვეთიდან 2-2 კვეთამდე L მანძილით დაშორებული მოძრაობის შემთხვევაში (ნახ. 6.9), შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნაკადის მოძრაობის მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლება [98]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = Q + G - R, \quad (6.32)$$

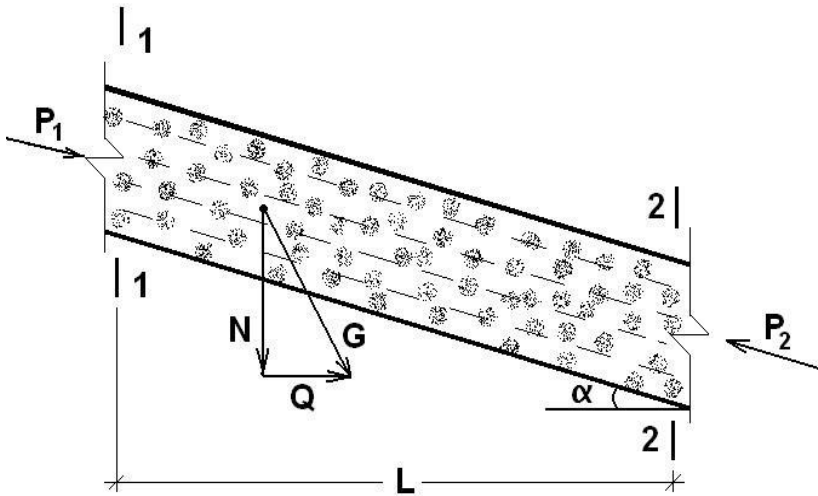
სადაც, m – მოძრავი ნაკადის ტანის მასაა (ტ); G – მოძრავი ნაკადის წონა (ტ); R – მოძრავი ნაკადის წინააღმდეგობის ძალა (ნ); Q – ნაკადის დინამიკური ზემოქმედების ძალა 1-1 კვეთში.

(6.32) განტოლების ზედაპირული და მოცულობით ძალებს თუ გამოვსახავთ საანგარიშო ფორმულებით, მივიღებთ:

$$R = mg \sin \alpha (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - \operatorname{tg} \alpha), \quad (6.33)$$

$$G = mg, \quad (6.34)$$

$$Q = \frac{K_1 m V^2}{L}. \quad (6.35)$$



ნახ. 6.9. ღვარცოფის მოძრაობის საანგარიშო სქემა

(6.33), (6.34), და (6.35) გამოსახულებების გათვალისწინებით (6.32) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{K_1 V^2}{L} + g \left[1 - \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{h_0}{2H} (\sqrt{1 + \operatorname{tg} 2\varphi} - \operatorname{tg} \varphi) \right], \quad (6.36)$$

სადაც V – 1-1 კვეთიდან 2-2 კვეთამდე ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა (მ/წმ); φ – შინაგანი ხახუნის კუთხე; H – მოძრავი ნაკადის სიმაღლე (მ); h_0 – ღვარცოფის ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიღრმე (მ).

თუ შემოვიტანთ აღნიშვნებს, რომ

$$a = \frac{K_1 V^2}{L} \quad \text{და} \quad b = g \left[1 - \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{h_0}{2H} (\sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi) \right] = gK_2, \quad (6.37)$$

მაშინ (6.36) განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a + b. \quad (6.38)$$

(6.38) დამოკიდებულების პირველი ინტეგრირებით მივიღებთ:

$$\frac{dx}{dt} = (a+b) \cdot t + c. \quad (6.39)$$

ინტეგრირების c მუდმივას განსაზღვრა ამოცანის პირობის შესაბამისად ხდება, როცა $t=0$, $\frac{dx}{dt} = V$ და $V = c$ და შესაბამისად, (6.39) განტოლებას ექნება სახე:

$$\frac{dx}{dt} = (a+b) \cdot t + V, \quad (6.40)$$

როცა $\frac{dx}{dt} = 0$, მაშინ $t = -\frac{V}{a+b}$.

(6.40) დამოკიდებულების ინტეგრირების საფუძველზე გვექნება:

$$X = V \cdot t + \frac{a+b}{2} t^2 + G_2. \quad (6.41)$$

როცა $t=0$ და $G_2=0$ და ნაკადის 1-1-დან 2-2 კვეთამდე გადაადგილების მანძილი L გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$L = V \cdot t + \frac{a+b}{2} t^2. \quad (6.42)$$

(6.42) განტოლება წარმოადგენს სიძიმის ძალების გავლენის შედეგად დახრილ კალაპოტში ნაკადის

თანაბრად აჩქარებული მოძრაობის გავლილი მანძილის განტოლებას. (6.42) განტოლების მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრის $(a+b)$ -ს სიდიდე სიმძიმის ძალის აჩქარების ტოლია. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{K_1 V^2}{2L} + g \frac{K_2}{2} = g. \quad (6.43)$$

(6.43) განტოლებას თუ ამოვხსნით K_1 -ის მიმართ, გვექნება:

$$K_1 = 1,5(1 - K_2). \quad (6.44)$$

თუ გავითვალისწინებთ (6.44) განტოლებაში K_2 -ის მნიშვნელობას, მაშინ ღვარცოფის დინამიკური ძალის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება შემდეგი სახე:

$$K_1 = 1,5 \sin \alpha \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{h_0}{2H} \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg} 2\varphi} - \operatorname{tg} \varphi \right), \quad (6.45)$$

ხოლო ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის სიდიდე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$P = 1,5 \left[\sin \alpha \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{h_0}{2H} \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi \right) \right] \frac{\gamma \omega V^2}{g}. \quad (6.46)$$

ე.ი. როდესაც ადგილი აქვს ღვარცოფების ნაგებობით რეგულირებას, ნაკადის მოძრაობის რეჟიმი იცვლება და როგორც (6.45) და (6.46) დამოკიდებულებებიდან ჩანს, ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის სიდიდე ნაკადის მოცულობითი წონის, ღვარცოფის ხარჯის,

კალაპოტის ცოცხალი კვეთის ფართობის, შინაგანი ხახუნის კუთხისა და ღვარცოფის ბმულობის ფუნქციას წარმოადგენს.

ამრიგად, ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფების რეოლოგიური მახასიათებლებისა და ნაკადის ჰიდრაულიკური გაანგარიშების გათვალისწინებით მიღებულია (6.46) საანგარიშო დამოკიდებულება, რომლის გამოყენებით შესაძლებელია არამარტო ნაგებობაზე დინამიკური დარტყმის ძალის პროგნოზირება (P), არამედ მთლიანი კონსტრუქციის ერთიან სისტემაში გაანგარიშება, მშენებლობაში მიღებული სხვადასხვა აპრობირებული პროგრამების გამოყენებით.

თაზი VII.

ღვარცოფული პროცესების პრობნოზირება კატასტროფების თეორიის გამოყენებით

7.1. ღვარცოფული მასის წონასწორობისა და მისი დაძვრის ანალიზი

საინჟინრო პრაქტიკაში დაფიქსირებულია ისეთი ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფები (კაშხლების ნგრევა, თოვლის ზვავეების დაძვრა და სხვ.), რომელთა მოძრაობის დაწყება მიმდინარეობს არა თანდათანობით, არამედ ნახტომის ფორმით – უეცრად, რაღაც მცირე დროის მონაკვეთში გამონაკლისს არც ღვარცოფული პროცესები წარმოადგენენ, რომელთა მასის მომზადება ხდება როგორც მთის ფერდობის ეროზიის, ასევე მთის ფერდის წონასწორობის დარღვევით (მეწყერი), ხოლო ღვარცოფული მასის წონასწორობის დარღვევა ხდება უეცრად [1, 3]. განვიხილოთ მდინარე დურუჯის სათავეში შავი კლდის ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვილი ღვარცოფული მასა, რომელიც იმყოფება ზღვრულ წონასწორობულ (უძრავ) მდგომარეობაში. ამ შემთხვევაში ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვილი ერთეული მოცულობის ღვარცოფული მასისათვის დეფორმაციის პოტენციური ენერგია E_3 ცნობილი ლიტერატურული წყაროებისა [1, 3, 18, 31, 33] და ჩატარებული გარდაქმნებით გამოისახება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$E_3 = \frac{2}{E \sin 2\alpha} \cdot \frac{\xi^3 - \xi^2 + \xi + 1}{\xi^3 - \xi^2 - \xi + 1} (a \cdot \operatorname{tg} \varphi + c)^2, \quad (7.1)$$

სადაც E – გრუნტის დრეკადობის მოდულია; $\sin \alpha$ – მდინარის კალაპოტის ქანობი, ξ – გრუნტის გვერდითი წნევის კოეფიციენტი, რომელიც *პუასონის* კოეფიციენტთან დაკავშირებულია შემდეგი დამოკიდებულებით [31]:

$$\mu' = \frac{\xi}{\xi + 1}. \quad (7.2)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$A \equiv \frac{2}{E \sin 2\alpha} \cdot \frac{\xi^3 - \xi^2 + \xi + 1}{\xi^3 - \xi^2 - \xi + 1}. \quad (7.3)$$

გრუნტის საკუთარი წონით გამოწვეული ვერტიკალური წნევა (P_{∇}) ტენიანობის (W') გათვალისწინებით ტოლია [31, 54]:

$$P_{\nabla} = \gamma_{\text{გვ}}(1 + 0,01 \cdot W') \cdot h'. \quad (7.4)$$

თუ გავითვალისწინებთ (7.3) და (7.4) დამოკიდებულებებს, (7.1) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E_3 = a(\operatorname{tg} \varphi + c)^2, \quad (7.5)$$

სადაც φ გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხეა, c – გრუნტის შეჭიდულობის ძალა, ხოლო

$$a \equiv 2\gamma_{\text{გვ}}h' \cos 2\alpha(1 + 0,01W'). \quad (7.6)$$

როგორც (7.5) გამოსახულებიდან ჩანს, ღვარცოფული მასის დეფორმაციის პოტენციური ენერგია დამოკიდებულია ორ φ და c შინაგან ცვლადზე და ერთ გარეგან – W' პარამეტრზე – ტენიანობაზე.

დავადგინოთ პოტენციური ენერგიის გრადიენტი

კოორდინატთა სათავეში. სიმარტივისათვის შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$y_1 = \varphi, \quad y_2 = c \text{ და } \nabla E_3 = \left(\frac{dE_3}{dy_1}, \frac{dE_3}{dy_2} \right). \quad (7.7)$$

განვიხილოთ $\text{tg} y_1$ ფუნქციის *ტეილორის* მწკრივად გაშლა:

$$\text{tg} y_1 = \frac{1}{3} y_1^3 + \frac{2}{15} y_1^5 + K \quad (7.8)$$

თავდაპირველად შევისწავლოთ $\text{tg} y_1$ ფუნქციის (7.8) *ტეილორის* მწკრივად გაშლის მესამე ნაკადი (j_3), ე.ი.

$$(j_3) \text{tg} y_1 = y_1 + \frac{1}{3} y_1^3. \quad (7.9)$$

(7.9) განტოლების გათვალისწინებით განტოლება (7.5) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E_3 = \left[a \left(y_1 + \frac{1}{3} y_1^3 \right) + y_2 \right]^2. \quad (7.10)$$

პოტენციური ენერჯიის გრადიენტი ტოლია:

$$\begin{cases} \frac{dE_3}{dy_1} = 2Aa \left[a \left(y_1 + \frac{1}{3} y_1^3 \right) + y_2 \right] \cdot (1 + y_1)^2; \\ \frac{dE_3}{dy_2} = 2A \left[a \left(y_1 + \frac{1}{3} y_1^3 \right) + y_2 \right]. \end{cases} \quad (7.11)$$

რადგან პოტენციური ენერჯიის გრადიენტი კოორდინატთა სათავეში ტოლია ნულის ($\nabla E_3 = (0, 0) = 0$), მაშასადამე არაცხადი ფუნქციის თეორემის გამოყენება არ შეიძლება და საჭიროა შევამოწმოთ *მორსის* ლემის

პირობა, ე.ი. დავადგინოთ ე.წ. „ჰესიანის“ გადაგვარების პირობა [1, 33]. შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$H^* \equiv \left(\frac{d^2 E_3}{d y_i d y_j} \right)_{i,j} , \quad i, j = \overline{1,2} \quad (7.12)$$

პოტენციური ენერჯიის მეორე რიგის კერძო წარმოებულის პოვნის შემდეგ „ჰესიანი“ კოორდინატთა სათავეში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\begin{vmatrix} 2Aa^2 & 2Aa \\ 2Aa & 2A \end{vmatrix} = 0, \quad (7.13)$$

ხოლო (7.13) გამოსახულების დეტერმინანტი ტოლია:

$$\det(H^*) = 4A^2 a^2 - 4A^2 a^2 = 0. \quad (7.14)$$

ე.ი. *მორსის* ლემის პირობა არ სრულდება და მაშასადამე, კრიტიკული წერტილი არაიზოლირებული გადაგვარებული წერტილია, ანუ წარმოადგენს არა *მორსის* კრიტიკულ წერტილს; რადგან $\nabla E_3 = 0$ და $\det(H^*) = 0$, ამიტომ შეიძლება გამოვიყენოთ განცალკევების ლემა. ამისათვის საჭიროა ვიპოვოთ „ჰესიანის“ მახასიათებელი განტოლების საკუთრივი მნიშვნელობა:

$$\begin{vmatrix} a^2 - \lambda & a \\ a & 1 - \lambda \end{vmatrix} = 0. \quad (7.15)$$

(7.15) განტოლების ამოხსნით მივიღებთ: $\lambda_1 = 0$ და $\lambda_2 = (a^2 + 1)$. რადგან $\lambda_2 \neq 0$, ამიტომ საწყისი შინაგანი ორი ცვლადიდან ცვლადთა ლოკალური გარდაქმნით გადაგვარ-

დება მხოლოდ ერთი ცვლადი, ე.ი. ცვლადთა გარდაქმნის პოტენციური ფუნქცია $\left(\overset{\bullet}{=} \right)$ შემდეგ მიიღებს სახეს [56]:

$$E_3 \overset{\bullet}{=} \text{Cat}(J, K) + f_M(X_2), \quad (7.16)$$

სადაც, $\text{Cat}(J, K)$ კატასტროფის ფუნქციაა [28, 56], J - ცვლადთა რაოდენობა, ხოლო K - პარამეტრების რაოდენობა, f_M - მორსის კვადრატული ფორმა. ჩვენ შემთხვევაში $J=1$, $K=1$, ამიტომ ტომის თეორემის თანახმად [33] მივიღებთ:

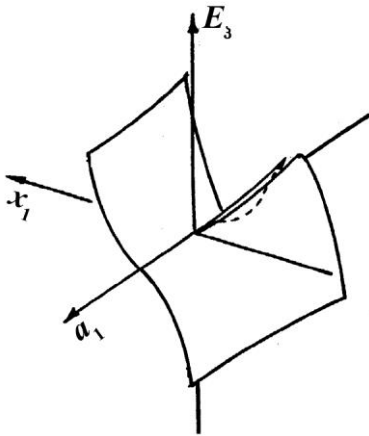
$$\text{Cat}(1,1) = x_1^3 + a_1 x_1. \quad (7.17)$$

მიღებული კატასტროფა წარმოადგენს ტომის შვიდი კატასტროფიდან ე.წ. „ნაკეცის“ კატასტროფას. პოტენციური ენერჯიის ლოკალური სახე კოორდინატთა სათავეში მოცემულია 7.1 ნახაზზე, ხოლო კრიტიკული წერტილის მნიშვნელობა კი ტოლია:

$$X_1 = \pm \sqrt{-(a_1/3)}. \quad (7.18)$$

კრიტიკულ წერტილთა სიმრავლე მოცემულია ნახ. 7.2-ა-ზე. როგორც (7.18) გამოსახულებიდან ჩანს, ფუნქციის ლოკალური მინიმუმა $X_1 = -\sqrt{-(a_1/3)}$, რომელშიც იმყოფება ფაქტობრივად ზემოთ აღწერილი მოვლენა a_1 პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

როგორც ჩანს, პარამეტრის უარყოფითი მნიშვნელობებისათვის პოტენციურ ენერჯიას აქვს ერთი ლოკალური მინიმუმი, ხოლო დადებითი მნიშვნელობებისათვის ფუნქციას ლოკალური მინიმუმი საერთოდ არ გააჩნია,

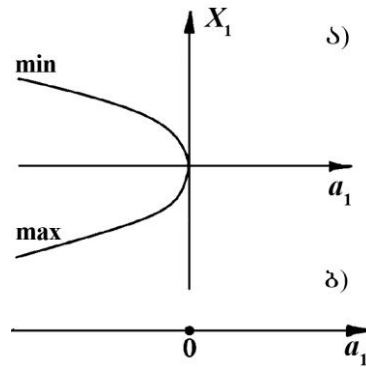


ნახ. 7.1. პოტენციალური ენერჯის გრაფიკი

ის წერტილი და იგი ჩვენ შემთხვევაში ერთადერთია (იხ. ნახ. 7.2-ბ).

ამრიგად, ერთპარამეტრიანი ბმული ღვარცოფული მასის მოდელის შემთხვევაში, ღვარცოფული მასის ზღვრული წონასწორობიდან გამოსვლა აღიწერება „ნაკეცის“ კატასტროფით. აკადემიკოს *ც. მირცხულავას* ნაშრომში [63] ნაჩვენებია აქვს, რომ თოვლის ზვავისა და ღვარცოფის ფრონტის გაჩერების აღმწერი მოვლენა წარმოადგენს

რაც იმას მიუთითებს, რომ ($a_1=0$) წერტილში პოტენციური ენერჯის გრადიენტი განიცდის ნახტომს და ფიზიკური მოვლენა გადადის სხვა მდგომარეობაში, რომელსაც ჩვენი მათემატიკური მოდელი არ აღწერს, ე.ი. იწყება ზღვრულ წონასწორობაში მყოფი ღვარცოფული მასის მოძრაობა. ($a_1=0$) – წერტილს ეწოდება ბიფურკაცი-

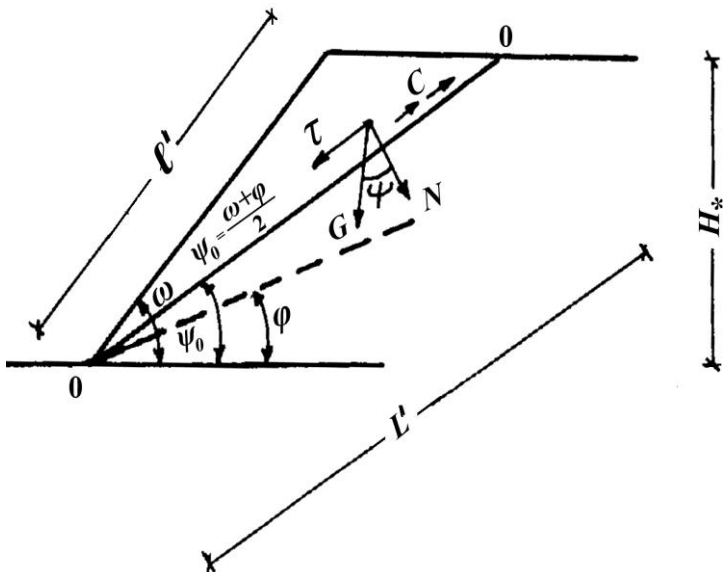


ნახ. 7.2. პოტენციალური ენერჯის კრიტიკული წერტილები: ა) ლოკალური მინიმუმები და მაქსიმუმები; ბ) ბიფურკაციის წერტილი

„ნაკეცის“ კატასტროფას, რაც ერთხელ კიდევ მიუთითებს ჩატარებული კვლევის საიმედო მიმართულებაზე.

განვიხილოთ მცირე სიძლიავრის მეწყერი და დავეშვათ, რომ მთის ფერდის დაძვრის სიბრტყეს აქვს წრფივი ხასიათი (ნახ. 7.3); სადაც λ' მთის ფერდობის სიგრძეა, L' – დაცურების სიბრტყის სიგრძე, H^* – მთის ფერდობის სიმაღლე. ჩამოცურების სიბრტყეში გრუნტის აქტიური (კრიტიკული) შეჭიდულობის ძალის მნიშვნელობა ტოლია [31]:

$$c = \frac{\gamma H^*}{2} \cdot \frac{\sin(\omega - \psi) \cdot \sin(\psi - \phi)}{\sin \omega \cdot \cos \phi} \quad (7.19)$$



ნახ. 7.3. მთის ფერდის განივი ჭრილი

გავაწარმოოთ (7.19) გამოსახულება ψ კუთხით (გრუნტის ჩამონგრევის კუთხე), მივიღებთ:

$$\frac{dc}{d\psi} = \frac{\gamma H_* \cdot \cos(\psi) \cdot \sin(\omega - \psi_0) - \sin(\psi_0 - \varphi) \cdot \cos(\omega - \psi_0)}{2 \sin \omega \cdot \cos \varphi}. \quad (7.20)$$

განვიხილოთ $c(\psi)$ ფუნქციის ტეილორის მწკრივად გაშლა:

$$c(\psi_0 + \varphi) = a_0 + a_1\psi + a_2\psi^2 + a_3\psi^3 + \Lambda \quad (7.21)$$

დავადგინოთ (7.21) მწკრივის კოეფიციენტები:

$$a_0 = a' \sin^2 \frac{(\omega - \varphi)}{2}; \quad (7.22)$$

$$a_1 = 0; \quad (7.23)$$

$$a_2 = -a'; \quad (7.24)$$

$$a_3 = 0; \quad (7.25)$$

$$a_4 = \frac{1}{3}a'; \quad (7.26)$$

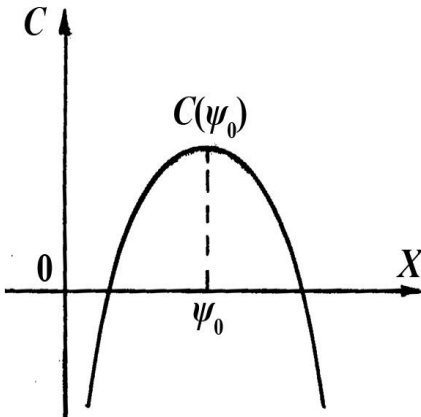
სადაც $a' \equiv \frac{\gamma H_*}{2 \sin \omega \cdot \cos \varphi}$.

მწკრივის კოეფიციენტების გათვალისწინებით (7.21) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს [1]:

$$c(\psi_0 + \psi) = a' \sin^2 \frac{(\omega - \varphi)}{2} - a'\psi^2 + \frac{1}{3}a'\psi^4 - \Lambda; \quad (7.27)$$

კატასტროფების თეორიიდან ცნობილია, რომ კრიტიკული წერტილი გადაუგვარებელია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როდესაც $D^2 f|_{x_0} \neq 0$, სადაც $f: R \rightarrow R$ ფუნქცია

და x_0 – კრიტიკული წერტილია; ამ შემთხვევაში, *ძორსის* ლემის თანახმად არსებობს კოორდინატთა გლუვი ლოკალური გარდაქმნა, რის შედეგადაც f ფუნქცია მიიღებს $\pm x^2$ -ის მნიშვნელობას, სადაც ნიშანი ემთხვევა $D^2 f|_{x_0}$ -ის ნიშანს, ჩვენ შემთხვევაში $D^2 c|_{\psi_0} = -a' \neq 0$, ე.ი. გრუნტის მასის შეჭიდულობის ძალა ფუნქციის ქვედა ψ_0 წერტილში ლოკალურად აღიწერება $(-a'\psi^2)$ ფუნქციით, რომლის გრაფიკი მოცემულია 7.4 ნახაზზე [1, 33].



ნახ. 7.4. მთის ფერდის გრუნტის შეჭიდულობის ძალის ფუნქციის გრაფიკი

ჩატარებული მათემატიკური ანალიზიდან გამომდინარე, შეიძლება გაგაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

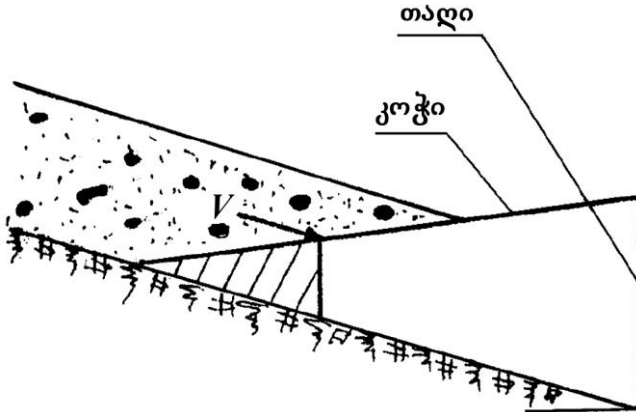
მთის ფერდობის გრუნტის მოცულობითი წონის გაზრდასთან დაკავშირებით გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხე (φ) იზრდება და როდესაც ის მიაღწევს ლოკალური მაქსიმუმის წერტილს

(ψ_0), მაშინ გრუნტის შეჭიდულობის ძალის მნიშვნელობა კრიტიკულია $c(\psi_0)_k$, რომლის მცირედი ცვლილებისას (შეშფოთებისას) იწყება მთის ფერდის ჩამოცურება სიბრტყეზე სიგრძით $-L_0$ (ნახ. 7.3).

7.2. ღვარცოფის ზემოქმედებისას ტრამპლინის ტიპის ახალი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების წყობიდან გამოსვლის ალბათობის შეფასება

ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, მათ შორის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობებიც, შედგება ცალკეული კვანძებისაგან, რომელთა კრიტიკულ ზღვარზე მუშაობამ შესაძლებელია გამოიწვიოს კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლა.

განვიხილოთ ტრამპლინის ტიპის გამჭოლი (თაღოვან-კოჭოვანი) ნაგებობა, რომელზეც მოქმედებს ღვარცოფი (ნახ. 7.5).

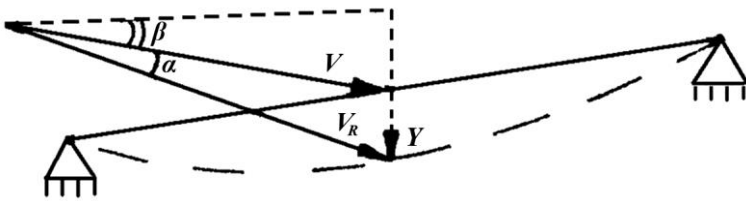


ნახ. 7.5. საანგარიშო სქემა

ღვარცოფის ზემოქმედების შედეგად კონსტრუქციის კვანძების მიხედვით ნაგებობის შესაძლო მწყობრიდან გამოსვლა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც: ა) კოჭის რხევა; ბ) კოჭის ღუნვა და გ) თაღის მწყობრიდან

გამოსვლა.

განვიხილოთ ნაგებობის მწყობრიდან გამოსვლა კოჭის რხევის შედეგად. ღვარცოფი, რომელიც მოძრაობს α კუთხით დახრილ მდინარის კალაპოტში, ნაგებობაზე მოქმედებს ძალით (F), რომლის ზემოქმედების შედეგად კოჭი იწყებს რხევას და ჩაიღუნება y მიმართულებით (ნახ. 7.6) [2,33,59].



ნახ. 7.6. ძალთა სამკუთხედის ასაგები საანგარიშო სქემა

ნაგებობაზე მოქმედი დინამიკური ძალის მნიშვნელობა ტოლია [2]:

$$F = 4,5\rho V^2 \omega C(\alpha), \quad (7.28)$$

სადაც, ρ არის ღვარცოფის სიმკვრივე, ω – ნაგებობის ის ფართობი, რომელზედაც მოქმედებს ღვარცოფი, $C(\alpha)$ – საძიებელი კუთხე.

ღვარცოფის ზემოქმედებისას კოჭის რხევის ამსახველ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე [59]:

$$my'' + ry' + ky = 4,5\rho \omega V^2 C(\alpha), \quad (7.29)$$

სადაც, m არის კოჭის მასა, r – კოჭის დემპფერი, k – დრეკადი ზამბარის მახასიათებელი, y – კოჭის ღუნვა, ხოლო y' – კოჭის ღუნვის სიჩქარე. ძალთა სამკუთხედი-

დან განესაზღვროთ $(\alpha + \beta)$ კუთხის მნიშვნელობა (ნახ. 7.6), მივიღებთ:

$$(\alpha + \beta) = \arctg \left[V \operatorname{tg} \beta + \frac{y'}{V \cos \beta} \right]. \quad (7.30)$$

(7.29) დამოკიდებულებაში შემავალი ფუნქციის კრიტიკული წერტილების საპოვნელად (7.30) დამოკიდებულება გავშალოთ *ტეილორის* მწკრივის სახით. თუ ამ მწკრივს გარდავქმნით, მივიღებთ:

$$C(\alpha + \beta) = A_0 - A_1 \alpha, \quad (7.31)$$

სადაც,

$$\begin{cases} A_0 \equiv \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} - 1}{\operatorname{tg} \beta}; \\ A_1 \equiv \frac{2 \operatorname{tg}^2 + 1 - \sqrt{1 + \operatorname{tg} \beta}}{\sin^2 \beta \sqrt{1 + \operatorname{tg} \beta}}. \end{cases} \quad (7.32)$$

(7.31) და (7.32) განტოლებების გათვალისწინებით (7.29) დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$m y'' + r y' + k y = 4,5 \rho \omega V^2 (A_0 - A_1 \alpha). \quad (7.33)$$

(7.33) განტოლებაში α კუთხე აღვნიშნოთ, როგორც $\alpha = \arctg x$, მაშინ

$$\alpha(x) = \arctg 0 \Big|_0 + x \cdot \frac{1}{1 + x^2} \Big|_0 = x, \quad (7.34)$$

ე.ი.
$$\alpha = \arctg' x = \frac{1}{1 + x^2}. \quad (7.35)$$

(7.34) და (7.35) განტოლებების გათვალისწინებით α კუთხის მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$\alpha = V \operatorname{ctg} \beta + y' / V \cos \beta - \beta. \quad (7.36)$$

(7.36) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (7.29) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$my'' + ry' + ky = 4,5\rho\omega V^2 [A_0 - A_1(V \operatorname{tg} \beta + y' / V \cos \beta - \beta)]. \quad (7.37)$$

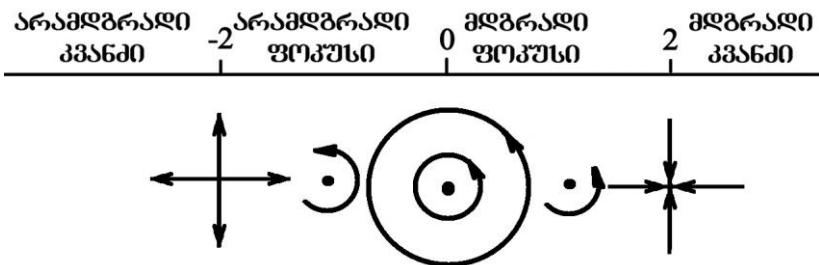
(7.37) განტოლებაში შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$\begin{cases} A_0 + A_1\beta \equiv B_0; \\ A_1 \operatorname{tg} \beta \equiv B_1; \\ A_1 / \cos \beta \equiv B_2; \\ 4,5\rho\omega V^2 (B_0 - B_1 V^3) \equiv f(V); \end{cases} \quad (7.38)$$

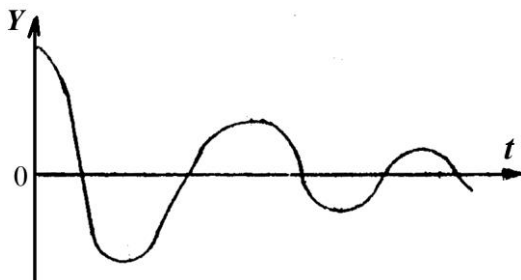
(7.38) დამოკიდებულებების მნიშვნელობები შევიტანოთ (7.37)-ში, მივიღებთ:

$$my'' + (r + 4,5\rho\omega V) y' + ky = f(V). \quad (7.39)$$

თუ ჩავატარებთ (7.39) განტოლების ანალიზს, მივიღებთ, რომ ღვარცოფის ნაგებობაზე ზემოქმედებისას, კოჭის რხევას აქვს მდგრადი ფოკუსი, ე.ი. ადგილი აქვს ხოფის მაღალი ხარისხის ბიფურკაციას (ნახ. 7.7), ხოლო კოჭის რხევის გრაფიკი დროსთან კავშირში ნაჩვენებია 7.8 ნახაზზე.



ნახ. 7.7. ნაგებობის მდგრადი და არამდგრადი წერტილები



ნახ. 7.8. კოჭის რხევის გრაფიკი დროსთან კავშირში

როგორც გრაფიკიდან ჩანს (ნახ. 7.8), კოჭის რხევა დროსთან კავშირში მიღწევადია, ეს ნიშნავს, რომ ნაგებობების მწყობრიდან გამოსვლა კოჭის რხევის შედეგად დაუშვებელია, რადგან ტრამპლინის ტიპის ნაგებობის ზედა ბიფეში დაგროვილი ღვარცოფული მასის წონა ზემოქმედებს კოჭის დემპფერის რხევის ჩაქრობაზე. თუ ტრამპლინის ტიპის ნაგებობების დაპროექტების დროს, სხვა მაჩვენებლებთან ერთად, გავითვალისწინებთ ოპტიმიზაციის ელემენტებსაც, ნაგებობის მუშაობის პროცესში კოჭის რხევა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ღვარცოფის ენერჯის ეფექტური ჩაქრობისთვის.

რაც შეეხება ნაგებობის მწყობრიდან გამოსვლას კოჭის ღუნვის შედეგად, როდესაც კოჭის ორივე ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული და მისი სიგრძე უცვლელია, ეს პროცესი კატასტროფების თეორიის მიხედვით შესწავლილია და იგი წარმოადგენს ე.წ. „აწყობის კატასტროფას“.

განვიხილოთ ნაგებობის მწყობრიდან გამოსვლა თაღის ავარიის შემთხვევაში. თაღზე ღვარცოფის ზემოქმედების შედეგად მოქმედებს ჯამური ძალა, რომელიც

ტოლია [2, 18]:

$$F_{\text{წ}} = 4,5\rho\omega V^2 C(\alpha) + 0,5\gamma B[H_1(l_{st}^2 - H_1^2)^{0,5} + 2l_{st}h], \quad (7.40)$$

სადაც γ არის ღვარცოფული მასის მოცულობითი წონაა (კგ.დ/მ³), H_1 – ნაგებობაზე ღვარცოფული მასის სიმაღლე (მ), l_{st} – ნაგებობის სიგრძეა (მ).

ღვარცოფული მასის გავლენით თაღის ფორმა შეეისწავლეთ ფურიეს მწკრივად გაშლის სახით [59]:

$$y(x) = \sum_{j=1}^{\infty} a_j \sin\left(\frac{j\pi x}{\lambda_1}\right), \quad (7.41)$$

სადაც $y(x)$ თაღის ფორმის აღმწერი ფუნქციაა, a_j – თაღის შუა წერტილის დაშორება X ღერძიდან, ხოლო λ_1 – თაღის მალის სიგრძე.

