

ნინო უნდილაშვილი

ღვარცოფების მოძრაობის პირობები და ზოგიერთი საინჟინრო  
ამოცანის გადაწყვეტის გზები

თბილისი 2009 წ.

მონოგრაფიაში განხილულია სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარების მნიშვნელობისათვის, როგორც მთისწინა ისე მთიან რეგიონებში მელიორაციული მიწების რაციონალურად გამოყენების, ეკოლოგიურ წონასწორობის და სტიქიურ მოვლენებისაგან, ღვარცოფებისაგან დაცვის საშუალებანი. კვლევის ეტაპები და მათი შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა, ფაქტორთა როლი ღვარცოფულ პროცესებში და ღვარცოფული პროცესების არსებული საანგარიშო დამოკიდებულებები. ღვარცოფთა მონიტორინგის დაკითხვები და მათ სადინართა ეკოლოგიური მდგომარეობა. ღვარცოფის მოსალოდნელი მოცულობის განსაზღვრის თეორიული საფუძვლები, საველე ექსპერიმენტების ბაზაზე ღვარცოფის დაძვრის მოცულობის პროგნოზი და ღვარცოფის ჩამომეწყვრის ფართობების სტატისტიკური ანალიზი. განსაზღვრულია ღვარცოფის სიღრმის, სიჩქარის და ხარჯის ცვლილების პროგნოზი დროში, დადგენილია ღვარცოფის საანგარიშო ხარჯი და ბმული ღვარცოფის მოძრაობის შეწყვეტის გამნაზღვრელი მახასიათებლები, ღვარცოფსადინარების კალაპოტების მახასიათებლების შესწავლას, კალაპოტური პროცესების გათვალისწინებით, ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების შერჩევა, ბმულ ღვარცოფთა გამოტანის კონუსებზე ნაკადის მოძრაობის პირობების შესწავლა და ღვარცოფსადინართა გარეცხვის პროცესების პროგნოზირება.

მონოგრაფიაში გათვალისწინებულია ჰიდრომელიორატორების, ინჟინერ-ეკოლოგების, ჰიდროტექნიკოსების, ჰიდროგეოლოგების, შესაბამისი მონათესავე პროფილის დოქტორანტების, მაგისტრებისა და ბაკალავრებისათვის.

- რადაქტორი** *ედუარდ კუხალაშვილი*  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
სრული პროფესორი
- რეცენზენტები** *დავით გუბელაძე*  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
სრული პროფესორი
- გივი გავარდაშვილი*  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი
- თეიმურაზ სტურუა*  
ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
ასოცირებული პროფესორი

## შესავალი

გარემო პირობებზე ანტროპოგენული ზემოქმედება ხშირად ანომალიების, კერძოდ ბმული ღვარცოფების, წარმოშობის მიზეზია, რომლის შედეგად დიამეტრულად იცვლება არსებული სიტუაცია და ეკოლოგიური წონასწორობა.

ღვარცოფები წყლის, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკებისა და ქვის ჩანართის ნარევისაგან შექმნილი უწყვეტ ბმულ მრავალკომპონენტთან გარემოს წარმოადგენს, ხასიათდება დიდი სიჩქარით, დამანგრეველი ძალით, მოულოდნელი წარმოშობით, მოცულობითი წონის  $(1,8-2,3)ტ/მ^3$  საზღვრებში ცვლილებით, სატრანზიტო უბნების გამოტანის კონუსებზე მთის ქანების დაშლის პროდუქტების გამონატანის დიდი მოცულობებით, რაც თავის მხრივ სანაპირო ზოლში განლაგებული მიწის რესურსების მწყობრიდან გამოსვლის, გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის სტაბილურობის რღვევის, დაბალი წარმადობის მდინარეთა ენერგეტიკული პოტენციალის და მელიორაციის გამოყენების ხელისშემშლელ ფაქტორად უნდა ჩაითვალოს.

სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარება მნიშვნელოვან წილად, როგორც მთისწინა ისე მთიან რეგიონებში მელიორაციული მიწების რაციონალურ გამოყენებაზე, მის ეკოლოგიურ წონასწორობაზე და სტიქიურ მოვლენებისაგან მათი დაცვის პრობლემებთან არის უშუალო კავშირში.

ბუნების სტიქიური მოვლენებიდან მიწის რესურსების დაცვის და მათი პოტენციალობის სრულად გამოყენების სფეროში ღვარცოფებს იმის გამო ეთმობა განსაკუთრებული ყურადღება, რომ მსოფლიოში თითქმის არ არსებობს მთიან რეგიონებში განლაგებული ქვეყნები, რომლებიც არ განიცდის ნაკადების დამანგრეველ ზემოქმედებას.

გამოწვეული ზარალის მაშტაბებით ღვარცოფთა სპექტრიდან ყურადღება ბმულ ღვარცოფებს ეთმობა, რომელთა რეგულირებისა და სალიკვიდაციო ღონისძიებების მდგრადობა კონსტრუქციული გადაწყვეტები, მათი პროგნოზირებისა და გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფილებაზეა დამოკიდებული.

ღვარცოფების ჩამოყალიბება, მათი დინამიკისა და გამოტანის კონუსებზე მოძრაობის პირობების განსაკუთრებულობა, სხვა მოვლენებისაგან განსხვავებულობა,

პროცესებზე საანგარიშო მოდელების შერჩევა-ადაპტირება განსაკუთრებულ მიდგომებს ცალკეული ამოცანების გადაწყვეტის საანგარიშო სქემების სწორად შერჩევას მოითხოვს.

მძიმე ეკოლოგიური სიტუაციის პირობებში ბუნებრივი რესურსების გამოყენება დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. გარემოზე, მიწის რესურსებზე და წყლის ეკოსისტემებზე მოქმედებით მაღალი სიმკვრივის ნაკადთა სპექტრიდან განსაკუთრებული ანომალიებით ბმული ღვარცოფები გამოირჩევა.

უკანასკნელ პერიოდში ასეთი ნაკადების განმეორადობის სიხშირის გავლენის ზონების მნიშვნელოვანმა ზრდამ განსაკუთრებული სახე მიიღო. მოვლენების წარმოშობაზე წინასწარ გამაფრთხილებელი საშუალებანი და მისგან დამცავი საინჟინრო ღონისძიებებით, რომლებითაც შესაძლებელი გახდება ბმულ ღვარცოფთა გავლენის ზონების მასშტაბების შემცირება და გარემოს ეკოლოგიური სტაბილურობა. მათი საანგარიშო მახასიათებლები სიზუსტეზეა დამოკიდებული და ხშირად მათ მიმართ გამოყენებული და ადაპტირებული მოდელების გამოყენებით გამოყვანილი დამოკიდებულებების საფუძველზე გაანგარიშებული საინჟინრო გადაწყვეტილებები მოვლენის სირთულისა და ურთიერთმართვად უამრავ ფაქტორთა ზემოქმედების გამო სასურველ შედეგს ვერ იძლევა.

აქედან გამომდინარე ღვარცოფსაცავებში მიმდინარე პროცესები მათი საანგარიშო მახასიათებლების ცვლილების პროგნოზირება, სატრსატრანზიტო უბნებზე და გამოტანის კონუსებზე მოძრაობის პირობების შეფასება მათი კვლევის სფეროში გამოყენებული მეთოდების გაღრმავება, დაზუსტება ღვარცოფული პროცესების შესწავლის აქტუალურ პრობლემად რჩება.

ნაშრომის მიზანია მდგრადობის რღვევის განმსაზღვრელი მახასიათებლების ცვლილების გათვალისწინებით ღვარცოფსაცავების მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერებების, ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე პროცესებსა და გამოტანის, კონუსებზე მოძრაობის პირობების შეფასების მეთოდების სრულყოფა, ფორმირებული ნაკადის ჰიდრავლიკური ელემენტებისა და კალაპოტური პროცესების მორფომეტრიული მახასიათებლების საანგარიშო სქემების დაზუსტება:

- ღვარცოფსაცავის წონასწორობის რღვევის და მათი მახასიათებლების ცვლილების საანგარიშო მეთოდების შემუშავება და მათემატიკური მოდელირება;

- ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის წონასწორობის რღვევის კვლევა და მათი საანგარიშო დამოკიდებულებებით აღწერის მეთოდების დამუშავება;
- ღვარცოფსადინართა კერებიდან დაძრული ნაკადის ხარჯის დადგენა და საანგარიშო დამოკიდებულების დაზუსტება;
- ზღვრული წონასწორული პირობების გათვალისწინებით ღვარცოფსადინართა განივი კვეთის მდგრადი ფორმის შერჩევა და შესაძლო გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტის დაზუსტება;
- ნაკადის ჰიდრავლიკური ელემენტებისა და კალაპოტის მორფომეტრიული მახასიათებლების შერწყმის საფუძველზე განივ ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების დადგენა;
- გამოტანის კონუსებზე ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების შესწავლა, საანგარიშო მოდელის შერჩევა და საანგარიშო მახასიათებლების გამოყვანა;
- ღვარცოფთწარმომქმნელი გრუნტით ჩამოყალიბებული წყალსადინართა კალაპოტების დეფორმირებისადმი წინააღმდეგობის შესაძლებლობების გაწევის შესაძლებლობების გათვალისწინება ზღვრული სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულების დაზუსტება;
- ღვარცოფსაცავის წონასწორობის რღვევის შესწავლა და მოსალოდნელი ხარჯის პროგნოზირების მიზნით საველე ნატურალური კვლევების ჩატარება და თეორიულად მიღებული შედეგების შედარება.

ბმული ღვარცოფწარმომქმნელი კერები, მათი სატრანზიტო უბნები და ღვარცოფსადინართა გამოტანის კონუსები.

ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვილი მასის დეფორმაციების შეფასების არსებული საანგარიშო დამოკიდებულებების, ზღვრული წონასწორობის და დაძაბულობის შეფასების, ღვარცოფსადინართა კალაპოტების დეფორმაციების გამომწვევი ფაქტორების, ნაკადის მოძრაობის პირობების შესაძლო გაჩერების, ღვარცოფული გამონატანის გარეცხვის განმსაზღვრელ მახასიათებელთა ანალიზი და მათი საანგარიშო დამოკიდებულებათა გამოყენების არის საზღვრის შეფასება:

- ზღვრული დაძაბულობის მოდელის გათვალისწინებით ჩამომეწყრის ფართობების ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის სიღრმესთან კავშირის დადგენის მეთოდოლოგია;

- არასტაციონალურობის-საფუძველზე ღვარცოფსაცავების მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების განსაზღვრის მეთოდისა;
- კალაპოტური პროცესების სრული სიგანის, მარაგის სიდიდის და განივი კვეთის კუმშვის გათვალისწინებით ნაკადის შესაძლო კუმშვის განსაზღვრის მეთოდისა;
- გამოტანის კონუსებზე ღვარცოფის მახასიათებლების გათვალისწინებით შესაძლო სიჩქარის, ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის, გაჩერების სიღრმის ცვლილების კანონზომიერების დადგენის მეთოდისა;
- ღვარცოფწარმოქმნელი გრუნტით შედგენილი სადინართა კალაპოტის თვითფორმირების პროცესის შესწავლის მეთოდისა;
- ღვარცოფწარმოქმნელი გრუნტის ზედაპირის ფორმირებაზე მოქმედი ფაქტორების სავსე-ნატურალური კვლევების მეთოდისა.

თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე მიღებულია შემდეგი, სიახლეები:

- პროცესის არასტაციონალურიდან გამომდინარე დადგენილია ღვარცოფსაცავთა მახასიათებლები, კერძოდ ბმული ღვარცოფის რეოლოგიური მახასიათებლების გათვალისწინებით, გამოყვანილია კერის სიმაღლის, დაგროვილი მოძრაობის სიჩქარისა და ხარჯის ცვლილების კანონზომიერება დროსთან კავშირში;
- ღვარცოფული შენაკადების კერებისათვის თეორიული გზით შეფასებულია მოსალოდნელი შესაძლო ხარჯები, გამოყვანილია და მოყვალა მისი საანგარიშო ზოგადი დამოკიდებულებები;
- ზღვრული წონასწორობის განტოლების საფუძველზე მიღებულია ღვარცოფსადინართა მორფომეტრიული მახასიათებლების და მდგრადობის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებები, შეფასებულია თვითფორმირებადი ღვარცოფსადინარის დეფორმაციის შესაძლო ბაზისის სიდიდე;
- ღვარცოფსადინართა განივი კვეთის შესაძლო მარაგის გათვალისწინებით გამოყვანილია განივი ნაგებობების საპროექტო პარამეტრების განსაზღვრის შესაბამისი დამოკიდებულებები;
- შეფასებულია ღვარცოფის გამონატანის თვითფორმირებული კალაპოტის დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობების უნარი და არაგამრეცხი მოდელის

- ცვლადი მასის მოძაობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის საფუძველზე შესწავლილია ღვარცოფთა გამოტანის კონუსებზე მოძრაობის პირობები და თეორიული გზით მიღებულია მათ მიერ განვლილი მანძილის, მოძრაობის ხანგრძლივობის, სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტისა და მოძრაობის წინააღმდეგობის ქანობის საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- ბმული ღვარცოფის მოძრაობის პირობების შესწავლის საფუძველზე და მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის შედეგად მიღებულია ნაკადის მოძრაობის შეწყვეტის კანონზომიერების ამსახველი საპროგნოზო დამოკიდებულება;
- ღვარცოფწარმომქმნელი კერების და გამოტანის კონუსების ზედაპირის ფორმირების შესწავლის მიზნით გამოყენებულია სავსე ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლის საფუძველზე დადგენილია ჩამომეწყრის ფართობებით დაძრული ღვარცოფის შესაძლო მოცულობები. დამყარებულია კავშირი კერის და ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მახასიათებლებს შორის.

მიღებული შედეგები შეიძლება, გამოყენებული იქნას როგორც ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ჩამოყალიბებული ბმული ღვარცოფის მახასიათებლების დროში ცვლილების, ამ უკანასკნელიდან ფორმირებული ხარჯის უსაფრთხო ტრანზიტის და გამოტანის კონუსებზე განლაგებული მიწის რესურსებისა და სხვადასხვა სახის ობიექტების დაცვის მიზნით, ასევე ღვარცოფსადინართა კალაპოტის განივი და გრძივი მონაკვეთის გამაგრებას რეაბილიტაციის სამუშაოების ჩატარების მიზნით.

## თავი 1.

### **ბმულ ღვარცოფთა ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელ მახასიათებლებზე საერთო წარმოდგენა**

#### **1.1 ღვარცოფული მოვლენების კვლევის ეტაპები და მათი შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა**

ცოდნის თანამედროვე დონეზე და კვლევის არსებული მეთოდების ანალიზით ღარცოფთა კერებში ჩამოყალიბების, სატრანზიტო უბნებზე მოძრაობის და გამოტანის კონუსებზე გაჩერების მახასიათებლების შეფასებისა და მისი სასაზღვრო კრიტერიალური მაჩვენებლების დადგენა თანამედროვე პირობებშიც არ კარგავს თავის აქტუალურ მნიშვნელობას. მისი შესწავლის აუცილებლობა ბუნებაში ღვარცოფთა სპექტრის მრავალ სახეობით არსებობასა და სადინართა კალაპოტის მორფომეტრიული მახასიათებლების ცვლილების განსაკუთრებულობას უნდა მიეწეროს.

ბუნებაში ღვარცოფთა მრავალი სახეობით არსებობა რომელთა ჩამოყალიბდება ძირითად კერებში ხდება მისი შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთ თანაფარდობის კლევითაც დასტურდება და აღნიშნულიდან გამომდინარე მისი სფეციფიკური ბუნება, ე.ი. დაძვრის, მოძრაობის გაჩერების პირობების შეფასება მისი ტანის ფიზიკურ\_მექანიკური რეოლოგიური სხვა მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერებათა შესწავლის საფუძველზე უნდა განხორციელდეს.

მდგრადობის კრიტერიუმების, რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი მახასიათებლებისა და ღვარცოფის სტრუქტურული კავშირების მიხედვით ბმული ღვარცოფები ბლანტ\_პლასტიკური და თხიერი დენადი სხეულების შუალედური მდგომარეობის თვისებების მახასიათებელ ტანებად შეიძლება ჩაითვალოს. აქედან გამომდინარე მათი გავლის, რეოლოგიურ მახასიათებელთა ცვლილების, ძრაობის რეჟიმების შეფასების, საინჟინრო ნაგებობებზე მოქმედების სპეციფიკური ზემოქმედების შეფასების დროს საანგარიშო მოდელთა მოვლენაზე ადაპტაცია ძალზე დამაფიქრებლად უნდა განხორციელდეს.

ღვარცოფული მოვლენები \_ არის პროცესთა ისეთი ერთობლიობა, რომელიც მის ფორმირებასთან, მოძრაობასთან, დამანგრეველი ზემოქმედებასთან, ტრანსფორმაციასთან და მყარი ნატანის დალექვასთან არის დაკავშირებული.

ასეთი ნაკადების რეგულირება და გარემოს ეკოლოგიური მდგრადობის შენარჩუნება, რომლის ზემოქმედებას თითქმის ყველა მთისა და მთისწინა რეგიონი განიცდის, სახალხო მეურნეობის ყველა დარგიდან განსაკუთრებულ ყურადღებას საჭიროებს.

ღვარცოფთან ბრძოლის მეთოდების შერჩევას და გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფას, სამეცნიერო თეორიული ინტერესი გააჩნია, როგორც მთისა და მთისწინა



ზონების, მიწის პოტენციალის შენარჩუნების მიზნით, ასევე მათი შემდგომი სოფლის მეურნეობის გამოყენების თვალსაზრისით.

ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო დამოკიდებულებების აღწერა მოვლენის სირთულის გამო ეტაპობრივი სახე გააჩნია. მოვლენებზე პირველი სისტემური კვლევების სამეცნიერო პუბლიკაციებს მოვლენის აღწერითი ხასიათი გააჩნია და იგი მე\_19 საუკუნის 20\_იან წლებამდე გრძელდება.

შემდგომი ეტაპი ღვარცოფთა სპექტრში ძირითადი სახეების გამოყოფას სასაზღვრო პირობების შეფასებას, ტერმინოლოგიის, გავრცელების გეოგრაფიის დაზუსტებას, ჰიდრაულიკისა და ჰიდროლოგიის მახასიათებლების დაზუსტებას და შესწავლას ეძღვნება. ამ მხრივ ყურადღებას იპყრობს ცნობილი მეცნიერების ი. ველიკანოვის [34], მ. გაგოშიძის [48], პ. ნეპოროჟინის [83], მ. მოსტკოვის [80], ს. ფლეიშმანის [9], ი. ხერხეულიძის [103], გ. ხმაღაძის [107], ა. შეკოს [109], ნ. დუმიტრაშკოს [54], დ. სულაქველიძის [92] სამეცნიერო პუბლიკაციები.

დაგროვილი ინფორმაციისა და არსებული სტატისტიკური მასალების ანალიზის საფუძველზე შემდგომი ეტაპი ღვარცოფთა ჰიდრაულიკის, ჰიდროდინამიკის, რეოლოგიის და მომიჯნავე კვლევის სფეროებში გამოყენებული მოდელების პროცესთან ადაპტირებაზეა ორიენტირებული და მოიცავს მათი თანაბარი უფრო მოგვიანებით არათანაბარი მოძრაობის და საინჟინრო ღონისძიებების საპროექტო პარამეტრების ნორმატივების შემუშავების საკითხებს. მათ რიცხვში აღსანიშნავია ი. ვინოგრადოვის [39], გ. ბერუჩაშვილის [29], ც. მირცხულავას [76], თ. ვოინიჩ\_სიანიჟენსკის [42], ნ. კერესელიძის [64], ო. ნათიშვილის [82], ბ. ახმედოვას [26], ა. კვასოვის [62], ვ. სანიონის [87], ა. მიზანდზადეს [75], დ. სულაქველიძის [92], ზ. იორდანიშვილის [60], ვ. თევზაძის [95], გ. ხერხეულიძის [104], სამეცნიერ ნაშრომები.

პროცესთან ანალოგიური ხასიათის შრომები არის მიძღვნილი მეცნიერთა მიერ, რომელთა შორის ყურადღებას იპყრობს ვ. მიასნიკოვის [81], ბ. სტეპანოვის, [94], დ. ფრუიძის [86], გ. კვაშილავას [63], გ. გავარდაშვილის [1], ლ. სოხაძის [91], ი. ყრუაშვილის [18], ე. კუხალაშვილის [74], სამეცნიერო პუბლიკაციები. ანალოგიური ხასიათის სამეცნიერო შრომებს ვხვდებით საზღვარგარეთელ მეცნიერთა მიერ გამოქვეყნებულ შრომებში, რომელთა შორისაა ვ. ბეარლი [115], ვ. იანო [114], ა. დაიდო [116], და ლ. სილვიო [117].