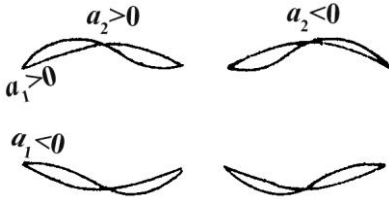
თაღი ღვარცოფის ზემოქმედების პროცესში განვიხილოთ, როგორც არაკუმშვადი კოჭი, რომლის საწყისი ფორმა სინუსოიდალური სახისაა. ამ დროს თაღის სიგრძე აღიწერება შემდეგი დამოკიდებულებით [33,54]:

$$L_{01} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{\infty} a_j^2 \left(\frac{j\pi}{\lambda_1}\right)^2 \cdot \frac{\lambda_1}{2} + \dots \quad (7.42)$$

(7.41) განტოლება თაღის ფორმის წარმოდგენის უსასრულო სახეა, რომელიც შეიძლება შეიცვალოს თაღის ფორმის მდგრადობის სასრულზოლიანი სივრცით, ამისათვის კი (7.41) დამოკიდებულებაში საკმარისია ფურიეს მწკრივის პირველი ორი კოეფიციენტი, რომელთაგან პირველი გვიჩვენებს თაღის მდგრადობას, მეორე

კი - თალის სიმრუდეს (დეფორმაციას), ე.ი.

$$y(x) = a_1 \sin\left(\frac{\pi x}{\lambda_1}\right) + a_2 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda_1}\right). \quad (7.43)$$



სურ. 7.9. თალის დეფორმაციის ფორმები

(7.43) განტოლებაში

ე.წ. ფურიეს კოეფიციენტები შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც დატვირთვის გარეგანი პარამეტრები. დვარცოფის თაღზე ზემოქმედების პროცესში თაღს ფიზი-

კურად შეიძლება ჰქონდეს დეფორმაციის ოთხი ფორმა (ნახ. 7.9).

(8.43) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (8.42) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$L_{01} = \lambda_1 + \frac{\lambda_1}{4} \left[\left(\frac{\pi a_1}{\lambda_1} \right)^2 + \left(\frac{2\pi a_2}{\lambda_1} \right)^2 \right] - \frac{\lambda_1}{8} \left[\frac{3}{8} \left(\frac{\pi a_1}{\lambda_1} \right)^4 + \frac{3}{2} \left(\frac{\pi a_1}{\lambda_1} \right)^2 \left(\frac{2\pi a_2}{\lambda_1} \right)^2 + \frac{3}{8} \left(\frac{2\pi a_2}{\lambda_1} \right)^4 \right]. \quad (7.44)$$

დვარცოფის ზემოქმედების დროს თალის მუშაობის პროცესში აღძრული პოტენციური ენერგია ტოლია [59]:

$$E_3 = \frac{B' \lambda_1}{2} \int_0^{\lambda_1} \left(\frac{d^2 y}{d x^2} \right) d x, \quad (7.45)$$

სადაც B' თალის დეფორმაციის კოეფიციენტია.

თუ (7.42) გამოსახულების მნიშვნელობას შევიტანთ

(7.45)-ში და თაღის მუშაობის პოტენციურ ენერგიას გამოვსახავთ ფურეის მწკრივის ორი კოეფიციენტით, მივიღებთ:

$$E_3 = \frac{B'\lambda_1}{2} \left[\left(\frac{\pi}{\lambda_1} \right)^4 a_1^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \right)^4 a_2^2 \right]. \quad (7.46)$$

ღვარცოფის ზემოქმედების შედეგად ჯამური ძალის (F_x) მიერ შესრულებული მუშაობა, რომელიც იწვევს თაღის დეფორმაციას და გადაადგილებას $\Delta y(x)$ მანძილით, ტოლია:

$$\Delta y(x) = y_0(x) - y(x) = a_1^0 \sin\left(\frac{\pi x}{\lambda_1}\right) - a_1 \sin\left(\frac{\pi x}{\lambda_1}\right) - a_2 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda_1}\right). \quad (7.47)$$

ე.ი. ღვარცოფის ჯამური ძალის (F_x) მოქმედებისას პოტენციური ენერგია, რომელიც აღწერს სტატიკურად იდეალურ თაღს, გამოისახება შემდეგი ფუნქციით:

$$E_3(a_1, a_2, F_j) = \frac{B'\lambda_1}{2} \left[\left(\frac{\pi}{\lambda_1} \right)^4 a_1^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \right)^4 a_2^2 \right] - \frac{2F_x \lambda_1}{\pi} (a_1^0 - a_1). \quad (7.48)$$

(7.48) დამოკიდებულება შეიძლება გავამარტივოთ, თუ კოეფიციენტებს a_1 -სა და a_2 -ს ორი ცვლადის მაგივრად გამოვსახავთ ერთი ცვლადით. თუ ეს გამოისახება ინვარიანტულია ნიშნის მიმართ, ე.ი. $a_1 \rightarrow \pm a_1$ და $a_2 \rightarrow a_2$, ხოლო ნიშანი შეირჩევა თაღის ფორმის ცვლილების მიხედვით, მივიღებთ:

$$a_1 = \pm f(a_2), \text{ სადაც } a_1^0 = f_1(0). \quad (7.49)$$

რადგან $a_2 \rightarrow \pm a_2$ ($a_1 > 0$), ამიტომ f ფუნქცია ლუწია

და ტეილორის მწკრივად გაშლის დროს კენტი ხარისხები არ გვექნება, ხოლო კოეფიციენტები კი ისე შევარჩიოთ, რომ გარდაქმნები გამარტივდეს. რადგან კოეფიციენტთა რაოდენობრივი ცვლილება არ იწვევს პროცესის სტრუქტურულ ცვლილებას, ანუ არ იცვლება ტოპოლოგიური ფორმა, მივიღებთ:

$$\begin{cases} a_1 = a_1^0 - \frac{2}{a_1^0} a_2^2 - \frac{2}{(a_1^0)^3} a_1^4 - \Lambda ; \\ a_1^2 = (a_1^0)^2 - 4a_2^2. \end{cases} \quad (7.50)$$

შევიტანოთ (7.50) გამოსახულების მნიშვნელობები (7.46)-ში:

$$E_p = \frac{B'\lambda_1}{2} \left(\frac{\pi}{\lambda_1} \right)^4 (a_1^0)^2 + \left[3B'\lambda_1 \left(\frac{\pi}{\lambda_1} \right)^4 - \frac{4F_j\lambda_1}{\pi a_1^0} \right] a_2^2 - \frac{4F_j\lambda_1}{\pi (a_1^0)^3} a_2^4 + \Lambda \quad (7.51)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

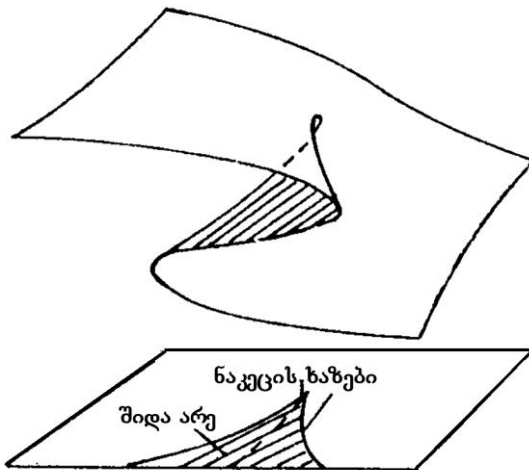
$$\begin{cases} A_0 \equiv B'\lambda_1/4 \cdot (\pi/\lambda_1)^4 \cdot (a_1^0)^2; \\ \frac{1}{2} A_2 \equiv 3B'\lambda_1 \cdot (\pi/\lambda_1)^4 - 4F_j\lambda_1/\pi a_1^0; \\ \frac{1}{4} A_4 \equiv 4F_j\lambda_1/\pi (a_1^0)^3. \end{cases} \quad (7.52)$$

(7.52)-ის გათვალისწინებით (7.51) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E_3 = A_0 + \frac{1}{2} A_2 a_2^2 - \frac{1}{4} A_4 a_2^4. \quad (7.53)$$

(7.53) გამოსახულება წარმოადგენს ე.წ. „შებრუნე-

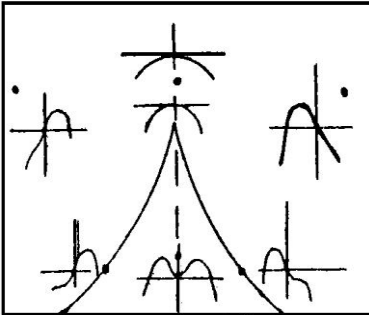
ბული აწყობის“ კატასტროფას (ნახ. 7.10). იგი ჩვეულებრივი „აწყობის“ კატასტროფისგან განსხვავდება მხოლოდ უარყოფითი ნიშნით, მაგრამ ეს უმნიშვნელო განსხვავება იწვევს დიდ ფიზიკურ ცვლილებას. კერძოდ, ღვარცოფის თაღზე ჯამური ძალის ($F_{\text{ჯ}}$) მოქმედების შედეგად პოტენციური ენერგიის აღმწერი ფუნქციის მინიმუმები და მაქსიმუმები იცვლიან ადგილს.



ნახ. 7.10. „შებრუნებული აწყობის“ კატასტროფის გრაფიკი

ზოგადად, „აწყობის“ კატასტროფას ყოველთვის ერთი „გლობალური“ მინიმუმი მაინც გააჩნია და თუ მმართველი პარამეტრების ცვლილების დროს „იკარგება“ ერთი მინიმუმი, მაშინვე წარმოიშობა მეორე და ამდენად, „აწყობის“ კატასტროფა აღწერს მდგრად სისტემას. მაგრამ ჩვენს შემთხვევაში „შებრუნებული აწყობის“ კატასტროფას მხოლოდ ერთი „ლოკალური“ მინიმუმი გააჩნია, როცა პარამეტრები იმყოფება მმართველი პარამეტრების

სივრცის შიდა არეში (ნახ. 7.11).



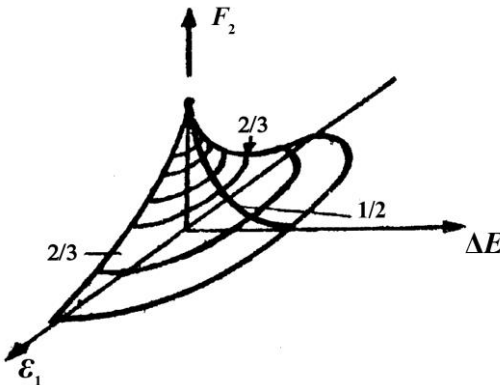
სურ. 7.11. „შებრუნებული აწობის“ კატასტროფის „ლოკალური“ მინიმუმების გრაფიკი

რადგან ღვარცოფების მოძრაობა ბუნებაში მიმდინარეობს ტალღისებურად, ამიტომ ნაგებობაზე დატვირთვები, როგორც სტატიკური, ასევე დინამიკური, იზრდება და მიისწრაფვის იმ კრიტიკული ძალის მნიშვნელობისაკენ, რომლის დროსაც ფურიეს მწკრივის მეორე კოეფიციენტის $|a_2|$ -ის მნიშვნელობის მცირე

სიდიდით „შეშფოთებაც“ კი იწვევს თაღის უეცრივ წყობიდან გამოსვლას. თაღის დანგრევა ღვარცოფის მოქმედების შედეგად იწყება მაშინ, როდესაც მისი სიმძიმის ცენტრი გადაადგილდება, ანუ როდესაც ღვარცოფის ნაგებობაზე მოქმედი ძალის მუშაობა გადააჭარბებს თაღის დეფორმაციის ენერგიას. ამ დროს თაღი იწყებს მოძრაობას ქვემოთ და მას ვერაფერი ვერ დააკავებს ამობრუნებული მდგომარეობის მიღებამდე. ეს კიდევ ერთხელ მიუთითებს, რომ ღვარცოფის ზემოქმედების დროს თაღის წყობიდან გამოსვლა აღიწერება „შებრუნებული აწობის“ კატასტროფით და თაღის ნგრევა ხდება ღვარცოფის კრიტიკული ძალის გადაჭარბებისთანავე – მყისიერად. მართლაც, როდესაც მმართველი პარამეტრები გადაკვეთენ ნაკეცის ბიფურკაციის წირებს, ისინი მოხვდებიან იმ გარე არეში, სადაც ფუნქციას საერთოდ არ გააჩნია მინი-

მუმი და ხდება თაღის წყობიდან გამოსვლა (ნახ. 7.10).

რეალურად, ღვარცოფსაწინააღმდეგო მშენებლობის პრაქტიკაში არ არსებობს უდეფექტო ნაგებობების კვანძი როგორც მშენებლობის პროცესში დაშვებული შეცდომის, ასევე სამშენებლო მასალის დაბალი ხარისხის გამო; აგრეთვე ღვარცოფის ბუნებიდან გამომდინარე, ტრამპლინის ტიპის ნაგებობაზე ზემოქმედებისას, დატვირთები არასიმეტრიულად არის განაწილებული, რაც საერთო ჯამში იწვევს ნაგებობის წყობიდან გამოსვლას კრიტიკულზე ნაკლები ძალით. თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ აღნიშნულ მოსაზრებას და ε -ით აღვნიშნავთ თაღის შესაძლო განზოგადებულ დეფექტებს, ხოლო Δ -თი – ღვარცოფის ნაგებობაზე მოქმედების შედეგად თაღში აღძრულ კინეტიკური ენერჯიის ნაზრდს, მივიღებთ შემდეგ შემთხვევას (ნახ. 7.12):



ნახ. 7.12. თაღის ავარიის გამომწვევი მინიმალური ძალის გრაფიკი

თუ წინასწარ გვეცოდინება, ან ჩვენ შევაფასებთ თაღის დეფექტის ხარისხს, მაშინ ε -ის შესაბამის წირზე წერტილის

მოძებნით ვიპოვით იმ მინიმალური ძალის მნიშვნელობას, რომელიც ამ ნაგებობისათვის დამანგრეველი იქნება, ე.ი. თუ თაღმა ადრე ღვარცოფის ზემოქმედების შედეგად მიიღო საშუალო ხარისხის დეფექტი, მაშინ შემდეგი ღვარცოფის ზემოქმედებისას, მიუხედავად იმისა, რომ ამ ძალის სიდიდე არ იქნება კრიტიკული ძალის სიდიდის ტოლი, სავსებით შესაძლებელია, მოხდეს თაღის წყობიდან გამოსვლა, მითუმეტეს იმ შემთხვევაში, თუ ეს დატვირთვა დინამიკურია.

თავი VIII.

ინოვაციური საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებები მდინარე ღურუჯის კალაპოტის რეაბილირებისათვის

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში (ყოფილი საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტი) ავტორის მიერ დამუშავებული არის ბუნების სტიქიური მოვლენების (წყალდიდობები, ღვარცოფები, თოვლის ზვავები, ეროზია და მეწყრული პროცესები) საწინააღმდეგო ახალი ნაგებობები, რომელთა მეცნიერულ-ტექნიკური სიახლის პრიორიტეტებიც დაცულია 10 საზღვარგარეთის და 7 საქართველოს პატენტის მოწმობით.

იუნესკოს საერთაშორისო პროგრამის (“IDNDR”, 1991-2000 წწ.) შესაბამისად ავტორმა ფრანგულ ენაზე გამოსცა მონოგრაფია „გარემოსდამცავი ნაგებობების ახალი კონსტრუქციები“, სადაც განხილულია ზემოთ აღნიშნული გარემოსდამცავი ნაგებობების კონსტრუქციული დახასიათება და მათი დაპროექტებისათვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია [86].

ზემოთ აღნიშნული წიგნის მეცნიერ-რედაქტორი, აკადემიკოსი ცოტნე მირცხულავა აღნიშნავდა, რომ „ნაგებობების პრაქტიკაში გამოყენება, მათი კონსტრუქციული თავისებურებიდან გამომდინარე, საგრძნობლად გაზრდის კაშხლების საიმედო მუშაობის ალბათობას და

შემცირდება კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლის რისკი. სტიქიური მოვლენების წარმოშობის თვალსაზრისით, საქართველო არის ბუნებრივი ლაბორატორია და თუ მხედველობაში მივიღებთ მდინარეების: დურუჯის, არაგვის, ცხენისწყლის, აჭარის წყლის და სხვა ღვარცოფსადინარების წყალშემკრები აუზების კატასტროფულ ეკოლოგიურ მდგომარეობას, შეიძლება ითქვას, რომ სამეცნიერო ნაშრომი ჩვენი ქვეყნისათვის, და არა მარტო საქართველოსათვის, აქტუალურია და მეცნიერ-სპეციალისტების ყურადღების ცენტრში მოექცევა“ [17].

აკადემიკოს *ც. მირცხულავას* პროგნოზმა მართლაც გაამართლა, როდესაც 1999 წელს შედგა წიგნის პრეზენტაცია ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ქ. ვაშინგტონში, ავტორის სტაჟირების დროს; ამერიკის გარემოს დაცვისა და აგრარულ დეპარტამენტებში დიდი შეფასება მისცეს მსოფლიოში ცნობილმა მეცნიერ-სპეციალისტებმა: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორებმა, პროფესორებმა: *ა. ბორტვიკმა* (ოქსფორდის უნივერსიტეტი), *დ. ვანდაიძე* (კანადა), *მ. ბეხტმა* (გერმანია), *დ. ვიკზორეკმა* (აშშ), პროფესორმა *ხ. ტოგნასამ* (შვეიცარია), „იუნესკოს“ სტიქიური უბედურებისა და გარემოს დაცვის განყოფილების გამგემ, პროფესორმა *ტ. შააფმა* (საფრანგეთი) და ა.შ.

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია ახალი კონსტრუქციები, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს მდინარე დურუჯის აუზში მიმდინარე დედამიწის ზედაპირის დესტრუქციული პროცესების საწინააღმდეგოდ.

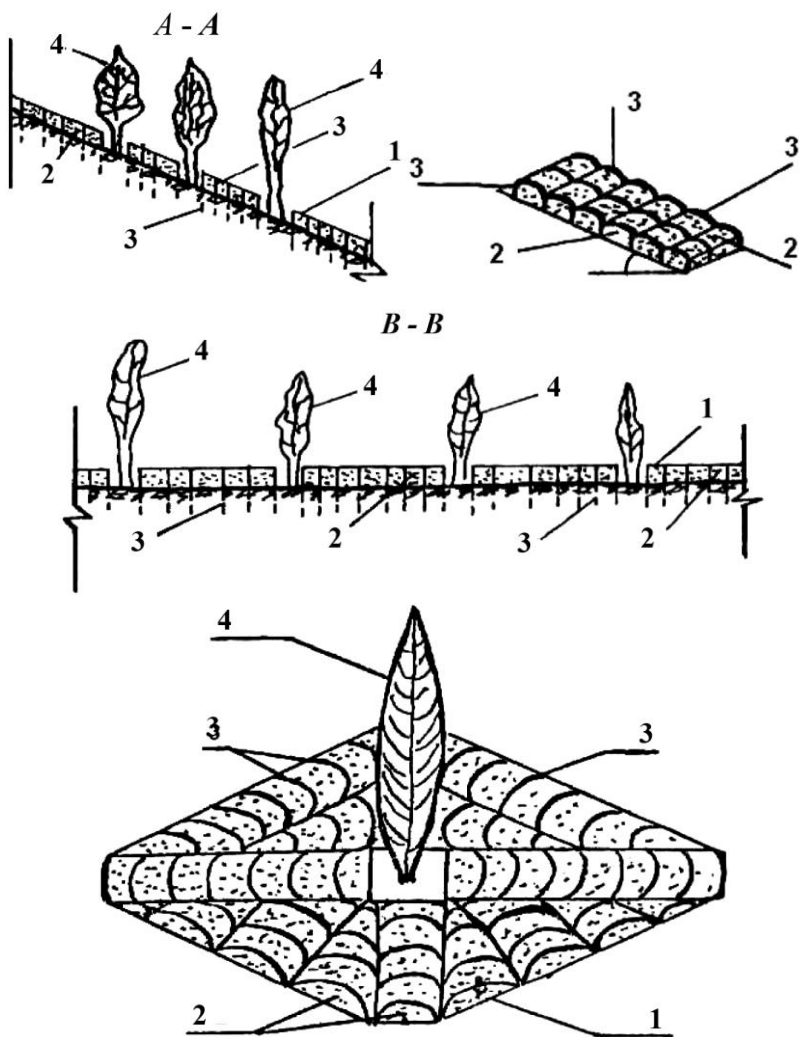
8.1. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობების ახალი კონსტრუქციები

წყლისმიერი ეროზიის საწინააღმდეგოდ, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში, პროფ. გივი გაეარდაშვილის მიერ დამუშავებულია მთელი რიგი რესურსმზოგი ახალი კონსტრუქციები, რომელთა მეცნიერულ-ტექნიკური სიახლის პრიორიტეტებიც დამოწმებულია საქართველოსა და საზღვარგარეთის პატენტის მოწმობებით [39].

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია (ნახ. 8.1) უზრუნველყოფს გრუნტის ნაწილაკების ადგილზე შეკავებას, ეწინააღმდეგება ეროზიის გავრცელებას მთის ფერდობზე, ქმნის მცენარისათვის ნორმალურ ეკოლოგიურ გარემოს და ხასიათდება დაბალი სამშენებლო-სამონტაჟო ხარჯებით.

ნაგებობა შედგება პოლიეთილენის ტომრებისაგან (1), რომლებიც შევსებულია ადგილობრივი გრუნტით (2).

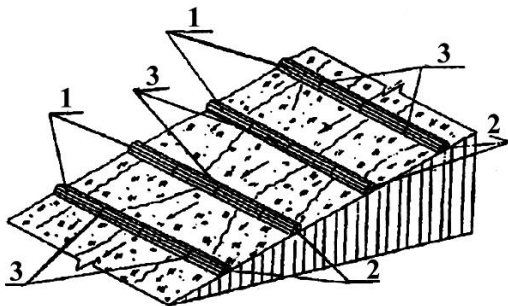
პოლიეთილენის ტომრები (1) გრუნტის ზედაპირზე დამაგრებულია ლითონის სამაგრებით (3), ხოლო მთის ფერდობის თავისუფალ ადგილებში ჭადრაკული განლაგებით დარგულია მწვანე ნარგავები (4). გეგმაში პოლიეთილენის ტომრები (1) გრუნტის ზედაპირზე განლაგებულია მცენარეების გარშემო რადიალურად და ერთმანეთთან დაკავშირებულია (გადაბმულია) პოლიეთილენის მასალით.



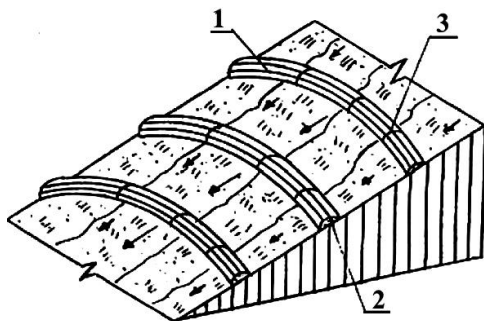
ნახ. 8.1. ეროზიის საწინააღმდეგო კონსტრუქცია

ეროზიის საწინააღმდეგო ზეინულები (ნახ. 8.2, 8.3 და 8.4), რომლებიც შედგება მიწის ტომრებისაგან, მთის ფერდობზე განლაგებულია სხვადასხვა კონფიგურაციით,

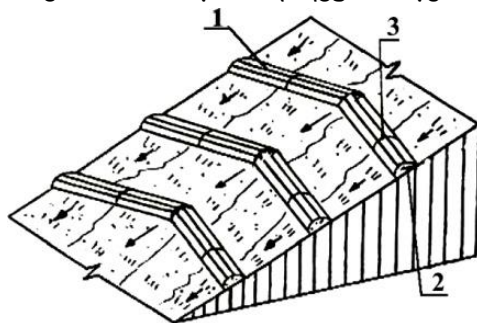
რაც უზრუნველყოფს მთის ფერლობზე ინტენსიური წვიმების შედეგად წარმოშობილი წყლის ზედაპირული ნაკადების კინეტიკური ენერჯის ჩაქრობას [23].



ნახ. 8.2. ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა



ნახ. 8.3. ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა



ნახ. 8.4. ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა

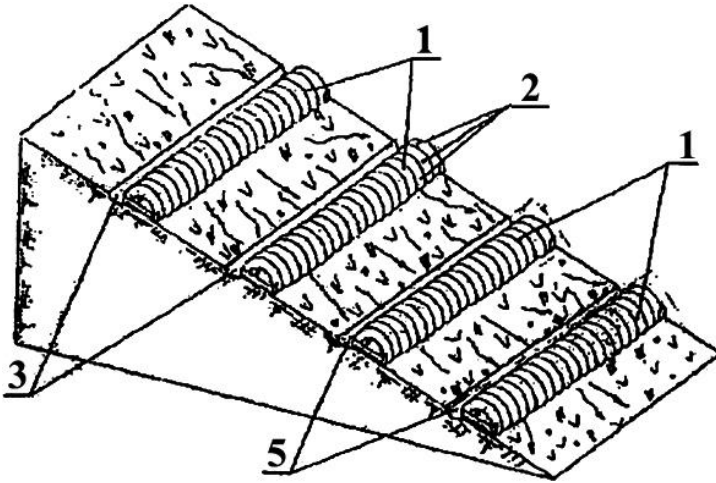
ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა, რომელიც ნაჩვენებია 8.2 ნახაზზე, შედგება მტკიცე სინთეტიკური მასალისაგან დამზადებული გრძელი ტომრებისაგან (1), რომლებიც შევსებულია ადგილობრივი ინერტული მასალით (2) და მთის ფერდობზე დამაგრებულია მაღალი სიმტკიცის სამაგრებით (3) (საქართველოს პატენტი № 925U, ბიულ. №15(115), 2002 წ., გვ. 25-26).

მთის ფერდობზე მოსული დიდი ინტენსიური წვიმების შედეგად წარმოშობილი ზედაპირული წყლის ნაკადების კინეტიკური ენერჯიის ჩასაქრობად სინთეტიკური გრძელი ტომრების განლაგება ფერდობის მთელ სიგანეზე, ერთმანეთის მიმართ პარალელურად, ტეხილ ხაზზე ან რკალზე, უზრუნველყოფს ზედაპირული წყლის ნაკადის სიჩქარის შემცირებას და, აქედან გამომდინარე, ამცირებს ნაგებობის ზედა ბიეფში ტომრებსა და ნიადაგს შორის გრძივი მიმართულებით ნაღვარევეებისა და ხრამების წარმოშობას.

ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობის ეფექტური მუშაობისათვის სინთეტიკურ ტომრებს შორის მანძილი ისე უნდა დაპროექტდეს, რა თქმა უნდა, გამრეცხი სიჩქარის გათვალისწინებით, რომ მთის ფერდობზე ადგილი არ ჰქონდეს როგორც სიღრმით, ასევე სიბრტყით ეროზიას.

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა (ნახ. 8.5) მთის ფერდობის მთელ სიგანეზე ავტომობილის ამორტიზებული საბურავებისაგან შედგენილ სექციებად, რიგებადაა ჩამაგრებული; საბურავები განლაგებულია გვერდითი ზედაპირებით ერთმანეთზე მიჯრით, ჩალაგე-

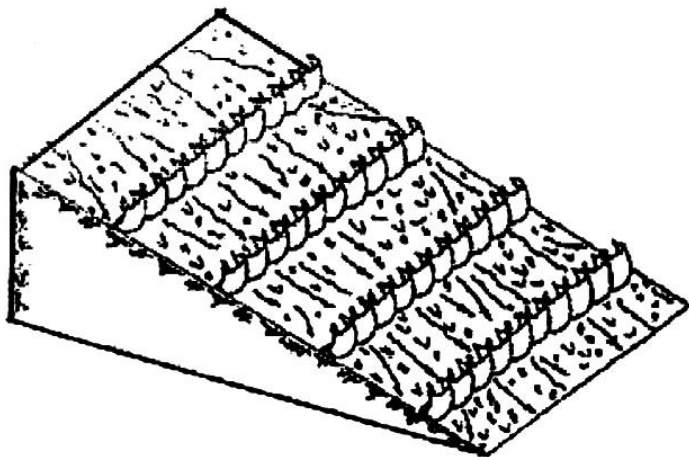
ბულია გრუნტის თხრილში და მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთმანეთთან ლითონის ბაგირებით, რომლებიც გატარებულია საბურავებში წინასწარ გაკეთებულ ნახვრეტებში, შემოხვეულია სექციის ერთ ბოლოზე მიმაგრებულ ლითონისებრ ელემენტზე და ბოლოები ხისტადაა ჩამაგრებული სექციის მეორე ბოლოზე დაყენებულ II-სებრ ელემენტზე ქანჩითა და ჭანჭიკით; ამასთან, ნაგებობიდან წელის ნაკადის გაყვანის მიზნით, ნაგებობის ზედა ბიეფში მოწყობილია წყალამრიდი არხები [24].



ნახ. 8.5. ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა (ნახ. 8.6) შედგება ავტომობილის ამორტიზებული, დიამეტრზე გაკვეთილი საბურავებისაგან, რომლებიც ერთი ბოლოთი გრუნტში ხისტადაა ჩამაგრებული ერთმანეთთან მიჯრით, ხოლო მეორე, ნიადაგის ზემოთ დარჩენილი

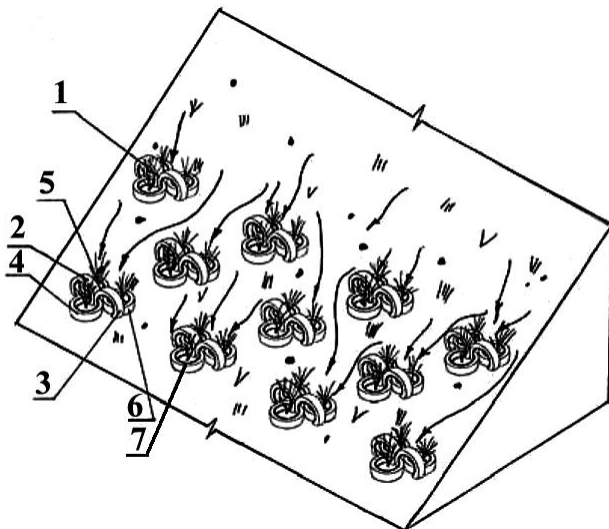
ნაწილი მიმართულია მთის ფერდობზე მოსული ინტენსიური წვიმების შედეგად წარმოშობილი წყლისმიერი ზედაპირული ეროზიის საწინააღმდეგოდ.



ნახ. 8.6. ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა (ნახ. 8.7), რომელიც შედგება ჭადრაკულად განლაგებული ავტომობილის ამორტიზებული საბურავებით შედგენილი სექციებისაგან, რომელთაგან ორი ჩამაგრებულია დიამეტრის სიგრძის დაახლოებით $1/3$ ნაწილით, მუშა ზედაპირებით ერთმანეთთან მიჯრით დაკავშირებულია ისე, რომ მათი დიაგონალი მართობული იყოს ფერდობის სიბრტყისადმი, ხოლო მესამე განთავსებულია ნიადაგის ზედაპირზე და გაყრილია ნიადაგში ჩამაგრებული საბურავების ღრუ ტანში, დანარჩენი საბურავები კი – გვერდითი ზედაპირების ერთმანეთთან მიჯრით ნიადაგის ზედაპირზე ისე, რომ მათი მუშა ზედაპირები მოთავსებულია

ნიადაგში ჩამონტაჟებული საბურავების შიგა მხარეს. მთის ფერდობის ზედაპირზე განლაგებულ საბურავებში სექციების მდგრადობის გასაძლიერებლად ჩარგულია მცენარეები [25].

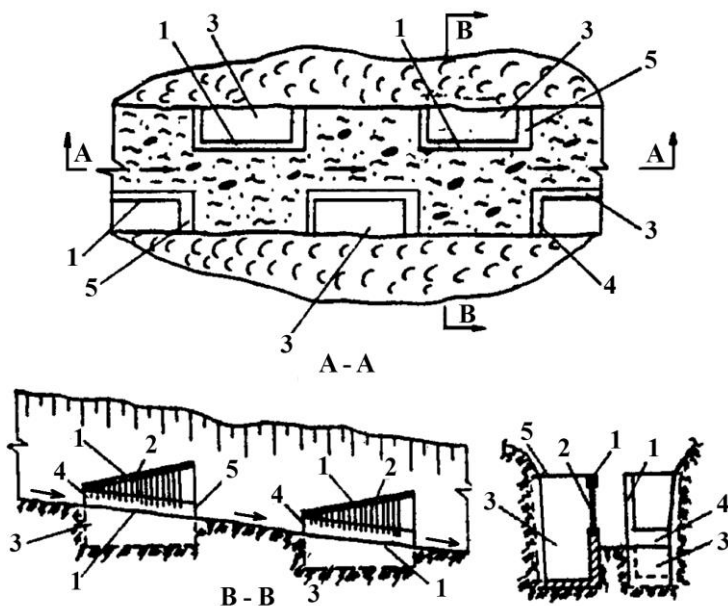


ნახ. 8.7. ეროზიის საწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია

8.2. მდინარის კალაპოტის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა

მდინარის კალაპოტში ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა [40] წარმოადგენს კონსტრუქციას, რომელიც შედგება მდინარის კალაპოტში ჭადრაკულად განლაგებული რკინაბეტონის მართკუთხა კვების ჭებისაგან, რომლებიც დამაგრებულია მდინარის კალაპოტის ფერდობზე (ნახ. 8.8). ნაგებობის წინა კედელს აქვს ისეთი სიმაღლე,

რომ კალაპოტში წამოსულმა ნორმალური ხარჯის შესაბამისმა წყლის სიმაღლემ, არ გადააჭარბოს ნაგებობის წინა კედლის სიმაღლეს, ხოლო კონსტრუქციის სიგანე მდინარის კალაპოტის სიგანის ნახევარზე ნაკლებია.



სურ. 8.8. მდინარის კალაპოტის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა

ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა შედგება: რკინა-ბეტონის ჭების (3), გამჭოლი მიწისზედა კედლის (1), რომელიც შედგება ვერტიკალური კოჭებისაგან (2), წინა (4) და უკანა (5) ბეტონის კედლებისაგან. მდინარის კალაპოტში ნაგებობის ეფექტური განლაგება გამორიცხავს მდინარეებში მოვარდნილი წყლის ჰიდროლოგიური

რეჟიმის დარღვევას, აგრეთვე უზრუნველყოფს მთის ნაკადების მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის მაქსიმალურ შეჩერებას მდინარის ეკოლოგიური რეჟიმის დაურღვეველად.

მდინარის კალაპოტში ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა მუშაობს შემდეგი პრინციპით: მთის ნაკადი, რომლის სიმაღლე მეტია, ვიდრე ნორმალური წყლის ხარჯის სიმაღლე, მოქმედებს რკინაბეტონის ჭის წინა კედელზე (4), რომელზეც გადაედინება ხარჯის ნაწილი და მყარ ფრაქციებთან ერთად ჩაედინება ჭაში (3), სადაც ხდება ნაწილი ნატანის მოხვედრა და დალექვა, ხოლო ენერგიადაკარგული ნაკადი წვრილ ფრაქციებთან ერთად ჩაედინება ნაგებობის გვერდითი გამჭოლი ფერდიდან (1) და ა.შ. ნაკადი მოძრაობს ჭიდან ჭამდე, ვიდრე არ მოხდება მთის ნაკადის ენერჯიის ჩაქრობა.

8.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები

ღვარცოფსაწინააღმდეგო გამჭოლი, ტრამპლინის ტიპის ახალი ნაგებობის დანიშნულებას წარმოადგენს ნაკადის დარტყმის ძალის შემცირება, განსაკუთრებით ნაკადის პარამეტრების კატასტროფული მნიშვნელობებისას, აგრეთვე კონსტრუქციის გამარტივება-გაიაფება.