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა პროექტირებისა და რიგი საინჟინრო საკითხების გადაწყვეტის საკითხებში განსაკუთრებულ ყურადღებას გ. გაგოშიძის [50] მიერ ფიქსირებული კვლევის შედეგებია საყურადღებო, რომლის საფუძველზე დადგენილი იქნა ღვარცოფთა სახეების სასაზღვრო პირობები მათი შეფასების რიგი კრიტერიუმები და საანგარიშო სქემები. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ეტაპზე პროცესის შეფასება სრულად არის წარმოდგენილი მოვლენის მრავალფაქტორიანობისა და კვლევის სტატისტიკის სიღარიბის გამო.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ღვარცოფთა საინჟინრო ნაგებობებზე სპეციფიკური ზემოქმედების გამო აუცილებელი შეიქმნა როგორც ექსპერიმენტული ასევე თეორიული კვლევების შემდგომი წარმოება და მათი გათვალისწინება არანიუტონური სითხეების დიფერენციალურ განტოლებებში [28, 40, 45, 59, 61, 66, 90, 96, 99, 100, 101].

ღვარცოფულ მოვლენებზე მეცნიერთა სხვადასხვა წარმოდგენებისა და მასზე ადაპტირებული მოდელების სიმრავლის გამო მათი კერძო ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით აუცილებელი შეიქმნა, როგორც ლაბორატორიებში ისე ბუნებაში ხელოვნური ექსპერიმენტების ჩატარება. აღნიშნული ფაქტი შემდეგ გახდა საფუძველი ერთგანზომილებიანი წყალნარევი გრუნტების განტოლებების ამოხსნის და მათი დამატებით-დეფორმაციული მდგომარეობის ფართო დიაპაზონში შეფასების პროცესის ცალკეული ამოცანის მოდელირების კრიტერიუმების შესაფასებლად.

ყურადღებას იპყრობს ფაქტორთა ზემოქმედების სასაზღვრო მაჩვენებლები და მოქმედების ეფექტები ღვარცოფულ პროცესებზე.

ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელ მახასიათებელთა გამოყოფის დროს მეცნიერთა ნაშრომებში სხვადასხვა ეტაპზე ყურადღება არის გამახვილებული მისი ტანის წყლის შევსების ხარისხზე, შინაგანი ხახუნის კუთხე, გრანულომეტრიული შედგენილობაზე, საწყის წინააღმდეგობაზე ძვრაზე, ბმულობის კოეფიციენტზე, ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის შემადგენელი ნაწილაკების ჰიდრაულიკურ სიმსხოზე, სიბლანტის კოეფიციენტზე, დრეკადობის მოდელზე, ღვარცოფული კერისა და სატრანზიტო უბნებზე მორფომეტრიული მაჩვენებლები გეოგრაფიული ფაქტორების კომპლექსზე [8, 24, 35, 47, 49, 55, 56, 58, 70, 73, 95, 98].

ჩატარებული კვლევები და ღვარცოფული პროცესების შეფასების ანალიზით დასტურდება მათი წონასწორობის და დინამიკის თავისებურება ტრადიციულად

მიღებული ფაქტორების გათვალისწინებით ხდება და ხშირად უგულვებელყოფილია ისეთი მახასიათებლებით, როგორცაა მოვლენის სტაციონალურობა, ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე პროცესში მონაწილე ფაქტორთა გამო ზოგჯერ დაკანონებული და მიღებული შედეგები ვერ იძლევა სრულად აღწერის შესაძლებლობას.

## 1.2. ფაქტორთა როლი ღვარცოფულ პროცესებში

ღვარცოფული გამონატანის კუმულაციური მრუდების ანალიზით დადასტურებულია, რომ ისინი წყლის მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები მყარი ნაწილაკების და ქვის ჩანართის ნარევით შექმნილი მრავალკომპონენტის გარემოს წარმოადგენს და ამავე დროს იგი არ წარმოადგენს წყლის ნაკადით ტრანსპორტირებულ მყარ დანალექს და მათი ჩამოყალიბება ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ხდება სიმძლავრის მიხედვით. ღვარცოფები გარემოს ეკოლოგიური სტაბილურობისათვის ერთ-ერთ საშიშ ბუნებრივ სტიქიას წარმოადგენს.

განსაკუთრებულ საშიშ ფუნქციას ღვარცოფული პროცესები სატრანზიტო უბნებზე იძენს, იგი ხასიათდება დიდი სიჩქარით და დამანგრეველი ძალით. სპეციფიკურად მოქმედებს კალაპოტის პროცესებზე. როცა კალაპოტის მახასიათებლების წინააღმდეგობის უნარი გაუტოლდება ნაკადის მოძრაობის წინააღმდეგობის მახასიათებლებს შესაძლებელია მოძრაობის შეწყვეტა.

ღვარცოფწამოქმნის პროცესი შეიძლება განხილული იქნას როგორც სტატიკური და დინამიკური ფაქტორების ურთიერთშერწყმის განსაკუთრებულ შემთხვევაში. სტატიკური ფაქტორების, შემადგენლობაში შეიძლება გაერთიანდეს მყარი მასის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, პოტენციური ღვარცოფული მასივები და კერები მორფომეტრიული მახასიათებლებით დროში. სტატიკური მახასიათებლების დროში ცვლილება თითქმის არ შეიმჩნევა, ხოლო რაც შეეხება დინამიკურ-ტენიანობას შინაგანი ხახუნის კუთხეს, ბმულობას და სხვა რეოლოგიური მახასიათებლებს მათი ცვლილება დღე-ღამეში შეიძლება მრავალჯერ განხორციელდეს.

ღვარცოფთა ჩამოყალიბება და მისი ტანის დამაბული მდგომარეობის ცვლილება ვერტიკალურ ზონალობასთან ერთად გარე ფაქტორების მოქმედების ინტენსივობაზე არის დამოკიდებული, რაც ღვარცოფთა განსხვავებული ბუნების მქონე სახეების

წამოშობის მიზეზი ხდება. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ფიქსირებულ ღვარცოფს შორის განსხვავება მხოლოდ მიყენებული ზარალის მამტაბურობით არის წარმოდგენილი.

ფაქტორთა შორის ღვარცოფთა ფორმირებაში თავსხმა წვიმებს განსაკუთრებული ადგილი უკავია, ხოლო პროცენტულად შემდეგი ადგილები თანმიმდევრულად წვიმებს, თოვლის დნობას, მიწის ან თოვლის ჩამოზვავებას, მყინვარებს და ბუნებრივი ან ხელოვნური წყალსაცავების გარღვევას ეკუთვის [32, 54, 65, 88, 110].

ღვარცოფთა წარმოქმნა მისი გარემოს დამაბული მდგომარეობის განსაზღვრულ მომენტში ხდება. ის ხასიათდება წყალმდეგობის უსწრაფესი უნარის განსაზღვრული მნიშვნელობით. გარეგანი ძაბვების ცვლილებით შესაძლებელი არის მისი ტანის გარკვეული სახის დეფორმაცია.

მოდრაობის დაწყების მომენტში ღვარცოფის ტანის სტრუქტურა უცვლელია და არ ხდება მისი შემადგენელი მყარი ნაწილაკების გადალაგება ძვრის ზედაპირზე ან ნაკადის სიღრმეში. როდესაც დამაბულობა მისი სტრუქტურული კავშირების სიმტკიცეს და ბმულობის წინააღმდეგობის მნიშვნელობას გადააჭარბებს ხდება ტანის ფორმის დარღვევა და ძვრის დეფორმაციის განვითარება [9, 10, 20, 22, 82, 89].

ღვარცოფის ტანის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობა განსაზღვრავს მისი დამძვრის ზედაპირის ფორმას. სწორედ ამ ზედაპირის სიბრტყესთან დახრის კუთხით შეიძლება შეფასდეს წონასწორობის სტაბილურობა და მოძრაობის დაწყების შესაძლებლობა. სწორედ ამაზე მიუთითებს ნაკადის მოძრაობის შეწყვეტის ფიქსირებული მოწმობები, რომელიც ადასტურებს კალაპოტის ქანობის და ხარჯის ზედაპირის სიბრტყესთან დახრის კუთხის ფარდობის განსაკუთრებულ მნიშვნელობას. აღნიშნულიდან გამომდინარე ფიზიკურ\_მექანიკურ მახასიათებლებთან ერთად რეოლოგიური პარამეტრები ბმულ ღვარცოფთა წონასწორობის და მოძრაობის ერთ\_ერთი განმსაზღვრელი მახასიათებელია.

ღვარცოფული ტანის დამაბული მდგომარეობის ცვლილებას ადგილი აქვს როგორც ფენის ზრდის პირობებში, ასევე მისი გარემოს წყლით შევსებით. წყლის ფაქტორის ზემოქმედებით ხდება ეფექტური ხახუნისა და ბმულობის ძალის შემცირება, რაც იწვევს მასის მყარი ნაწილის მეორის მიმართ გადაადგილებას. წარმოიქმნება ძვრის ზედაპირი, რომელიც ზღვრული წონასწორობის პირობებს შეესაბამება.

ღვარცოფწარმომქმნელ მომქმედ გრუნტში ძაბვების განაწილების სურათის შესწავლა და დადგენა დიდ სირთულესთან არის დაკავშირებული. პირველი მიახლოებულთ ძაბვების ცვლილების შესწავლის მიზნით ფართოდ არის გამოყენებული ხაზოვანად დეფორმადი სხეულების განტოლებები [15, 17, 21, 22, 27, 29, 31, 40, 42, 89, 95, 100].

ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგომარეობა, მისი ზედაპირიდან ჩამომეწყრილი ფართობის სიდიდე, ზღვრული წონასწორობის თეორიის კერძო ამოცანას წარმოადგენს და ძვრის ზედაპირზე შესაძლო მოქმედი ძაბვების განსაკუთრებულ შემთხვევებს შეესაბამება. დაძაბულობის მომენტში როცა მთავარ ძაბვებს შორის სხვაობა აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას, იქმნება კრიტიკული მდგომარეობა და ღვარცოფის წარმოქმნის შესაძლებლობა [17, 45, 60, 70, 72, 86, 94, 95].

ღვარცოფთა ჩამოყალიბება, სხვა მრავალ მოქმედ ფაქტორთან ერთად მისი ერთგვაროვნებაზეა დამოკიდებული. ხშირად ამ მაჩვენებლის ცვლილება დიდ დიაპაზონში არის მოსალოდნელი და პროცესის პროგნოზირება განსაკუთრებულ მიდგომებს საჭიროებს. ასე მაგალითად ერთგვაროვნების კოეფიციენტი, რომლითაც ფასდება ღვარცოფის ტანი, წარმოადგენს მისი შემადგენელი ნაწილაკების  $d_{60}/d_{10}$  პროცენტულ ფართობს სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით ეს მაჩვენებელი (6,5\_100)-ის ფარგლებშია მოთავსებული.

ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მყარი მასის წონასწორობა მისი შინაგანი ხახუნის კუთხესთან არის უშუალო კავშირში და მისი ცვლილება მისი ტენიანობის ფუნქციას წარმოადგენს. დადგენილია, რომ როცა ტენიანობა 3÷5% ის ფარგლებშია მოთავსებული  $\varphi = 35^\circ$ -ს, ხოლო 12%-ი ტენიანობის შემთხვევაში მისი მნიშვნელობა  $4^\circ$ -მდე ეცემა ანალოგიური სურათით არის წარმოდგენილი ბმულობის მახასიათებლის ცვლილების კანონზომიერება და 12% \_ ტენიანობის შემთხვევაში მისი ეფექტი საერთოდ ქრება [48, 50, 70, 91, 96].

ღვარცოფთა დაძვრის და მოძრაობის პროცესი ხასიათდება არასტაციონალურობით, რომლის მახასიათებელ ოპერატიულ საშუალებად პირველი, მიახლოებით ჰიდროგრაფია მიჩნეული. მას წყალდიდობის ჰიდროგრაფიისაგან განსხვავებით სრულიად განსხვავებული სახე აქვს და მისი ფერდების აწევისა და დაწევის მოხაზულობა მკვეთრად განსხვავებულია. ამაზე მიუთითებს მეცნიერთა

შრომები [102], სადაც გაკეთებული დასკვნები\_ჰიდროგრაფის ფორმის სწორად შეფასების შემთხვევაში ღვარცოფთა ჰიდრაულიკური ამოცანების გადაწყვეტის საკითხები გამარტივდება.

ღვარცოფული კერებიდან მოძრავი ტანის ჩამოყალიბების პროცესი შეიძლება არასტაციონალურად ჩაითვალოს, რომლის შეფასების ერთადერთ მეთოდად მიწის კაშხლების გარღვევის ჰიდროგრაფიის მოდელი ითვლება.

სატრანზიტო უბნებზე მოძრავ ნაკადს გააჩნია რიგი თავისებურებანი, ამაზე მიუთითებს მეცნიერთა სხვადასხვა შეხედულებით წარმოდგენილი მოდელების ამსახველი დამოკიდებულებები ძვრის წინალობის ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის. შრომათა ერთ ნაწილში ნაკადის დინების მრუდთა ოჯახიდან შვედოვ\_ბინგამის მოდელით კავშირი ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის სხვადასხვა ფორმით წარმოდგენილი დამოკიდებულებით აღწერს [15, 47, 60, 74, 78, 79, 82, 99, 100], ხოლო მეორე მიმართულებაში ეს კავშირი ხარისხობრივ ფორმას ატარებს [74]. აღნიშნულ მოდელთა განსხვავებულობა მიუთითებს მათი სწორად შერჩევის აუცილებლობაზე ღვარცოფის მოძრაობის სქემის განზოგადოებულ ფორმასთან.

სტრუქტურული კავშირებისა და სიმტკიცობრივი მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში ცვლილების გამო სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების სურათის კანონზომიერების დადგენა და მასზე სწორი წარმოდგენა ხშირად ვერ ხერხდება. ამის გამო მეცნიერთა ერთი ნაწილი იღებს სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების უწყვეტ ფორმას, ხოლო მეორე ნაწილი ამ სურათს საგრადიენტო შრითა და ძირითადი ბირთვის არსებობით განიხილავს. უკანასკნელ პერიოდში სამეცნიერო პუბლიკაციებში მოძრაობის სამშრიან მოდელებსაც ვხვდებით [15].

ღვარცოფთა ჰიდრაულიკის ამოცანების ანალიზური გადაწყვეტა თანამედროვე პირობებში იმის გამო არ კარგავს თავის აქტუალობას, რომ ნაკადის სატრანზიტო უბნების ცალკეულ მონაკვეთებზე ადგილი აქვს მორფომეტრიული მახასიათებლების ისეთ ცვლილებებს, რომლებიც ხშირად არ ექვემდებარება შეფასებას. მიუხედავად იმისა, რომ კალაპოტურ პროცესებზე არსებობს დიდი სამეცნიერო ინფორმაცია ღვარცოფთა ჰიდრაულიკური ამოცანების გადაწყვეტა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკა დაფუძნებული უნდა იყოს ისეთ გაანგარიშების მეთოდებზე, რომელიც სრულად ასახავს მათ ბუნებას.

ღვარცოფწარმომქმნელი კერები, რომლებიც ჰიდროგრაფიული ქსელის კალაპოტთა სისტემით არის წარმოდგენილი მოსალოდნელი საშიშროების და ფორმირებულ ნაკადთა სიმძლავრის განმსაზღვრელ ძირითად ელემენტს წარმოადგენს.

გამოტანის კონუსებზე გამოტანილი მყარი მასის მოცულობის მიხედვით გამოირჩევა მდინარე დურუჯის, მდინარე ლაჯანურის და მდინარე არაგვის აუზების ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ფორმირებული ნაკადები.

ღვარცოფთა ჩამოყალიბებაზე და სიმძლავრის მახასიათებლებზე განსაკუთრებულ ზეგავლენას დინამიკური ფაქტორები, კერძოდ წვიმის ინტენსივობა და ხანგრძლივობა, კერის ფილტრაციული მახასიათებლები და სხვა ფაქტორები იწვევს.

ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობის დაწყება და სტატიკური მდგომარეობიდან დინამიკურში გადასვლა სრული ძვრის წინააღმდეგობის სიდიდეზეა დამოკიდებული და საწყისი ძვრის წინააღმდეგობისა და სიბლანტის მახასიათებლებზეა დამოკიდებული. ძვრის ღვარცოფის ტანი მრავალკომპონენტთან გარემოს წარმოადგენს და სიბლანტე მისი დინამიკის ინტეგრალური მაჩვენებელია. ამ მახასიათებლის და ცვლილების კანონზომიერებების დადგენა წყალკოლოიდური ნაწილის კვლევით იწყება. ამაზე მიუთითებს ღვარცოფულ ტანში ქვის ჩანართის წონით სიდიდეების ცვლილების გავლენა სიბლანტის სიდიდეზე [15].

ჩატარებული კვევებით დასტურდება ღვარცოფთა წონასწორობაზე და მოძაობაზე მეორე ხარისხოვნად მიჩნეული ისეთი ფაქტორების როლი, როგორცაა შინაგანი ხახუნის კუთხე, ბმულობა, დრეკადობის მოდული, გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი. მათი ცვლილების შეფასებით უფრო ნათელი ხდება მოვლენის ფიზიკა და საინჟინრო ღონისძიებათა სქემების და საპროექტო პარამეტრების ოპტიმალური ვარიანტების საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანა [18, 21]. აღნიშნულმა განაპირობა არანიუტონური სითხეების არსებული მოდელების ღვარცოფულ პროცესებთან ადაპტირება.

ბმულ ღვარცოფთა კრიტერიალური საზღვრების დადგენა და შეფასება მოქმედ ფაქტორთა შესაძლო გათვალისწინებით მათი სპექტრიდან გამოყოფის და მათზე საანგარიშო მოდელთა ადაპტირების საფუძველს წარმოადგენს. შემადგენელ კომპონენტთა ურთიერთთანაფარდობაზეა დამოკიდებული ღვარცოფთა დინამიკის და დაძაბული მდგომარეობის ამოცანათა გადაწყვეტის შესაძლებლობა. კრიტერიალური საზღვრების უმნიშვნელო ცვლილებითაც კი შესაძლებელია ღვარცოფის ერთი სახიდან

მეორეში გარდასახვა. კომპონენტთა ცვლილება B<sub>ზული</sub> ღვარცოფისათვის უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას. წყლისა და მილიმეტრიანი ნაწილაკების წონითი თანაფარდობა უნდა შეადგენდეს  $0 \div 0,49$  ს. წყლის წონის ფარდობა ღვარცოფის მთლიან მასასთან მოთავსებული უნდა იყოს  $0,112 \div 0,20$ , ხოლო მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკების წონის შეფარდება მთლიან მყარ მასასთან  $0,23 \div 0,45$  საზღვრებში. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე შემადგენელ კომპონენტთა ცვლილების პროგნოზით შესაძლოა ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა, როგორცაა კერებში დაგროვილი მასის დაძვრა, მოსალოდნელი ხარჯის პროგნოზი, აქტიური და პასიური წნევების სურათის შესწავლა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე ნაკადის მოქმედება და სხვა [17, 93].

ბმული ღვარცოფები მაღალი სიმკვრივის ნაკადთა შორის, ბუნების ის სტიქიური გამოვლინებაა, რომლის დინამიკის საკითხების გადაწყვეტა შესაძლებელია დინების კანონზომიერებათა ფიზიკური არსის სრული შესწავლით. იგი მოძრაობის დროს ხასიათდება არასტაციონალური რეჟიმით და მისი აღწერის მიზნით ხშირად დამყარებული რეჟიმის განტოლებებს იყენებენ [1, 9, 10, 17, 51].

ბმულ ღვარცოფთა ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის დროს განსაკუთრებული ყურადღება ნაკადის სტრუქტურის რღვევის საკითხებს უნდა მიექცეს. ღვარცოფსადინარები, რომლებიც ხასიათდებიან მორფომეტრული მახასიათებლების მკვეთრი ცვლილებით გარკვეულ გავლენას ახდენს მის სტრუქტურზე ცვლილებაზე და ძრაობის რეჟიმზე. განსაკუთრებულ ყურადღებას ნაკადის სტრუქტურის ცვლილებაზე მისი ტანის კუმშვისა და გაფართოების მახასიათებელი იწვევს. წყალთან შედარებით ეს მაჩვენებელი გაცილებით დიდი სიდიდით ხასიათდება და გარკვეულ გავლენას ახდენს ნაგებობათა პროექტირების დროს [16, 25, 36, 37, 44, 72, 108].

ნაგებობასთან ურთიერთმოქმედების შემთხვევაში დამყარებული ძალის სრული პროგნოზის მიზნით მკვეთრად გამოხატული ბმულობის პირობებში უკანასკნელ პერიოდში ყურადღება იქნა გამახვილებული მის ტანში ტალღის გავრცელების სიჩქარის ცვლილების თავისებურებაზე. ღვარცოფში წყალთან შედარებით ტალღის გავრცელების სიჩქარე თითქმის 7-ჯერ მცირდება [21].