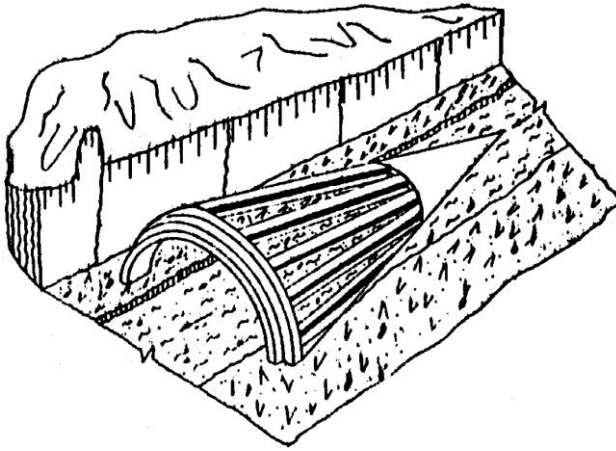
ქვემოთ განხილული კონსტრუქციის უპირატესობა არსებულთან შედარებით შემდეგია: ა) ნაგებობის საიმედო და ხანგრძლივი მუშაობა; ბ) მთის მდინარეების ეფექტური სტაბილიზაცია და გ) მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი – წარმოდგენილი ნაგებობა შენდება რკინაბეტონისა და მეორეული მასალისაგან

(ჩამოწერილი რკინის რელსები, ამორტიზებული ლითონის ბაგირები და ა.შ.), რომელთა რაოდენობა მთლიანი სამშენებლო მასალის 50÷80%-ს შეადგენს.

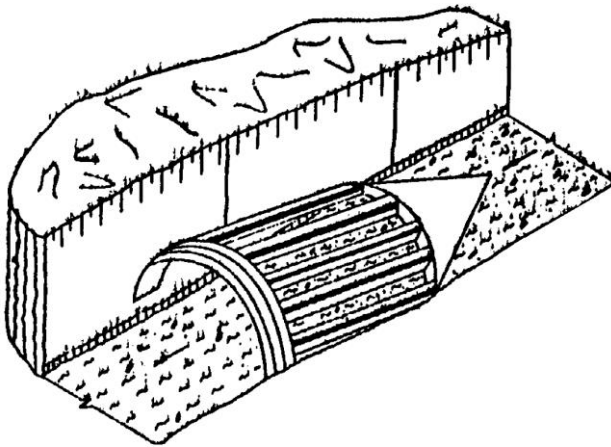
ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა [74] წარმოადგენს თაღოვან-კონუსურ კონსტრუქციას, ყრუ კონუსური წვერით, რომელიც დაკავშირებულია რკინის რელსებთან და ნახევრად წრიული თაღების მეშვეობით ქმნის ტრამპლინს. კონუსის წვერი მიმართულია ნაკადის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ (ნახ. 8.9). რკინის კოჭები ნაგებობის ზედაპირზე ქმნიან სამკუთხედის ან, ზოგ შემთხვევაში, ტრაპეციული კვეთის ღრეჩოებს, რომლის საშუალებითაც თხიერი ხარჯი წვრილ ფრაქციებთან ერთად ჩაედინება ნაგებობის ქვედა ბიეფში, ხოლო შედარებით მსხვილი ფრაქციები რჩება ნაგებობის ზედაპირზე, ანუ ზედა ბიეფში.

ღვარცოფის მოძრაობისას ნაგებობის წვერი შუაზე ყოფს ნაკადს, რომლის შემდეგ ენერგიადაკარგული ნაკადი მოძრაობს ნაგებობის ზედაპირზე, სადაც ხდება ნაკადის ენერგიის ძირითადი ჩაქრობა.

კონსტრუქცია, რომელიც წარმოადგენილია 8.10 ნახაზზე, წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის ტრამპლინის ტიპის ნაგებობას, რომელიც წინა კონსტრუქციისაგან განსხვავდება ღრეჩოების მართკუთხა ფორმით [35]. ნაგებობის ყრუ კონუსით გადაკეტილია მდინარის კალაპოტის მთელი განივი კვეთი, რომელიც თანაბრად ამცირებს ნაკადის დარტყმის ძალას ნაგებობაზე და გამორიცხავს ნაკადის ძალისმიერ მოქმედებას თაღის ქუსლებში.



სურ. 8.9. თალოვან-კონუსური ფორმის ნაგებობა

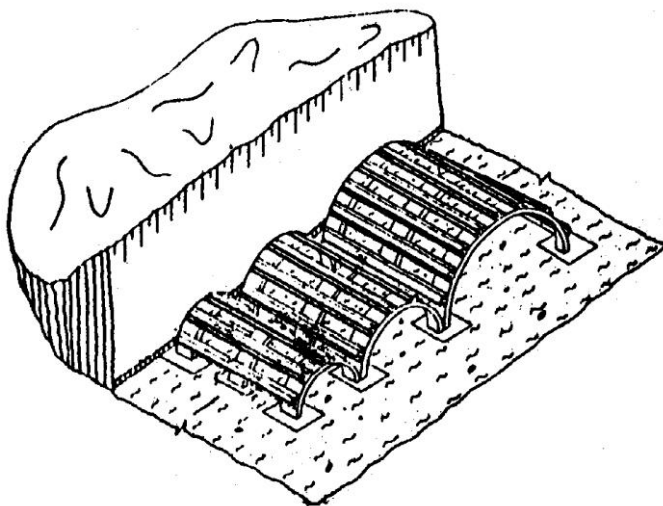


სურ. 8.10. ცილინდრული ფორმის
ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა

ნაგებობის მაკეტი გაგზავნილი იყო გამომგონებელთა მსოფლიო გამოფენაზე (ბულგარეთი, ქ. პლოვდივი, 1985 წ.) სადაც დაჯილდოვდა დიპლომითა და პრემიით, ასევე ქ. მოსკოვში, საკავშირო გამოფენაზე (ВДНХ), ნაშრომი

დაჯილდოვდა ბრინჯაოს მედლით. ნაგებობის მუშაობის პრინციპი თითქმის ანალოგიურია წინა კონსტრუქციასთან შედარებით, იმ განსხვავებით, რომ თაღოვან-ცილინდრული ფორმის ნაგებობის ზედაპირზე უფრო ეფექტურად ხდება ღვარცოფის ენერგიის ჩაქრობა.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო თაღოვან-საფეხურებიანი ფორმის ნაგებობა [60] წარმოადგენს რკინის რელსებისაგან შეკრულ კარკასს, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია შეღუღებით ან მოქლონებით, რკინის კარკასი მდინარის კალაპოტში ჩამაგრებულია ბეტონით (ნახ. 8.11).

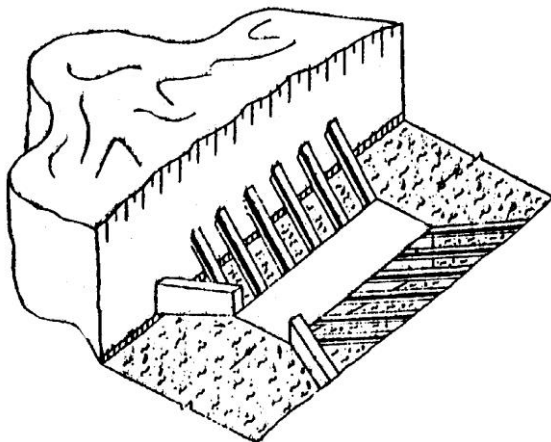


სურ. 8.11. თაღოვან-საფეხურებიანი ფორმის ნაგებობა

ნაგებობის ღრეჩოების მართკუთხა ფორმა ღვარცოფის ენერგიის ეფექტური ჩაქრობის საშუალებას იძლევა და გამორიცხავს ნაკადის ნაგებობაზე მაქსიმალურ ძალურ მოქმედებას. ღვარცოფის გავლის დროს ძირითად

(პირველ) ძალისმიერ ზემოქმედებას იღებს ნაგებობის პირველი საფეხური, სადაც ხდება ნაკადის სტრუქტურის პირველი რღვევა; შემდეგ ნაკადი მოძრაობს ნაგებობის ცილინდრული ფორმის საფეხურებზე, სადაც მიმდინარეობს ღვარცოფის ენერგიის თანაბარი ჩაქრობა.

კონსტრუქცია [36], რომელიც ნაჩვენებია 8.12 ნახაზზე, წარმოადგენს ტრაპეციული ფორმის ღარს ნაკადმომართველი რკინაბეტონის კედლებით; ნაგებობის ფერდები დაკავშირებულია მდინარის კალაპოტის (ხეობის) გვერდებთან, რომელთა კუთხის მნიშვნელობაც იცვლება $110 \div 160^\circ$ -ის ფარგლებში.

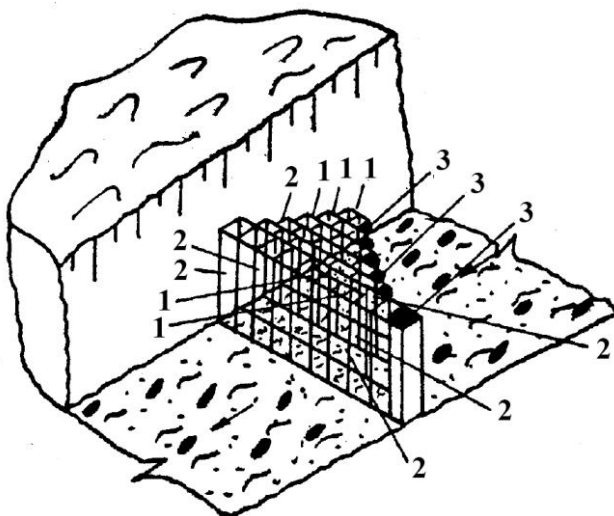


სურ. 8.12. ტრაპეციული ფორმის ნაგებობა

ნაგებობის ფერდებს წარმოადგენენ რკინის კოჭები, რომლებიც ერთმანეთთან ქმნიან მართკუთხა ფორმის ღრეჩოებს. ნაგებობის ცენტრში მოთავსებულია რკინაბეტონის საძირკველი, რომელსაც აქვს ტრამპლინის ფორმა და რომელზეც მოძრაობს ღვარცოფი.

ნაგებობის ტრაპეციული ფორმა - ნაკადმიმართველი კედლებით, საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ როგორც ნაკადის დარტყმის ძალის მნიშვნელობა, ასევე ნაგებობაზე მოქმედი ნატანის, ანუ ღვარცოფული მასის გრავიტაციული (წონითი) დაწოლა, რაც ნაგებობის საიმედო მუშაობის გარანტიას იძლევა.

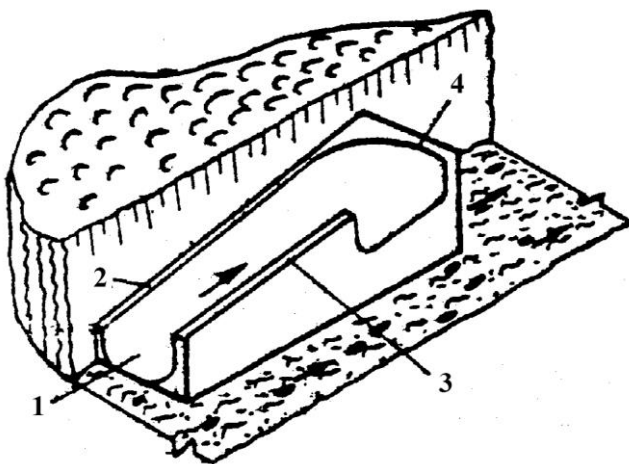
ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხურებიანი ბარაჟი [38] შედგება რკინაბეტონის ჰორიზონტალურად განლაგებული კოჭებისაგან, რომლებზეც ვერტიკალურ სიბრტყეში დამაგრებულია რკინის კოჭები - მეორე ბოლოთი ჩამაგრებული მდინარის კალაპოტში (ნახ. 8.13). რკინაბეტონის კოჭების ბოლოები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ელიფსური ფორმის ბეტონის თავებით, რომლებიც ნაგებობის მუშაობისა და მდგრადობის ალბათობას ზრდიან.



სურ. 8.13. ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხურებიანი ბარაჟი

ღვარცოფის მოძრაობისას ნაგებობის ჰორიზონტალურად განლაგებული რკინაბეტონის კოჭები ნაკადის ენერგიას ამცირებენ ვერტიკალურ სიბრტყეში, ხოლო ელიფსური ფორმის ბეტონის თავები ნაკადს ანაწილებენ კალაპოტის მთლიან სიგანეზე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა [53], რომელიც წარმოადგენს ტრამპლინის ტიპის კონსტრუქციას, შედგება რკინაბეტონის ღარისაგან, რომლის სიმაღლე იზრდება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით (ნახ. 8.14).

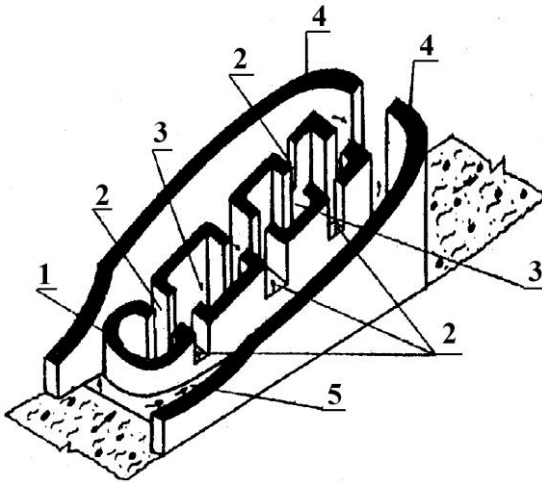


სურ. 8.14. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა

ნაგებობა წარმოადგენს პარაბოლური ფორმის ღარს, ბოლოში მოხვეულობით მდინარის ღერძისაკენ, სიგანით მდინარის კალაპოტის ნახევარზე ნაკლები, რომელიც მიშენებულია მდინარის ფერდზე. ღარის პარაბოლური ფორმა საშუალებას იძლევა, მდინარის კალაპოტში კატასტროფული ღვარცოფის გავლისას წარმოდგენილი

კონსტრუქცია არ დაიტბოროს და იმუშაოს ეფექტურად.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა [10] შედგება თავით ელიფსური მოხაზულობის ტრამპლინისაგან, აგრეთვე მდინარის კალაპოტის ცენტრში მოთავსებული განივი და გრძივი გამჭოლი ნაკვეთურებისაგან, სიმაღლის ზრდადობით ნაგებობის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ, ამასთანავე კონსტრუქციის გამჭოლ ტანსა და მრუდწირულ ნაკადმიმმართველ კედლებს შორის მოთავსებულია ჰიდრავლიკური ღარები ნაკადის ენერგიის დამატებითი ჩაქრობისათვის, რომელთა სიგანეც მცირდება თანდათანობით, ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით (ნახ. 8.15).



სურ. 8.15. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა

მდინარის კალაპოტში ღვარცოფის მოძრაობის დროს ნაგებობის ელიფსური მოხაზულობის კვანძი (1) ორად ჰყოფს ნაკადს. დაყოფილი ნაკადები მოძრაობენ ჰიდრავლიკურ ღარებში (5), შემდეგ ნაკადი განივი ნაკვე-

თურების (2) საშუალებით ჩაედინება გრძივ ნაკვეთურებში (3), სადაც ენერგიის ჩაქრობის მიზნით ხდება დაყოფილი ნაკადების ერთმანეთთან შეჯახება.

ნაკადის ენერგიის ეფექტური ჩაქრობისათვის კონსტრუქციის მუშაობის პროცესში პირველად გამოყენებულია პრინციპი – „ნაკადი ნაკადის წინააღმდეგ“.

ენერგიადაკარგული ნაკადები მოძრაობენ ტრამპლინის ტიპის ჰიდრაულიკურ ღარებში და ნაკვეთურების საშუალებით ხდება ნაკადის ენერგიის დაკარგვა. ბოლოს ნაგებობის გრძივი ნაკვეთურების საშუალებით (3) ნაკადი გაედინება კონსტრუქციის ტანიდან.

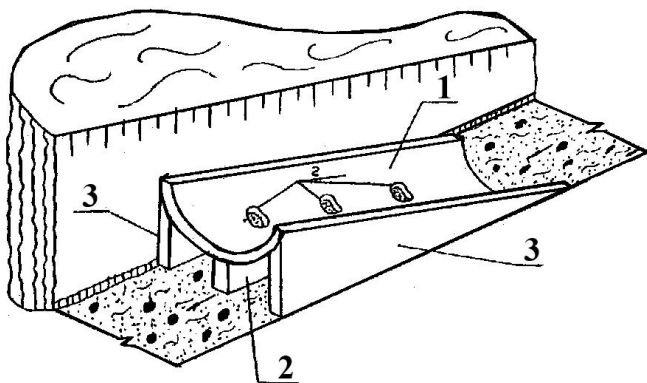
თუ მდინარის კალაპოტში მოედინება კატასტროფული პარამეტრების მქონე ნაკადი, ამ შემთხვევაში ნაგებობა მუშაობს იგივე პრინციპით იმ განსხვავებით, რომ ნაკადის ენერგიის საბოლოო ჩაქრობა ხდება მრუდწირული ნაკადმიმმართველი კედლებისა (4) და მრუდწირული კვანძის (1) საშუალებით, რომელიც მიმდინარეობს ნაგებობის ქვედა ბიეფის დასაწყისში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ნაკადის ენერგიის ჩასაქრობად გამოყენებულია პრინციპი „ნაკადი ნაკადის წინააღმდეგ“, რომელიც ხორციელდება ეტაპობრივად.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ზომები, მათი განლაგების სქემა, გრძივი და განივი ნაკვეთურების, აგრეთვე მდინარის კალაპოტში ადგილის შერჩევა ხდება, როგორც ღვარცოფის სიმძლავრის და სხვა დინამიკური მახასიათებლების, ასევე მდინარის კალაპოტის ბუნებრივ-ტოპოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით.

რაც შეეხება ნაგებობის მშენებლობისათვის გამოყენებულ სამშენებლო მასალას, შესაძლებელია ამ შემთხვევაში გამოყენებულ იქნეს მდინარის კალაპოტში არსებული ადგილობრივი ნედლეული, როგორცაა: სილა, ღორღი, ქვა, კირქვები; ხოლო სადულაბე მასალად გამოყენებულ იქნეს მდინარის კალაპოტში არსებული თეთრი ქვის გამოწვის შედეგად მიღებული კირი, თუ ამის საშუალება არ გვეძლევა, გამოიყენება ცემენტის ხსნარი.

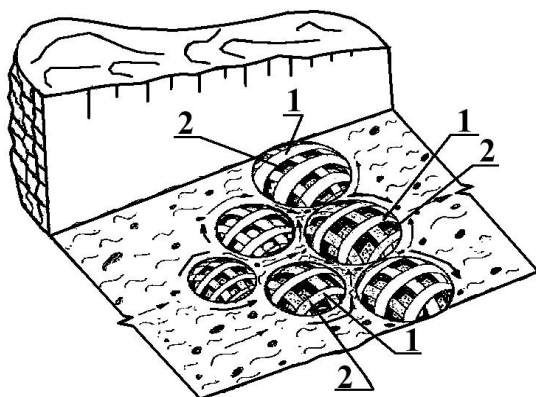
ღვარცოფის ენერჯის ჩამხშობი ნაგებობა [11] წარმოადგენს გამჭოლ ნაკვეთურებიან ღარული ტრამპლინის ტიპის კონსტრუქციას, რომელიც მდინარის კალაპოტში ეყრდნობა საყრდენებს (ნახ. 8.16). ღარი შესრულებულია ნახევარცილინდრის ფორმით, რომლის ზედაპირზეც ამოკვეთილია წრიული ფორმის ნაკვეთურები, ამასთან ერთად, საყრდენებს შორის გათვალისწინებულია ღვარცოფგამყოფი საყრდენი კედელი.



სურ. 8.16. ღვარცოფის ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობა

ღარზე ღვარცოფის მოძრაობისას წრიული ფორმის ნაკვეთურებში თხიერ მასასთან ერთად ჩაედინება წვრილი ფრაქციები, ხოლო შედარებით დიდი დიამეტრის მქონე ფრაქციები რჩება ღარის ზედაპირზე, რომლებიც უკუმოძრაობით რჩებიან ნაგებობის ზედა ბიეფში [19].

ცხაურა ტიპის ღრუტანიანი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ბარაჟი (ნახ. 8.17) შედგება ნახევარსფერული ფორმის ელემენტებისაგან (1), რომელთა ტანშიც ამოკვეთილია მრუდწირული ფორმის ნაკვეთურები (2) (საქართველოს პატენტი №P 2862, ბიულეტენი №15(115), თბილისი, 2002, გვ. 19).



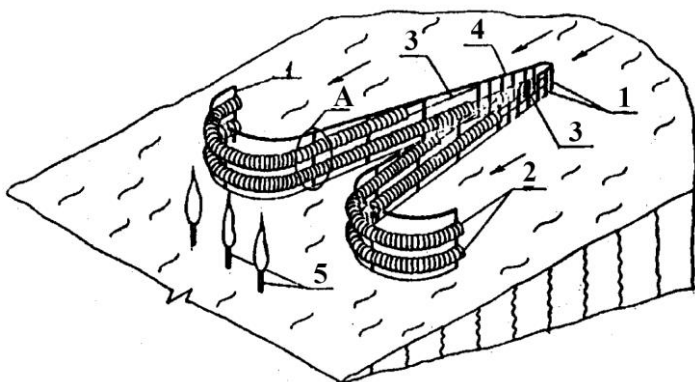
სურ. 8.17. ცხაურა ტიპის ღრუტანიანი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ბარაჟი

ბარაჟი შეიძლება დამზადდეს როგორც რკინა-ბეტონის, ასევე მაღალი სიმტკიცის სინთეტიკური მასალისაგან ან ჩამოსხმულ იქნეს ლითონისაგან. ბარაჟის ელემენტები ცალ-ცალკე ჩამაგრებულია კალაპოტში, მაგალითად, ანკერით (3) - ბეტონის ფუძეზე.

ნაგებობის ტექნიკური შედეგია ბარაჟის ექსპლუატაციის ვადისა და საიმედოობის გაზრდა, რაც მიიღწევა ღრუტანიანი ნახევარსფერული ფორმის საფეხურების მდინარის კალაპოტში გეგმაში ტოლფერდა სამკუთხედის განლაგებით, წვერით ღვარცოფის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ, რომელთა სიმაღლეც იზრდება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით.

8.4. თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობა

ზვავსაწინააღმდეგო ნაგებობა [6] შედგება ფერდობზე ჩამაგრებული სხვადასხვა სიმაღლის მეორადი ლითონის დგარებისაგან (1), რომლებშიც სექციებად გაყრილია ავტომანქანის ამორტიზებული საბურავჩამოცმული (2) ლითონის ელასტიური ბაგირები (3), ხოლო დგარების თავზე ხისტად დამაგრებულია ლითონის რიგელი (4), რომლის გრუნტიდან დაშორება იზრდება თოვლის ზვავის მოძრაობის მიმართულებით (ნახ. 8.18).



სურ. 8.18. თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობა

თოვლის ზეავის საწინააღმდეგო ნაგებობას გეგმაში აქვს ღუზის მსგავსი ფორმა, წვერით მიმართული ზეავის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ხოლო ნაგებობით მთის ფერდობის დაცულ ზოლებში შესაძლებელია გაშენებული იყოს მწვანე ნარგავები.

იმისდა მიხედვით, თუ წარმოდგენილი ნაგებობა მთის ფერდობის რა ადგილზე იქნება განლაგებული, მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე, შეიძლება განვიხილოთ ორი ვარიანტი:

➤ **როდესაც ნაგებობები განლაგებულია მთის ფერდობის მთელ ფართობზე. ამ შემთხვევაში ნაგებობა წარმოადგენს თოვლის ზეავის წარმოშობის წინააღმდეგ მომუშავე კონსტრუქციას.**

მთის ფერდობზე ნაგებობების ჭადრაკული ან სხვა ოპტიმალური სახით განლაგება, ასევე მათ შორის მანძილების სწორად დადგენა, საშუალებას იძლევა, რომ მთის ფერდობზე არ მოხდეს თოვლის საფარის სტატიკური წონასწორობის დარღვევა და თუ ეს მოხდა, მაშინ კონსტრუქციის ფორმიდან გამომდინარე, თოვლის ზეავს ექნება მცირე მოცულობა.

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, მთის ფერდობზე ნაგებობის მიერ დაცულ ზოლებში დარგული მწვანე ნარგავები არა მარტო ავსებენ (აღადგენენ) მთის ფერდობის ეკოსისტემას, არამედ ეწინააღმდეგებიან თოვლის ზეავის წარმოშობის პროცესს;

➤ როდესაც მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული გარემო არ გვაძლევს წარმოდგენილი კონსტრუქციის მთის ფერდობის მთელ ფართობზე განლაგების საშუალებას, ამ დროს ნაგებობა მუშაობს, როგორც თოვლის ზვავის მოძრაობის საწინააღმდეგო კონსტრუქცია.

კერძოდ, მისი მუშაობის პროცესი მდგომარეობს შემდეგში: თოვლის ზვავის მოძრაობისას, ძირითად დარტყმის ძალას იღებს ნაგებობის წვერი, რომელიც თოვლის ზვავს ყოფს ორ ნაწილად, ხოლო ენერჯიადაკარგული თოვლის ნაკადები შემდეგ მოძრაობენ ნაგებობის გამჭოლი სექციებისაკენ, სადაც ხდება მათი ენერჯის სრული ჩაქრობა. თოვლის ზვავის დინამიკიდან ცნობილია, რომ ზვავის მოძრაობის დროს მისი მოცულობა მოძრაობის მიმართულებით თანდათან იზრდება, ამიტომ წარმოდგენილ კონსტრუქციაში ნაგებობის რიგელის (4) გრუნტიდან დაშორებაც თოვლის ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით იზრდება, რაც ნაგებობის მიერ თოვლის ზვავის მოცულობის დიდი რაოდენობით შეკავების საშუალებას იძლევა.

ნაგებობის წარმოდგენილი კონსტრუქციული გადაწყვეტა მთის ფერდობის დაცულ ზოლებში მწვანე ნარგავების (5) გაშენების შესაძლებლობას იძლევა, რაც ამჟამად ასე აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს მაღალმთიან რეგიონებში მთის ფერდობების ეკოსისტემების აღდგენის საქმეში.

თავი IX.

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დაპროექტებისათვის განზარუნების მეთოდოლოგია და მათი მუშაობის საიმედოობის უზრუნველყოფა

9.1. ნაგებობის განზარუნების მეთოდოლოგია

ღვარცოფებთან ბრძოლის ერთ-ერთ პერსპექტიულ ღონისძიებას წარმოადგენს მცირე გაბარიტიანი, არატრადიციული კონსტრუქციის საინჟინრო ნაგებობათა სხვადასხვა სახეობები, რომელთა გამოყენების სფერო განისაზღვრება ღვარცოფების ტიპების მიხედვით.

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის (იხ. მერვე თავი) დასაპროექტებლად, ღვარცოფის ფიზიკურ-მექანიკური, რეოლოგიური და სხვა ძირითადი მახასიათებლების გათვალისწინებით, თეორიული, ლაბორატორიული და სავსე კვლევების საფუძველზე დამუშავებულ იქნა ღვარცოფების ჰიდროლოგიური და ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების განზარუნების მეთოდოლოგია.

წარმოდგენილი მეთოდოლოგიის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი, რისთვისაც დამუშავებულია ღვარცოფული ტიპის სადინარში ტურბულენტური ღვარცოფის ფორმირება და მისი რეგულირება თაღვან-კონუსური ფორმის ნაგებობით (ნახ. 8.9).

დასარეგულირებელია $l_0 = 1$ კმ. სიგრძის ღვარცოფული ხასიათის მდინარის კალაპოტი, რომლის გრძივი

ქანობია $i = 0,05$; წყალშემკრები აუზის ფართობი - $F = 0,21$ კმ²; მყარი ნატანის საშუალო და მინიმალური დიამეტრები კი - $d = 22,6$ (სმ), $d_{\min} = 20,0$ (სმ); ტურბულენტური ღვარცოფის მოცულობითი წონა კი - $\gamma_{\text{ღვ}} = 1,3$ (ტ.ძ/მ³).

ა) ღვარცოფის ჰიდროლოგიური ანგარიში

ტურბულენტური (არაბმული) ღვარცოფის 0,1%-იანი უზრუნველყოფის ხარჯი გამოითვლება (4.4) დამოკიდებულებით:

$$Q_{\max}^{0,1\%} = 2,4(34 + 400 \cdot 0,5) \cdot 0,21^{0,61} = 50,0 \text{ (მ}^3\text{/წმ)}. \quad (9.1)$$

მდინარის კალაპოტის სიგანე და ამ კალაპოტში ტურბულენტური ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე გამოითვლება შემდეგი დამოკიდებულებით [8]:

$$\begin{aligned} B &= 3.0 d^{0.51} \cdot Q_{\max}^{0.53} = 3.0 \cdot (0.226)^{0.51} \cdot 50^{0.53} = 11.2 \text{ (მ)}; \\ V &= 0.16 d^{0.37} Q_{\max}^{0.70} = 0.16 \cdot (0.226)^{0.37} \cdot 50^{0.70} = 1.5 \text{ (მ}^3\text{/წმ)}. \end{aligned} \quad (9.2)$$

ტურბულენტური ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის საშუალო დიამეტრი ტოლია [8, 18]:

$$\begin{aligned} d &= (0,2 + 6,55 \cdot i^{2,73}) Q^{0,64} = \\ &= (0,2 + 6,55 \cdot 0,05^{2,73}) \cdot 50^{0,64} = 0,24 \text{ (მ)}. \end{aligned} \quad (9.3)$$

განსხვავება ბუნებრივ მონაცემებსა (22,6 სმ) და მიღებულ სიდიდეს შორის (24 სმ) არ აღემატება 6%-ს, ამიტომ შემდგომ ანგარიშში ვსარგებლობთ (9.3) ფორმულით მიღებული მაჩვენებლით.

ტურბულენტური ღვარცოფის სიღრმე მდინარის სწორკუთხა ფორმის განივკვეთში ტოლია [51]:

$$h = \frac{Q_{\max}}{V \cdot B} = \frac{50.0}{1.5 \cdot 11.2} = 2.97 \text{ (მ)}. \quad (9.4)$$

ტურბულენტური ღვარცოფის კონცენტრაცია (S) პროფ. *დ. გაგოშიძის* [40] დამოკიდებულებით ტოლია:

$$S = \frac{\gamma_{\text{ფ3}} - \gamma_{\text{ფ4}}}{\gamma_{\text{კ3}} - \gamma_{\text{ფ4}}} = \frac{1.3 - 1.0}{2.65 - 1.0} = 0.18. \quad (9.5)$$

ამრიგად, ტურბულენტური ღვარცოფის ძირითადი ჰიდროლოგიური მაჩვენებლების დადგენის შემდეგ შესაძლებელია ტრამპლინის ტიპის ახალი ღვარცოფსაწინააღმდეგო თაღოვან-კონუსური ნაგებობის ჰიდრაულიკური ანგარიში.

ბ) ნაგებობის ჰიდრაულიკური ანგარიში

დასაპროექტებელია ტრამპლინის ტიპის ნაგებობა [58], რომელიც წარმოადგენს თაღოვან-კონუსურ გამჭოლ სივრცულ გარსს და მიიღება ზრდადი სიმაღლით თაღოვან საყრდენებზე გრძივი ლითონის კოჭების გადახურვით (სურ. 8.9). კოჭები ერთმანეთისაგან დაშორებულია გარკვეული მანძილებით, რაც ქმნის ნაგებობის ზედაპირის გამჭოლობას ტრაპეციული ფორმის ღრეჩოებით. ნაგებობას აქვს სოლის ფორმის გრძივი ჭრილი, განივკვეთში კი თაღის ფორმა, რაც უზრუნველყოფს მისი მუშაობის მდგრადობასა და საიმედოობას.

ნაგებობის წრიული თაღის შემთხვევაში კონსტრუქციის სიმაღლე ტოლია:

$$H_3 = R = \frac{B}{2} = 0,5 \cdot 11,2 = 5,6 \text{ (მ)}; \quad (9.6)$$

ნაგებობის სიგრძეს ვიღებთ მასზე ღვარცოფის გარსშემოდინების გათვალისწინებით. პროფესორ *მ. გაგოშიძის* [51,58,59] მიერ დადგენილია, რომ ღვარცოფის გაშლის კუთხე α' იცვლება 110° -დან 130° -მდე. კონკრეტულ შემთხვევაში კონუსის გაშლის კუთხეს ფუძეზე ვიღებთ: $\alpha_0 = 2\alpha' = 2 \cdot 12,5 = 25^\circ$.

კონსტრუქციის მაქსიმალური სიგანისა (11,2 მ) და კონუსის გაშლის კუთხის (250°) მიხედვით ვადგენთ ნაგებობის სიგრძეს, რომელიც ტოლია 28,0 მ-ის. ნაგებობის მუშაობის საიმედოობიდან გამომდინარე, კონსტრუქციის ყრუ ნაწილის სიგრძეს ვიღებთ მთლიანი სიგრძის $1/3$ -ის ტოლს, ე.ი. 9,0 მ.

ნაგებობის ღრეჩოს ზომების დასადგენად ვსარგებლობთ დამოკიდებულებით $(d/\Delta) = 0,85$, ე.ი. როდესაც ღვარცოფის მოცულობაში ქვების ჩანართები 85%-ია, მაშინ კოჭებს შორის საშუალო მანძილი იქნება:

$$\Delta = d/0,85 = 0,26/0,85 = 0,30 \text{ (მ)}; \quad (9.7)$$

თუ კონუსის დასაწყისში ღრეჩოს სიგანეს მივიღებთ 0,30 მ, მაშინ ბოლოში იგი ტოლია:

$$b_{აჟ} = 2\Delta - b_{ბგ} = 0,60 - 0,20 = 0,40 \text{ (მ)}. \quad (9.8)$$

ამრიგად, ნაგებობის ბოლოში ღრეჩოს მაქსიმალური

სიგანე ტოლია 0,40 მ, ხოლო დასაწყისში კი - 0,20 მ.