საინჟინრო თვალსაზრისით ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მდგრადობა და სარეგულიაციო ნაგებობათა პროექტირება ისეთი კრიტერიუმების გათვალისწინებას საჭიროებს როდესაც არ ხდება ნაკადის სტრუქტურის ცვლილება და მდგრადობის კოეფიციენტის ნორმატივებიდან გამოსვლა. პირობით დარღვევის შემთხვევებში და



მათი სადინარის ღიობების ზომების არასწორად დანიშვნის შემთხვევაში მოსალოდნელია ხერგილების წარმოქმნა და ეკოლოგიური სტაბილურობის რღვევის მოსალოდნელი შემთხვევები [18].

ბმულობის თვისებებიდან გამომდინარე ნებისმიერი სიმძლავრის მქონე ღვარცოფწარმოქმნელი მასის ტანში შეიძლება გაყოფილი იქნას ორი ზონა: პირველი\_სადაც არ ხდება ძვრის ზედაპირების წარმოქმნა, გვერდები ინარჩუნებს ვერტიკალურ მდგომარეობას და მისი სიდიდე ბმულობის ექვივალენტური სიდიდის სიმაღლით დახასიათდეს; მეორე\_რომელიც პირველი ზონის გაგრძელებას წარმოადგენს ადგილი აქვს ზღვრული წონსწორობის რღვევას. ბმულობის საფუძველზე შესაძლებელია შეფასდეს ღვარცოფის აქტიურ ძაბვას და გვერდითი წნევის კოეფიციენტის მნიშვნელობები [8].

ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვილი ღვარცოფის ტანის ქვის კარკასის ტალახოვანი მდგენელით შევსების დასრულებით შესაძლებელი ხდება ზღვრული წონასწორობის დაკარგვა და ღვარცოფის ტანის არამდგრად დენად მდგომარეობაში გადასვლა [22].

ღვარცოფთა რეგულირების სირთულეები მათ სადინარებში მიმდინარე რთული კალაპოტური პროცესი შესწავლის დონეზეა დამოკიდებული. აქედან გამომდინარე ღვარცოფთა რეგულირება, კალაპოტების მდგრადობის მორფომეტრიული მახასიათებლების და ნაკადის ჰიდრავლიკური პარამეტრების ისეთი ურთიერთშერწყმით უნდა განხორციელდეს, როცა დაცული იქნება ნაგებობის და ნაკადის მდგრადობის პირობები. კალაპოტური პროცესების შესწავლას მიუძღვნა სამეცნიერო ნაშრომები [25, 37, 79, 108].

მოდრავი ბმული ღვარცოფის ფიზიკაზე თანამედროვე წარმოდგენით შესაძლებელია მათი ნაგებობებზე მოქმედების მოდელის სწორად შერჩევა. ამაზე მიუთითებს შრომაში [72]. მოცემული ბლანტ\_პლასტიკური კოჭების მოძრაობის ანალოგიების მოდელის გამოყენება და ადაპტირება ნაგებობასთან ურთიერთმოქმედების დროს.

არანიუტონური სისტემების რეოლოგიური მაჩვენებლის კვლევებით შესაძლებელია ეფექტების გამოვლენა. განსაზღვრული პირობების შემთხვევაში ღვარცოფის მოძრაობის დროს მყარი ნაწილის დიდი პროცენტული შემცველობის გამო ადგილი აქვს კალაპოტის მოძრავ ნაკადის გარემოს სიმეტრიული მოძრაობის

მიმართულებით მიზიდვას. ბლანტი დრეკადი გარემოს ძვრითი მოძრაობის შემთხვევაში ეს ძაბვები კუმშვის ეფექტით ხასიათდება და იწვევს გარემოს აღრევას და ზედაპირის დეფორმაციას. აღნიშნული თვისების გათვალისწინებით შესაძლებელი ხდება ნაკადის შეტბორვის წირის შეფასება.

მთის ზონებში ღვარცოფთა მოძრაობას სადინარებში რეალურად არასტაციონალური ხასიათი გააჩნია. კერებში ჩამოყალიბებული ნაკადისათვის მოძრაობის გზაზე ახასიათებს დინამიკური მახასიათებლების ცვლილების თავისებურება. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე გასაგებია თუ რა შეცდომები შეიძლება იქნას დაშვებული გაანგარიშებებში მოძრაობის არასტაციონალურობის გაუთვალისწინებლობის შემთხვევაში. ამოცანის გადაწყვეტის დროს შრომაში არსებული მიზნის მისაღწევად გამოიყენება რიცხვითი მეთოდები.

ღვარცოფულ პროცესებზე მოქმედი ფაქტორების ანალიზით დასტურდება მნიშვნელოვანი განსხვავება საანგარიშო მოდელების პროცესზე ადაპტირებით მიღებული შედეგების ჰიდრაულიკურ პარამეტრებს შორის როგორც ნაკადის ჩამოყალიბების, ასევე მოძრაობის სატრანზიტო უბნებზე. ზემოთ აღნიშნული ეხება კერიდან დაძრული მასის ხარჯის პროგნოზირების არასტაციონალურობას, მათი რეოლოგიური მახასიათებლების, დინამიკის საანგარიშო დამოკიდებულებების დაზუსტებას, სატრანზიტო უბნებზე მათი მოძრაობის პირობებს და კალაპოტებში მიმდინარე პროცესებს.

### **1.3 ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო დამოკიდებულებები**

ღვარცოფული მოვლენები ეს წარმოადგენს პროცესებს, რომლებიც მათ ფორმირებასთან, მოძრაობასთან დამანგრეველ ზემოქმედებასთან, ტრანსფორმირებასთან და გამოტანილი მყარი მასის დალექვასთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფული მოვლენებისაგან ზემოქმედებას განიცდის ჩვენი ქვეყნის სახალხო მეურნეობის თითქმის ყველა მნიშვნელოვანი ობიექტი.

ღვარცოფული პროცესების შეფასების განმსაზღვრელ ფაქტორებად შეიძლება ჩაითვალოს ისეთი მახასიათებლები, როგორცაა პროცესში დაგროვილი მასის

პოტენციური შესაძლებლობის ზღვრული მნიშვნელობა, ძვრის კრიტიკული ქანობი, მოსალოდნელი ხარჯი, ნაკადის სატრანზიტო უბნებზე ჰიდრავლიკური, კალაპოტის ტრანსფორმაციის მახასიათებელი, გამოტანის კონუსებზე მათი მოძრაობის პირობების განმსაზღვრელი მახასიათებლები და სხვა.

კერებში ჩამოყალიბებული ღვარცოფის ტანის და ძვრის სიმაღლის ან კრიტიკული ქანობის განსაზღვრისათვის მკვლევართა ერთი ნაწილი ზღვრულ დაძაბულობის თეორიას ხოლო, მეორე მისი ტანის ფიზიკური მდგომარეობის განმსაზღვრელი მახასიათებლების შეფასებას ეყრდნობა.

კერებში დაგროვილი ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობის შეფასების დროს ი. ვინოგრადოვი [40] ზღვრული წონასწორობის პირობებს იყენებს დამჭერ და დამძვრელ ძაბვებს შორის, ღვარცოფული მასივის ქვის ნაყარის შრის სისქის, შემადგენლობის, სიმკვრივის, ფორიანობის, შინაგანი ხახუნის კუთხისა და ბმულობის გათვალისწინებით დაძვრის კრიტიკული სიმაღლის საანგარიშოდ მიღებული აქვს დამოკიდებულება

$$h_3 = d \left[ (1 - \varepsilon) \left( \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right) \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right) - 1 \right] + \frac{e}{\rho \cdot g \sin \alpha} - 1, \quad (1.3.1)$$

სადაც:	$g$	არის	სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ <sup>2</sup> );
	$d$	-	ვერტიკალზე ქვის ნაყარის შრის სისქე (მ);
	$\rho, P_0, \varepsilon, \varphi, C$	-	შესაბამისად, ნაყარის შემადგენლის სიმკვრივე, წყლის სიმკვრივე, ფორიანობა, შინაგანი ხახუნის კუთხე და წყლით შევსებული ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ბმულობა;
	$\alpha$	-	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის შრის განლაგების კუთხე.

შრომაში [95] ღვარცოფის ტანის ჩამომეწყრის კრიტიკული  $h'$  სიღრმის განსაზღვრის მიზნით გამოყვანილია ნარჩენი  $h'$  სიღრმის საანგარიშოდ დამოკიდებულება კალაპოტის გვერდების დაფერდების  $\varphi$  დახრის კუთხის გათვალისწინებით:

სამკუთხა ფორმის შემთხვევაში

$$h' = h_0 \cdot \frac{1}{\sin \varphi} - 1, \quad (1.3.2)$$

სწორკუთხა ფორმის შემთხვევაში

$$h = \sqrt{2h_0^2} - h_0. \quad (1.3.3)$$

რაც შეეხება ნახევრად წრიული კალაპოტის ფორმას, ნარჩენი მასის სიღრმეს ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როცა სიმრუდის რადიუსი დაძვრის კონტურის რადიუსზე ნაკლებია და მისი მნიშვნელობა ღვარცოფის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების და სადინარის ქანობის ფუნქციას წარმოადგენს. მისი მნიშვნელობა განივი კვეთის ნებისმიერი ფორმისათვის.

$$h_0 = \frac{\tau_0}{\alpha_{\text{ღ}} i}, \quad (1.3.4)$$

სადაც:	$h_0$	არის	ჩამომეწყრის სიღრმე (მ);
	$\tau_0$	-	საწყისი წინააღმდეგობა ძვრაზე (ტ/მ <sup>2</sup> );
	$\gamma$	-	ღვარცოფის მოცულობითი წონა (ტ/მ <sup>3</sup> );
	$i$	-	ღვარცოფის ქანობი.

ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის საფუძველზე ანალოგიური საანგარიშო დამოკიდებულება მიღებული იქნა ვოინიჟ-სიანოჟენსკისა და გ. ბერუჩაშვილის მიერ [42].

$$h_i = \frac{\partial - \rho_0}{\rho} d \left( \frac{f}{\text{tg} \varphi} - 1 \right), \quad (1.3.5)$$

სადაც:	$h$	არის	ტალღის ისეთი ზღვრული სიმაღლეა, როცა ძვრის სახით ჯერ კიდევ შეუძლებელია კალაპოტის გრძივი დეფორმაცია და $d$ სისქის მქონე ზედა შრის ღვარცოფთან უწყვეტი შერევა (მ);
	$\partial$	-	ქვის მოცულობითი წონა (ტ/მ <sup>3</sup> );
	$f$	-	კალაპოტის სტატიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;
	$\rho_0$	-	წყლის სიმკვრივე $\left( \frac{\text{ბ} \cdot \text{წმ}}{\text{მ}^3} \right)$ ;
	$\text{tg} \varphi$	-	კალაპოტის დახრის კუთხე.