დავუშვათ, ღვარცოფი მდინარის კალაპოტში მოძრაობს $T=6$ წთ., მაშინ ნაგებობის მიერ 1 წთ-ში შეკავებული ღვარცოფული მასის მოცულობა იანგარიშება ფორმულით [8]:

$$W_T = \frac{S \cdot Q_{\max}}{[0,95 + 0,05(d/\Delta)] \cdot (1/T)^{0,58}} =$$

$$= \frac{0,18 \cdot 50,0}{[0,95 + 0,05 \cdot (0,24/0,30)] \cdot (1/360)^{0,58}} = 276,2 \text{ (მ}^3\text{)}. \quad (9.9)$$

თაღოვან-კონუსური ფორმის ნაგებობის ზედა ბიეფში დაგროვილი ღვარცოფული მასის გამაწონასწორებელი ქანობის (i_0) მნიშვნელობა იანგარიშება შემდეგი ემპირიული დამოკიდებულებით [37]:

$$i_0 = [1,25 + 0,52(d/\Delta) - (1,4 + d/\Delta) \cdot (i/i_j)] \cdot (q_{\text{მყ}}/q_{\text{წყ}}), \quad (9.10)$$

სადაც, i_j არის კონსტრუქციის უკუქანობი, $q_{\text{მყ}}$ და $q_{\text{წყ}}$ – მყარი ნატანისა და თხიერი ფაზის ხვედრითი ხარჯია. შესაბამისი მონაცემების გათვალისწინებით (9.10) დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$i_0 = [1,25 + 0,52 \cdot (0,24/0,3) -$$

$$- (1,4 + 0,56) \cdot 0,65] \cdot 0,18^{1,07} = 0,036; \quad (9.11)$$

თუ ღვარცოფსა მდინარის რეგულირებას ვახდენთ ბარაჟების მოწყობით, მაშინ ნაგებობებს შორის მანძილი ტოლია [45]:

$$L = \frac{H_j}{i - i_0} = \frac{5,6}{0,05 - 0,036} = 400,0 \text{ (მ)}. \quad (9.12)$$

ნაგებობის მიერ 90%-იანი ქვეების ჩანართების დაჭერის შემთხვევაში ღვარცოფის კონცენტრაცია (S') იანგარიშება [51, 58]:

$$S' = S - \frac{90 \cdot S}{100} = 0,18 - \frac{90 \cdot 0,18}{100} = 0,018. \quad (9.13)$$

ღვარცოფის ნაგებობაში გავლის შემდეგ ტურბულენტური ნაკადის მოცულობითი წონა იქნება [8, 51, 58]:

$$\gamma'_{\text{ვ}} = \gamma_{\text{ვ}} + S'(\gamma_{\text{ვ}} - 1) = 1,0 + 0,018 \cdot (2,65 - 1) = 1,03 \text{ (ტ.მ}^3\text{)}; \quad (9.14)$$

ნაგებობების რაოდენობა (n) ღვარცოფსადინარის დასარეგულირებელ უბანზე ტოლი იქნება [8, 58]:

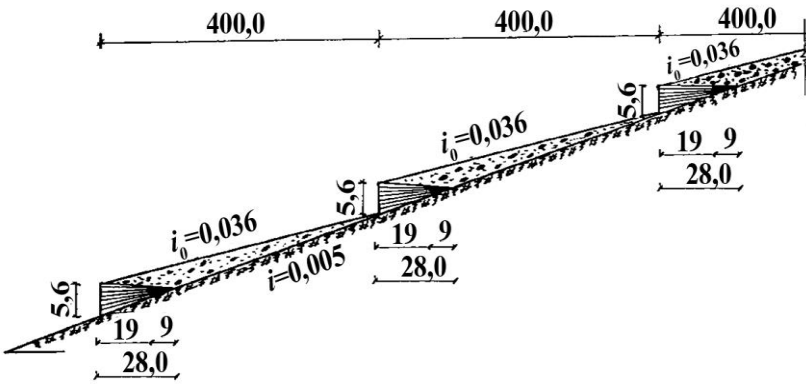
$$n = \frac{l_0}{L} = \frac{1000}{400} \approx 3. \quad (9.15)$$

ამრიგად, მდინარის კალაპოტში ასაშენებელია თანმიმდევრობით განლაგებული ტრამპლინის ტიპის თაღოვან-კონუსური ფორმის სამი ნაგებობა (ნახ. 9.1).

ერთი ნაგებობის მიერ შეკავებული მყარი ნატანის შესაძლო მოცულობა (W_0) იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით [8]:

$$W_0 = \frac{L \cdot H_{\text{კ}} \cdot B}{2} = \frac{400 \cdot 5,6 \cdot 11,2}{2} = 12\,544 \text{ (მ}^3\text{)}; \quad (9.16)$$

შემდეგ ეტაპზე წარმოებს ნაგებობის ანგარიში მდგრადობაზე, რომლის მიხედვითაც ზუსტდება საძირკვლის დასაშვები დეფორმაციები და ზომები. მისი განხორციელება შესაძლებელია კომპიუტერზე სასრულ ელემენტთა მეთოდის გამოყენებით [52, 93].



სურ. 9.1. მდინარის კალაპოტში ნაგებობების განლაგების სქემა

9.2. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის საიმედოობის შეფასება

ტრამპლინის ტიპის, თაღოვანი და საფეხურებიანი ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების საიმედოობის შეფასებისათვის საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდროეკოლოგიის ინსტიტუტის ჰიდრაულიკურ ლაბორატორიაში პროფესორ ფ. შატბერაშვილის ხელმძღვანელობით ჩატარდა ექსპერიმენტები, რომლის დროსაც დაცული იყო მოდელირების ძირითადი მოთხოვნები [88].

ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების მოდელის დასაზუსტებლად გამოყენებულ იქნა დარგის ცნობილი მეცნიერების – აკადემიკოს ო. ნათიშვილის,

პროფესორების: *მ. გაგოშიძის, ვ. თევზაძის, ე. კუხალაშვილის, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატების: გ. ბერუჩაშვილის, ზ. იორდანიშვილის, მ. მაქარაშვილის, ბ. კალაძის, ნ. კვაშილაეას, ლ. სოხაძის, ლ. სულაქველიძის, დ. ფრუიძის, ი. ხერხეულიძის, გ. ხერხეულიძის* და სხვა მეცნიერთა მიერ გამოქვეყნებული შრომები.

ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში განხილული იყო ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის როგორც ზედა ბიეფის ფორმირების პროცესი, ასევე ნაგებობის ზედა ბიეფში ღვარცოფული მასის წონითი დატვირთვისა და ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის ცვლილების ხასიათი.

ლაბორატორიული ცდების ჩატარების პროცესში ყურადღება გამახვილდა აგრეთვე ნაკადში მყარი ფრაქციების კონცენტრაციაზე, ნატანის საშუალო დიამეტრის ზომაზე, ჰიდრავლიკური ღარის ქანობზე, ტურბულენტური ღვარცოფის სიჩქარისა და მყარი ფრაქციების ხარჯის ცვლილებაზე [95].

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე მყარი ფრაქციების წონითი დატვირთვის (W_p) სტატისტიკური მაჩვენებლები ინტერვალებში და შესაბამისი სიხშირის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 9.1, სადაც m_i არის ინტერვალებში განმეორებადობის რაოდენობა, P_i - განმეორებადობის სიხშირე ($P_i = m_i/n$), სადაც n - სტატისტიკური რიგის რაოდენობაა ($n = 41$); $A_i = (p_i/j)$, სადაც j ინტერვალების მნიშვნელობებია [34].

ცხრილი 9.1

მყარი ფრაქციების წონითი დატვირთვის მნიშვნელობები

$j \cdot 10^{-2}$	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120
m_i	21	5	4	3	2	3	1	1
P_i	0,51	0,12	0,09	0,07	0,05	0,07	0,02	0,02
A_i	3,40	0,80	0,60	0,46	0,33	0,46	0,13	0,13
W_i	0,428	0,279	0,182	0,118	0,078	0,051	0,033	0,014
$n \cdot W_i$	17,55	11,44	7,46	4,84	3,19	2,09	1,35	0,57

ცხრილის მონაცემების გამოყენებით (ცხრ. 9.1) აგებულ იქნა წონითი დატვირთვის ფუნქციის განაწილების მრუდი, რომელსაც შეესაბამება ექსპონენციალური განაწილება და მათემატიკურად ის ასე გამოისახება [85]:

$$f(W_p) = 2,857 \exp(-2,857W_p); \quad (9.17)$$

ამ შემთხვევაში *პირსონის* კრიტერიუმი ტოლია $\chi^2 = 8,71$, თავისუფლების ხარისხის კი $- N = 6$; გაანგარიშებული იყო თეორიულ განაწილებასა და ჰისტოგრამის მონაცემებს შორის თანხვედრის მაჩვენებელი, რომელმაც 95%-იანი ალბათობით 80% შეადგინა.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის საიმედოობამ ნაგებობის ზედა ბიეფის ღვარცოფული მასის შევსებამდე შეადგინა:

$$P_1(W_p) = \int_0^l f(W_p) dW_p = \int_0^{0,61} 2,857 e^{-2,857W_p} dW_p = 0,825; \quad (9.18)$$

ნაგებობის წყობიდან გამოსვლის რისკი (R_1) კონსტრუქციის ზედა ბიეფის ღვარცოფული მასის წონითი დატვირთვის შემთხვევაში ტოლია:

$$R_1 = 1 - P_1(W_p) = 1 - 0,825 = 0,175. \quad (9.19)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობა (F) გაანგარიშებულ იქნა პროფ. *მ. გაგომიძის* მიერ მიღებული დამოკიდებულებით [51], რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$F = K\rho\omega V^2 \sin \alpha, \quad (9.20)$$

სადაც K არის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია $K=4,5$ (წყლის ნაკადისათვის ეს მაჩვენებელი ტოლია $K=1,0$; ხოლო თოვლის ზვავისათვის კი $K=1,5$), ρ – ღვარცოფის სიმკვრივე (კგ/მ^3), ω – ნაგებობის ის ფართობი, რომელზეც მოქმედებს ღვარცოფი (მ^2), V – ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე (მ/წმ), α – ტრამპლინის ტიპის ნაგებობის მდინარის კალაპოტში დახრის კუთხე (გრადუსი).

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის განაწილების ფუნქციის დადგენის მიზნით გამოყენებული იყო როგორც ლაბორატორიული მონაცემები, ასევე ბუნებაში ღვარცოფის გავლის სტატისტიკური რიგი, რომლის რაოდენობამაც შეადგინა 55 წერტილი. ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობები იცვლებოდა $3,88 \div 3024,8$ (ნ/მ^2) საზღვრებში [8, 18, 32, 42 ÷ 44, 50, 62, 85, 88, 89 ÷ 91, 95, 96].

ბუნებრივი მონაცემების გამოყენებით, რომელთა მნიშვნელობებიც მოცემულია 9.2 ცხრილში, აგებულ იქნა ჰისტოგრამა; მათემატიკური ლოდინი ტოლია $m_* = 437,45$, ხოლო ექსპონენციალური განაწილების ხარისხის მაჩვენებელი - $\lambda = -1/m_* = -0,0023$ [18, 34, 43, 44, 61-65].

ცხრილი 9.2

ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობები

$F_i \cdot 10^2$ (ნ/მ ²)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21
m_i	31	12	3	5	1	1	1
$f(F_i)$	0.564	0.218	0.055	0.091	0.018	0.018	0.018

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის განაწილებას აქვს შემდეგი სახე [34]:

$$f(F_i) = 0,0023 \exp(-0,0023F_i); \quad (9.21)$$

მიღებული (9.21) გამოსახულება შეესაბამება ექსპონენციალურ განაწილებას, ხოლო თანხვედრამ თეორიულ განაწილებასა და ჰისტოგრამის მონაცემებს შორის კირსონის კრიტერიუმის χ^2 -ის მიხედვით [34, 61] 70% შეადგინა. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის საიმედოობა, ღვარცოფის დინამიკური ძალის მხედველობაში მიღებით, ტოლია [18]:

$$P_2(F_i) = \int_0^l f(F_i) dF_i = \int_0^{0,61} 0,0023 e^{-0,0023} dF_i = 0,928; \quad (9.22)$$

ტრამპლინის ტიპის თაღოვანი და საფეხურებიანი ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის წყობიდან გამოსვლის რისკი, კონსტრუქციაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მხედველობაში მიღებით, ტოლია:

$$R_2 = 1 - P_2(F_i) = 1 - 0,928 = 0,072. \quad (9.23)$$

ბუნებაში ღვარცოფის ნაგებობაზე ზემოქმედების შემთხვევაში, პარალელურად მიმდინარეობს როგორც დინამიკური, ასევე სტატიკური ძალების მოქმედება, ამიტომ ხდომილებების ერთდროულად მოხდენის შემთხვევაში ნაგებობის სრული საიმედოობა (P_0) ტოლია:

$$P_0 = P_1(W_p) \cdot P_2(F_i) = 0,825 \cdot 0,928 = 0,766; \quad (9.24)$$

ხოლო ნაგებობის წყობიდან გამოსვლის რისკი (R_0) ხდომილებების ერთდროულად მოხდენის შემთხვევაში:

$$R_0 = 1 - P_0 = 1 - 0,766 = 0,234. \quad (9.25)$$

თუ განვიხილავთ მიღებული შედეგების ანალიზს, დავრწმუნდებით, რომ წარმოდგენილი ტრამპლინის ტიპის ახალი ნაგებობები, არსებულთან შედარებით, ხასიათდება მაღალი საიმედოობით, რაც ძირითადად განპირობებულია კონსტრუქციული გადაწყვეტილებით.

რაც შეეხება ახალი საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებების ეკონომიკურ მაჩვენებლებს, არსებულ ბაზისური რკინაბეტონის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციებთან შედარებით, იგი საორიენტაციოდ ერთ გრძივ მეტრზე შეადგენს 85–210 ლარს, რაც საგრძნობლად მაღალ მაჩვენებლად ითვლება ღვარცოფსაწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში.

9.3. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულების დაპროექტებისათვის მეთოდოლოგიის დამუშავება

მთის ფერდობზე ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო მიწის ზვინულებს შორის მანძილი და მათ შორის მცენარეული საფარის განახლება ხორციელდება შესაბამისი მეთოდოლოგიით, რომელიც განხილულია ქვემოთ.

მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული, გეოლოგიური, ნიადაგობრივი, კლიმატური, ჰიდროლოგიური და ფერდობზე ფორმირებული ზედაპირული წყლის ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების მხედველობაში მიღებით, ასევე აკად. ც. *მირცხულავას* მეთოდოლოგიის გამოყენებით, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში დადგენილ იქნა ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგოდ ზვინულებს შორის ის კრიტიკული ურთიერთდაშორება (მანძილი) X_0 , რომელიც უზრუნველყოფს ნიადაგის დაცვას წყლისმიერი ეროზიული პროცესებისაგან [64]:

$$X_0 = \frac{V_{\Delta 0}^{5,4} (BH_0 + 1)^{2,7} n^{4,4} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2,25 \ln^2(1 - R) dtg^{0,8} sq} \quad (9.26)$$

სადაც $V_{\Delta 0}$ ნიადაგის ზღვრული (არაწამრეცხი) ფსკერული სიჩქარეა (მ/წმ); B – ფერდობის სიგანე, რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$B = \frac{156250}{w dt} \quad (9.27)$$

სადაც: w ნაკადის პულსაციის სიხშირის საშუალო მნიშვნელობა (1/წმ); d – ნიადაგის მოწყვეტილი ნაწილაკის

ზომა ($d=0,0004$ მ); t – მოცემული ინტენსივობის წვიმის ხანგრძლივობა, წმ; H_0 – ნაკადულის ფსკერის წარეცხვის დასაშვები სიმაღლე, მ; n – ფერდობის ხორკლიანობის კოეფიციენტი; α, β – ფერდობის ზედაპირის უსწორობის მახასიათებელი კოეფიციენტები (მოხული ნიადაგისათვის $\alpha=13,4$; $\beta=17,6$); R – ფერდობის საიმედოობა ეროზიის თვალსაზრისით; s – ფერდობის დახრის კუთხე (გრადუსი); q – ფერდობის ჩამონადენი (მ/წმ).

თუ გავითვალისწინებთ აკად. ც. *მირცხულაეას* მიერ რეკომენდებულ არაწამრეცხი ფსკერული სიჩქარეების მნიშვნელობებს – ქვიშნარი ნიადაგებისათვის 0,11 მ/წმ, თიხნარებისათვის – 0,115 მ/წმ, ხოლო თიხებისათვის – 0,12 მ/წმ, მაშინ (9.26) დამოკიდებულებით გამოთვლილი ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულებს შორის მანძილის ოპტიმალური მნიშვნელობები მოყვანილია 9.3 ცხრილში.

მიღებული მონაცემები შედარებულ იქნა მცენარეული საფარის არმქონე ფერდობებზე ქვიშნარი ნიადაგის პირობებისათვის, მსოფლიოში ცნობილი მეცნიერების რ. *მორგანის*, რ. *მარშალის* და USLE-ის მონაცემებთან. ანალიზით დადგინდა, რომ აკად. ც. *მირცხულაეას* მეთოდოლოგია უფრო მისაღებია, რადგან, გარდა ეროზიის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრებისა, ანგარიშში გათვალისწინებულია ეროზიული პროცესების ალბათური ხასიათიც.

ცხრილი 9.3

ეროზიის საწინააღმდეგო ზეინულებს შორის
მანძილი (მ)

ფერდობის ქანობი (გრადუსი)	ქვიშნარი		თიხნარი		თიხები	
	$V_{\Delta 0} = 0,11$ მ/წმ		$V_{\Delta 0} = 0,115$ მ/წმ		$V_{\Delta 0} = 0,12$ მ/წმ	
	$R = 0,95$	$R = 0,99$	$R = 0,95$	$R = 0,99$	$R = 0,95$	$R = 0,99$
5	39,1	16,6	49,7	21,1	62,6	26,6
10	22,5	9,5	28,6	12,1	35,9	15,3
15	16,2	6,9	20,6	8,8	26,0	11,0
20	12,9	5,5	16,4	7,0	20,6	8,8
30	9,3	4,0	11,9	5,0	14,9	6,3
40	7,4	3,1	9,4	4,0	11,9	5,0
50	6,2	2,6	7,9	3,3	9,9	4,2
60	5,4	2,3	6,8	2,9	8,6	3,6
70	4,7	2,0	6,0	2,6	7,6	3,2

რაც შეეხება ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობების სამშენებლო-სამონტაჟო ღირებულებას, იგი წინასწარი გაანგარიშებით ერთი გრძივი მეტრის მოწყობისას არ აღემატება $12 \div 25$ ლარს.

თავი X.

მდინარე დურუჯის ღვარცოფებისაგან ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის უსაფრთხოების გენერალური სქემის დამუშავება და ღვარცოფული მასის უტილიზაციის მიმართულებები

მდინარე დურუჯის ღვარცოფული ნატანისაგან კალაპოტის წმენდის სამუშაოების ჩატარებას (ყოველწლიურად 400-500 ათასი მ³ ნატანის გატანას, ანუ რამდენიც ჩამოჰქონდა მდინარეს, იმდენი გაჰქონდათ) ყოველთვის დიდი ყურადღება ექცეოდა, რაც 1997 წლამდე აქტიურად ხორციელდებოდა შესაბამისი უწყებების მიერ, მაგრამ შემდგომი წლებიდან მოყოლებული (კალაპოტი აღარ იწმინდება) დაგროვილი ნატანის რაოდენობამ 20 მლნ მ³-ს მიაღწია, რაც სერიოზულ საშიშროებას უქმნის მჭიდროდ დასახლებულ ქალაქ ყვარლის მოსახლეობას. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მდ. დურუჯის გამოტანის კონუსის ნიშნულები 10-12 მეტრით მაღლა მდებარეობს, ვიდრე ქ. ყვარლის ტერიტორია.

2005 წლის მაისის თვეში მსოფლიო ბანკის, საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს, ღვარცოფ-მცოდნეობის მიმართულებით დაინტერესებული მეცნიერების, წყალთა მეურნეობისა და მელიორაციის დარგის სპეციალისტების მონაწილეობით, ქვეყნის 25 რაიონში დეტალურად იქნა შესწავლილი წყალდიდობებისა და სხვა ანალოგიური მოვლენების შედეგად დაზიანებული ობიექტები. შესწავლილი 74 ობიექტიდან 3 იყო ყვარლის

რაიონში. აქედან ყველაზე მძიმე აღმოჩნდა მდინარე დურუჯის ობიექტი, სადაც ნაგებობათა აღდგენა-გამაგრებასა და ნატანის გატანაზე ჩატარდა მცირე მოცულობის სამუშაოები [13, 14, 17].

საქართველოს პრეზიდენტის მრჩეველის ალექსანდრე ღონღაძის წერილის საფუძველზე (№3/29, 20.11.2008) მდინარე დურუჯის წყალშემკრებ აუზში ფორმირებული ღვარცოფებისაგან ქ. ყვარლის დამცავი და სტიქიის სალიკვიდაციო ღონისძიებების დასახვის მიზნით სსიპ წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში შედგა 3 მუშა შეხვედრა, სადაც განხილულ და შეფასებულ იქნა ქ. ყვარლის მოსახლეობის ეფექტური დაცვის მიზნით არსებული რისკები. სპეციალისტების შეხვედრაზე გადაწყდა, რომ შეიქმნას სახელმწიფო მნიშვნელობის სამუშაო ჯგუფი, წინამდებარე მონოგრაფიის ავტორის, პროფესორ გივი გავარდაშვილის ხელმძღვანელობით, რომლის წევრები 2008 წლის 20 დეკემბრამდე წარმოადგენენ მდ. დურუჯის კალაპოტის რეგულირებისა და ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის დაცვის მიზნით შესაბამის საპროექტო მოცემულობებს სათანადო მიახლოებითი ხარჯთაღრიცხვით.

ამ დოკუმენტის საფუძველზე ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის დაცვის მიზნით დამუშავდა მდ. დურუჯის ღვარცოფების რეგულირების სახელმწიფო პროგრამა, რომელიც საქართველოს პარლამენტის სხდომებზე 2008 წელს 2-ჯერ ხოლო 2010-2011 წ.წ. 3-ჯერ იყო მოხსენებული ამ წიგნის ავტორის მიერ.

10.1. მდ. დურუჯის თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობა და სტიქიის საწინააღმდეგო პრევენციული ღონისძიებები

1949 წელს ქ. ყვარლის დასაცავად აგებული 7,5 კმ სიგრძისა და 7 მ სიმაღლის კედელი ამჟამად, ფაქტობრივად, ამორტიზებულია და ქალაქს რიგ მონაკვეთებში მხოლოდ მიწაყრილის ზვინულია იცავს.

2012 წლის მაისის თვეში საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მეცნიერების მიერ განხორციელდა საველე-სამეცნიერო ექსპედიციური კვლევები მდინარე დურუჯის კალაპოტში, კერძოდ, გამოტანის კონუსზე სენსიტიური უბნების დაფიქსირებისა და ქ. ყვარლის რისკის შეფასების მიზნით.

სურათზე 10.1 ნაჩვენებია მდინარე დურუჯის გამოტანის კონუსის საერთო ხედი წყალმცირობის პერიოდში, ხოლო სურათზე 10.2 კი მოცემულია მდინარე დურუჯის გამოტანის კონუსზე მუშაობის ამსახველი მომენტი.

➤ პიკეტზე (პკ) პკ33–პკ38 – დამცავი კედლის ამ 500 მეტრიან უბანზე 2004 და 2006 წლებში აგებულ იქნა 4 მეტრი სიმაღლის გაბიონი, რომელიც ამჟამად მთლიანად დვარცოფული გამონატანითაა ამოვსებული და გაზაფხულის წყალდიდობების შემთხვევაში კატასტროფა გარდაუვალი იქნება (სურ. 10.3). ამდენად, საჭიროა სასწრაფოდ გატარდეს დროული პრევენციული ღონისძიება და აიგოს ორი მეტრის სიმაღლის 2250 მ³ მოცულობის გაბიონი.



**სურ. 10.1. მდინარე დურუჯის გამოტანის კონუსის
საერთო ხედი**



**სურ. 10.2. მდ. ღურუჯის კალაპოტში მუშაობისას
(თ. ნაზრიშვილი, გ. გავარდაშვილი და ლ. წულუკიძე)**



**სურ. 10.3. მდ. დურუჯის კალაპოტი პიკეტზე (პკ) 33-38
(2012 წლის 14 მაისი)**



**სურ. 10.4. მდ. დურუჯის კალაპოტი პიკეტზე 66
(2012 წლის 14 მაისი)**

- პკ57–პკ66 – დამცავი კედლის ამ მონაკვეთზე 1998 წელს ნაწილობრივ შეკეთებულ იქნა მდინარის მიერ დანგრეული მონაკვეთი. კედლის ტანში მთელ სიგრძეზე ამოსულია დიდი ზომის სხვადასხვა ჯიშის ხემცენარეები, რის გამოც კედელი მასიურად დანგრეული და გადაქცეულია (სურ. 10.4). ამასთან, იგი მრავალ ადგილას წყლის ნაკადის მიერ გამორეცხილია და მოსალოდნელია მისი მთლიანად ჩამოქცევა. ამ 900 მეტრიან მონაკვეთზე აღდგენითი სამუშაოებია ჩასატარებელი, წინააღმდეგ შემთხვევაში გაზაფხულის ციკლური მცირე სიმძლავრის წყალდიდობაც კი საშიში იქნება.
- პკ57–პკ73 – დამცავი კედლის ამ მონაკვეთზე ამოსულია დიდი ზომის ხეები და კედლის ქვედა ნაწილი მრავალ ადგილას წყლისაგან საგანგაშო ზომებით გამორეცხილია. საჭიროა კედლის გაწმენდა ნარგავებისაგან და გამორეცხილი ადგილების აღდგენა (სურ. 10.5).
- პკ57–პკ75 – ეს არის მდ. დურუჯის ღვარცოფული ნაკადების დარტყმის მთავარი მიმართულება. 2006 წელს საგზაო დეპარტამენტმა ამ მონაკვეთის 160 მ-ზე მოაწყო სამი მეტრის სიმაღლის გაბიონის დამცავი დამბა მომავალი დაშენების პერსპექტივით. მისი ორი მეტრით ამაღლებისა და 200 მეტრამდე გასაგრძელებლად საჭიროა დამატებით მოეწვოს 1590 მ³ მოცულობის გაბიონი (სურ. 10.6).



**სურ. 10.5. მდ. დურუჯის კალაპოტი პკ 57-73-ზე
(2012 წლის 14 მაისი)**



**სურ. 10.6. მდ. დურუჯის კალაპოტი პკ 75-ზე
(2012 წლის 14 მაისი)**



**სურ. 10.7. მდ. ღურუჯზე ქ. ყვარლისა და ქ. თელავის
შემაერთებელი ხიდის საერთო ხედი**

ქ. ყვარლისა და ქ. თელავის შემაერთებელ გზაზე, მდ. ღურუჯის ხიდთან კალაპოტი ნატანისაგან მთლიანად შევსებულია. ნაპირსამაგრი ფილები ზოგან გადავსებულია, ზოგან კი წადებულია წყალდიდობისაგან (სურ. 10.7).

გადაუდებლად საჭიროა ხიდის ჩრდილოეთით 500 მეტრზე და სამხრეთით 200 მ-ზე კალაპოტის გაწმენდა დაახლოებით 70 ათასი მ³ მოცულობის ნატანისაგან.

მდ. ღურუჯის მდ. ალაზნთან შესართავიდან 2 კმ-ის მანძილზე ზევით კალაპოტი მთლიანად გადავსებულია მყარი ნატანით და წყალი გადაედინება სავარგულებსა და მეცხოველეობის ფერმების მიმდებარე ტერიტორიაზე.

მდინარემ უკვე მიიტაცა 80 ჰა-ზე მეტი სასოფლო-

სამეურნეო დანიშნულების ტერიტორია და საშიშროებაა დაიკარგოს ასეულობით ჰექტარი სასოფლო-სამეურნეო სავარგული. მდინარის კალაპოტის ნაწილობრივ აღსადგენად საჭიროა 2 კმ სიგრძეზე დაახლოებით 120 000 მ³ ნატანის გატანა.

ზემოაღნიშნული პრობლემები მოითხოვს ოპერატიულად გადაჭრას. ისინი სისტემატურად წარმოიშობა შემდგომში სხვა მონაკვეთებზეც, თუ არ დაიწყო მდინარის კალაპოტის მასიური გაწმენდა, რაც არსებულ მდგომარეობას საგრძნობლად გააუმჯობესებს და უარყოფითი ხასიათის შედეგების რაოდენობაც საგრძნობლად შემცირდება.

10.2. ქ. ყვარლის მოსახლეობის მდ. ღურუჯის ღვარცოფებისგან დაცვის ღონისძიებათა კომპლექსური სქემა

ჯერ კიდევ XIX საუკუნის ბოლოსა და XX საუკუნის დასაწყისიდან დაფიქსირებულია ქ. ყვარლის დასახლებულ პუნქტზე ღვარცოფული (ქვა-ტალახოვანი) ნაკადების დამანგრეველი ზემოქმედება. აღნიშნული პერიოდიდან დღემდე ღვარცოფული გამონატანის მოცულობა ქალაქის დასავლეთით მდებარე მდ. ღურუჯის კალაპოტში და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, 20 მლნ მ³-ს შეადგენს. ცალკეულ ადგილებში ღვარცოფული გამონატანის ნიშნული მდინარის კალაპოტში ქალაქის დამცავი კედლის მიღმა 20-25 მეტრით მაღლაა, ვიდრე საკარმიდამო ნაკვეთები. ეს პროცესი

მდინარე დურუჯის კალაპოტში დღესაც გრძელდება.

საგანგაშო ის არის, რომ ღვარცოფული გამონატანის ინტენსივობა არა თუ იკლებს, არამედ მატულობს კიდევ და თუ დროულად არ იქნა მიღებული ქმედითი ღონისძიებები, არის იმის საშიშროება, რომ დასახლებული პუნქტის მოსახლეობის ნაწილი აღმოჩნდეს ამ სტიქიური მოვლენის მსხვერპლი [22].

შექმნილი მდგომარეობიდან გამოსვლის გზები მოითხოვს ფართომასშტაბური კომპლექსური, მათ შორის პრევენციური ხასიათის სამუშაოების ჩატარებას, რომლებიც უნდა ითვალისწინებდეს ქვემოთმოყვანილი ღონისძიებების განხორციელებას.

დასახული სამუშაოების განხორციელებისათვის რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნეს მდ. დურუჯის მიერ გამოტანილი ღვარცოფული ინერტული მასალა.

ძირითადი მიმართულებები

10.2.1. ზოგადი ხასიათის რეკომენდაციები

- ❖ უნდა განხორციელდეს ღონისძიებები როგორც ღვარცოფის წარმოშობის მიზეზების, ისე ღვარცოფის გავლის შედეგების წინააღმდეგ;
- ❖ საჭირო იქნება არსებული სამეცნიერო კვლევების სრულყოფა და ახლის შემუშავება შესაბამისი საპროექტო სამუშაოების სრულყოფასთან ერთად;
- ❖ მთელი ეს სამუშაოები მოითხოვს სერიოზული ფინანსური და მატერიალური სახსრების მიზანმიმართულ

მობილიზაციას და ისინი მომავალშიც ორიენტირებული უნდა იყოს გაღებული ხარჯების თუ მთლიანად არა, ნაწილობრივ ამოღებაზე მაინც;

- ❖ ზემოთ მითითებული თითოეული პოზიცია წარმოადგენს ცალკეულ მიმართულებას, რომლებიც ურთიერთკავშირში უნდა იყვნენ და მოითხოვენ სერიოზულ შესწავლასა და დამუშავებას მათი რენტაბელობის გათვალისწინებით;
- ❖ ქლაქის დაცვის სამუშაოები საჭიროებენ მოკლე, საშუალო და გრძელვადიანი დეტალური კალენდარული გეგმის შემუშავებას ცალკეულ პოზიციათა სპეციფიურობის გათვალისწინებით;
- ❖ თითოეული ზემოთ მითითებული პუნქტის სისრულეში მოყვანა მოითხოვს განსაზღვრულ დროს, პროფესიონალურ მიდგომასა და სათანადო დაფინანსებას;
- ❖ პროექტის რეალიზაცია მნიშვნელოვანი ოდენობის თანხების მოზიდვასთან იქნება დაკავშირებული, მაგრამ არა იმაზე მეტის, რასაც მოითხოვს ათი ათასობით ადამიანის სიცოცხლისა და სხვა მატერიალური ფასეულობების (ქინძმარაულის ვენახების, ისტორიული ძეგლებისა და სხვა მნიშვნელოვანი ობიექტების) გადარჩენა;
- ❖ პროექტის დაფინანსება ეტაპობრივად და იმ ოდენობით უნდა განხორციელდეს, რასაც მოითხოვს ობიექტის უსაფრთხოება.

10.2.2. უშუალოდ ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის დაცვის ღონისძიებები

10.2.2.1. მოვლენის მიზნებთან ბრძოლის მეთოდები

- ❖ ღვარცოფის წარმოშობის მთავარი კერის – შავი კლდის ეროზირებადი ზედაპირი დამუშავებულ უნდა იქნეს ცემენტის ხსნარის ან გრუნტის სხვა გამამკვრივებელი საშუალებებით, რათა შემცირდეს ღვარცოფ-წარმოშობის ამ კერის აქტიური ნგრევა;
- ❖ გადაუდებლად და უწყვეტად უნდა ხორციელდებოდეს მდინარის სათავეში სატყეო-სამელიორაციო სამუშაოები, რაც საგრძნობლად შეამცირებს ზედაპირულ ეროზიულ პროცესებს;
- ❖ შავი ღურუჯის კალაპოტიდან თეთრი ღურუჯის შესართავამდე და ქვევით უნდა აიგოს გამჭოლი ტიპის სხვადასხვა სიმაღლის კაშხლების კასკადი ზედა ბიეფში მყარი ღვარცოფული გამონატანის აკუმულირების მიზნით. კაშხლების ასაგებად უნდა შეირჩეს ისეთი კვეთები, რომლებიც ნაგებობების მინიმალური სიმაღლის პირობებშიც კი დააკავებენ მაქსიმალური ოდენობის მყარ ჩამონადენს. ამით ღვარცოფის ჰიდროგრაფის პიკი მოიხსნება და საგრძნობლად შემცირდება მისი დამანგრეველი ზემოქმედების სიძლიერე;
- ❖ ეროზიულ ღრანტეებსა და აუზის სხვა სენსიტიურ უბნებთან მისასვლელად შესაძლებელია მოეწყოს საავტომობილო და საბაგირო გზები და თუ საჭიროება

იქნა, ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზაც კი. როგორც ეს კეთდება მსოფლიოს ანალოგიურ რეგიონებში.

10.2.2.2. მოვლენის შედეგებთან ბრძოლის მეთოდები

- ❖ სასურველია მდინარის მარცხენა სანაპიროს გასწვრივ ზემო უბნებზე ნაპირდამცავი კედლების ამაღლება ღვარცოფის შესაძლო გადმოღინების აღკვეთის მიზნით;
- ❖ მდ. დურუჯის გამოტანის კონუსიდან რეგულარულად უნდა ხდებოდეს ღვარცოფული ჩამონადენის გატანა წინასწარ შერჩეულ ადგილებში გარემოსათვის ნაკლები ზიანის მიყენების გათვალისწინებით;
- ❖ მიზანშეწონილია მდინარის გამოტანის კონუსზე გაწმენდითი სამუშაოების წარმოება, რაც მოითხოვს სპეციალური მექანიზმების (თვითმცლელების, ექსკავატორების, ბულდოზერების, ლენტური ტრანსპორტიორების და ა.შ.) გამოყენებას და ამ სამუშაოების ოპერატიული და გრძელვადიანი სქემების დამუშავებას;
- ❖ მდინარის მყარი ჩამონატანის გატანის არსებული სქემა – მისი განთავსება მდინარის მარცხენა ნაპირის კედელთან – კონტრპროდუქტიულია, ვინაიდან ღვარცოფის ბუნებიდან გამომდინარე, მას შეუძლია ადვილად გადალახოს ეს წინააღმდეგობა, რადგან იგი ხასიათდება მოძრაობის მიღებული მიმართულების შენარჩუნებითა და განსაზღვრული სიმაღლის კედლის

გადალახვის უნარით;

- ❖ ნარიყის კონუსზე ღვარცოფული გამონატანის უსაფრთხო ადგილებში განთავსების მიზნით მიზანშეწონილია განხორციელდეს მდინარის ქვედა უბანზე არსებული სანაპირო კედლების ამადლება. ამ გზით შესაძლებელია გამონატანის რაღაც ნაწილის უსაფრთხო განთავსება ამ ხელოვნურად შექმნილ სივრცეში.