ექსპერიმენტული ანალიზის საფუძველზე [40] დადგენილია ღვარცოფის ტანში ძაბვების სტატიკური და დინამიკური სახით არსებობა. პირველი წარმოადგენს ძვრის წინააღმდეგობის მახასიათებელ ძალას, რომელიც ღვარცოფის მასის დამძვრის მომენტში გადაილახება, ხოლო მეორე თან მიჰყვება ნაკადს მოძრაობის პროცესში. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე სტატიკური და დინამიკური შინაგანი ხახუნის კუთხეთა მნიშვნელობები აღებულია საანგარიშო დამოკიდებულებებით.

მოძრაობის დაწყების მომენტში კრიტიკული სტატიკური შინაგანი ხახუნის კუთხე

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{(\rho - \rho_0)(1 - \varepsilon) \operatorname{tg} \varphi + c \operatorname{th} \cos \alpha_1}{\rho(1 - \varepsilon) + \rho_0 \varepsilon}. \quad (1.3.6)$$

მოძრავი ტანის დინამიკური შინაგანი ხახუნის კუთხე

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(\rho - \rho_0)(1 - \varepsilon) \operatorname{tg} \varphi}{\rho(1 - \varepsilon) + \rho_0 \varepsilon}, \quad (1.3.7)$$

სადაც:	$\rho_1$ და $\rho_0$	არის	წყლის და მყარი ნატანის სიმკვრივეა $\left(\frac{\text{ბრ} \cdot \text{წმ}}{\text{სმ}^3}\right)$ ;
	$\varphi$	–	შინაგანი ხახუნის კუთხე;
	$c$	–	ბმულობა ( $\text{ტ}/\text{მ}^2$ );
	$h$	–	დამძვრის კრიტიკული სიღრმე (მ);
	$g$	–	სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $\text{მ}/\text{წმ}^2$ );
	$\varepsilon$	–	ფორიანობა.

ხაზოვნად დეფორმადი სხეულების და დრეკადობის თეორიის გამოყენების საფუძველზე შრომაში [73] გამოყვანილია ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის წონასწორობის რღვევის ზედაპირის მოხაზულობის საანგარიშო დამოკიდებულება.

$$X = \frac{(2Z+b)\sqrt{Z^2+bZ+C}}{2m} + \frac{N}{4m} \ln \left( \frac{2Z+b+\sqrt{(2Z+b)^2+N}}{b+\sqrt{b^2+N}} \right), \quad (1.3.8)$$

სადაც:

$$m = \frac{h_0 H}{H - h_0}, \quad N = 4H(H + m) - (2H + m)^2,$$

$$b = -(m + H) \text{ და } c = H(H + m).$$

- $Z$  – ღვარცოფის მასაში სიღრმის ცვლილების კორდინატა (მ);
- $h_0$  – ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიღრმე (მ);
- $H$  – ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის კერის სიმაღლე (მ).

ღვარცოფის დამკრისა და გაჩერების განმსაზღვრელი პარამეტრების დადგენას მიეძღვნა სამეცნიერო შრომა [23].

ზემოთ აღნიშნული კრიტერიუმები დაედო საფუძვლად სამეცნიერო შრომებში ღვარცოფის ხარჯის განსაზღვრას.

მაგალითად შრომაში [23] ღვარცოფის ხარჯის საანგარიშოდ მოყვანილია ფორმულა:

$$Q = 3,72 B^{0,469} \left[ \frac{\gamma H \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \rho}{C} \right]^{0,675} \quad (1.3.9)$$

- სადაც:  $Q$  არის ღვარცოფული კერიდან ჩამომეწყრილი მასის ხარჯი ( $\text{მ}^3/\text{წმ}$ );
- $B$  – ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე (მ);
- $\gamma$  – ღვარცოფის მოცულობითი წონა ( $\text{ტ}/\text{მ}^3$ );
- $H$  – ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე (მ);
- $\varphi$  – ღვარცოფის შინაგანი ხახუნის კუთხე;
- $C$  – ღვარცოფის ბმულობა ( $\text{ტ}/\text{მ}^2$ ).

საბალანსო თანაფარდობაზე დაყრდნობით ღვარცოფულ კერებში ფორმირებული ხარჯის და მოცულობის საანგარიშოდ მიღებულია ფორმულა

$$Q = (1 + K)Q + A(1 + \zeta) \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} \sin \alpha^{0,22} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{l}{L}\right) \right] (Q_1^{1,7} - Q_0^{1,7}) \quad (1.3.10)$$

$$W_{\text{გ}} = W + A(1 + \zeta) \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} \sin \alpha^{0,22} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{l}{L}\right) \right] \left( \int_0^T Q^{1,7} dt - Q_0^{1,7} T \right), \quad (1.3.11)$$

- სადაც:  $Q, W$  არის შესაბამისად, ღვარცოფულ კერებში მოხვედრილი წყლის ხარჯი და მოცულობა

		(მ <sup>3</sup> /წმ), (მ <sup>3</sup> );
$A$	$A$	– ღვარცოფულობის კოეფიციენტი;
$K$		– ღვარცოფის ტანისა და მის წინა ფრონტს შორის სიჩქარეთა განსხვავების კოეფიციენტი;
$\zeta$		– კოეფიციენტი და მყარი შემადგენლის $Q_{ტ}$ ხარჯის, და $\varepsilon$ - ფორიანობის და მოცულობის ტენიანობის ფუნქციას წარმოადგენს $\zeta = Q/1 - \varepsilon$ ;
$\alpha, \varphi$		– შესაბამისად ღვარცოფის მასის დახრილობის და შინაგანი ხახუნის კუთხეები;
$l$		– მანძილი კერის დასაწყისიდან განსახილველ კვეთამდე (მ);
$L$		– კერის სიგრძე (მ).

ღვარცოფის დინამიკური ტიპი მის გარემოში არსებული წყლის შემცველობაზე დამოკიდებული. თუ უკანასკნელის რაოდენობა იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ ტალახოვან მდგენელს არ შეუძლია ქვის ჩანართის კარკასის ბმულ მდგომარეობაში დაჭერა ასეთი ნაკადები ქვაწყლიან თხევად ქვატალახიანს განეკუთვნება.

ღვარცოფთა ძირითადი დინამიკური მახასიათებლის სიჩქარის დამოკიდებულების გამოყვანა, რომელიც სრულად მოიცავს ნარევის ყველა ძირითად ფიზიკურ-მექანიკურ და რეოლოგიურ მაჩვენებლებს, მათ სტრუქტურაზე და ვერტიკალზე სიჩქარის განაწილების სხვადასხვა შეხედულებების გამო რთულია. აქედან გამომდინარე მკვლევართ ერთი ნაწილი მოძრაობის საგრადიენტო შრითა და გულით განიხილავს. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე მოძრაობის მოდელი, რომელიც საწყისი წინააღმდეგობის ძვრითა და სიჩქარის გრადიენტის სხვადასხვა ფორმის ჯამით არის წარმოდგენილი განსხვავებულ სახეს იღებს.

მეორე მიმართულების მეცნიერთა ღვარცოფის დინამიკაზე სხვა წარმოდგენის გამო მოძრაობის მართალია საგრადიენტო შრით განიხილავენ, მაგრამ აქვე მითითებულია ამ უკანასკნელის თანდათანობით მთელ სიღრმეზე გავრცელების შესაძლებლობა.

ღვარცოფთა მოძრაობის აღწერა ყოველთვის მექანიკის კანონებით ვერ ხერხდება და მიმართავენ სხვადასხვა დაშვებებს და სასაზღვრო პირობებს.

მაგალითად შრომაში ნაკადის ნატანით დატვირთვის შესაბამისად ადგილი აქვს ტურბულენტობის ხარისხის გაქრობას [82].

აკადემიკოს ო. ნათიშვილის მიერ მიღებული შედეგებით [82] ერთიდაიგივე პირობებში ნატან დატვირთული ნაკადი წყალთან შედარებით მდგრადია.

მიუხედავად ღვარცოფთა დინამიკური მახასიათებლების საანგარიშო დამოკიდებულებებით განსაზღვრის სიმრავლის, მონოგრაფიაში მოყვანილია იმ დამოკიდებულებათა დეტალური ანალიზი, რომლებიც მხოლოდ ბმულ ღვარცოფთა დინამიკის შესაფასებლად ოპერატიულ საშუალებას წარმოადგენს.

სატრანზიტო უბნებზე ღვარცოფის არათანაბარი მოძრაობის თავისუფალი ზედაპირის შეფასების მიზნით პრიზმატული კალაპოტებისათვის მიღებულია განტოლება [9]

$$\frac{il}{h_0} = a_1(\eta_2 - \eta_1) - (1 - I_1 a) [F(\eta_2) - F(\eta_1)] \quad (1.3.12)$$

სადაც:	$i$	არის	სატრანზიტო ქანობი;
	$l$	-	სატრანზიტო უბნის განსახილველი კვეთებს შორის მანძილი(მ);
	$h_0$	-	ნაკადის თანაბარი მოძრაობის შესაბამისი სიღრმე (მ);
	$a$	-	კოეფიციენტი და ღვარცოფის რეოლოგიურ მაჩვენებელზეა დამოკიდებული;
	$\eta_2, \eta_1$	-	კვეთში მოძრავი ნაკადის სიღრმის და მისი შესაბამისი თანაბარი მოძრაობის სიმაღლის თანაფარდობით უგანზომილებო მნიშვნელობებია.

ბმულ ღვარცოფთა დაუმყარებელი მოძრაობის მოდელის გამოყენებით დიფერენციალური განტოლებები, აღწერილია ერთჯერადი გრძივი ტალღების ფორმები [10].

$$\left. \begin{aligned} dl &= \left( V + \sqrt{\frac{Ag \omega}{aB}} \right) dt \\ dt &= \left( V - \sqrt{\frac{Ag \omega}{aB}} \right) dt \end{aligned} \right\} \quad (1.3.13)$$

სადაც:	$A$	არის	კოეფიციენტი და რეოლოგიურ მახასიათებლებზეა დამოკიდებული;
--------	-----	------	---



$g$	-	სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $\text{მ/წმ}^2$ );
$V$	-	მოდრავი ტალღის სიჩქარე ( $\text{მ/წმ}$ );
$a$	-	სიჩქარისკოეფიციენტი;
$\omega$	-	ცოცხალი კვეთის ფართი ( $\text{მ}^2$ );
$B$	-	სითხის თავისუფალი ზედაპირის სიგანე ( $\text{მ}$ ).