10.2.2.3. ორგანიზაციულ-სამეურნეო ხასიათის ღონისძიებები

- ❖ ღვარცოფის მოსალოდნელი გავლის შემთხვევაში უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს მოსახლეობის ოპერატიული ინფორმირება, ანუ შემუშავდეს მოსალოდნელი საშიშროების დროულად მაუწყებლობის მექანიზმი;
- ❖ გამოყენებულ იქნეს ღვარცოფის პროგნოზირების ყველა არსებული მეთოდი, მათ შორის, აკადემიკოს *ც. მირცხულავას* რეკომენდაცია, რომელიც დამყარებულია საიმედოობის თეორიის საფუძვლებზე და ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი ღვარცოფული მასის ოდენობის ფიქსირებაზე - მისი ძვრანზე კრიტიკული მდგომარეობის შეფასების მიზნით;
- ❖ მოსახლეობაში ახსნა-განმარტებითი სამუშაოების ჩატარება ღვარცოფის მოსალოდნელი გავლის შემთხვევაში ქცევების შესახებ.

**10.2.2.4. ღვარცოფული გამონატანის შესაძლო
გამოყენება სახალხო მეურნეობაში
(უტილიზაცია)**

- ❖ შემუშავდეს ღონისძიებები ღვარცოფული გამონატანის უტილიზაციისათვის: ვენახისათვის სასუქის სახით გამოყენება, სამშენებლო მასალად გამოყენება, კერამიკული ნაკეთობების დამზადება, მშენებლობისათვის თბოსაინოლაციო და მოსაპირკეთებელი ფილების დამზადება, რელიეფდანიწვერებული ტერიტორიების მოსაშენდაკებლად, საავტომობილო გზების მშენებლობაზე და ა.შ., რითაც ჩანაცვლდება იმპორტირებული სხვადასხვა სახის სამშენებლო მასალები; უფრო მეტიც – ჩვენი ქვეყანა შესაძლებელია გახდეს ამ სახეობის სამშენებლო მასალის ექსპორტიორიც კი.

**10.3. ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის მდ. ღურუჯის
ღვარცოფებისგან დამცავი კომპლექსური
ღონისძიებების საორიენტაციო ხარჯთაღრიცხვა
მიმართულებების მიხედვით**

I. საინჟინრო-ტექნიკური და ეკოლოგიური მიმართულება

1. მდ. ღურუჯის მარცხენა ნაპირზე არსებული მიწის ნაპირდამცავი კედლის რეაბილიტაცია გამჭოლი რკინაბეტონის კონსტრუქციითა და მაღალი ხარისხის მიწაყრილის მოწყობით – 1 მლნ ლარი;
2. მდ. ღურუჯის კალაპოტის ტრანზიტულ ნაწილში

ტრამპლინის ტიპის 3 ბარაჟის მოწყობა (სამეცნიერო-სარეკონსტრუქციო-საპროექტო სამუშაოები – 0,5 მლნ ლარი, ტრამპლინის ტიპის ბარაჟების აშენება – 2,5 მლნ ლარი). სულ – 3 მლნ ლარი;

3. მდ. დურუჯის წყალშემკრებ აუზში სათავეებთან ფიტომელიორაციული და სატყეო-სამელიორაციო ღონისძიებების განხორციელება – 1.5 მლნ ლარი;

4. ორგანიზაციულ-სამეურნეო ღონისძიებების უზრუნველყოფა – 0.5 მლნ ლარი.

სულ: 6 მლნ ლარი

II. სამრეწველო ტექნოლოგიური მიმართულება

1. ღვარცოფული მასის გატანა (20 მლნ მ³) – 14 მლნ ლარი;

2. სამშენებლო მასალის მომზადება (ცემენტის წარმოების აწყობა) – 1,3 მლნ ლარი (წლიური მოგება – 260 000 ლარი);

3. კერამიკული მასალის მომზადება (კერამიკის, ღვინის ბოთლების, კერამიკული ბუხრების, დეკორატიული აგურის, კრამიტის, თბოიზოლაციური მასალის წარმოება და ა.შ.) – 0,5 მლნ ლარი.

სულ: 15,8 მლნ ლარი

III. ადგილობრივი ინფრასტრუქტურის განვითარების მიმართულება

1. ინფრასტრუქტურის განვითარება (გურჯაანი-ყვარელი 24 კმ-იანი რკინიგზის გაყვანა) – 68,81 მლნ ლარი;

2. მდ. ღურუჯის კალაპოტში სამშენებლო-საექსპლუატაციო 6 კმ სიგრძის, 6 მ სიგანისა და 0,24 მ სისქის საუბნო გზის გაყვანა – 250 000 ლარი;
3. მდ. ღურუჯის ზემო წელში (სათავესთან), შუა წელსა და ქ. ყვარელში 3 თანამგზავრული მეტეოროლოგიური სადგურის მოწყობა – 80 000 ლარი;
4. ქ. ყვარლის მოსახლეობის ღვარცოფული საშიშროებისაგან გამაფრთხილებელი თანამედროვე სისტემების დაყენება – 50 000 ლარი;
5. მდ. ღურუჯზე სამეცნიერო-დოკუმენტური ფილმის გადაღება – 50 000 ლარი;
6. მოსახლეობაში ეკოგანათლების პოპულარიზაცია (ბროშურების, პროსპექტების, პოსტერების გამოცემა) – 100 000 ლარი.

სულ: 69,34 მლნ ლარი

ამრიგად, წარმოდგენილი საველე-სამეცნიერო-სარეკონოსცირებო და მონიტორინგული კვლევები საშუალებას გვაძლევს მდინარის გასწვრივ დავადგინოთ სენსიტიური უბნები და, აქედან გამომდინარე, შევაფასოთ ქალაქ ყვარლის ადგილობრივი მოსახლეობის, მდინარე ღურუჯის ღვარცოფებისგან წარმოშობილი, უსაფრთხოების რისკები, რაც შემდგომ ეტაპზე ეფექტური, დამცავი, კომპლექსური, ინოვაციური ღონისძიებების ჩატარების საშუალებას იძლევა.

თავი XI.

მდინარე დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის კვლევა სასოფლო-სამეურნეო მიზნებისათვის*

11.1. საქართველოს მევენახეობის სპეციფიკური ზონები

მდინარე დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის კვლევა სასოფლო-სამეურნეო მიზნებისათვის, ქინძმარაულის ყურძნის სავარგულების ფართობების გაზრდის მიზნით კვლევებს საფუძველი ჩაუყარა პროფ. მ. გაგოშიძემ. მისი ხელმძღვანელობით მეცნიერ-თანამშრომელი ნ. ფხაკაძე 1965-1970 წლებში ატარებდა სამეცნიერო გამოკვლევებს. ეს მიმართულება 1985 წლიდან გაგრძელდა პროფესორების ვ. თევძაძისა და გ. გავარდაშვილის ხელმძღვანელობით ასპირანტ ზ. გვიშიანის მიერ და დასრულდა საკანდიდატო სადისერტაციო ნაშრომის დაცვით 1994 წელს [12, 28, 29].

განხორციელებული საველე-საექსპერიმენტო კვლევებისა და მიღებული შედეგების სტატისტიკური რიგის დამუშავების საფუძველზე გაიცა რეკომენდაცია მდინარე დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების, კერძოდ, ქინძმარაულის ყურძნის ფართობების გაზრდის თაობაზე. რაც გულისხმობს მდინარე დურუჯის ღვარცოფული გამონატა-

* მონოგრაფიის მე-XI თავი მოშზადდა დოქტორანტ თ. სუპატაშვილთან ერთად (დოქტორანტურის გრანტი #40/67, 2013-2015)

ნისა და, შესაბამისად, კალაპოტიდან კოლოიდური ინერტული მასალის ამოღებას, ეს კი, გარდა სასოფლო-სამეურნეო ფართობების გაზრდისა, მოახდენს მდინარე ღურუჯის კალაპოტის გაწმენდის სტიმულაციას, რაც გამოიწვევს მდინარე ღურუჯის გამოტანის კონუსზე დაგროვილი ღვარცოფული მასის ნიშნულების შემცირებას. ეს კი მდინარე ღურუჯის ღვარცოფებისაგან ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის უსაფრთხოების გარანტია.

მსოფლიო კაცობრიობის ისტორიაში, მისი სამეურნეო და სოციალური კულტურის განვითარებისათვის, მევენახეობა-მელვინეობას ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭებოდა. თანამედროვე მევენახეობა-მელვინეობა ამსხვრევს მასობრივი მრეწველობის, მათ შორის, მასობრივი წარმოების სტერეოტიპებს და ამკვიდრებს სრულიად ახალ ხედვას იმის შესახებ, თუ სად არის მევენახეობა-მელვინეობის – როგორც აგრარული მეურნეობის დარგის ისტორიული საწყისები და როგორი განვითარება ჰპოვა მან მსოფლიოში.

საქართველოს მრავალფეროვანი ბუნებრივი პირობები საუკეთესო გარემოს ქმნის მაღალხარისხოვანი მევენახეობა-მელვინეობის განვითარებისათვის, რომლის თავისებურებათა მიხედვით ქვეყნის ტერიტორია იყოფა შემდეგ მიკროზონებად: კახეთი, ქართლი, იმერეთი, რაჭა-ლეჩხუმი, გურია-სამეგრელო, აფხაზეთი და აჭარა.

საქართველოს ვენახების 65-70% გაშენებულია უძველესი და უნიკალური მევენახეობა-მელვინეობის რეგიონში – კახეთში, რომელიც ქართული მელვინეობის

უმთავრესი რეგიონია. საუკეთესო ხარისხის ღვინოების მომცემი ვენახები მდებარეობს ალაზნისა და ივრის მდინარეთა აუზებში, ზღვის დონიდან 400-700 მეტრ სიმაღლეზე, ნემომპალა-კარბონატულ, შავმიწა და ალუვიურ ნიადაგებზე. ეს რეგიონი შეიძლება დაიყოს 4 ძირითად მხარედ: ალაზნის მარჯვენა სანაპირო, ალაზნის მარცხენა სანაპირო, ქიზიყი და გარე კახეთი. საქართველოში დარეგისტრირებული 18 ადგილწარმოშობის ღვინიდან 14 სწორედ კახეთს ეკუთვნის, ესენია: წინანდალი, გურჯაანი, ვაზისუბანი, მანავი, კარდენახი, ტიბაანი, კახეთი, კოტეხი, ნაფარეული, მუკუზანი, თელიანი, ქინძმარაული, ახაშენი, ყვარელი. ყურძნის ჯიშებიდან აღსანიშნავია: რქაწითელი, საფერავი, მწვანე კახური, ქისი, ხიხვი, ბუდეშური, მცვივანა, საფენა, კუმსი, კაბერნე სოვინიონი, თავკვერი, იყალთოს წითელი და სხვ. (სურ. 11.1).

კახური ღვინო ქართულ ღვინოებს შორის ყველაზე მეტად გამოხატავს ნიადაგის თვისებებს. ღვინის ხარისხს განაპირობებს შემდეგი ფაქტორები: ნიადაგი, ვაზის ჯიში, ადგილობრივი კლიმატური თავისებურებები, ვენახის ექსპოზიცია და სხვ.

ამათგან, ღვინის ხარისხი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ნიადაგის ტიპზე, ნიადაგის განსაზღვრულ ტიპს კი აყალიბებს მასში საუკუნეების განმავლობაში მიმდინარე ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესები. სხვადასხვა ტიპის ნიადაგი ვაზის თვისებებს განსხვავებულად წარმოაჩენს და ღვინის განსაკუთრებულ ხარისხს განაპირობებს (ცხრილი 11.2).

ცხრილი 11.2

ვენახების ჯიშობრივი შემადგენლობა

ჯიშის დასახელება	ვენახის ფართობი (ჰა)
1	2
რქაწითელი	19741
საფერავი	3704
მწვანე	249
ქისი	20
ხიხვი	5
კაბერნე	223
გორული მწვანე	224
ჩინური	955
ალიგოტე	97
პინო თეთრი	171
თაკვერი	29
ციცქა	2939
ცოლიკოური	6161
კრახუნა	36
ოცხანური საფერე	5
ალექსანდროული	219
უსახელოური	8
ოჯალეში	25
ჩხავერი	20
ალადასტური	16
სხვა ჯიშები	2490

მაისის ბოლოს, ყურძნის სიმწიფის დაწყება კი აგვისტოს მეორე ნახევარში აღინიშნება (20.VIII-დან). ყურძნის ტექნიკურად მომწიფება სექტემბრის ბოლო რიცხვებში

ხდება. ბუნებრივად ნახევრადტკბილი ღვინომასალის მისაღებად ყურძენი ოქტომბრის შუა რიცხვებში უნდა დაიკრიფოს.

ქინძმარაულის მიკროზონაში სანედლეულო ბაზის ფართობი შეადგენს დაახლოებით 1633 ჰა-ს. აქ ყველაზე გავრცელებული ვაზის ჯიშია საფერავი.

საფერავი ქართული წითელყურძნიანი ვაზის ჯიშია. წარმოშობით სამხრეთ საქართველოდანაა, მაგრამ ყველაზე მეტად გავრცელებულია კახეთში, სადაც საუკეთესო შედეგს იძლევა. გავრცელებულია საფერავი მრგვალმარცვალა და ბუდეშურისებრი, ანუ გრძელმარცვალა – ერთი ჯიშიდან წამოსული ორი სახეობა ერთმანეთისგან მხოლოდ მარცვლის ფორმით განსხვავდება. სიტყვა „საფერავი“ ფერის მიმცემს გულისხმობს. საფერავისგან მზადდება მაღალხარისხიანი კლასიკური და ტრადიციული ტიპის ღვინოები, დაძველების დიდი პოტენციალით. ასევე გამოიყენება ნახევრადტკბილი და ვარდისფერი ღვინოების დასამზადებლად.

საფერავი არის ჯიში, რომელსაც შეუძლია დააგროვოს მაღალი შაქრიანობა, შეინარჩუნოს მჟავიანობა. გამოირჩევა საღებავის სიუხვით, ანუ საფერავი - შემფერავი ნივთიერებებით, შესაბამისად, მისგან მუქი შეფერილობის ღვინო დგება. აქვს ძალიან კარგი, დიდი რაოდენობით და ადვილად ექსტრაგირებადი ტანინები. სწორედ ეს განასხვავებს ღვინოს სხვა ჯიშებისაგან. საფერავისგან შეიძლება დავამზადოთ ძლიერი, მაღალმჟავიანი, მაღალი ალკოჰოლის შემცველი, მუქი შეფერილობისა და კარგი ტანინიანი ღვინო. ტანინებსა და

საღებავებთან ერთად საფერავს გააჩნია თავისი ჯიშური, გამორჩეული არომატი, რომლითაც ყოველთვის იცნობა და მის უნიკალურობასაც განაპირობებს.

საფერავი შეიძლება ჩაითვალოს ერთ-ერთ დიდი პოტენციალის მქონე ვაზის ჯიშად, რომელიც საკმაოდ დიდ ყურადღებას იმსახურებს უცხოელების მხრიდანაც.

11.2. ქინძმარაულის ტერიტორიის ზოგადი გეოგრაფიული დახასიათება

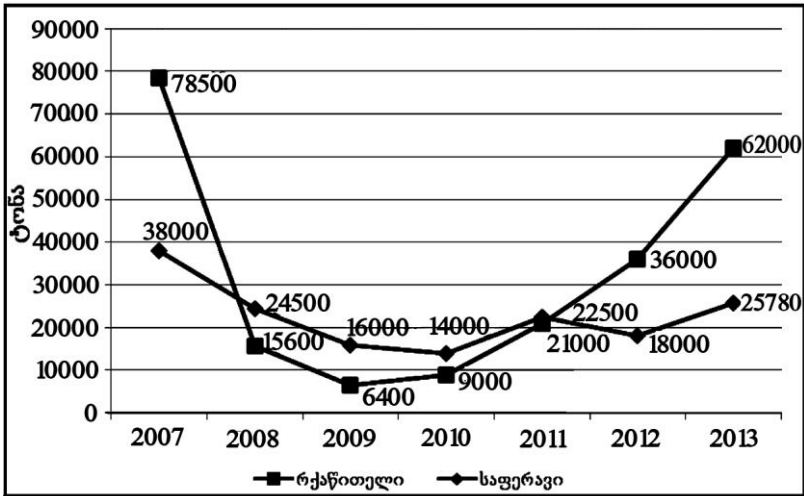
მევენახეობის სპეციფიკური ზონა „ქინძმარაული“ მდებარეობს აღმოსავლეთ საქართველოში, შიდა კახეთში, ყვარლის ადმინისტრაციულ რაიონში, კავკასიონის განშტოების სამხრეთ დაქანებაზე, ჩრდილოეთ განედის $41^{\circ}30'$ და აღმოსავლეთ გრძედის $45^{\circ}50'$ კოორდინატებზე. სამრეწველო ვენახები ძირითადად განლაგებულია ზღვის დონიდან 250-550 მ სიმაღლის საზღვრებში, მდ. ალაზნის მარცხენა სანაპიროზე (გაღმა მხარე). ბარის ძირი უკავია ალაზნის ვაკეს, რომელიც ჩრდილოეთისაკენ მაღლდება – გადადის მთისწინეთის ზოლში და მიბჯენილია კავკასიონის ძირზე.

„ქინძმარაულის“ ღვინომასალის მისაღებად არსებული ტერიტორია შიდა კახეთის ნაწილს მოიცავს და მდინარე ალაზნის მარცხენა, მეორე ტერასაზეა წარმოდგენილი, მისი შენაკადი მდინარეების: დურუჯის, ბურსის, ჩელთის, ინწობას, ავანისხევის და შოროხევის მარჯვენა და მარცხენა მხარეს. ჩრდილოეთით ემიჯნება კავკასიონის

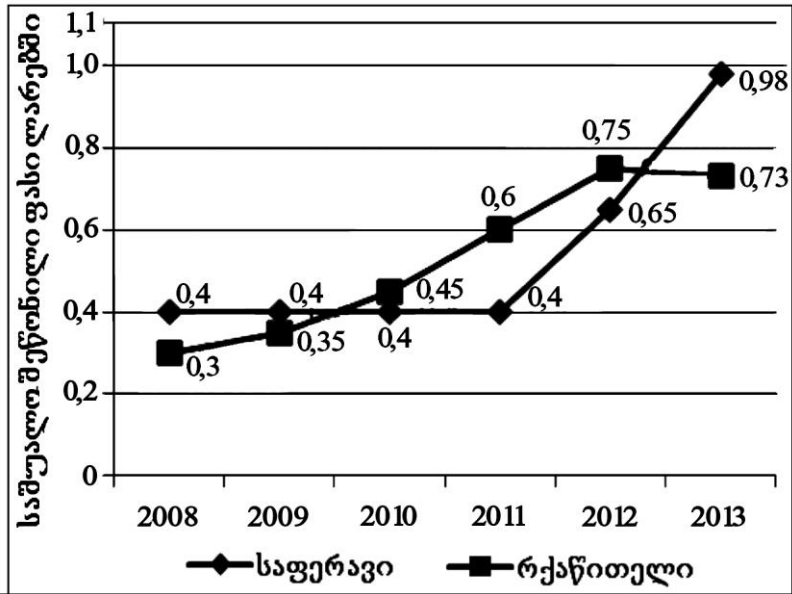
ნის მთების სამხრეთი კალთების დაბოლოებას. აღნიშნული ტერიტორიის დასავლეთი ნაწილი მდინარე დურუჯის მარჯვენა მხარიდან მოყოლებული რელიეფურად უფრო სამხრეთ-დასავლეთისაკენ დახრილი ვაკეა სუსტი ტალღისებური ზედაპირით, ხოლო დანარჩენი ტერიტორია აღმოსავლეთის მიმართულებით სამხრეთისაკენ დახრილ ვაკეს წარმოადგენს. აღნიშნული ზონა ზღვის დონიდან 250-550 მ ფარგლებშია და მოიცავს თვით ქინძმარაული-სა და ყვარლის ადმინისტრაციულ ტერიტორიას, დასავლეთის მიმართულებით სოფლების: შილდის, ენისელის, საბუეს, ალმატის, გრემის და შაქრიანის შუა და ზედა ნაწილს, რომლებიც ალაზნის მეორე ტერასაზე მდებარეობენ; აღმოსავლეთის მიმართულებით კი ძირითადად სოფლების: ფატმასურის, სანაგარდოს, კუჭატანის წიწკანაანთ სერის, ჩანტლის ყურის, ზინობიანის, ახალსოფლის, თხილის წყაროს, მთის ძირის, ჭიკაანის და ნაწილობრივ - გავაზისა და ბაღლოჯიანის ტერიტორიებს ალაზნის პირველ ტერასამდე.

საქართველოში წარმოებული ყურძნის საერთო რაოდენობიდან მეორე ადგილი უკავია საფერავს.

2007-2013 წლებში საფერავის მოსავლის რაოდენობამ შეადგინა 158 780 ტონა (ნახ. 11.2). საფერავზე გაზრდილ მოთხოვნილებას მოწმობს ასევე ყურძნის ფასის პროგრესირებადი ზრდა.



სურ. 11.2. რქაწითელის და საფერავის მოსახლეობის სტატისტიკური მონაცემები



სურ. 11.3. ყურძნის ფასების დინამიკა 2008-2013 წწ.

თუ დავაკვირდებით საფერავის ჯიშის ყურძნის, მათ შორის, ქინძმარაულის ყურძნის ფასების მატების დინამიკას (ნახ. 11.3), დავინახავთ, რომ საქართველოში ღვინის ბიზნესის განვითარებისათვის რეკომენდებულია საფერავის ჯიშის ყურძნის ფართობების ზრდა, მათ შორის - ქინძმარაულისაც.

11.3. ქინძმარაულის ტერიტორიის ზოგადი კლიმატური შეფასება

„ქინძმარაულის“ მიკროზონაში ამინდის ფორმირებას ძირითადად განაპირობებს სუბტროპიკულ და ზომიერ განედებში განვითარებული, მაღალმთიანი სისტემების ზეგავლენით გამოწვეული, დასავლეთსა და აღმოსავლეთიდან გადმონაცვლებული ჰაერის მასები. ხეობის სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან გახსნილობისა და ჩრდილო-დასავლეთის და სამხრეთის მხრიდან ჩაკეტილობის გამო აქ გაბატონებულია ხეობის მიმართულების – ჩრდილო-დასავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები. ხეობის თავისებური ჩაკეტილობის შედეგად ქარის სიჩქარე დიდი არ არის. კლიმატი ზომიერად ნოტიოა, ზომიერად ცივი ზამთრითა და თბილი ხანგრძლივი ზაფხულით.

არსებული ვენახები და სავენახე ფართობები ძირითადად მდებარეობს 2-3^o სამხრეთ და მის მიმდებარე დახრილ დაქანებაზე. ყურძნის მარცვლების ფორმირებისა

და სიმწიფის პერიოდში, ქინძმარაულის განედისათვის, მზის სიმაღლე შესაბამისად - 60-700 და 40-500 მ-ის ფარგლებშია. მზის ნათების ხანგრძლივობა წელიწადში 2050 საათია.

ზონაში ყურძნის მარცვლების ფორმირებისა და სიმწიფის პერიოდში, ცის თაღის 8-10 ბალიანი ღრუბ-
ლებით დაფარულობა თანმიმდევრულად 20 და 18 დღეს უდრის, ხოლო მოწმენდილი დღეები (0-2 ბალი) მოღრუბ-
ლულობით 15 და 16 დღეს აღწევს.

ამასთან, განედური მიმართულების ხეობაში, სამხ-
რეთული დაქანების მთისწინებზე წარმოქმნილი ისეთი
ძირითადი აგროკლიმატური ფაქტორები, როგორიცაა:
მზის სხივური ენერგია, სითბოს რაოდენობა, ზაფხულის
ზომიერი ტემპერატურა, ადგილმდებარეობის საკმაო და-
ტენიანება, კომპლექსურად ქმნის ხელსაყრელ პირობებს
საფერავის მაღალხარისხოვანი პროდუქციის მისაღებად.

მდ. ღურუჯის ჩამონახიდ მოშავო ფერის ფიქლების
ზედაპირზე, დღის განმავლობაში ტემპერატურა მეტია;
შუადღის საათებში ტემპერატურა 3-5°C-ით აღემატება
მოსაზღვრე ტყის ალუვიურ-უკარბონატო ნიადაგების
ზედაპირის ტემპერატურას [29].

მოშავო ფერის ნიადაგს, ზედაპირზე დაცემული მზის
სხივური ენერგიის, არეკვლის ნაკლები უნარი (15%)
გააჩნია. ენერგიის მეტი შთანთქმის შედეგად, ნიადაგის
ტემპერატურა იზრდება. ამ ნიადაგებზე გაშენებულ
ვენახს მზის სხივების 20%-ის არეკვლის უნარი
ახასიათებს.

„ქინძმარაულის“ მიკროზონაში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა $12,5^{\circ}\text{C}$ -ია, უთბილესი თვეების (VII-VIII) საშუალო ტემპერატურაა $23,6^{\circ}\text{C}$, უცივესი თვისა კი $+1,0^{\circ}\text{C}$ -ია. მრავალწლიური მონაცემებიდან გამომდინარე, ჰაერის წლიური აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურებიდან საშუალო -1°C – -11°C , აბსოლუტური მაქსიმუმებიდან საშუალოა 35°C , ხოლო ექსტრემალური ტემპერატურები -23°C – $+38^{\circ}\text{C}$ -ს უდრის. გაზაფხულზე ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურის 10°C -ზე ზევით მდგრადი გადასვლა ხდება 5 აპრილიდან. შემოდგომაზე 10°C -ზე ქვემოთ დაცემა 4 ნოემბერს აღინიშნება. ე.ი. თბილი პერიოდის ხანგრძლივობა 212 დღეა.

თოვლის საფარი დეკემბრის ბოლო დეკადაში (25 დეკემბრიდან) იქმნება, რომელიც მარტის შუა რიცხვებში ქრება. თოვლიან დღეთა რიცხვი ზამთარში 210-ზე მეტი არ არის. მიკროზონაში თოვლის საფარი არამდგრადია - 87%.

სეტყვიანი დღეების რიცხვი წელიწადში საშუალოდ 2,1-ს უდრის. წლის განმავლობაში ყველაზე სეტყვიანი მაისია (0,9 დღე); აპრილში, ივნისში და ივლისში, თითოეულში ცალ-ცალკე, სეტყვა 0,3 დღეს არ აღემატება.

10 წელიწადში ერთხელ მინიმალური ტემპერატურა შესაძლოა -15°C -მდე დაეცეს, რაც საფერავის სანაყოფე კვირტებს მხოლოდ სუსტად (30%) აზიანებს.

მიკროზონაში ძირითადად გაბატონებულია დასავლეთისა (23%) და სამხრეთ-აღმოსავლეთის (17%) მიმართულების ქარები. უქარო დღეები წელიწადში საშუალოდ

31%-ს უდრის. ქარის სიჩქარეს აძლიერებს აქ წარმოქმნილი მთა-ხეობის ქარები. დამით, მზის ამოსვლამდე, კავკასიონის მაღალი მწვერვალებიდან დაშვებული ცივი ჰაერის მასები ზამთრის ყინვებისა და გაზაფხულის წაყინვების საშიშროებას აღიძვებს. ალაზნის ხეობის ეს მიკროზონა მიეკუთვნება მავნე ქარების ზემოქმედების III ჯგუფის რაიონებს.

11.4. ქინძმარაულის ტერიტორიის ზოგადი გეოლოგიურ-მელიორაციული შეფასება

არსებული კვლევისა და ჩვენ მიერ ჩატარებული მასალების საფუძველზე მიკროზონის ტერიტორიაზე გამოყოფილია ალუვიური ნიადაგების ორი სახეობა - ცხრა სახესხვაობითა და დელუვიური ნიადაგების ორი სახეობა - ხუთი სახესხვაობით:

1. ალუვიური, უკარბონატო, დიდი სისქის თიხნარი.
2. ალუვიური, უკარბონატო, დიდი სისქის, სუსტად ხირხატიანი, თიხნარი.
3. ალუვიური-უკარბონატო, დიდი სისქის, საშუალოდ ხირხატიანი, საშუალო და მსუბუქი თიხნარი.
4. ალუვიური, უკარბონატო, დიდი სისქის, ძლიერ ხირხატიანი თიხნარი.
5. ალუვიური, სუსტად კარბონატული, დიდი სისქის, თიხნარი.
6. ალუვიური, სუსტად კარბონატული, დიდი სისქის,

სუსტად ხირხატიანი, თიხნარი.

7. ალუვიური, სუსტად კარბონატული, დიდი სისქის, საშუალოდ ხირხატიანი, თიხნარი.
8. ალუვიური, უკარბონატო, დიდი სისქის, ჭარბტენიანი და დაჭაობებული, თიხიანი და თიხნარი.
9. ალუვიური, სუსტად კარბონატული, ჭარბტენიანი და დაჭაობებული, თიხნარი და თიხიანი.
10. დელუვიური, უკარბონატო, დიდი სისქის, თიხნარი.
11. დელუვიური, უკარბონატო, დიდი სისქის, სუსტად ხირხატიანი, თიხნარი.
12. დელუვიური, სუსტად კარბონატული, დიდი სისქის, თიხიანი.
13. დელუვიური, სუსტად კარბონატული, დიდი სისქის, სუსტად ხირხატიანი, თიხნარი და თიხიანი.
14. დელუვიური, სუსტად კარბონატული, დიდი სისქის, ჭარბტენიანი, თიხიანი.

ზემოთ დასახელებული ნიადაგებიდან პირველი ათი სახესხვაობა ალუვიური ნიადაგებისა წარმოდგენილია ალაზნის მეორე ტერასაზე და ძირითადად ვაკე რელიეფის ფორმებით ხასიათდებიან, ხოლო მე-11, მე-12, მე-13 და მე-14 სახესხვაობები დელუვიური ნიადაგებისა კავკასიონის სამხრეთ კალთების დაბოლოებაზე არის წარმოდგენილი და უშუალოდ ემიჯნება სამხრეთ კალთებს, რომელიც ზღვის დონიდან 400-500 მეტრის ფარგლებშია, რელიეფურად ეს ფართობები სამხრეთისაკენ და სამხრეთ-დასავლეთისაკენ სუსტად დაქანებულ შლეიფებს წარმოადგენს.

აღუვიური ნიადაგების პირველი ათი სახესხვაობის ნიადაგები ხასიათდება ღრმა სისქის პროფილით და განსხვავდება: ხირხატიანობის ხარისხით, მექანიკური შედგენილობით, კარბონატების შემცველობით, ჭარბტენიანობისა და დაჭაობების ხარისხის მიხედვით. აღნიშნული ნიადაგებიდან პირველი შვიდი სახესხვაობის ნიადაგები ხასიათდება ღრმა სისქის პროფილით და პროფილის სისქე ძირითადად 1-1,5 მ ფარგლებშია, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი ფენა 50-70 სმ-ია. ხასიათდება ძირითადად თიხნარი მექანიკური შედგენილობით, გამონაკლის შემთხვევებში ზოგიერთ გენეზისურ ჰორიზონტში გადახრილია მსუბუქი თიხისაკენ ან მსუბუქი თიხნარისა და სილნარისაკენ. გარდა ამისა, აღნიშნული ნიადაგები განსხვავდება ხირხატიანობის ხარისხით და დაქვიანებით. ხირხატიანობა და ქვიანობა მეტწილად შესამჩნევია მდინარეთა ახალ ტერასებზე და ნაპირებთან. მე-8 და მე-9 სახესხვაობის ნიადაგები კი ხასიათდება ჭარბტენიანობითა და დაჭაობებით, რომლებიც ძირითადად წარმოდგენილია მცირე ნაკვეთების სახით ჩადაბლებულ ადგილებზე და ფშების გასწვრივ. მექანიკური შედგენილობით ეს ნიადაგები მეტწილად თიხიანი და თიხნარია.

ნიადაგწარმომქმნელ ქანებს პირველი ცხრა სახესხვაობის ნიადაგებში ძირითადად აღუვიური წარმოშობის რიყნარ-თიხნარი და რიყნარ-ქვიშნარი ნაფენები წარმოადგენს, რომელიც ძირითადად კავკასიონის სამხრეთი ფერდობებიდან ჩამონატანი ნაშალი მასალებისაგან შედგება, რომელიც თავის მხრივ, მეტწილ შემთხვევაში,

ზღვიური წარმოშობის შავი ფიქლები ნაშალი მასალით არის წარმოდგენილი; ხასიათდება სითბოს შთანთქმის მაღალი უნარით და გარკვეულ გავლენას ახდენს ნიადაგის ტემპერატურულ რეჟიმზე. ეს კი თავისებურად განაპირობებს ყურძნის შაქრიანობის მატებას და პროდუქციის ხარისხიანობას [28].

მე-10-მე-14 სახესხვაობის ნიადაგები კი დელუვიებს წარმოადგენენ, რომლებიც განვითარებულია დელუვიურ-პროლუვიური წარმოშობის თიხნარ და თიხნარ-სილნარ-ლორღიან ნაფენებზე. ეს ნიადაგებიც ხასიათდებიან ღრმა სისქის პროფილით, რომლის სიღრმე, ძირითადად, 80-150 სმ-ის ფარგლებშია, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი ფენა 50-60 სმ-ს შეადგენს. აღნიშნული ნიადაგების ეს სახესხვაობებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მექანიკური შედგენილობით, ხირხატიანობის ხარისხით, კარბონატების შემცველობითა და ტენიანობით. მე-10 და მე-11 სახესხვაობის ნიადაგები უკარბონატოა და თიხნარი მექანიკური შედგენილობით ხასიათდება, განსხვავებით მე-11 სახესხვაობა ხირხატიანობითაც გამოირჩევა და სუსტად ხირხატიანია. მე-12, მე-13 და მე-14 სახესხვაობები სუსტად კარბონატულია და თიხიანი და თიხნარი მექანიკური შედგენილობით ხასიათდებიან. მე-13 სახესხვაობა სუსტად ხირხატიანია, ხოლო მე-14 სახესხვაობა - ჭარბტენიანი [28].

ღრმა და წყალუხვი ნიადაგი იძლევა უხვ მოსავალს, ხოლო შედარებით ნაკლებად ღრმა და მშრალი ტიპის ნიადაგი კი - მაღალი ხარისხის მოსავლის მიღების

წინაპირობაა.

ტბორიანი და მკერივი (დატკეპნილი) ნიადაგი ვაზის ფესვთა სისტემის გავრცელებაზე უარყოფითად მოქმედებს; თიხნარი მიწები, ძირითადად წყალგაუმტარია და კულტივირებისათვის ნაკლებად მოსახერხებელი; კირქვნარი ნიადაგები ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი შეიძლება იყოს და ვენახსაც მის მიმართ გამძლეობის მიხედვით აშენებენ; ცარციანი (ცარცის მაღალი შემცველობის მქონე) ნიადაგები საუკეთესო მოსავლის მომცემია; ქვიანი ნიადაგები, ასევე საუკეთესო მოსავლის მომცემია, მაგრამ კულტივირებისათვის ნაკლებად მოსახერხებელია, ქვის მაღალი შემცველობა გაუწყლოებისგან იცავს ნიადაგს, უზრუნველყოფს დრენაჟს და ამ გზით, წყლის პირდაპირ აორთქლებას ზღუდავს. დღის განმავლობაში მზის სხივებით გამოთბარი ქვები გარკვეული დროით ღამეც ინარჩუნებს სიმხურვალეს და ღამის განმავლობაში ვაზის ფესვთა სისტემას სითბოთი „ამარაგებენ“, რაც დამწიფების პროცესს აჩქარებს.

ანალიზის მონაცემებიდან გამომდინარე, აღნიშნული ნიადაგები მექანიკური შედგენილობით ძირითადად თიხნარებს მიკუთვნებიან. გამონაკლის შემთხვევებში კი მსუბუქი თიხიანობით ხასიათდებიან. ჰუმუსის შემცველობის მიხედვით, ძირითადად, საშუალო მაჩვენებლით ხასიათდებიან და ნიადაგის აქტიურ ფენაში 50-70 სმ-ის სიღრმემდე 5,5-2,5%-ის ფარგლებშია, ქვედა ფენებში კი თანდათან მცირდება და 2,5-0,5%-ის ფარგლებშია. ჰიდროლიზური აზოტი ძირითადად მცირე და საშუალო

რაოდენობითაა წარმოდგენილი და 9,36-2,24 მგ-ის ფარგლებშია 100 გ ნიადაგში. ხსნადი ფოსფორით მეტწილ შემთხვევებში ძალზე ღარიბია და მხოლოდ კვალის სახითაა წარმოდგენილი. ასევე დაბალია გაცვლითი კალიუმის შემცველობაც და 17,0-2,0 მგ-ის ფარგლებშია 100 გ ნიადაგში. კალციუმის კარბონატებს პირველი, მე-2, მე-3, მე-4, მე-8, მე-10 და მე-11 სახესხვაობის ნიადაგები საერთოდ არ შეიცავს, ხოლო მე-5, მე-6, მე-7, მე-9, მე-12, მე-13 და მე-14 სახესხვაობის ნიადაგებში მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი და ძირითადად 0,2-5,0%-ის ფარგლებშია. ნიადაგის არეს რეაქცია (pH) ნეიტრალური და სუსტი ტუტეა და pH-ის მაჩვენებელი 5,8-7,6-ის ფარგლებშია.

ქინძმარაულის მიკროზონის განსაკუთრებული გეოგრაფიული მდებარეობა – დიდი კავკასიონის მაღალი მთების სამხრეთით მიბჯენილი მთისწინეთის გავლენით ჩამოყალიბებული მიკროკლიმატი, მდინარეების ჩამონაზიდ შავ ფიქლებზე განვითარებული ხირხატიანი ნიადაგები. ვენახში შექმნილი მეტად ხელსაყრელი სითბური რეჟიმი და თვით ვაზის ჯიშის - საფერავის უნიკალური თვისება – ეკოლოგიური პლასტიურობა, განსაზღვრავენ ორიგინალური მაღალხარისხოვანი ბუნებრივად ნახევრადტკბილი ღვინის - „ქინძმარაულის“ სპეციფიურ საგემოვნო თვისებებს.

თაზი XII.

ქინკმარაულის ტერიტორიაზე საგველე სამეცნიერო კვლევების განხორციელება და მათი შეფასება

12.1. საველე საექსპერიმენტო კვლევებისათვის შერჩეული ტერიტორიების ზოგადი დახასიათება

ყვარლის რაიონი – ადმინისტრაციულ-ტერიტორიული ერთეული აღმოსავლეთ საქართველოში, კახეთის რეგიონის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში. ყვარლის რაიონი ესაზღვრება 3 ადმინისტრაციულ რაიონს (თელავის, გურჯაანისა და ლაგოდეხის რაიონებს). რაიონის ფართობია – 1000,8 კმ². ყვარლის რაიონის ტერიტორია შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად – ვაკისა და მაღალმთიან ნაწილებად. რაიონში მაღალი ადგილები გვხვდება ჩრდილოეთით - კახეთის კავკასიონისა და მისი სამხრეთი განშტოებების სახით. რაც შეეხება ალაზნის ვაკეს, იგი ყვარლის რაიონის სამხრეთ ნაწილშია წარმოდგენილი.

ყვარლის დასავლეთით, მდინარე დურუჯის მარჯვენა მხარეზე მდებარეობს კუდიგორას დაბალი სერი, რომელიც წარმოადგენს მდინარეების – დურუჯისა და ჩელთის – წყალგამყოფს, ფოხალის ქედის უკიდურეს სამხრეთ დაბოლოებას. კუდიგორას სერის სიმაღლე ცვალებადობს 500-დან 800 მ-მდე. მასზეა აღმართული მთა კუდიგორა. იგი აგებულია ზედაპირული და ვალანჟინური ქვიშაქვებითა და კირქვებით.

მნიშვნელოვანი ოროგრაფიული ერთეულებია მდი-

ნარეების: ღურუჯის, ჩელთის, ინწობასა და ბურსას ხეობები.

ღურუჯის ხეობა შემოსაზღვრულია ნინიკასციხე – ზურგის ძვლის მთავარი ქედის მონაკვეთით, წიფელგორისთავისა და ფოხლოს ქედებით. ამ კანინონში ფორმირდება მდინარე ღურუჯი, რომლის სიგრძეა 14,6 კმ (პირდაპირი ხაზით), ხოლო ფაქტობრივად – 19,8 კმ. ღურუჯის მთავარი მდგენელი სათავეები ერთდებიან 735 მ აბსოლუტურ სიმაღლეზე.

ყვარლის რაიონის ტერიტორია მიეკუთვნება ზომიერად ნოტიო სუბტროპიკული ჰავის ოლქს.

დაბალ მთიანეთში ზღვის დონიდან 1000-1200 მ-ზე განვითარებულია ზომიერად ცივი ზამთარი და თბილი ზაფხული, სადაც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურაა 8-9°C. საშუალო მთიანეთში ზღვის დონიდან 1700-1800 მეტრზე იცის ცივი ზამთარი და ხანგრძლივი ცივი ზაფხული, სადაც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურაა 5-6°C. 1800 მეტრის ზემოთ კი ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურაა 3-4°C. ყვარლის რაიონის სამხრეთში (ალაზნის ვაკე) საშუალო წლიური ტემპერატურაა 12,5°C, აბსოლუტური მაქსიმუმი – 38°C, მინიმუმი – 23°C. ნალექების საშუალო წლიური ჯამი 795 მმ-იდან 938 მმ-მდე მერყეობს. ნალექების მაქსიმუმი (19% წლიური ჯამიდან) მაისშია, ხოლო მინიმუმი (წლიური ჯამის 2%) იანვარში. მთებში წლიურად მოდის 1100-2000 მმ ნალექი [12, 28, 29].

ყვარლის რაიონში გაბატონებულია ალუვიური

მდელო ტყის უკარბონატო თიხნარი ნიადაგები, მაგრამ არის რელიეფი, სადაც, საერთოდ, მიკროგეოგრაფიული პირობების გამო, მცირე ნაკვეთების სახით აქა-იქ სხვა ტიპის ნიადაგებიც გვხვდება. მთის ძირებთან გამოზიდვის კონუსებზე ახალსოფლის, ქალაქ ყვარლის, ენისელისა და სხვა მიდამოებში გავრცელებულია მცირე სისქის ძლიერ ხირხატიანი ალუვიური და პროლუვიური ნიადაგები. მდინარეების ჩელთისა და ინწობას ხეობებში არის ალუვიური მდელოს უკარბონატო თიხნარი ნიადაგები. მდინარე დურუჯის აუზში კი გამოხატულია ნიადაგის რამდენიმე ტიპი: ტყის ყავისფერი, ყომრალი ყავისფერი, ნაკლებად განვითარებული წარეცხილი ნიადაგები, მთა ტყის მდელოს ნიადაგები, განუვითარებელი წაბლისფერი და პროლუვიური და დელუვიური ნიადაგები [28, 29].

ალაზნის ვაკის მარცხენა სანაპიროზე გაბატონებულია უკარბონატო ალუვიური ნიადაგები, მაგრამ ზოგან, სადაც კი ზედაპირზე გამოდის იურიული კირქვები, მათი გამოფიტვის ქერქზე განვითარებულია ალუვიური მდელოს თიხნარი კარბონატული ნიადაგები. გავაზის სამხრეთით ვრცელდება ნოტიო-მდელოს მძიმე თიხნარი ნიადაგები.

გარდაბნის რაიონი გარშემორტყმულია დაბალი ქედებით და სერებით. ჩრდილო-აღმოსავლეთ მხრიდან გარდაბნის ვაკეს ესაზღვრება არხაშენის ქედი, რომლის აბსოლუტური სიმაღლე 650 მ-ს არ აღემატება.

გარდაბნის რაიონი მიეკუთვნება მშრალი სუბტროპიკული ტრამალების კლიმატურ ზონას. ზონა მოიცავს

ქვემო ქართლის ვაკეს, ვაზიანის ქვემოთ 300-დან 450 მ სიმაღლემდე, მდინარე იორის ზეგანს და შირაქის ზეგანს. ზონის ტერიტორია გაშლილი და დაქანებულია სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ.

დასავლეთიდან ჰაერის მასების შემოჭრა ხშირია, რაც დიდ გავლენას ახდენს საქართველოს ამინდიანობაზე. ამინდის ანტიციკლონური ტიპის გაბატონების შედეგად, ზამთარი ქვემო ქართლში ცივი და მშრალია, ღრუბლიანობა კი ზომიერი, უცივესი თვის საშუალო ტემპერატურა მერყეობს 0°C-ის მახლობლად, მინიმალური ტემპერატურა ზამთრის თვეებში ხშირად ეცემა 0°C-მდე და უფრო და ქვემოთ.

ნალექების წლიური რაოდენობა მერყეობს 300 მმ-დან (ზონის აღმოსავლეთ დაბლობ ნაწილში) 500 მმ-მდე. ნალექის წლიურ მოდინებაში, როგორც აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილში, საკმაოდ აშკარადაა გამოსახული 2 მაქსიმუმი და 2 მინიმუმი. მთავარ მაქსიმუმს ადგილი აქვს მაისში (60-90 მმ), ივნისში რამდენადმე ნაკლებია, მეორე მაქსიმუმი სექტემბერშია (35-40 მმ), ნალექების მთავარი მინიმუმი იანვარშია (10-18 მმ), მეორე მინიმუმს ადგილი აქვს აგვისტოში (25-30 მმ).

საკვლევ მხარეში ნალექების წლიური და განსაკუთრებით თვიური ჯამის მერყეობა წლიდან წლამდე, როგორც საქართველოს სხვა რაიონებშიც, საკმაოდ მნიშვნელოვანია. დაახლოებით 5 წელიწადში ერთხელ წლიურ ნალექთა ჯამის გადახრა ნორმიდან აღემატება 30%-ს.

მხარის მთელ ტერიტორიაზე ხშირად არის მოსალოდნელი ნალექიანობის ძლიერი დეფიციტი. განსაკუთრებით წლის ცივ პერიოდში და ზაფხულის ორ უკანასკნელ თვეებში – ივლისსა და აგვისტოში. ამავე დროს, არც ისეთი წლებია იშვიათი, როდესაც ცივი პერიოდი ან ზაფხულის მეორე ნახევარიც უხვნალექიანია [28].

გარდაბნის რაიონში გავრცელებულია ორი სახის ნიადაგი, ესენია: მდელოს რუხი-ყავისფერი და დამლაშებული. მდელოს რუხი-ყავისფერი ნიადაგები იმპერმაციულ-ექსუდაციური ტიპის ტენის რეჟიმის პირობებში წარმოიქმნება. ამ ნიადაგების წარმოქმნა-განვითარების პროცესში განსაკუთრებულ როლს ჰიდროლოგიური პირობები თამაშობს. მიწისქვეშა წყალი წარმოადგენს პირველ პირობას, რომელიც მდელოს ტიპის ნიადაგთა წარმოქმნას უწყობს ხელს. ამ ნიადაგების პროფილს რიგი სპეციფიკური დიაგნოსტიკური ნიშნები ახასიათებთ, უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღინიშნოს ამ ნიადაგების წარმოქმნის ჰიდრომორფული ხასიათი, რის გამოც მათი პროფილი ხასიათდება ჰუმუსის რამდენადმე გადიდებული რაოდენობით, სიღრმითი ფენების გაღებებით, სხვადასხვა ხარისხის დამლაშებით, ხოლო ზოგჯერ, ცალკეული ფენების გაბიციობებით.

მდელოს რუხი-ყავისფერი ნიადაგები, მექანიკური შედგენილობის მიხედვით მძიმე თიხნარ-თიხიანია. ფიზიკური თიხის რაოდენობა ზედა ფენაში 73,7%-ს უდრის და პროფილის შუა ნაწილში – 80-82%-ს აღწევს. სიღრმით კი თანდათან მცირდება და ღრმა ფენებში 65-68%-ს არ

ადემატება. პროფილის შუა ნაწილის გათიხებას ნათლად გვიჩვენებს პროფილში მიკრონული ფრაქციის შემცველობა და სიღრმითი განაწილება, ყურადღებას იქცევს მისი გადიდებული რაოდენობა ზედა ფენაში - 53,2%, რომელიც პროფილის შუა ნაწილში კიდევ უფრო მატულობს და აღწევს 57%-ს. აქედან ჩანს, რომ მდელის რუხ-ყავისფერ ნიადაგებში ვერტიკალური პროფილის უფრო მეტი ნაწილია გათიხებული. მნიშვნელოვანი რაოდენობითაა წარმოდგენილი წვრილი და მსხვილი მტვრის რაოდენობა, რაც შეეხება საშუალო მტვრის ფრაქციას, საგრძნობლად არის შემცირებული. მტვრის ფრაქციის ამგვარი განაწილება პროფილში მდელის რუხი-ყავისფერი ნიადაგებისთვისაა დამახასიათებელი. ამ ნიადაგების მთელი პროფილის გათიხება გენეზისური ნიშანია, პროფილის მთლიანი გათიხების სურათს კარგად გვიჩვენებს გათიხების კოეფიციენტი, რომელიც ნიადაგში ყოველთვის მაღალია, ვიდრე ნიადაგწარმომქნელ ქანში. პროფილის შუა ნაწილში იგი ყველაზე მაღალ მაჩვენებლებს აღწევს. მდელის რუხ-ყავისფერ ნიადაგებში მიკროაგრეგირების პროცესი კარგადაა გამოხატული, რის გამოც მიკროაგრეგატების თითქმის ნახევარი წარმოდგენილია 0,25-0,05 მმ და 0,05-0,01 მმ ზომის ფრაქციებით. აღსანიშნავია, რომ მიკროაგრეგატების რაოდენობა საკმაოდ მაღალია პროფილის ქვედა ფენებშიც. მდელის რუხი-ყავისფერი ნიადაგები შედგება მონტორილონიტის, ჰიდროქარსების, ჰიდროქარს-მონტორილონიტიანი და ქლორიტ-მონტორილონიტიანი შერეული შრის წარმონაქმნებით. მინარე-

ვების სახით მონაწილეობს კვარცი, მინდვრის შპატები, კარბონატები და კაოლინიტი. ჰუმუსი, მართალია პროცენტულად მცირე რაოდენობითაა, მაგრამ მისი შემცველობა დიდ სიღრმეზე ვრცელდება პროფილში და > 1 მეტრ სიღრმეზე, არც თუ იშვიათად $< 1 \text{ მ} < 1\%$ -ია, მთლიანი აზოტის რაოდენობა ზედა ფენებში $0,01-0,16\%$ -ს უდრის, სიღრმით კი თანდათანობით მცირდება; C:N-ის შევიწროებული მაჩვენებელი ამ ნიადაგების ჰუმუსის აზოტით მაძღრობაზე მიგვანიშნებს. ეს ნიადაგები ფუძეებით მაძღარია. მშთანთქავ კომპლექსში გაცვლითი კათიონებიდან კალციუმზე მოდის $80-88\%$, მაგნიუმზე $10-15\%$, ხოლო ნატრიუმი უმნიშვნელო რაოდენობითაა [12, 27, 28].

ამ ნიადაგების პროფილი ზედაპირიდანვე კარბონატულია და სიღრმით მეტ-ნაკლებად განიცდის მატებას. მდელის რუხი-ყავისფერი ნიადაგების არეს რეაქცია ტუტეა, უმეტესად 8-ს უდრის და პროფილში თითქმის არ განიცდის ცვალებადობას. მდელის რუხი-ყავისფერი ნიადაგების მოცულობითი წონა მაღალია, რაც მის მაღალ სიმკვრივეზე მიგვითითებს. წვრილდისპერსიული ფრაქციის შემცველობისა და მაღალი თიხიანობის გამო საგრძნობლად მაღალია ჭკნობის კოეფიციენტი. ეს კი მიგვითითებს ამ ნიადაგებში მცენარისათვის მიუწვდომელი ტენის დიდ რაოდენობაზე. მდელის რუხ-ყავისფერ ნიადაგებს მეტად დაბალი ფილტრაციის მაჩვენებლები ახასიათებს. წყლის გატარება ზოგიერთ ფენაში უმნიშვნელოდ დაბალია.

საქართველოს ბიცი და ბიცნარი ნიადაგები მძიმე

მექანიკური შედგენილობით ხასიათდებიან. გამოფიტვის ინტენსიური პროცესების შედეგად ისინი დიდი რაოდენობით შეიცავენ ფიზიკურ თიხას ($< 0,01$ მმ) და მიკრონულ ($< 0,001$ მმ) ფრაქციას.

ამ ნიადაგების უდიდესი ნაწილი თიხებსა და ძლიერ მძიმე თიხებს მიეკუთვნება. მთლიანი ქიმიური ანალიზის მონაცემების მიხედვით, ამ ნიადაგებში SiO_2 -ის რაოდენობა მნიშვნელოვან ფარგლებში მერყეობს. ზედა ფენებში 70-62%-ია, სიღრმით ის თანდათან კლებულობს 66-60%-მდე. ანიონებიდან მთავარი ადგილი SO_4 -ს უკავია. მისი მაქსიმალური რაოდენობის 1,5-2,3% მოდის ძლიერ დამლაშებულ კორიზონტზე. პროფილში მისი განაწილება კორელაციურ კავშირშია ადვილადხსნადი მარილების რაოდენობის ცვალებადობასთან. ქლორიც მნიშვნელოვანი რაოდენობით იცვლება 0,01-0,5%-ის ფარგლებში. კათიონებიდან მონაწილეობენ Na; Ca და Mg. მათ შორის უდიდესი ნაწილი მოდის Na-ზე.

დამლაშებული ნიადაგები ხასიათდება ცუდი ფიზიკური, წყლოვანი და ჰაეროვანი თვისებებით, რაც გამოწვეულია ამ ნიადაგების ძლიერ მძიმე მექანიკური შედგენილობით, არამტკიცე სტრუქტურით, მიკროაგრეგატების მჭიდრო წყობით და მაღალდისპერსიული თიხა მინერალის – მონტმორილონიტის ჭარბი რაოდენობით. ამ ნიადაგებისთვის დამახასიათებელია მაღალი მოცულობითი და ხვედრითი წონა. მოცულობითი წონა ზედა კორიზონტებში 1,19-1,42-ის ფარგლებშია, სიღრმით კი 1,45-1,55-მდე მატულობს. დაბალია საერთო ფორიანობასა და ზღვრულ

ტენტევალობას შორის სხვაობა, ანუ თავისუფალი აერაცია, რაც ზედა ფენებში 11-8%-ს შეადგენს; სიღრმით ის მკვეთრად მცირდება 4-3%-მდე. ასეთ პირობებში ნიადაგს ახასიათებს გაძლიერებული ანაერობულ-აღდგენითი პროცესები, რაც სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარებაზე უარყოფითად მოქმედებს.

ეს ნიადაგები წყლის ცუდი გამტარებია – ხასიათდება დაბალი ფილტრაციის თვისებებით, ფილტრაციის კოეფიციენტით 0,0001-0,000095 სმ/წმ.

ჰუმუსის რაოდენობა ამ ნიადაგების ზედა ჰორიზონტებში 2,9-3,9%-ის ფარგლებშია. სიღრმით ის მკვეთრად მცირდება. საერთო აზოტის რაოდენობა, ჰუმუსის შესაბამისად, 0,25-0,17%-ის ფარგლებში იცვლება.

ბიცობები ეწოდება ისეთ ნიადაგებს, რომელთა ჰუმუსიანი ჰორიზონტი არ არის დამლაშებული და შეიცავს შთანთქმულ Na-ს, რაც განაპირობებს მის ბიცობიანობას – მაღალ ტუტე რეაქციას. ეს ნიადაგები ხასიათდება მძიმე მექანიკური შედგენილობით, შეიცავენ მიკრონულ ფრაქციას ($< 0,001$ მმ) და მისი გადიდებული რაოდენობა მკვეთრად არის გამოსახული გაბიცობებულ ჰორიზონტში, რაც პეპტიზერებული კოლოიდების ზემოდან ქვევით გადანაცვლებით არის გამოწვეული [28].

ქიმიური ანალიზის მონაცემებით ბიცობებისათვის დამახასიათებელია SiO_2 -ის დაგროვება ზედა ფენებში და რკინა ალუმინის ჟანგეულების გადანაცვლება ბიცობიან ჰორიზონტში. ეს ნიადაგები ადვილად ხსნად მარილებს სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავენ. ზედა ფენაში ხსნადი

მარილების რაოდენობა 0,098-0,512%-ს არ აღემატება, ღრმა ფენები დამლაშებულია. მარილების რაოდენობა ზოგიერთ ბიცობში 1 მეტრის სიღრმიდან 1,3-1,5%-ს აღწევს. ბიცობიანი ნიადაგების მშთანთქავ კომპლექსში შედის Ca, Mg და Na. შთანთქმული Na ამ ნიადაგების ძირითად გენეზისურ თავისებურებას - ბიცობიანობას განაპირობებს. ბიცობიანი ნიადაგების მნიშვნელოვანი ნაწილისათვის დამახასიათებელია შთანთქმული Mg-ის მაღალი შემცველობა – 30-40%. შთანთქმული ფუძეების ჯამიდან მაგნიუმის გადიდებული რაოდენობა, ნატრიუმის მსგავსად, აძლიერებს ნიადაგის ბიცობიანობას. შთანთქმული Na განაპირობებს ბიცობიანი ნიადაგების მაღალ ტუტეიანობას, pH 8,5-ს უდრის. გარდა ამისა, Na-ის შემცველი კოლოიდები მაღალი ჰიდროფილურობით ხასიათდება და იწვევს ნიადაგის ცუდ ფიზიკურ, წყლოვან და აიროვან თვისებებს. მოცულობითი წონა ამ ნიადაგების ზედა ფენებში 1,15-1,31-ს შეადგენს. სიღრმით ის მკვეთრად მატულობს 1,45-1,51-მდე. ასევე მაღალია ხვედრითი წონა, რომელიც პროფილში მცირე ფარგლებში იცვლება.

ბიცობ ნიადაგებს ახასიათებს მაქსიმალური მოლეკულური ტენტევალობის მაღალი მაჩვენებელი 26-17%-ის ფარგლებში; ამის შესაბამისად, წყლის გამოყენებული ანუ მკვდარი მარაგი ნიადაგში საკმაოდ მაღალია.

მძიმე მექანიკური შედგენილობის, არამტკიცე სტრუქტურისა და მიკროაგრეგატების მჭიდრო წყობის მიზეზით ეს ნიადაგები ძლიერ დაბალი წყალგამტარობის თვისებებით ხასიათდება, ფილტრაციის კოეფიციენტი (*k*)

0,000066-0,000007 სმ/წმ-ის ფარგლებში მერყეობს.

ძლიერ ბიცობებში, მაღალი ტუტე რეაქციის გამო, ჰუმუსის მნიშვნელოვანი ნაწილი ხსნადია, არ მაგრდება ნიადაგში და ირეცხება. ეს ნიადაგები საერთო და გაცვლითი კალიუმით შედარებით უზრუნველყოფილია.

ბაღდათის რაიონის ტერიტორია უმეტესად მთაგორიანია. იგი მდებარეობს მესხეთის ქედის კალთებზე, მთისწინეთსა და იმერეთის დაბლობზე. ტერიტორია – 815 კვ.კმ, მათ შორის, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს უკავია 82,22 კვ.კმ.

მევენახეობის სპეციფიკური ზონა - მეორე ობჩა – აბსოლუტური სიმაღლე ზღვის დონიდან საშუალოდ 220 მ-ს უდრის.

აღნიშნული სპეციფიკური ზონა მიეკუთვნება ზღვის ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატის ოლქს და ხასიათდება რბილი, თბილი ზამთრითა და ცხელი ზაფხულით.

შზის ნათების წლიური ხანგრძლივობა 2100 საათს, სავეგეტაციო პერიოდში 1550 სთ-ს უდრის. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია და 14°C-ს უდრის, ყველაზე თბილი თვის (აგვისტო) საშუალო ტემპერატურა 24,2°C-ს, ყველაზე ცივი თვის კი (იანვარი) – +4,4°C-ს უდრის.

ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურის 10°C-ზე ზევით მდგრადი გადასვლა მარტის ბოლო რიცხვებში, 10°C-ზე დაბლა - ქვევით დაცემა - ნოემბრის მესამე დეკადაში აღინიშნება. ამრიგად, 10°C-ზე ზევით ტემპერატურის პერიოდის ხანგრძლივობა უდრის 230-235

დღეს, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი – საშუალოდ, 4300°C-ს აღემატება.

ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამი 1500 მმ-ს, სავეგეტაციო პერიოდში კი – 675 მმ-ს უდრის. ნალექების საშუალო თვიური რაოდენობა უდიდესია ზამთრის თვეებში (175-180 მმ), უმცირესი კი (71 მმ) – აგვისტოში.

ივლისსა და აგვისტოში მოსული ნალექების რაოდენობა (76-71 მმ) თითქმის უთანაბრდება მათ აორთქლებას.

სეტყვა მოსალოდნელია მთელი წლის განმავლობაში, თუმცა უმნიშვნელო რაოდენობით (0,7-1,0 დღე). სეტყვა ყველაზე ხშირად (0,3 დღე) მაისში მოდის.

ძირითადად გაბატონებულია დასავლეთის (36%) და აღმოსავლეთის (35%) მიმართულების ქარები; ნაწილობრივ მათ ენაცვლება სამხრეთ-აღმოსავლეთის (12%) ქარები. ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე 2,2 მ/წმ უდრის. სეზონების მიხედვით ქარები მეტად ძლიერია გაზაფხულზე. ძლიერ ქარიან დღეთა რიცხვი 34-ის ტოლია.

მაკვნი ქარების ზემოქმედების მიხედვით სპეციფიკური ზონა მიეკუთვნება ძლიერი ქარების მოქმედების მეორე ჯგუფის რაიონებს.

შემოდგომით, პირველი წაყინვების დადგომა, ვაზის ფოთოლცვენის დასრულების (25.XI) შემდეგ, ნოემბრის ბოლო რიცხვებში იწყება.

ჰაერის ტემპერატურის წლიური აბსოლუტური მინიმუმების საშუალო მნიშვნელობა 10 წელიწადში ერთხელ იცვლება და მოსალოდნელია მინიმალური

ტემპერატურის -19 – -20°C-მდე დაცემა, რაც ძალზე იშვიათი შემთხვევაა [110].

არსებული ტერიტორია დასავლეთ საქართველოს და კერძოდ, კოლხეთის დაბლობის უკიდურეს აღმოსავლეთ ნაწილებშია წარმოდგენილი და უშუალოდ ჩრდილო და სამხრეთ კავკასიონის მთისწინების დაბოლოებას ემიჯნება. ტერიტორიის ძირითადი ნაწილი ვაკე რელიეფით ხასიათდება, ხოლო სამხრეთ-აღმოსავლეთი ნაწილი კი, რომელიც მთისწინების გორაკ-ბორცვიან ზონაშია წარმოდგენილი, სუსტად დაქანებულ ფერდობებსა და მცირე ტერასის მიერ გავაკებებს წარმოადგენს და მიმართულია ჩრდილო-დასავლეთსა და დასავლეთისაკენ.

ქვედა სარტყელში წარმოდგენილია ალუვიური და დელუვიური ნიადაგების ნაირსახეობები და სახესხვაობები, შუა სარტყელში კი ეწერი ნიადაგების ნაირსახეობები და სახესხვაობები.

ზემოთ დასახელებული ნიადაგები ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც პროფილისა და ჰუმუსიანი ფენის სისქით, ასევე მექანიკურ შედგენილობათა ხირხატიანობის მიხედვით.

ზემოთ დასახელებული ნიადაგებიდან ალუვიური ნიადაგები წარმოდგენილია მდინარე ყვირილას პირველ და მეორე ტერასაზე. ამ ნიადაგების პროფილის სისქე 1 მეტრს აღემატება, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი ფენა 30-40 სმ-ის ფარგლებშია. მექანიკური შედგენილობის მიხედვით, მეორე ტერასაზე წარმოდგენილი შედარებით ძველი ალუვიური ნიადაგები ძირითადად მძიმე თიხნარი

და თიხებია, ხოლო შედარებით ახალი ალუვიური ნიადაგები საშუალო და მსუბუქი თიხნარებია. ზოგიერთ მონაკვეთებზე დამახასიათებელია ხირხატიანობა.

დელუვიური ნიადაგები წარმოდგენილია მთისწინების გორაკ-ბორცვიანი ზონის ქვედა კალთების დაბოლოებებზე, შედარებით მცირე მონაკვეთების სახით. ამ ნიადაგების პროფილის სისქეც ერთ მეტრს აღემატება, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი - 40-50 სმ-ის ფარგლებშია, ხასიათდება თიხიანი მექანიკური შედგენილობით.

ჰუმუსის შემცველობა, როგორც ალუვიური, ისე დელუვიური ნიადაგების აქტიურ ფენაში, ძირითადად, 2,5-1,5%-ის ფარგლებშია, ქვედა ფენებში კი თანდათან უფრო მცირდება. ჰიდროლიზურ აზოტს მეტწილად მცირე რაოდენობით შეიცავენ და ძირითადად 2,5 მგ-ის ფარგლებშია 100 გრამ ნიადაგში. ასევე დაბალი მაჩვენებლებით ხასიათდება ფოსფორის შემცველობაც და 8,0 მგ-ს არ აღემატება 100 გრამ ნიადაგში. გაცვლითი კალიუმი ფართო საზღვრებში ცვალებადობს და ძირითადად 5,0-4,0 მგ-ის ფარგლებშია 100 გ ნიადაგში. ნიადაგის არეს რეაქცია ძირითადად ნეიტრალური და სუსტი ტუტეა. ზოგიერთ შემთხვევაში კი სუსტი მჟავისაკენ არის გადახრილი და pH-ის მაჩვენებელი 5,8-7,6-ის ფარგლებში მერყეობს. კარბონატებს ზოგიერთ მონაკვეთებში მცირე რაოდენობით შეიცავენ ეწერი ნიადაგები, წარმოდგენილი ზონის შუა სარტყელში. მისი პროფილის სისქე 70-100 სმ-ის ფარგლებშია, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი ფენა 25-35 სმ-ის ფარგლებში მერყეობს. ხასიათდება მძიმე თიხნარი და

თიხიანი მექანიკური შედგენილობით, სუსტი მჟავე რეაქციით. ჰუმუსის შემცველობა აქტიურ ფენაში ძირითადად 2,5-1,5%-ის ფარგლებშია, ქვევით კი თანდათან უფრო მცირდება, სადაც ძირითადი საკვები ელემენტები (NPK) ნაკლებია.

ნემომპალა-კარბონატული და ყომრალი ნიადაგები წარმოდგენილია მიკროზონის ზედა ნაწილში. გორაკ-ბორცვიანი რელიეფის ფორმებზე. ამ ნიადაგების პროფილის სისქე 60-100 სმ-ის, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი ფენა - 30-40 სმ-ის ფარგლებში მერყეობს. ხასიათდება მძიმე თიხნარი და თიხიანი მექანიკური შედგენილობით, ჰუმუსის შემცველობა აქტიურ ფენაში ძირითადად 2-3%-ის ფარგლებშია, ქვევით კი თანდათან კლებულობს. ძირითადი საკვები ელემენტები (NPK) შემცველობით მიხედვით ეს ნიადაგები მეტწილად დაბალი მაჩვენებლებით ხასიათდება. ცალკეულ შემთხვევებში კი საშუალო მაჩვენებელს აღწევს. ნიადაგის არეს რეაქცია pH ყომრალ ნიადაგებში ძირითადად ნეიტრალურია ან სუსტი მჟავისაკენ არის გადახრილი და pH-ის მაჩვენებელი 5,6-7,0-ის ფარგლებშია. ნემომპალა-კარბონატულ ნიადაგებში კი საშუალო და სუსტი ტუტეა და pH-ის მაჩვენებელი 7,3-8,0-ის ფარგლებშია. კარბონატების შემცველობა ნემომპალა-კარბონატულ ნიადაგებში ძირითადად 2,5-16,0%-ის ფარგლებში მერყეობს, ცალკეულ შემთხვევაში კი უფრო მეტსაც აღწევს.

გორის რაიონი – მდებარეობს შიდა ქართლში, თრიალეთის ქედის ჩრდილო-აღმოსავლეთი კალთების

დაბოლოებაზე. მიკროზონაში ვენახები მოქცეულია 620 მეტრიდან 750 მეტრამდე სიმაღლის ფარგლებში [25, 28].

კლიმატი – სპეციფიკური ზონა მიეკუთვნება ზომიერად ნოტიო სუბტროპიკულ კლიმატურ ოლქს, რომელიც ზომიერად თბილი სტეპურიდან ზომიერად ნოტიოზე გარდამავალი კლიმატით, ცხელი ზაფხულითა და ცივი ზამთრით ხასიათდება.

შზის ნათების წლიური ხანგრძლივობა 2200-2300 საათია, სავეგეტაციო პერიოდში 1500-1700 საათს ჭარბობს. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურაა $10,7^{\circ}\text{C}$, ყველაზე თბილი თვის – აგვისტოს საშუალო ტემპერატურა $22,0^{\circ}\text{C}$, ყველაზე ცივი თვის – იანვარისა კი მინუს $1,5^{\circ}\text{C}$ -ს აღწევს.

ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურის 10°C -ზე ზევით მდგრადი გადასვლა აპრილის შუა რიცხვებიდან (16.IV), ხოლო ქვევით დაცემა (25.IX) ოქტომბრის ბოლოს ხდება. ამ პერიოდის ხანგრძლივობა 192 დღეს უდრის.

ნალექების საშუალო თვიური რაოდენობა უდიდესია (73 მმ) მაისში, უმცირესი (32 მმ) კი აგვისტოში. წლის თბილ პერიოდში ნალექებს 344 მმ-ზე მეტი არ მოდის. ჰიდროთერმული კოეფიციენტი ივლისის შუა რიცხვებიდან ოქტომბრის პირველ რიცხვებამდე (112 დღის განმავლობაში) 1-ზე ნაკლებია. განსაკუთრებული გვალვიანობით გამოირჩევა ივლისი და აგვისტო, როცა ვენახი ინტენსიურ რწყვას მოითხოვს. დანარჩენ თვეებში ნალექები იმაზე მეტია, რამდენიც ნიადაგიდან და მცენარეუ-

ლობიდან შესაძლოა აორთქლდეს.

სეტყვიან დღეთა რიცხვი წელიწადში საშუალოდ 2-ს უდრის. სეტყვა შედარებით ხშირად (0,8 დღე) მაისში მოდის.

გორის რაიონში, მდ. მტკვრის ხეობაში გაბატონებულია ჩრდილო-დასავლეთისა (44%) და მისი პერპენდიკულარული - სამხრეთ-აღმოსავლეთის (41%) ქარები.