შვედოვ-ბინგამის მოდელის გამოყენებით შრომაში [79] მიღებულია ღვარცოფული ნაკადების თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა.

$$\bar{V} = C\sqrt{Hi} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \left(1 - \frac{tg\varphi}{tg\alpha}\right) tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \left(2,68 + 1,32 \frac{h_0}{H}\right)}, \quad (1.3.14)$$

სადაც:	$C$	არის	$\frac{1}{2}$ სიჩქარის კოეფიციენტი ( $\text{მ}^{\frac{1}{2}}/\text{წმ}$ );
	$H$	-	ნაკადის სიღრმე ( $\text{მ}$ );
	$h_0$	-	ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიღრმე ( $\text{მ}$ );
	$\varphi, \alpha$	-	ღარცოფის შინაგანი ხახუნისა და ნაკადის კალაპოტის დახრის კუთხე;
	$i$	-	ღვარცოფსადინარის ქანობი;

სატრანზიტო უბნებში ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების დასახასიათებლად მის კრიტიკულ მახასიათებლებს გააჩნით განსაკუთრებული მნიშვნელობები შრომაში [1, 6, 7, 29, 42, 59, 63] კალაპოტის ფორმების გათვალისწინებით მიღებულია კრიტიკული სიღრმის, ქანობის, სიჩქარის, ხარჯის მოცულობის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

შატრანზიტო უბნებზე საინჟინრო ღონისძიებათა შერჩევის მიზნით შრომაში მოყვანილია დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულება.

$$R = \frac{4E^3 gb}{\gamma^2 V_1^2} \left(1 - \frac{h_0}{h_1}\right) \left(\frac{\sigma}{1 - \sigma}\right) tg^2\left(45^\circ - \frac{h}{2}\right) \quad (1.3.15)$$

სადაც:	$E$	არის	წყლის დრეკადობის მოდული ( $\text{ტ/მ}^2$ );
	$g$	-	სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $\text{მ/წმ}^2$ );
	$b$	-	ღვარსადინარის სიგანე ( $\text{მ}$ );

$V$	-	ღვარცოფის ნაგებობასთან მისვლის სიჩქარე;
$h_0$	-	შინაგანი ხახუნის კუთხე;
$\varphi$	-	ნაკადის ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე (მ);
$h_1$	-	ღვარცოფის სიღრმე (მ);
$\gamma$	-	ღვარცოფის მოცულობითი წონა (ტ.ძ./მ <sup>3</sup> );
$\sigma$	-	გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი.

ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე პროცესების და მათი სარეგულაციო ღონისძიებების საპროექტო პარამეტრების დაზუსტებას მიეძღვნა შრომები, სადაც მდგრადი ფორმების შეფასების მიზნით გამოყვანილია განტოლებები [2, 3, 4, 6, 7, 42, 46]

$$\frac{B}{H} = \frac{2P}{h_0} \left( K_1 - \frac{h_0}{2} \ln K_2 \right), \quad (1.3.16)$$

სადაც:	$B, H$	არის	კალაპოტის სიგანე და შესაბამისი სიღრმე (მ);
	$K, K_2$	-	კოეფიციენტები და ნაკადის რეოლოგიურ მახვენებელზე დამოკიდებული;
	$h_0$	-	ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე (მ).

ზემოთ მოყვანილი საანგარიშო დამოკიდებულებებით ღვარცოფული პროცესების მახასიათებლების შეფასებით შესაბამისი შედეგებით სრულად ვერ ხდება მოვლენის სურათის სრული წარმოჩენა. ზემოთ აღნიშნული განაპირობებს მისი არასტაციონალურობის და განსაზღვრული პარამეტრების უფრო მკაფიო გათვალისწინებას მიმდინარე პროცესებზე და მის როლს ნაგებობებზე ნაკადის ძალური მოქმედებები პროგნოზირების დროს.

## თავი 2.

### ღვარცოფული პროცესების შეფასების საველე კვლევის შედეგები

#### 2.1 ღვარცოფთა მონიტორინგი და მათ სადინართა ეკოლოგიური მდგომარეობა

ეკოლოგიური სტაბილურობის მდგრადობის რღვევის პროცესებზე ბუნების სტიქიურ გამოვლინებათა შორის ღვარცოფებს განსაკუთრებული ადგილი უკავია. მოვლენების სირთულის გამო მიუხედავად არსებული საანგარიშო მოდელების სიმრავლისა და პროცესებთან მათი ადაპტირებისა, მოვლენა იმდენად რთულია და ისეთი გამოვნილებები გააჩნია, აუცილებელი ხდება მათი მონიტორინგისა და სარისკო სიტუაციების ახალი მასალებით შევსება.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე მოვლენის სწორად წარმოჩენის მიზნით საკვლევ ობიექტებად აღებულია ის ღვარცოფსადინარები და მათი წარმოშობის კერები, სადაც ღვარცოფულ პროცესებს ინტენსიური ხასიათი გააჩნია და მოვლენას განმეორებადობის სიხშირის მიხედვით მკვეთრად გამოხატული სახე გააჩნია.

ღვარცოფსადინარებში გავლილი ნაკადების შესაფასებლად და მათ მახასიათებლებზე ნათელი წარმოდგენის მიზნით საველე კვლევის საფუძველზე შესწავლილი და შეფასებული იქნა ზოგიერთი ღვარცოფსადინარების მდგომარეობა და მასში გავლილი ღვარცოფთა ზოგიერთი მახასიათებლების მონიტორინგი.

ღვარცოფთა სიმძლავრის, ტრანსპორტუნარიანობის, მოსალოდნელი დამანგრეველი შესაძლებლობის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების, კალაპოტის მორფომეტრიული მაჩვენებლების ცვლილების ხეიდან ნაკადის გამოსვლის ადგილებს, კერძოდ გამოტანის კონუსების აღწერა და მათი მდგომარეობის მონიტორინგის შეფასება უფრო ნათლად წარმოაჩენს მოვლენის არსს.

ქვემოთ მოყვანილია იმ ღვარცოფსადინართა შეწყვეტაზე ფიქსირებული მონაცემები, რომლებიც შემდგომშიც შეიძლება მათი შესწავლის კლასიკურ ლაბორატორიებად ჩაითვალოს. მონიტორინგი ტარდებოდა ნაშომის შესრულების პერიოდში.

მდინარე დურუჯის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფის ზემოქმედებით დანგრეულია ყრუ კაშხალი, რომლის

გავლის კვალი 3-4 მ-ის ფარგლებში მერყეობს. ასევე მდინარე დურუჯის სანაპიროზე კედლიდან დაცილებით ფიქსირებულია ღვარცოფის 10-12 მ-ს სიმაღლის კვალი.

განსაკუთრებულ ინტერესს იძენს ღვარცოფთა სიმძლავრის მახასიათებლები მოხვეულ უბნებზე. მათი კვალის მიხედვით აღმოჩნდა, რომ იმ ადგილებში სადაც კალაპოტის სიგანე 7 მეტრია და ფუძის სიბრტყესთან დახრილია  $15-20^{\circ}$  ფარგლებშია დახრილი, ღვარცოფის მოძრაობის სიღრმე 10 მ-ს შეადგენდა.

ტრანსპორტუნარიანობის შეფასების მიზნით მდინარე დურუჯის კალაპოტში 400 მ-ზე მანძილზე 63,4 მეტრი წონის ტრანსპორტირებული ქვა არის დაფიქსირებული. მდინარე დურუჯის ხეობებში ადგილი აქვს აგრეთვე თოვლის ზვავების მოქმედების შემთხვევებს. ღვარცოფსადინარებს გააჩნიათ გამოტანის კონუსები: მაგალითად უკანა ქორელის ხევში მისი სიგრძე 30 მ-ს შეადგენს, ხოლო სიგანე 25 მ-ს და გამოტანის კონუსი ხასიათდება ფუძესთან დახრის კუთხით  $20^{\circ}$ -ით, ხოლო კალაპოტის დაფერდების კუთხე  $7^{\circ}$ -ის ტოლია.

ღვარცოფთა გავლის კვალი 300 მ-ით დაცილებული მდინარე თეთრი დურუჯის კალაპოტიც შეიმჩნევა მდინარე დურუჯის შესასვლელთან.

მდინარე არაგვის წყალშემკრებ აუზში თეთრი არაგვის შენაკადის ხადისწყალის კალაპოტში ეროზიული მოქმედების შედეგად სანაპირო დეზები მწყობრიდანაა გამოსული. მდინარე მლეთის ხევში დაფიქსირებული ღვარცოფის გამოტანის კონუსის სიგანე 500 მ-მდე აღწევს, ხოლო კონუსზე გამოტანილი მყარი დანალექის მოცულობამ დაახლოებით  $110\ 000\text{ მ}^3$ -ის ტოლია.

მდინარე ენგურის აუზში მესტიაჭალის შენაკადის კერძოდ კაორლოს დელეში ადგილი ჰქონდა აქტიურ ღვარცოფულ პროცესს, რომლის შედეგად დაიმარხა 4 საკარმიდამო ეზო და საცხოვრებელი სახლი მწყობრიდანაა გამოსული. აღნიშნულ შემთხვევაში ღვარცოფი მოძაობდა 3-4 მ-ის სიღრმით. აქტიური ღვარცოფული პროცესები აგრეთვე ფიქსირებულია ლაღამის ხევში, სადაც ნაკადის მოძრაობა 2 მ-ი სიმაღლის ტალღით, ხოლო ტრანსპორტირებული ქვის წონა დაახლოებით 10 ტონას შეადგენდა.

მესტია-ჭუბერის გადასახვევზე შენიშნეს 40-მდე ჩამომეწყრილი ადგილები, რომელიც შემდგომში შეიძლება ღვარცოფთა ჩამოყალიბების კერაც გახდეს.

მდინარე ცხენის წყლის წყალშემკრებ აუზში ქალაქ ქუთაისიდან სოფელ ოფიტრამდე დაფიქსირებულია 12-მდე ჩამონგრეულ-ჩამოშლის ადგილები.

ღვარცოფული მოვლენების შედეგად დაფიქსირებულია საავტომობილო გზების გადაკვეთის და ხიდების ნგრევის საკარმიდამო ნაკვეთების მწყობრიდან გამოსვლის სხვადასხვა შემთხვევები. აღნიშნულ შემთხვევებში ნაკადის სიმაღლე 1,5 მ-ის ფარგლებში, ხოლო ქანობი 6-7<sup>0</sup>-ს ფარგლებშია დაფიქსირებული. მდინარე ლასკადურის ეროზიული მოქმედების შედეგად მის გამოტანის კონუსზე გამორეცხილია საყრდენი კედლების სამირკველი და დასახლებული პუნქტისათვის საშიში კერაა შექმნილი.