ჰაერის მინიმალური ტემპერატურების საშუალო მნიშვნელობა სანაპირო ზოლთან შედარებით გაზრდილია და მინუს 12-14°C-ის საზღვრებში იცვლება. ასეთ შემთხვევებში 10 წელიწადში მოსალოდნელია ყინვების დაცემა 17-19°C-მდე და მოზამთრე ერთწლიანი ნაზარდების მნიშვნელოვანი დაზიანება [28, 29].

ნიადაგები – ძირითადად ნიადაგის ორი ტიპია წარმოდგენილი – ყავისფერი და ალუვიური. მცირე ლაქების სახით წარმოდგენილია დელუვიური და პროლუვიური ნიადაგებიც [27].

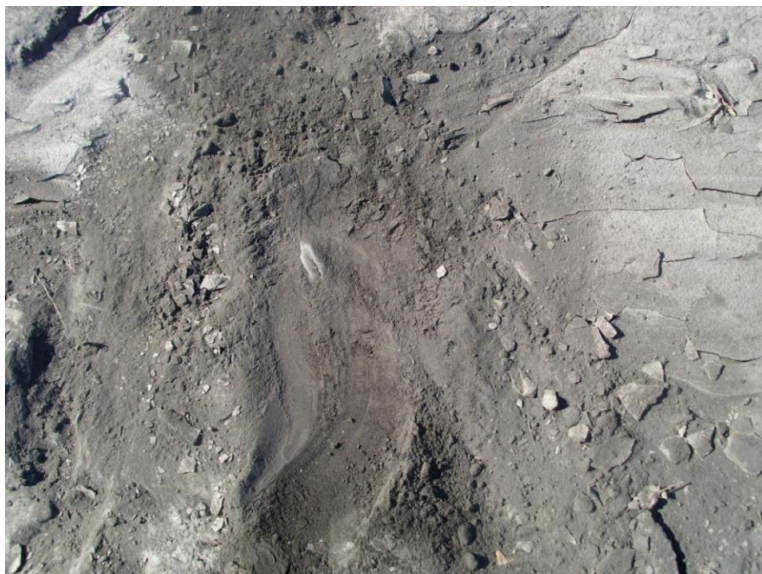
ნიადაგების პროფილის სისქე 0,7-1,5 მეტრის ფარგლებშია, ხოლო აქტიური ჰუმუსიანი ფენა – 30-60 სმ-ის ფარგლებში ცვალებადობს. მექანიკური შედგენილობის მიხედვით, ძირითადად, მძიმე თიხნარებისა და მსუბუქ თიხებს მიეკუთვნებიან, სადაც ფიზიკური თიხის შემცველობა 40-70%-ის ფარგლებშია. თიხის რაოდენობა კი ძირითადად ლექის ($< 0,081$ მმ) ფრაქციითაა გაზრდილი და ამიტომ ლექი-ლამიანი ნიადაგების ჯგუფს მიეკუთვნება. კარბონატებს მეტწილად მცირე რაოდენობით შეიცავენ და პროფილში 0,2-14,0%-ის ფარგლებში ცვალება-

დობს. ნიადაგის არეს რეაქცია (pH) სუსტი და საშუალო ტუტეა, pH-ის მაჩვენებელი 7,2-8,2-ის ფარგლებშია. ჰუმუსს საშუალოდ და მცირე რაოდენობით შეიცავს და პროფილში 3,25-0,5%-ის ფარგლებშია. ჰიდროლიზური აზოტით მეტწილად ღარიბია, 100 გ ნიადაგში 6,0 მგ-ს არ აღემატება. გამონაკლის შემთხვევებში კი საშუალოდაა წარმოდგენილი და 7-10 მგ-ს შეადგენს 100 გ ნიადაგში. საშუალო და მცირე რაოდენობით შეიცავს ხსნად (შესათვისებელ) ფოსფორს და 6,0-1,2 მგ-ის ფარგლებშია 100 გრამ ნიადაგში. ზოგიერთ შემთხვევებში კი მხოლოდ კვალის სახითაა წარმოდგენილი. გაცვლით კალიუმს საშუალო და მცირე რაოდენობით შეიცავენ და ნიადაგის საპლანტაჟო ფენაში 46,0-9,2 მგ-ის ფარგლებშია 100 გრამ ნიადაგში. შთანთქმული ფუძეების ჯამი (Ca+Mg) საშუალო და მაღალი მაჩვენებლით ხასიათდება და 20,0-54,3 მილიექვივალენტის ფარგლებშია 100 გრამ ნიადაგში. ჯამიდან გაცილებით მეტი პროცენტი მოდის შთანთქმულ კალციუმზე, მაგნიუმი კი გაცილებით მცირეა [29].

12.2. საველე სამეცნიერო კვლევების შედეგები და მათი შეფასება

საველე-სამეცნიერო კვლევების განხორციელების მიზნით კვლევის ობიექტებად შერჩეულ იქნა: ქ. ყვარელში, ქინძმარაულის მიკროზონაში მცხოვრები, თ. ნაზრიშვილის საკარმიდამო ნაკვეთი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის გარდაბნის რაიონის სოფელ გამარჯვებასა და გორის რაიონის სოფელ კარალეთში არსებული საცდელ-სამელიორაციო ბაზები და ბაღდათის რაიონის სოფელ მე-2 ობჩაში უშანგი კაკაურიძის საკარმიდამო ნაკვეთი.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მდინარე დურუჯის კოლოიდური გამონატანის სხვადასხვა კონცენტრაციის სუსპენზიის სახით სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებში შეტანა. აღნიშნული მიზნის მისაღწევად ჩვენ მიერ გამზადებულ იქნა მდ. დურუჯის ღვარცოფული გამონატანიდან კოლოიდური ფრაქციები (სურ. 12.1, 12.2), რომელთა დიამეტრიც ნაკლებია იყო 1 მმ-ზე. თითოეულ უბანზე შეტანილ იქნა სუსპენზია 20; 40 და 60%-ის შემცველობით. საკვლევ უბნებზე დარგული იქნა საფერავის ჯიშის ვაზის ერთწლიანი ნერგები 2013 წლის მარტში. ხოლო გარდაბნის მუნიციპალიტეტის ბაზაზე ზემოთ აღნიშნული სუსპენზია ასევე შეტანილ იქნა მსხმოიარე ვაზის ფართობში.



**სურ. 12.1. მდინარე დურუჯის ღვარცოფული
კოლოიდური გამონატანი**

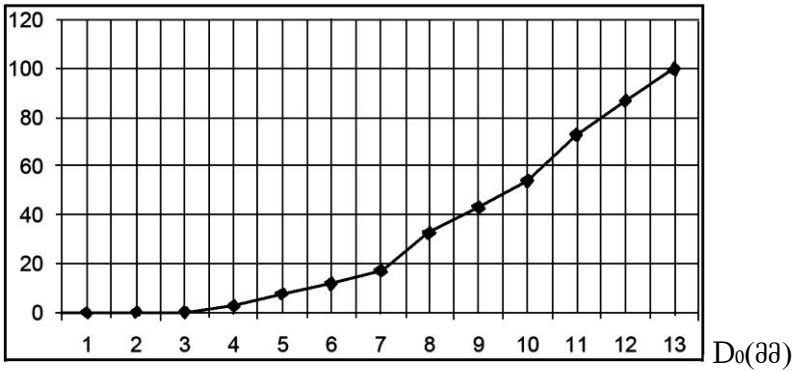
კვლევის ფარგლებში დაგეგმილი ამოცანების შესასრულებლად განხორციელდა მდინარე დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის გეოლოგიური და ქიმიური შემადგენლობის დადგენა. მდ. დურუჯის გამონატანის კონუსიდან აღებული მყარი შემადგენლობის ნიმუშების გრანულომეტრიული ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია 12.1 ცხრილში [18], მიღებული შედეგების მიხედვით აკებულ იქნა გრანულომეტრიის ინტეგრალური მრუდები (ნახ. 12.1).

ცხრილი 12.1

სხვადასხვა რაიონების ნიადაგების მექანიკური შემადგენლობა (%)

№	საცრის ზომა (მმ)	>10,0	7,0-10,0	5,0-7,0	3,0-5,0	2,0-3,0	1,0-2,0	0,5-1,0	0,25-0,5	0,1-0,25	0,06-0,1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	დურუჯის შლაბი	21	17	11,5	13	5,6	12,5	8	6	4	1
2	ყვარული	27	13	8,4	12,74	6,75	13,5	9,75	2,27	2,44	1,66
3	ბაღდათი	47	15	10,5	13,5	5	6	2,68	0,14	0,1	0,08
4	გარდაბანი	3,2	5	6,5	3,5	20,47	6	1,9	0,5	0,44	0,48
5	გარდაბანი შლაბიანად	11,2	17,5	22,75	12,25	3,65	21	6,65	1,75	1,54	1,71
6	გორი	13	14	19	11	10	16	5	4	5	3

P%



ნახ. 12.1. მდინარე დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის გეოლოგიური შემადგენლობის მრუდი

ზოლო ღვარცოფული მასის სოფლის მეურნეობაში გამოყენების თვალსაზრისით ჩატარდა კოლოიდური მასის ქიმიური ანალიზი [18], რომლის შედეგებიც მოყვანილია 12.2 ცხრილში (ქიმიური ელემენტების რაოდენობა მოცემულია %-ში).

ცხრილი 12.2

მდინარე დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის ქიმიური ანალიზის შედეგები

მდინარე დურუჯის კოლოიდური მასის ქიმიური შედგენილობა %-ში									
ნივთიერება	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
%	48,6	26,8	13,2	0,3	0,85	2,88	0,8	1,06	5,2

იმავე ნიმუშებში გაკეთდა წყლით გამონაწურის ანალიზი (ცხრილი 12.3).

ცხრილი 12.3

**სხვადასხვა რაიონების ნიადაგების
წყლით გამონაწურის ანალიზის შედეგები**

№	ნიმუშის დასახელება	pH	Cl-	HCO3-	SO4 2+	Ca2+	Mg2+	კუმუსი %
1	ყვარული	8,07	0,0568	0,0854	0,014	0,012	0,0048	19,8
2	ბაღდათი	7,86	0,0355	0,0488	0,0125	0,012	0,012	17,3
3	გარდაბანი	8,24	0,0852	0,0732	0,0135	0,024	0,0072	20,8
4	გორი	7,93	0,1278	0,061	0,005	0,016	0,0024	22,1

მდ. შავი ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერ-ღობებიდან დენუდირებული მასის მოცულობის დასადგენად წელიწადის სხვადასხვა დროს და სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში აღებულ იქნა მდინარის წყლის ნიმუშები, რომლებშიც განისაზღვრა შეტივენარებული ნატანის რაოდენობა (მგ/ლ) (ცხრ. 12.4).

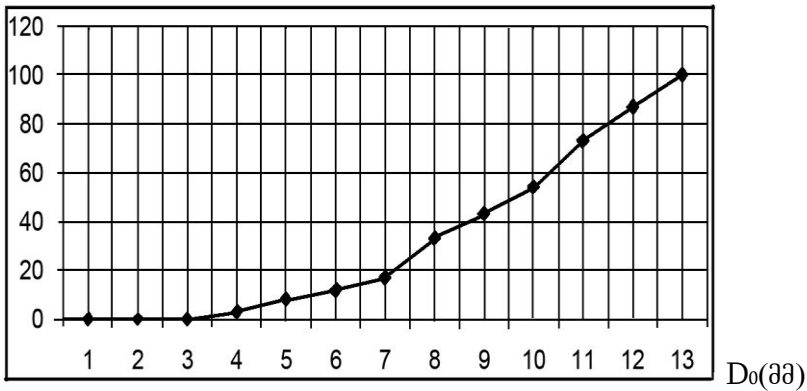
ცხრილი 12.4

**მდინარე ღურუჯის წყალში
შეტივენარებული ნატანის მოცულობა**

№	წელიწადის დრო	ამინდი	ნატანის რაოდენობა
1	გაზაფხული	შზიანი	4,2
2		შზიანი	4,5
3		წვიმიანი	7,5
1	ზაფხული	წვიმიანი	10,5
2		წვიმიანი	10,3
3		წვიმიანი	10
1	შემოდგომა	წვიმიანი	10,5
2		წვიმიანი	9,8
3		წვიმიანი	9,6

გარდაბნის რაიონის ნიადაგების თეორიული გაცნობის შემდეგ განხორციელდა ტერიტორიის შერჩევა საექსპერიმენტო პოლიგონის მოსაწყობად. აღნიშნული ტერიტორიიდან აღებულ იქნა ნიადაგის ნიმუშები, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის წყლისა და ნიადაგის ლაბორატორიაში განხორციელდა როგორც გეოლოგიური, ასევე ქიმიური ანალიზი. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახაზზე 12.2.

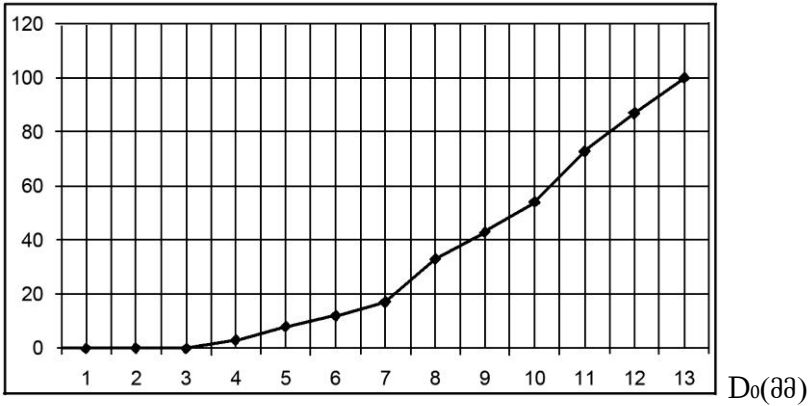
P%



ნახ. 12.2. გარდაბნის რაიონში საექსპერიმენტოდ შერჩეული ტერიტორიის ნიადაგის გეოლოგიური შედგენილობის მრუდი

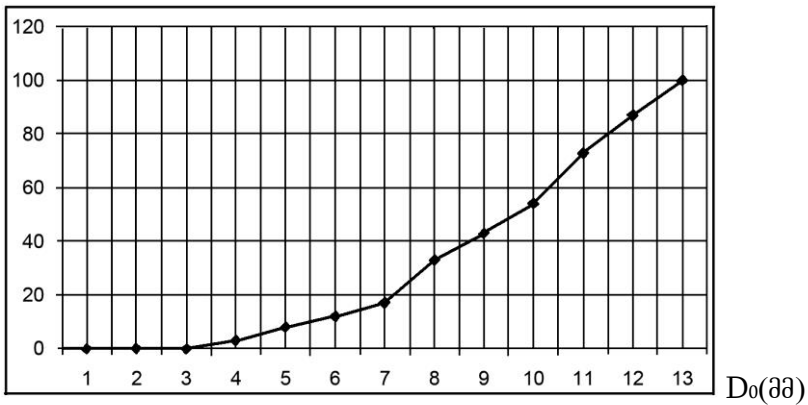
ანალოგიური სამუშაოები შესრულდა გორის რაიონების საცდელ-საექსპერიმენტო უბანზეც. მიღებული შედეგებით აგებული მრუდი მოცემულია 12.3 ნახაზზე.

P%



ნახ. 12.3. გორის რაიონში საექსპერიმენტოდ შერჩეული ტერიტორიის ნიადაგის გეოლოგიური შედგენილობის მრუდი

P%



ნახ. 12.4. ბაღდათის რაიონში საექსპერიმენტოდ შერჩეული ტერიტორიის ნიადაგის გეოლოგიური შედგენილობის მრუდი



სურ. 12.2. მდინარე დურუჯი, 2015 წლის 14 ივლისი



სურ. 12.3. სუსპენზიის შეტანა გორის საცდელ პოლიგონზე



სურ. 12.4. ბაღდათის საცდელ პოლიგონზე დარგული საფერავის ნერგები

ბაღდათის რაიონში საექსპერიმენტოდ შეირჩა სოფელ მეორე ობჩის ტერიტორია, როგორც სხვა საკვლევი ტერიტორიის შერჩევისას, ბაღდათის შემთხვევაშიც წინასწარ მოხდა ტერიტორიის დათვალიერება, ნიმუშების აღება და განხორციელდა გეოლოგიური და ქიმიური ანალიზი. მიღებული შედეგები მოცემულია ნახაზზე 12.4.

მოსამზადებელი სამუშაოების ჩატარების შემდეგ გარდაბანში, გორსა და ბაღდათში წინასწარ შერჩეულ საექსპერიმენტო ტერიტორიებზე მოწყობილ იქნა საცდელი პოლიგონები, რომელიც წინასწარ დაიყო 5 სექტორად: I სექტორში ნიადაგი დარჩა უცვლელად; II სექტორში – შეტანილ იქნა წინასწარ მომზადებული სუსპენზია 20%-ის შემცველობით; III სექტორში – 40%; IV სექტორში – 60% და V სექტორში – 80%. შემდეგ

დაირგო ერთწლიანი საფერავის ნერგები სქემით 3,0×1,5 მ, რომელზე დაკვირვებები დღემდე გრძელდება.

ზემოაღნიშნული სამუშაოების პარალელურად, დაკვირვებები წარმოებდა ასევე კენახზე, სადაც დანამატის სახით წინასწარ იქნა შეტანილი ღურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანი.

საანალიზოდ აღებულ იქნა ყურძენი, რომელიც მოვიდა საექსპერიმენტო ბაზაზე და შესადარებლად კი - ყურძენი, რომელიც მოყვანილია ნიადაგზე, სადაც შლამი არ არის დამატებული. ჩატარდა ყურძნის მტევნების მექანიკური შედგენილობის ანალიზი. შედეგები მოცემულია ცხრილში 12.5.

საველე კვლევების ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ იმ სავარგულებში, სადაც 60, 80%-იანი სუსპენზია იყო შეტანილი, მცენარეს ძალიან გაუჭირდა ვეგეტაცია. ხოლო იმ ფართობებზე, სადაც 20 და 40%-იანი სუსპენზია იყო შეტანილი, ოთხივე საკვლევ უბანზე მცენარემ არა მარტო გააძლიერა ვეგეტაცია, არამედ დაფიქსირდა ზოგიერთ ვაზზე ყურძნის ნაყოფი (ცხრ. 12.6).

ცხრილი 12.5

საფერავის მტევნის მექანიკური ანალიზის შედეგები

საანალიზო ნიმუშის №	მტევნის საშუალო წონა, გრამი	მარცვლების საშუალო რაოდენობა მტევანზე	მტევნის შემადგენელი ნაწილები %-ით მტევნის საერთო წონასთან				100 მარცვლის წონა, გრამი	100 წიპწის წონა, გრამი
			წვენი	კლერტი	კანი	წიპწა		
1	146	95	83,2	3,5	9,2	4,1	145	4,2
2	166	120	80,1	4	9,7	6,2	138	3,6
3	99	84	82,6	3,4	10,3	3,7	136	4,1
4	134	121	85,7	4,8	9,48	5,97	156,8	3,29
5	147	108	87	3,5	5,9	3,4	120	3

№1, 2 – ბუნებრივ ნიადაგზე მოყვანილი ყურძნის მტევანი,
 №3 – ნიადაგზე, სადაც 20%-იანი სუსპენზია იყო შეტანილი,
 № 4, 5 – ნიადაგზე, სადაც 40%-იანი სუსპენზია იყო შეტანილი

ცხრილი 12.6

საფერავის ღვინომასალის ძირითადი პარამეტრების
ანალიზის შედეგები

ნიმუში	ეთილის სპირტის მოცულობითი წილი	ტიტრული მჟავის კონცენტრაცია	საერთო გოგირდოვანი მჟავის მასური კონცენტრაცია	აქროლადი მჟავების მასური კონცენტრაცია	საერთო გოგირდოვანი მჟავის მასური კონცენტრაცია	თავისუფალი გოგირდოვანი მჟავის მასური კონცენტრაცია	დაყვანილი ექსტრაქტის მასური კონცენტრაცია	ფარდობითი სიმკვრივე
საფერავი (ქინძმარაულის მიკროზონა)	13,7	1,04	6	0,85	38	8	24,8	0,9922
საფერავი (20%-იანი სუსპენზიით)	9,8	0,95	4	0,78	35	6	20,5	0,88
საფერავი (40%-იანი სუსპენზიით)	12,6	1,0	5,5	0,72	36	7,5	23,4	0,99
ნორმა	–	4,0	4,0	1,1	210	30	20	–

ამრიგად, ქინძმარაულის ღვინის მისაღებად საჭირო ყურძნის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობების გაზრდის მიზნით საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში (ყვარელი, გორი, გარდაბანი, ბაღდათი) მოეწყო საველე-ექსპერიმენტალური უბნები, სადაც დარგული იყო საფერავის ჯიშის ვაზის ნერგები, ნიადაგში დურუჯის ღვარცოფული გამონატანის სხვადასხვა პროცენტული

შემცველობის სუსპენზიის (20, 40, 60, 80 %) შეტანით.

ქ. ყვარელში ქინძმარაულის მიკროზონის ყურძნისა და საკვლევე უბნებზე მოსხმული ყურძნის წვენის ქიმიური ანალიზის შედეგებმა დაადასტურა, რომ ნაყოფი, რომელიც მიღებულია ნიადაგზე, სადაც შეტანილი იყო მდინარე დურუჯის 40% შემცველობის კოლოიდური ფრაქციის სუსპენზია, თავისი ქიმიური შემცველობით (ეთილის სპირტის მოცულობითი წილი, ტიტრული მჟავის კონცენტრაცია, საერთო გოგირდოვანი მჟავისა და აქროლადი მჟავების მასური კონცენტრაცია, საერთო გოგირდოვანი მჟავისა და თავისუფალი გოგირდოვანი მჟავის მასური კონცენტრაცია, დაყვანილი ექსტრაქტის მასური კონცენტრაცია, ფარდობითი სიმკვრივე) თანხვედრაშია ადგილობრივი ყურძნის მონაცემებთან.

ჩატარებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია გავუწიოთ რეკომენდაცია მდ. დურუჯის კოლოიდური გამონატანის 40%-იანი სუსპენზიის შეტანას სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებში. ეს საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ ქინძმარაულის სავარგულების ფართობები, რაც ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქტის მიღების გარანტიაა. კვლევების საიმედოობის დადასტურების მიზნით დაგეგმილია სამეცნიერო სავლე კვლევების გაგრძელება, რის საფუძველზეც იგეგმება სამეცნიერო-პრაქტიკული დეტალური რეკომენდაციების დამუშავება, რომელიც ქინძმარაულის ბიზნესის განვითარების მიზნით განსახილველად გაეგზავნება საქართველოს მთავრობას.

დასკვნა

მდ. დურუჯის წყალშემკრები აუზში 2000-2017 წლებში ჩატარებული საველე-ექსპედიციური და თეორიული კვლევების, არსებული საარქივო და საპროექტო მასალებისა და ავტორის მიერ გამოქვეყნებული სამეცნიერო ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს შემდეგი სახის ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები:

- მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფებისაგან ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის ეფექტური დაცვის მიზნით დადგენილია ის კრიტიკული ადგილები, სადაც შესაძლებელია მდინარის კალაპოტიდან ღვარცოფის ამოვარდნა;
- შესწავლილია მდინარე დურუჯის ღვარცოფული ტიპის შენაკადების მთის ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რომელიც კავშირს ამყარებს ეროზიის კლასსა და ფერდობის დაზიანების ხარისხს შორის;
- კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით გაანგარიშებულია მდ. დურუჯის წყალშემკრები აუზის მთის ფერდობის ეროზიის კოეფიციენტის პროგნოზი – 2017, 2030, 2040 და 2050 წლებისათვის. პროგნოზის მიხედვით 2017 წლისათვის მდ. დურუჯის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობა შეესაბამება ეროზიის მე-3 და მე-4 კლასს ეროზიის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობით –

0,828; ეროზიის ინტენსივობით წელიწადში 5÷10-დან 10÷50 ტ/ჰა, ხოლო ამ მაჩვენებლის საშუალო მნიშვნელობა 2030 წელს იქნება ეროზიის მე-4 და მე-5 კლასი, ეროზიის კოეფიციენტის საშუალო მაჩვენებლით >1,0, ეროზიის ინტენსივობით – წელიწადში 50÷100 ტ/ჰა;

- დადგენილია მდინარე დურუჯის ღვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯები, რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელია ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დაპროექტება;
- საიმედოობისა და რისკის თეორიის გამოყენებით დადგენილია მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯების ფუნქციის განაწილების კანონი, რომელსაც აქვს ვეიბულის სახე;
- მიღებულია ემპირიული დამოკიდებულება, რომლითაც იანგარიშება მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფების მიერ ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასის მოცულობები;
- შემოთავაზებულია ბმული ღვარცოფის ფრონტის საშუალო სიჩქარის, ტალღის სიგრძისა და ფრონტის ფორმების საანგარიშო დამოკიდებულებები ნაკადის ჰიდრაულიკური ხახუნისა და ჰაერის შუბლური წინააღმდეგობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით;
- კატასტროფების მათემატიკური თეორიის გამოყენებით პირველად საქართველოში დადგენილია: მდ. დურუჯის ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვილი ღვარცოფული

მასის დაძვრისა და მცირე სიმძლავრის მეწყერის მოძრაობის დაწყების თვისობრივი ხასიათი; ტრამპლინის ტიპის ახალი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების მწყობრიდან გამოსვლის კრიტერიალური მნიშვნელობები, რომლებიც აღნიშნული პროცესების პროგნოზირების საშუალებას იძლევა;

- საიმედოობისა და რისკის თეორიის გამოყენებით შეფასებულია ტრამპლინის ტიპის ახალი კონსტრუქციების საიმედოობა და მწყობრიდან გამოსვლის რისკი ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალისა და ღვარცოფული მასით გამოწვეული წონითი დატვირთვის ცალ-ცალკე და ერთდროულად მოქმედებისას;
- მდ. ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში ფორმირებული ბუნების სტიქიური მოვლენების (მთის ფერდობების წყლისმიერი ეროზია, წყალდიდობები, თოვლის ზვავები, ღვარცოფები) ეფექტური რეგულირებისა და ქ. ყვარლის მოსახლეობის ბუნებრივი კატასტროფებისაგან უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით ავტორის მიერ დამუშავებულია გარემოსდამცავი ნაგებობების ინოვაციური კონსტრუქციები, რომელთა მეცნიერულ-ტექნიკური სიახლის პრიორიტეტებიც დაცულია 10 საზღვარგარეთისა და 16 საქართველოს პატენტის მოწმობით;
- მდ. ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერდობებზე წყლისმიერი ეროზიის რეგულირებისათვის წარმოდგენილია სხვადასხვა მეორადი მასალისაგან შექმნილი

ინოვაციური კონსტრუქციების ზვინულები და მათი დაპროექტების მეთოდოლოგია ნიადაგ-გრუნტის გამრეცხი სიჩქარეებისა და მთის ფერდობის მდგრადობის საიმედოობის მხედველობაში მიღებით;

- მიღებული რეკომენდაციების გამოყენებით დამუშავებულია ახალი მეთოდოლოგია, რომლითაც შესაძლებელია მდინარე დურუჯის კალაპოტში ტრამპლინის ტიპის ინოვაციური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დაპროექტება;
- მიღებული შედეგები მდინარე დურუჯის აუზში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირების საშუალებას იძლევა, ხოლო ნაშრომში წარმოდგენილი ახალი საინჟინრო-ეკოლოგიური ინოვაციური ღონისძიებების პრაქტიკაში დანერგვა ღვარცოფებისაგან ქალაქ ყვარლის მოსახლეობისა და მდ. დურუჯის კალაპოტის მიმდებარე ტერიტორიების ეფექტური დაცვის საშუალებას იძლევა;
- საველე-ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევების საფუძველზე წარმოდგენილია ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის მდინარე დურუჯის ღვარცოფებისაგან უსაფრთხოების სტრატეგიული გეგმა;
- დამუშავებულია მდ. დურუჯის ღვარცოფებისგან ქ. ყვარლის მოსახლეობის დაცვის ღონისძიებათა კომპლექსური სქემები სტიქიის საწინააღმდეგო პრევენციული სხვადასხვა ღონისძიებების მხედველობაში მიღებით. აქვე ყურადღება გამახვილებულია მდ. დურუჯის

მიერ გამოტანილი ღვარცოფული მასის უტილიზაციის სხვადასხვა მიმართულებებზე;

- ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის მდ. დურუჯის ღვარცოფებისგან დამცავი კომპლექსური ღონისძიებების განხორციელებისათვის საჭირო ინვენსტიციების მოძიების მიზნით მონოგრაფიაში წარმოდგენილია საორიენტაციო ხარჯთაღრიცხვა მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის დარგების მიმართულებების მიხედვით;
- შემოთავაზებულია წინადადება მდ. დურუჯის ღვარცოფული კოლოიდური გამონატანის სასოფლო-სამეურნეო მიმართულებით გამოყენებისათვის;
- საქართველოს სხვადასხვა რეგიონებში ქინძმარაულის ყურძნის ჯიშის ფართობების გაზრდის მიზნით განხორციელებულია საველე-სამეცნიერო კვლევები და მიღებულია დადებითი შედეგები, რომლებსაც საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროში უკვე შესაძლოა გაეწიოს რეკომენდაცია მისი ფართოდ დაწერგვის მიზნით;
- მდინარე დურუჯის კალაპოტში ჩატარებული საველე-ექსპედიციური და თეორიული კვლევების შედეგები მოხსენებული იყო:
 - 2002 წლის 17 დეკემბერს UNESCO-ს პროგრამის – „ადამიანი და ბიოსფეროს“ – საქართველოს ეროვნული კომიტეტის (MAB)-ის სხდომაზე;

- 2003–2010 წ.წ. – საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის პრეზიდიუმისა და აკადემიური საბჭოს სხდომებზე;
- 2006–2012 წ.წ. – საქართველოს პარლამენტში შექმნილ დარგობრივი სპეციალური კომისიების სხდომებზე;
- 2006–2011 წ.წ. – სსიპ წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს გაერთიანებულ სხდომებზე.
- 2011–2016 წ.წ. – საერთაშორისო კონფერენციებზე: ამერიკის შეერთებულ შტატებში, იტალიაში, ჩინეთში, პოლონეთში, რუსეთში, ჩეხეთის რესპუბლიკაში, ინგლისში, იაპონიაში, ნიდერლანდების სამეფოში.

CONCLUSION

Based on the field-and-expedition and theoretical studies held in 2000-2017 in the water catch basin of the river Duruji, available archive and design materials and scientific works published by the author, the following conclusions and recommendations can be developed:

- Aiming at protecting the population of the city of Kvareli against the mudflows across of the river Duruji, the critical locations, where the mudflow is expected to outflow from the riverbed are identified;
- The values of erosion coefficients of the mountain slopes of mudflow-type tributaries of the river Duruji establishing the relation between the class of erosion and degree of the damage of a slope are studied;
- By considering the climate change, the forecast of the erosion coefficients of the mountain slopes of the water catch basin of the river Duruji is developed by 2017, 2030, 2040 and 2050. As the forecast suggests, by 2017, the ecological state of the river Duruji basin corresponds to the 3rd and 4th class of erosion with the mean value of erosion coefficient of 0.828, with erosion intensity of 5-10 to 10-50 t/ha, while by 2030, the mean value of this index will correspond to the 4th or 5th class of erosion, with the mean value of erosion coefficient of >1,0, with erosion intensity of 50-100 t/ha;
- The water peak discharge values of different provisions of the mudflow of the river Duruji, which

can be used to design the anti-mudflow structures, are identified;

- By using the reliability and risk theories, a distribution law of function of peak discharges of a mudflow formed in the river Duruji bed, which has a form of Weibull, is established;
- An empirical relation used to calculate the volumes of mudflow masses transported by the mudflows in the river Duruji bed is developed;
- The expressions to calculate the average velocity of cohesive mudflow front, wave length and front shapes are developed by considering the coefficients of the current hydraulic friction and front air resistance;
- By using the mathematical theory of catastrophes, the following features have been identified for the first time in Georgia: qualitative features of shear of the mudflow mass accumulated in the erosive gullies of the river Duruji and onset of movement of the mudflows of a minor power; criterion values of the breakdown of the new springboard-type anti-mudflow structures allowing forecasting the said processes;
- By using the reliability and risk theories, the reliability and risks of breakdown of new springboard-type anti-mudflow structures for individual and joint actions of a dynamic impact force of a mudflow and weight load caused by the mudflow mass on a premise are evaluated;

- For the efficient regulation of the natural calamities formed in the catch basin of the river Duruji (water erosion of mountain slopes, floods, snow avalanches, mudflows) and ensuring the safety of the population of the city of Kvareli against the natural calamities, the innovative structures of environmental protection facilities are developed by the author, with the priorities of their scientific-technical novelties protected by 10 foreign and 16 Georgian patents licenses;
- For the purpose of regulating the process of water erosion of mountain slopes in the water catch basin of the river Duruji, the embankments of an innovative structure made of different kinds of secondary materials and their design methods are presented by considering the scouring velocities of soil and ground and reliability of the mountain slope stability;
- By using the developed recommendations, a new methodology is developed, which can be used to design an innovative anti-mudflow structure of a springboard type in the bed of the river Duruji;
- The obtained results allow forecasting the erosive and mudflow processes in the river Duruji basin, while the practical implementation of the innovative engineering-ecological measures described in the work will allow protecting the population of the city of Kvareli and areas adjacent to the river Duruji bed efficiently against the mudflows;

- Based on the field-and-experimental and theoretical studies, a strategic plan to ensure the safety of the population of the city of Kvareli against the mudflows of the river Duruji is presented;
- Thorough plans of measures to protect the population of the city of Kvareli against the mudflows of the river Duruji by considering various appropriate preventive measures against the natural calamities is developed, and the attention is focused on different options to utilize the mudflow mass drifted by the river Duruji;
- Aiming at obtaining the investments needed to realize thorough measures to protect the population of the city of Kvareli against the mudflows of the river Duruji, the monograph gives an approximate budget for different branches of industry and agriculture;
- A proposal to use the colloid mudflow drift of the river Duruji for agricultural purposes is made;
- Aiming at expanding the areas with Kindzmarauli variety of vine in different regions of Georgia, the field-and-scientific studies are accomplished and positive outcomes are obtained, which can be already recommended to the Ministry of Agriculture of Georgia for a wide introduction;
- The outcomes of the field-and-expedition and theoretical studies in the river Duruji bed were reported:
 - At the session of the Georgian National Committee (MAB) of the UNESCO Program “Man and Biosphere”

(December 17, 2002);

- At the sessions of the Presidium and Academic Council of the National Science Academy of Georgia (2003-2005);
- At the sessions of the Special Branch Commissions established at the Parliament of Georgia (2006-2012);
- At the joint sessions of the Scientific Council of LEPL Institute of Water Management (2006-2011);
- At the international conferences in the USA, Italy, China, Poland, Russia, Czech Republic, England, Japan and Netherlands.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По проведенным в водосборном бассейне р. Дуруджи в 2000-2017 годах полевым экспедиционным и теоретическим исследованиям, на основании анализа существующих архивных и проектных материалов, и опубликованной автором научной литературы, можно сформулировать следующие основные заключения и рекомендации:

- с целью эффективной защиты населения г. Кварели от сформировавшихся в русле реки Дуруджи селей, установлены те критические места, в которых возможен прорыв селя из русла реки;
- изучены значения коэффициентов эрозии горных склонов притоков селевого типа реки Дуруджи, которые устанавливают связь между классом эрозии и степенью повреждения склонов;
- с учетом климатических изменений рассчитан прогноз коэффициента эрозии горных склонов водосборного бассейна р. Дуруджи – для 2017, 2030, 2040 и 2050 годов. По прогнозу на 2017 год, экологическое состояние бассейна р. Дуруджи соответствует 3-му и 4-му классу эрозии, со средним значением коэффициента эрозии – 0,828, с интенсивностью эрозии от 5-10 до 10-50 т/га в год, а в 2030 году среднее значение этого показателя будет по 4-му и 5-му классу эрозии, со средним показателем коэффициента эрозии $>1,0$, с интенсивностью – 50-100 т/га в год;

- установлены максимальные расходы на различное обеспечение безопасности от селей реки Дуруджи, с применением которых возможно проектирование противоселевых сооружений;
- с применением теории надежности и риска установлен закон распределения функции максимальных расходов на сели, сформировавшихся в русле реки Дуруджи, в виде уровня Вейбулла;
- получена эмпирическая зависимость, по которой рассчитывается объем селевой массы транспортируемой селями, сформировавшейся в русле реки Дуруджи;
- предложены расчетные зависимости средней скорости, длины волны и форм фронта связных селей, с учетом коэффициентов гидравлического трения потока и лобового сопротивления воздуха;
- с применением математической теории катастроф, впервые в Грузии установлены – качественный характер сдвига скопившихся в эрозивных вымоинах р. Дуруджи селевых масс и начала движения оползней малой мощности; критериальные значения выхода из строя новых противоселевых сооружений трамплинного типа, которые предоставляют возможность прогнозирования указанных процессов;
- с применением теории надежности и риска оценена надежность новых конструкций трамплинного

типа и риск выхода из строя при одновременном и отдельном действии на сооружение силы динамического удара селя и весовой нагрузки, вызванной селевой массой;

- для эффективного регулирования стихийных явлений природы, сформировавшихся в водосборном бассейне р. Дуруджи (водной эрозии горных склонов, наводнений, снежных лавин, селей), и с целью обеспечения безопасности населения г. Кварели от природных катастроф, автором разработаны инновационные конструкции природоохранных сооружений, в которых соблюдены приоритеты научно-технических новшеств 10 зарубежных и 16 грузинских патентных свидетельств;
- для регулирования водной эрозии на горных склонах в водосборном бассейне р. Дуруджи представлены валы инновационной конструкции, созданные из различного вторичного материала и методология их проектирования, с учетом скоростей вымывания почвы и грунтов и надежности устойчивости горного склона;
- с применением полученных рекомендаций разработана новая методология проектирования инновационных противоселевых сооружений трамплинного типа в русле реки Дуруджи;
- полученные результаты предоставляют возможность прогнозирования происходящих в бассейне реки Дуруджи эрозионно-селевых процессов, а

внедрение в практику представленных в настоящем труде новых инженерно-экологических инновационных мероприятий предоставляет возможность эффективной защиты от селей населения г. Кварели и прилегающих к руслу р. Дуруджи территорий;

- на основании полевых экспериментальных и теоретических исследований представлен стратегический план обеспечения безопасности населения г. Кварели от селей реки Дуруджи;
- разработаны комплексные схемы мероприятий по защите от селей реки Дуруджи населения г. Кварели с учетом разных противостихийных превентивных мероприятий. Здесь же приведены различные направления утилизации нанесенных р. Дуруджи селевых масс;
- с целью привлечения инвестиций, необходимых для осуществления комплексных мероприятий по защите от селей реки Дуруджи населения г. Кварели, в монографии представлена ориентировочная смета по направлениям отраслей промышленности и сельского хозяйства;
- предложено использовать селевые коллоидные фракции р. Дуруджи в сельскохозяйственном направлении;
- в разных регионах Грузии, с целью увеличения площадей виноградников сорта Киндзмараули,

осуществлены полевые научные исследования и получены положительные результаты, по которым уже можно рекомендовать их Министерству сельского хозяйства Грузии с целью широкого внедрения;

- результаты полевых экспедиционных и теоретических исследований, проведенных в русле реки Дуруджи, были доложены:
- 17 декабря 2002 года в UNESCO – на заседании Национального комитета Грузии (МАВ) программы «Человек и биосфера»;
- 2003–2005 г.г. – на заседаниях Президиума Национальной Академии Наук Грузии и Академического совета;
- 2006–2012 г.г. – на заседаниях отраслевых специальных комиссий, созданных в Парламенте Грузии;
- 2006–2011 г.г. – на объединенных заседаниях Научного совета ЮЛПП Института водного хозяйства.
- 2011–2016 г.г. – на международных конференциях: в Соединенных Штатах Америки, Италии, Китае, Польше, России, Республике Чехия, Англии, Японии, Королевстве Нидерландов.

დ ა ნ ა რ თ ი

- პროფესორ გივი გავარდაშვილის მიერ მდინარე დურუჯის პრობლემებზე საზღვარგარეთ განხორციელებული საერთაშორისო პრეზენტაციები:
1. პირველი მსოფლიო საერთაშორისო კონფერენცია – „მოწყვლადობა, რისკის ანალიზი, მოდელირება და მენეჯმენტი“, მერილენდი, ამერიკის შეერთებული შტატები, 11-13 აპრილი, 2011 წ;
 2. ღვარცოფების მე-5 მსოფლიო კონფერენცია, ქ. პადუა, იტალია, 14-17 ივნისი, 2011;
 3. მე-3 საერთაშორისო კონფერენცია – „არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, ქ. პეკინი, ჩინეთი, 20-24 ნოემბერი, 2011 წ;
 4. მე-4 საერთაშორისო კონფერენცია – „არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, ქ. ჩენსტოხოვა, პოლონეთი, 24-27 სექტემბერი, 2012 წ;
 5. მე-5 საერთაშორისო კონფერენცია – „არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, ქ. სანკტ-პეტერბურგი, რუსეთი, 25-28 ივნისი, 2013 წ;
 6. მე-6 საერთაშორისო კონფერენცია – „არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“ ქ. ოსტრავა, ჩეხეთის რესპუბლიკა, 24-26 ივნისი, 2014 წ;
 7. ღვარცოფების მე-6 მსოფლიო კონფერენცია – „ღვარ-

ცოფები, რისკი, მენეჯმენტი და დაცვა“, ქ. ცუკუბა, იაპონია, 22-25 ივნისი, 2015 წ;

8. მე-17 საერთაშორისო კონფერენცია – „მყარი ნატანების ტრანსპორტირება და დაღეჟვა“, ქ. დელფტი, ნიდერლანდები, 22-25 სექტემბერი, 2015 წ.

**➤ საქართველოს მთავრობის ეგიდით
განხორციელებული ღონისძიებები**

საქართველოს მთავრობის დავალებით შინაგან საქმეთა სამინისტროს ბუნებრივი კატასტროფების კრიზისული მართვის სამეცნიერო-ტექნიკური საბჭოს მიერ მდ. დურუჯის კალაპოტში განხორციელებული კომპლექსური სწავლება – „მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფართომასშტაბიანი ღვარცოფის წარმოშობის შემთხვევაში ქ. ყვარლის მოსახლეობის ევაკუაცია“, 2001-2003 წწ.



მდ. დურუჯის კალაპოტში საველე შეკრებისას



ქალაქ ყვარელში პოლკოვნიკ ოთარ ტაველიშვილთან ერთად



მდ. დურუჯის კალაპოტში ქვის გაბიონის მშენებლობის
ზედამხედველობისას, ოთარ ბაიდოშვილთან ერთად



**მდინარე თეთრი ღურუჯის წყალშემკრებ აუზში
საველე კვლევებისას**



ქ. ყვარლის ხედი ნახეჩის ხევიდან (ფოტო ავტორისა)

ლიტერატურა

1. **გაგარდაშვილი გ.ვ., პასიკაშვილი მ.გ.** მეწყრული პროცესების ზოგადი ანალიზი კატასტროფების თეორიის მიხედვით. //„მეცნიერება და ტექნიკა“, №9-10, თბილისი, 1993, გვ. 18–20.
2. **გაგარდაშვილი გ.ვ., პასიკაშვილი მ.გ.** ახალი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის ნაგებობების შესაძლო ავარიების ანალიზი კატასტროფების თეორიის მიხედვით. //„მეცნიერება და ტექნიკა“, №11-12, თბილისი, 1993, გვ. 31–34.
3. **გაგარდაშვილი გ.ვ., პასიკაშვილი მ.გ.** ღვარცოფული ხასიათის წყალდენებზე კალაპოტში დაგროვილი მყარი მასის ზღვრული წონასწორობის ინტერპრეტაცია კატასტროფების თეორიის მიხედვით. //საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „მოამბე“, ტ. 149, №2, თბილისი, 1993, გვ. 259–262.
4. **გაგარდაშვილი გ.ვ.** ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ზედა ბიეფში დაგროვილი მყარი ნარიყების ზედაპირის ნიშნულების დადგენა. //საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „მოამბე“, ტ. 151, №3, თბილისი, 1995, გვ. 448–451.
5. **გაგარდაშვილი გ.ვ.** ბმული ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით. //საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „მოამბე“, ტ. 151, №3, თბილისი, 1995, გვ. 444–447.
6. **გაგარდაშვილი გ.ვ., პასიკაშვილი მ.გ., ცხოვრებაძე ა.გ.** ზედასაწინააღმდეგო ნაგებობა. //საქართველოს პატენტი №278, ბიულ. №2, თბილისი, 1996, გვ. 30.
7. **გაგარდაშვილი გ.ვ.** ღვარცოფული წყალსადინარებისათვის ძირითადი ჰიდრომორფომეტრიული მაჩვენებლების დადგენა. //„მეცნიერება და ტექნიკა“ №7-9, თბილისი, 1998, გვ. 72–74.

8. **გავარდაშვილი გ.ვ.** ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინა-აღმდეგო ნაგებობების დაპროექტებისათვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია. //წიგნიდან „წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, მიძღვნილი საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „ჰიდროეკოლოგიის“ ინსტიტუტის დაარსების 70 წლისთავისადმი. თბილისი, 1999, გვ. 22–28.
9. **გავარდაშვილი გ.ვ., ჩახაია გ.გ.** ფოტოალბომი (მდინარე ღურუჯის წყალშემკრები აუზის თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობა). საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის “ჰიდროეკოლოგიის” ინსტიტუტი, თბილისი, 2001, 35 გვ.
10. **გავარდაშვილი გ.ვ., გარსენიშვილი გ.რ., კუპრავეიშვილი მ.ს.** მთის მდინარის კალაპოტის მარეგულირებელი ტრამპლინის ტიპის ნაგებობა. საქართველოს პატენტი №583, ბიულ. №1, თბილისი, 1997, გვ. 130.
11. **გავარდაშვილი გ.ვ., ყრუაშვილი ი.გ., კუხალაშვილი ე.გ.** ღვარცოფის ენერჯის ჩამხშობი ნაგებობა. //საქართველოს პატენტი №740, ბიულ. №3, თბილისი, 1997, გვ. 80.
12. **გვიშიანი ზ.პ., გავარდაშვილი გ.ვ.** სასოფლო-სამეურნეო სავარგულეების ნაყოფიერების გაზრდის ზოგიერთი ღონისძიება. //„საინჟინრო ეკოლოგიის საკითხები ჰიდროტექნიკურ მელიორაციაში“, აგრარული უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, 1996, გვ. 70–72.
13. **ღურუჯი ღმუის** (ინტერვიუ გ. გავარდაშვილთან) – გაზ. „საქართველოს რესპუბლიკა“, №156, 28 ივნისი, 2001, გვ. 6.
14. **ღურუჯის კალაპოტი კვლავ ინტენსიურად ივსება** (ინტერვიუ გ. გავარდაშვილთან) – გაზ. “საქართველოს რესპუბლიკა“, №174, 19 ივლისი, 2002, გვ. 4.
15. **თევზაძე ვ.ი., გავარდაშვილი გ.ვ.** არაბმული ღვარცოფული ნაკადებისათვის ხარჯების დადგენა მდინარის წყალშემკრები აუზის ჰიდროლოგიური მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

- //საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „მოამბე“, ტ. 148, №1, თბილისი, 1993, გვ. 77–79.
16. **ნათიშვილი ო.გ., თევზაძე ვ.ი., დანელია ზ.ნ.** ღვარცოფები-სა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ჰიდრაულიკა. თბილისი, 1995, 78 გვ.
 17. **სტიქიების დამატყვევებელი** (ინტერვიუ გ. გავარდაშვილ-თან) – გაზ. „საქართველოს რესპუბლიკა“, №42 (3443), 15 თებერვალი, 2000, გვ. 6.
 18. **გავარდაშვილი გ.** მდინარე ღურუჯის აუზში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი საწინააღმდეგო ახალი საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებები. “მეცნიერება”, თბილისი, 2003, 116 გვ.
 19. **გავარდაშვილი გ., ჩახაია გ., გავარდაშვილი ნ., ლ. კინგი, მ. შეფერი.** ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხურიანი ბარაჟი. საქართველოს პატენტი №P 4554, საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი №13(257), თბილისი 2008, გვ. 13.
 20. **გავარდაშვილი გ., წულუკიძე ლ., გავარდაშვილი ნ., კინგი ლ., მ. შეფერი.** მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა. საქართველოს პატენტი №P 4553, საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი №13(257), თბილისი, 2008, გვ. 14.
 21. **გავარდაშვილი გ.** ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. თბილისი, „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
 22. **გავარდაშვილი გ.** ქალაქ ყვარლის მოსახლეობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით მდინარე ღურუჯის კალაპოტში 2012 წლის მაისის თვეში განხორციელებული საველე კვლევის შედეგები. //საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის №67 სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2012, გვ. 22-31.

23. **გავარდაშვილი გ.ვ.** გრუნტის ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა. //საქართველოს პატენტი №925, ბიულ. №15(115), თბილისი, 2002, გვ. 25.
24. **გავარდაშვილი გ.ვ., წულუკიძე ლ.ნ.** მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა. /საქართველოს პატენტი №1080 U, ბიულ. №5(153), თბილისი, 2004, გვ. 18.
25. **გავარდაშვილი გ.ვ. წულუკიძე ლ.ნ.** მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა. //საქართველოს პატენტი №H1118 U, ბიულ. №15(163) თბილისი, 2004, გვ. 22.
26. **ნათიშვილი ო., ყრუაშვილი ი., გავარდაშვილი გ., ინაშვილი ი.** მეთოდური რეკომენდაციები ღვარცოფ-საწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებისათვის (ჰიდრაულიკური გაანგარიშებები). საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია. თბილისი, 2016, 48 გვ.
27. **ურუშაძე თ.ფ.** საქართველოს ტყეების ნიადაგები. თბილისი, 1977.
28. **სუპატაშვილი თ.** ღვარცოფული ნატანის შესწავლა და მისი გამოყენება სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების გაზრდის მიზნით. //XII საერთაშორისო კონფერენციის – „გარემოს დაცვა, ბიოლოგიური და ეკოლოგიური მეცნიერებები და ინჟინერია“ შრომები, მადრიდი, ესპანეთი, 2014, გვ. 533-534.
29. **სუპატაშვილი თ.** მდინარე დურუჯის აუზის ეკოლოგიური პრობლემები. //XVIII საერთაშორისო კონფერენციის – „გარემოს დაცვა, ბიოლოგიური და ეკოლოგიური მეცნიერებები და ინჟინერია“ შრომები, ბარსელონა, ესპანეთი. 2016. გვ. 9-12.
30. **ყრუაშვილი ი.გ.** ღვარცოფები და მათთან ბრძოლის მეთოდები. ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014, 255 გვ.
31. **Беляев Н.М.** Соппротивление материалов. М.: 1954, 828 с.

32. **Беручашвили Г.М., Кокоришвили В.И.** Некоторые результаты исследования селевых потоков. //Труды КазНИИГиМ, вып. 33, Алма-Ата, 1969, с. 42-62.
33. **Брекер Т., Ландер Л.** Дифференцируемые ростки и катастрофы. М.: "Мир", 1977, 206 с. (пер. с англ.).
34. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. М.: 1962, 564 с.
35. **Гавардашвили Г.В.** Противоселевое сооружение трамплинного типа. /Авт.св. СССР №1165736, Бюлл. №25, М.: 1985, с. 101.
36. **Гавардашвили Г.В.** Противоселевое устройство. /Авт.св. СССР №1242570, Бюлл. №25, М.: 1986, с.108.
37. **Гавардашвили Г.В.** Исследование уравнивающего уклона занесения в верхнем бьефе противоселевых перегораживающих сооружений на горных реках. //Сообщения АН Грузии, т. 123, №1, Тбилиси, 1986, с. 105-108.
38. **Гавардашвили Г.В., Хегай Э.А.** Противоселевая запруда. Авт. св. СССР №1596006, Бюлл. №36, М., 1990, с. 100.
39. **Гавардашвили Г.В., Шарангия Р.Л.** Противозрозионное устройство. /Авт.св. СССР №1738902, Бюлл. №21, М., 1992, с. 183.
40. **Гавардашвили Г.В., Шарангия Р.Л.** Устройство для Борьбы с эрозией. Авт.св. СССР №1783042, Бюлл. №47, М., 1992, с. 109.
41. **Гавардашвили Г.В., Гвишиани З.Г.** Противоселевое устройство. /Авт. св. СССР №1789589, Бюлл. №3, М., 1993, с. 123.
42. **Гавардашвили Г.В.** Разработка схем расположения противоселевых сооружений на горных реках. /Труды международной конференции по селевым явлениям и некоторым смежным проблемам. Тбилиси, 2001, с. 33–39.
43. **Гавардашвили Г.В.** Оценка надежности новых противоселевых сооружений трамплинного типа. //Труды международной конференции по русловым процессам, гидравлике

- трубопроводного транспорта, гидротехнических сооружений и вопросам гидроэнергетики. Тбилиси, 2000, ст. 111–112.
44. **Гавардашвили Г.В.** Новые природозащитные конструкции и вопросы их надежности. //Труды международного симпозиума по проектированию гидротехнических сооружений и проблемы их эксплуатации, ГТУ, Тбилиси, 2000, ст. 152-156.
 45. **Гавардашвили Г.В.** Эрозионно-селевые процессы и солнечная активность. //Экологические системы и Приборы. № 3, Москва, 2007, с. 50-53.
 46. **Гавардашвили Г.В.** Прогнозирование эрозионных процессов в бассейне реки Дуруджи. //Труды Международной конференции – Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Пятигорск, Россия, 2008, с. 270-273.
 47. **Гавардашвили Г.В.** Определение максимальных расходов селевых потоков на рек Дуруджи. //Труды Международной конференции – Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Пятигорск, Россия, 2008, с.274-277.
 48. **Гавардашвили Г.В.** Современное экологическое состояние бассейна р. Дуруджи. //Экологические системы и приборы. Москва, 2008, с. 51-55.
 49. **Гавардашвили Г.В.** Защита горных ландшафтов от стихийных явлений некоторых объектов стратегического назначения Грузии. //Труды Таврического национального Университета им. В.И. Вернадского. Серия "География", том 23(62), №3, Симферополь, 2010, Украина, с. 299-302.
 50. **Гавардашвили Г.В.** Современные мероприятия по борьбе с селями и разработка методологии для их проектирования. // Геориск, № 2, Москва, 2013, с. 24-29.
 51. **Гагошидзе М.С.** Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси, 1970, 385 с.
 52. **Гвазава Г.Н., Кварацхелиа Л.Л., Музаев И.Ж.** Исследование трансформации волн прорыва в нижнем бьефе гидроуз-

- ла с применением ЭВМ. //Водные ресурсы, М., 1981, №3, с. 135–138.
53. **Гвишиани З.Г., Гавардашвили Г.В.** Противоселевое устройство. /Авт. св. СССР №1789589, Бюлл. №3, М., 1993, с. 237.
 54. **Гилмор Р.** Прикладная теория катастроф. В 2-х кн., изд. "Мир", М., 1980, 608 с. (пер. с англ.).
 55. **Данилова Е.М., Эглит М.Э.** Движение снежных лавин в условиях предельного трения. //Изв. АН СССР, "Механика жидкости и газа", № 5, М., 1977.
 56. **Евсеев Е.Г., Шония В.В.** Разностные схемы расщепления вектора потока для уравнения мелкой воды. //"Математическое моделирование", т. 2, №3, 1990, с. 119–126.
 57. **Выноградов Ю.Б.** Этюды о селевых протоках. Гидрометеоиздат, Л., 1980, 144 с.
 58. Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений. СН 518-79, М., 1981, 14 с.
 59. **Иорданишвили З.С., Макарашвили М.А.** Результаты лабораторных исследований воздействия селевого потока на селе-гаситель трамплинного типа. //В кн.: "Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними". Тбилиси, 1978, вып. 6, с. 55 - 59.
 60. **Кухалашвили Э.Г., Гавардашвили Г.В., Приудзе Д.К.** Противоселевое устройство. //Авт.св. СССР №1191515, Бюлл. №42, М.: 1985, с. 111.
 61. **Мирицхулава Ц.Е.** Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: "Колос", 1974, 279 с.
 62. **Мирицхулава Ц.Е.** Оценка риска повреждения противоэрозионных и противоселевых сооружений. //Труды ВНИИГиМ, вып.4, М.:1975, с. 48-62.
 63. **Мирицхулава Ц.Е.** Некоторые приложения математической теории катастроф к задачам гидротехники и мелиорации. //Труды ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1988, с. 83-103.

64. **Мирицхулава Ц.Е.** Экологические нарушения. Тбилиси, 1993, 433 с.
65. **Мирицхулава Ц.Е.** Оценка частоты появления селей катастрофического характера. // "Гидротехническое строительство", №5, М., 1998, с. 19–26.
66. **Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И.** Гидравлические закономерности связных селей. "Мецниереба", Тбилиси, 1996, 154 с.
67. **Натишвили О.Г., Урушадзе Т.Ф. Гавардашвили Г.В.** - Волновое движение склонового стока и интенсивность эрозии почво-грунтов. ООО "Издательство Научтехлитиздат", Москва, 2014, 163 с.
68. **Натишвили О.Г., Гавардашвили Г.В.** Расчет характеристик движения головной части связного селевого потока. // Сборник Научных Трудов Института Водного Хозяйства им. Ц. Мирицхулава, Грузинского Технического Университета, №70, Тбилиси, 2015, 8 с.
69. **Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И.** Движение селей и их взаимодействие с сооружениями. Тбилиси 2001, 148 с.
70. **Орнатский Н.В.** Механика грунтов. Изд. МГУ, М, 1962, 446 с.
71. **Перов В.Ф.** – Селеведение. Географический факультет МГУ, Москва, 2012, 271 с.
72. **Постон Т., Стюарт Т.** Теория катастроф. М.: изд. "Мир", 1980, 608 с. (пер. с англ.).
73. **Сулаквелидзе Л.А., Пруидзе Д.К.** Вопросы прогноза грязекаменных (селевых) потоков. М., 1974, с. 127-128.
74. **Тевзадзе В.И., Кухалашвили Э.Г., Гавардашвили Г.В.** Противоселевое устройство. // Авт. св. СССР № 1101499, Бюлл. №25, М., 1984, с.86.
75. **Томпсон Дж.М.Т.** Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: изд. "Мир", 1985, 254 с. (пер. с англ.).
76. **Фабрикант Н.Я.** Аэродинамика. М.: изд-во "Наука", 1964, 814 с.
77. **Херхеулидзе И.И.** Сквозные защитные и регулирующие

- сооружения из сборного железобетона на горных реках. М.: "Гидрометеоиздат", 1964, 220 с.
78. **Херхеулидзе Г.И.** Селевые нагрузки и способы их определения. //Труды ЗаКНИИГим, вып.83(90), Л.: "Гидрометеоиздат", 1984, с. 77–111.
 79. **Церетели Э.Д., Церетели Д.Д.** Геологические условия развития селей в Грузии. Тбилиси: изд. "Мецниереба", 1985, 185 с.
 80. **Armanini A., Larcher M. & Odorizzi M.** Dynamic Impact of a Debris Flow Front Against a Vertical Wall. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 1041-1049.
 81. **Bregoli F., Bateman A., Medina V., Ciervo F. et al.** – Development of Preliminary Assessment Tools to Evaluate Debris Flow Hazard. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 835-844.
 82. **Cencetti C. & Riverlli F.** Lands lodes Dams Induced by Debris Flows in Quebrada Del Toro(Province of Salta, ARGENTINA). //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 645-650.
 83. **Chevalier G., Moya J., Hurlimann M., Bateman A.** Reconstruction of Magnitude and Frequency of Debris flows in the Rebaixader Torrent (Eastern Pyrenees, Spain) by Dendrogeomorphological Analysis. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 37-43.
 84. **Gavardashvili G.V.** The New Mud-Protective Structures and Their Calculation Methodology. Tbilisi, Republic of Georgia, 1995, 58 p.
 85. **Gavardashvili G.V.** Calculation of New Spring Board Type Mud-Protective Construction. //Bulletin of The Georgian Aca-

- demy of Sciences, Tbilisi, v. 159, №3, 1998, pp. 459-461.
86. **Gavardashvili G.V.** Les Nouvelles Espèces des Construction de Protection de la Nature. Tbilisi: "Metsniereba", 1999, 42 p.
 87. **Gavardashvili G.V., Chakhaia G.G.** Evaluation of Present Ecological Situation of the River Duruji Drainage Basin. //Bulletin of The Georgian Academy of Sciences. Tbilisi, v. 166, №1, 2002, pp. 174-177.
 88. **Gavardashvili G.V.** Prediction of Bed Deformations on Water Courses of Debris Flow Character. //Proceedings of the 10th International Symposium on River Sedimentation. Central Theme – Effects of River Sediments and Channel Processes on Social, Economic and Environmental; Safety. Volume I, August 1-4, 2007, Moscow, Russia, pp. 194-202.
 89. **Gavardashvili G.V.** New Designs of Spring-Board Type Drift-Trapper and the Methodology for Their Calculation. //14th International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles. 23-27 June 2008, Saint-Petersburg, Russia, pp. 128-136.
 90. **Gavardashvili G.** Termination of Stability for the Spring - board Type Trapezoidal Dam Against Debris Flow Taking Into Account Static and Dynamic Loads of Debris Flow. /The IV International conference on The Modern Problems of Environmental Engineering. 22-24 June, 2010 Wrocław-Karpacz, Poland, pp. 17.
 91. **Gavardashvili G.** Hydraulic Calculation of a New Spring-Board Type Trapezoidal Structure Against Debris Flow. /Proceedings of 2-nd International Scientific and Technical Conference – „Architecture and Construction – Contemporary Problems”. 30 September – 3 October, 2010, Yerevan-Jermuk, Armenia, volume 2, pp. 256-262.
 92. **Gavardashvili G., Ayyb B.M.** The Field Investigation of Erosion and Debris Flow Processes in Catchment Basin of the Duruji River. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment.

- Padua, Italy, 14-17 June 2011, pp. 63-71.
93. **Gavardashvili G.** Calculation of the Spring-Board Type Debris Flow Protection Construction of Arched-Cylindrical Form. /3-rd International Conference on Contemporary Problems in Architecture and Construction. Beijing, China, 20-24 November, 2011, pp. 290-293.
 94. **Gavardashvili G., Kipiani G., Tskhvedadze R.** Calculation of New Anti-Snow Avalanche Construction. //Proceedings of the 4th International Conference on "Contemporary Problems in Architecture and Construction". September 24-27, Czestochowa, Poland, 2012 pp. 41- 47.
 95. **Gavardashvili G.** Determination of Reliability of the Trapezoidal Form Spring-board Type Debris Flow Control New Dam. /II International Conference „Non-Classic Problems of Mechanics”. Kutaisi, Georgia, 2012, pp 165-169.
 96. **Gavardashvili G.** New Non-Traditional Design of Anti Mudflow Structure and Method to Calculate it. /Materials of International Scientific-Practical Conference "Modern Problems of Water Management, Engineering Communication system and Ecology". Baku, Azwebaijan, 14-15 April, 2014, pp. 217-222.
 97. **Gavardashvili G., Khutsishvili O., Gavardashvili N., Gavardashvili A.** Prediction of the Shapes of a Debris Flow Wave Front by Considering Theoretical and Field Studies. /6th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: "Mechanics, Prediction and Assessment: June 22-25, 2015, Tsukuba International Congress Center, Epochal, Tsukuba, Japan, 4 p. (67 p.)
 98. **Gavardashvili G., Kukhalashvili E.** The Hyper Concentrated Mudflow Structure Dynamic Impact Forecast. //Proceedings of 7th International Conference "Contemporary Problems of Architectures and Constructions". Florence, Italy, 19-21 November, 2015, pp. 397- 400.
 99. **Gavardashvili G.** Predicting The Vulnerable Areas Of The

Mountain Riverbeds By Considering Field And Laboratory Experiments. //17th International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles. 22- 25, September, 2015, Delft, The Netherlands, pp. 87-94.

100. **Gregoretto C., Furlan M. & Degetto M.** GIS-Based Cell Model For Simulating Debris Flow Routing and Deposition Phases on a Fan. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 425-434.
101. **Kailty P., Bowman E., Laue J. & Springman S.** Modelling Debris Flow Processes With a Geotechnical Centrifuge. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 339-349.
102. **Katina R., Hsu L. & Dietrich W.** On the Development of an Unsaturated Front of Debris Flow. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 351-358.
103. **Kogeking A., Hubl J., Surinach E., Vilajosana I. et al.** A Study of Infrasonic Signals of Debris Flow. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 563-572.
104. **Lin M., Wang K., Chen T., & Lin S.** The Case Study of Debris Flow Hazard Caused by Typhoon Morakot in Taiwan, 2009. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 695-703.
105. **Minatti L. & Pasculli A.** SPH Numerical Approach in Modelling 2D Muddy Debris Flow. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 467-475.

106. **Morgan R.P.C., Hann M.J.** Shah Deniz Gas Export Project: erosion risk assessment. Interim Report to BP Kvermn. Cranfield University, Silsoe 2001, 25 p.
107. **Steger J.L., Wormin G.** Flux vector Splitting of the inside geodynamic equations with application to the finite-difference methods. //Journal of Comput. Phys., №40, pp. 263-293.
108. **Scheuner T., Schwab S. & McArdell B.** Application of Two-Dimensional Numerical Model in Risk and Hazard Assessment in Switzerland. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 993-1001.
109. **Stoffel M.** Reconstruction of Debris-Flow Dynamics and Triggers Since ad 1570 – Looking Back to a Decade of Tree-Ring Research at Ritigraben (Valais, Switzerland). /5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 135-142.
110. **Scheidl C. & Rickenmann D.** TopFlowDF – A Simple GIS Based Model to Simulate Debris flow Runout on The Fan. /5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 253 -262.
111. **Seinova I., Andreev Y., Krilenko I. & Chernomorets S.** Regional Short-Term Forecast of Debris Flow Initiation for Glaciated High Mountain Zone of the Caucasus. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 1003-1011.
112. **Takahashi T.** Debris Flow on Prismatic Open Channel. //J. Hydraulics Div. March 1980, pp. 381-395.
113. **Takahashi T.** Mechanical characteristics of debris flow. //Journ. Hydraulics Div. August 1978, pp.1153–1169.
114. Monitoring of a Debris Flow Torrent(FRENCH PRALPS). /5th

- International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 779-786.
115. **Tsai Y. , Tsai N. & Cheng Y.** Study on the Configurations of Debris Flow Fans. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 273-282.
116. **Fan Y., Wang S., Wang E. & Liu Z.** Simulation Based on Finite Volume Method of the Entrainments of Debris Flow. /5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 409-414.
117. **Fiorillo F. & Guadagno F.M.** Rainfall Initiation of Debris Average-Flows in Campania(Italy) a Two-Phase Analysis. /5th International Conference on Debris Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 53-61.
118. **Kukhalashvili E., Gavardashvili G., Mamasakhlisi Zh., Undilashvili N.** The Theoretical Model of Mudflow in Erosional River Gullies at High Water. //International Symposium on FLOODS AND MODERN METHODS OF CONTROL MEASURES. 23-28 September 2009, Tbilisi, Georgia, pp. 285-291.
119. **Yune C., Kim K., Yoo N., Seo H., Jun K.** Analysis of Debris Flow Characteristics Through Database Construction in Korea. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 159-164.
120. **Volkwein A., Wendeler C. & Guasti G.** Design of Flexible Debris Flow Barriers. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 1093-1100.
121. **Zhou X., Cui P. & Zhang J.** Field Investigation and Dynamic Analysis for Debris Flow in Weijia Gully of Beichuan Country

- (China) After the Wen-Chuan Earthquake. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 165-172.
122. **Zhu X., Cui P. & Zhang J.** Effects of Debris Flows on Cannel Morphology at Jiangjia Ravine Yunnan Province, China. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 293-299.
123. **Coe J., Reid M., Brien D., & Michael J.** Assessment of Topographic and Drainage Network Controls on Debris Flow Travel Distance Along the West Coast of the United States. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 199-209.
124. **Yafyazova R.** Disastrous Debris Flows Connected With Glacial Processes and Defense Methods Against Them in Kazakhstan. //5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14-17 June, 2011, pp. 1101-1110.



გივი გავარდაშვილი – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის დირექტორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსი, ცენტრალური ჩინეთის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საპატიო პროფესორი. 190-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომის ავტორი, მათ შორის: 6 მონოგრაფიის (ქართულ, ინგლისურ, ფრანგულ და რუსულ ენებზე), 4 მეთოდური მითითების, 2 მეთოდური რეკომენდაციის, 3 დამხმარე სახელმ-

ძრვანელოს, 2 სახეხელმძღვანელოს, 22 გამოგონების ავტორი; 4 ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის, 2 აკადემიური დოქტორის, 5 ქართველი და 2 საზღვარგარეთელი მაგისტრის სამეცნიერო ხელმძღვანელი; საერთაშორისო კონგრესების, სიმპოზიუმებისა და კონფერენციების თავმჯდომარე, თანათავმჯდომარე და საორგანიზაციო კომიტეტის წევრი. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ბუნებრივი კატასტროფების პრობლემების შემსწავლელი კომისიის წევრი, მსოფლიო მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტი წევრი ინჟინერიისა და ტექნოლოგიის დარგში (WASET), (პარიზი, საფრანგეთი, 2015). 2012 წლიდან საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში სასოფლო სამეურნეო მელიორაციაში დოქტურანტურის პროგრამების ხელმძღვანელი. მდინარე დურუჯის პრობლემებზე მუშაობს 1982 წლიდან. 2008 წ. აგვისტოში საქართველოში საომარი მოქმედების შედეგად გადამწვარი ტყეების შეფასებისა და 2013 წ. მდ. ვერეს კალაპოტში კატასტროფების ახლებურად შესწავლის სახელმწიფო კომისიის წევრი. წყლის რესურსების პრობლემების, ენერგოუსაფრთხოების, მელიორაციისა და გარემოს დაცვის საკითხებში საერთაშორისო ორგანიზაციების მიერ დაფინანსებული მრავალი საგრანტო პროექტის ხელმძღვანელი. დურუჯის პრობლემებზე 2011-2016 წლებში საერთაშორისო კონფერენციებზე პრეზენტაციები ჩატარებული აქვს: ამერიკის შეერთებულ შტატებში, იტალიაში, ჩინეთში, პოლონეთში, რუსეთში, ჩეხეთის რესპუბლიკაში, ინგლისში, იაპონიაში, ნიდერლანდებში. 2017 წლიდან ERASMUS+ გაცვილითი პროგრამის პროფესორი. 2013 წელს დაჯილდოებულია საქართველოს ღირსების ორდენით.