მდინარე რიონის წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფული პროცესების შედეგად დაფიქსირებულია მოსახლეობის საცხოვრებელი სახლების ნგრევის, სანაპირო ზოლის გამორეცხვის, გზების გადაკვეთის სხვადასხვა შემთხვევები.

მდინარე აჭარის წყლის წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფებმა ინტენსიური ხასიათი მიიღო. აქტიური ეროზიული ღვარცოფული პროცესებით გამოირჩევა მდინარე სხლეთის, მდინარე ყონჩაურის, ჩანჩურას ხევის ღვარცოფსადინარები. 1989 წელს ღვარცოფმა მთლიანად დაფარა სოფელი და დაიღუპა 28 ადამიანი.

მდინარე ვერეს ხეობის მარცხენა შენაკადზე თხინვალას ხეობაში ფორმირებულმა ღვარცოფმა დაანგრია საცხოვრებელი სახლები და ადგილი ჰქონდა დიდძალი მყარი მასის გამოტანის ფაქტს.

ზემოთ მოყვანილი მასალით დასტურდება, რომ საქართველოს მდინარეთა წყალშემკრებ აუზში თითქმის არ არსებობს წყალსადინარები, სადაც ადგილი არ აქვს ღვარცოფულ პროცესს. ჩატარებული კვლევები საშუალებას იძლევა შეფასდეს სტიქიურ მოვლენათა პრაქტიკული და მოსალოდნელი რისკის რანჟირება. დაზიანებული ობიექტების და მოსალოდნელი რისკის კატეგორიების მიხედვით შესაძლებელი იქნება მათი სარეგულაციო ღონისძიებათა სწორად შერჩევა.

## **2.2 ღვარცოფის მოსალოდნელი მოცულობის განსაზღვრის თეორიული საფუძვლები**

ღვარცოფული კერები და მასში დაგროვილი ღვარცოფწარმომ-ქმნელი მასის ზღვრული წონასწორობის დარღვევა გამოტანის კონუსზე და სატრანზიტო უბნებში

განლაგებული მიწის რესურსების, დასახლებული პუნქტების სასოფლო სამეურნეო ობიექტების, რკინიგზებისა და საავტომობილო გზების მწყობრიდან გამოყვანის ერთ-ერთ პოტენციურ საშიშროებას წარმოადგენს.

კვლევის არსებული მასალები და სტატისტიკური მონაცემები მოწმობს, რომ კერებში ჩამოყალიბებული ღვარცოფდამცავის გარღვევის შემთხვევაში მისი მახასიათებელი კერძოდ მოსალოდნელი ხარჯის სიღრმის და სიჩქარის დროში ცვლილების კანონზომიერება მათი გავლენის ზონების გამოყოფის და კატასტროფისაგან დაცვის საგანგებო ღონისძიებების მიღების განმსაზღვრელ პირობას წარმოადგენს.

მოსალოდნელი კატასტროფის მასშტაბების გაუთვალისწინებლობა ისეთი რეგიონისათვის როგორც საქართველოა, სადაც ღვარცოფულ მოვლენებს განსაკუთრებული ადგილი უკავია, საკითხი არ კარგავს თავის აქტუალობას, ამაზე მიუთითებს ის უამრავი მაგალითები რომელიც ახლავს მოვლენას.

ღვარცოფსაცავებში დაგროვილი მყარი მასის გარემოში აქტიურ ძაბვების გავლენით თუ არ ხდება შინაგანი კავშირების რღვევა მაშინ იგი ინარჩუნებს უწყვეტი გარემოს მქონე სხეულის თვისებებს და მათი კრიტიკული მახასიათებლების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები

ძირითადად ზღვრული წონასწორობისა და შვედოვ-ბერგამის თეორიულ მოდელებზეა დაფუძნებული.

კერებიდან დაძრული ღვარცოფული მასის დროში ცვლილების კანონზომიერების შეფასება სატრანზიტო და გამოტანის კონუსებზე განლაგებული საინჟინრო ღონისძიებათა მზიდუნარიანობის შეფასების და ნაგებობის მდგრადობის განმსაზღვრელ პირობად შეიძლება ჩაითვალოს.

ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში და დაგროვილი მასის წონასწორული მდგომარეობის კრიტერიუმების პროგნოზით და მოძრაობის დაწყების მახასიათებლების დროში ცვლილების კანონზომიერებით შეფასებით შესაძლებელია მათი მდგრადობის დარღვევის გამომწვევი მიზეზების ფორმულირება და შეფასება.

ღვარცოფსაცავისაგან მისი ტანის დაძვრა და სატრანზიტო უბანზე დაუმყარებელი მოძრაობის კანონზომიერებების აღწერის მიზნით შესაძლებელია გამოყენებული იქნას გრუნტების მექანიკის ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლებები, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს პირობებს:

1. სიჩქარის ვერტიკალური და განივი მდგენელების გრძივ მდგენელთა შედარებით სიმცირის გამო მათი გავლენა პროცესზე მხედველობაში არ მიიღება;
2. ტალღის სიგრძესთან შედარებით მისი სიღრმის უმნიშვნელო სიდიდის გამო წნევის განაწილება სიღრმეში ჰიდროსტატიკურის ანალოგიურად ჩაითვალოს;
3. ენერჯის კარგვები წინააღმდეგობათა გადალახვაზე დამყარებული თანაბარი მოძრაობის ანალოგიურად შეფასდეს.

კერებში არსებული ღვარცოფული ტანის მყისიერად გარღვევის შემთხვევაში წარმოქმნილი ნაკადის ხარჯის საანგარიშოდ შესაძლებელია გამოყენებული დამოკიდებულება

$$\frac{dw}{dt} = -q, \quad (2.2.1)$$

სადაც:  $q$  არის ღვარცოფწარმოქმნელი კერის დასაწყისიდან დაძრული ხარჯი (მ<sup>3</sup>/წმ);

$w$  – ღვარცოფსაცავის მოცულობა (მ<sup>3</sup>);

$t$  – ღვარცოფსაცავის დაცლის დრო (წმ);

რადგან ღვარცოფსაცავიდან დაძრული მოცულობა დროისა და ხარჯის ნამრავლის ფუნქციას წარმოადგენს

$$dw = qdt + tdq, \quad (2.2.2)$$

თუ (2.2.2)-ს გათვალისწინებით (2.2.1)-ში გვექნება

$$\frac{dw}{dt} = q + t \frac{dq}{dt}, \quad (2.2.3)$$

ე.ი.

$$-2q = t \frac{dq}{dt}, \quad (2.2.4)$$

(2.2.4) განტოლება კერიდან დაძრული ღვარცოფის ხარჯის პირველი რიგის დიფერენციალურ განტოლებას წარმოადგენს.

მე-(2.2.4) განტოლებაში ცვლადთა გატოლებით და ინტეგრებით გვექნება.

$$-2 \ln t = + \ln q + c, \quad (2.2.5)$$

ინტეგრების მუდმივას განსაზღვრის მიზნით დამკრის დრო როცა  $t = t_0$   
 $w = w_0$  და შესაბამისად

$$c = 2 \ln t_0 + \ln q, \quad (2.2.6)$$

ე.ი.

$$2 \ln t = -\ln q + 2 \ln t_0 + \ln q_0. \quad (2.2.7)$$

(2.2.7) განტოლების მსგავსი წევრების დალაგებით გვექნება

$$\left( \frac{t}{t_0} \right)^2 = \frac{q_0}{q}. \quad (2.2.8)$$

(2.2.8) განტოლებიდან შეიძლება განისაზღვროს ღვარცოფული კერიდან დაძრული ნაკადის ხარჯი.

$$q = \frac{t_0 ABH^\alpha}{t^2}, \quad (2.2.9)$$

სადაც:	$q$	არის	ღვარცოფწარმოქმნილი კერიდან და ძრული ნაკადის ხარჯი ( $\text{მ}^3/\text{წმ}$ );
	$A$	-	კოეფიციენტი და დამოკიდებულია ღვარცოფის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე;
	$B$	-	ღვარცოფსაცავის სიგანე მის საწყის კვეთში (მ);
	$t_0$	-	ღვარცოფის დამკრის საწყისი დრო (წმ);
	$H$	-	ღვარცოფწარმოქმნილი კერების დასაწყისში წარმოქმნილი ნაკადის სიღრმე (მ);
	$t$	-	კერიდან დაძრული ღვარცოფული ტანის მოძრაობის დრო (წმ).

როგორც (2.2.9) დამოკიდებულების ანალიზიდან ჩანს, რომ ღვარცოფსაცავიდან წარმოქმნილი ნაკადის ხარჯის დროში ცვლილება მრავალი ფაქტორის ფუნქციას წარმოადგენს და მასში შემავალი  $A$  და  $\alpha$  სიდიდეების განსაზღვრა სპეციალურ კვლევების ჩატარებას საჭიროებს.

### 2.3 საველე ექსპერიმენტების ბაზაზე ღვარცოფის დამკრის მოცულობის პროგნოზი



ღვარცოფთა ფორმირების კლასიკურ რეგიონად შეიძლება ჩაითვალოს მდინარე არაგვის წყალშემკრები აუზი, სადაც შენაკადთა თითქმის 90% ღვარცოფულ ხასიათს ატრებს.

ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვილი მასის დაძაბული, წონასწორული მდგომარეობა ფერდის ფორმებზეა დამოკიდებული, დაგროვილი მასის ფერდის დახრილობის ცვლილება შეიძლება კატასტროფის მიზეზიც გახდეს.

ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მყარი მასის ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის შეფასება, შესაძლო ჩამომეწყრისა და ნარჩენ მასას შორის გამავალი ზედაპირის გამოყოფა, დაძაბულობის თეორიის გამოყენებით ან ამ ფართობთა თანაფარდობის საფუძველზეა შესაძლებელი. ზღვრული წონასწორობის ზღვარზე გამავალი ზედაპირის დადგენით შესაძლებელი იქნება პროგნოზი გაუკეთდეს მოსალოდნელ კატასტროფას.

ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის ზედაპირის ფორმირების მიზნით გამოყენებული იქნა საველე კვლევების შედეგები.

არსებული მასალების ანალიზის საფუძველზე პირველი მიახლოებით მიჩნეულია, რომ კერებში დაგროვილი ღვარცოფის ტანის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი იმ კუთხის ტანგესის ტოლია, რომელსაც იგი ქმნის ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან.

მისი მნიშვნელობით განისაზღვრება ჩამომეწყრილი მასის მოცულობა. ჩამომეწყრილი მასის მოცულობის განსაზღვრის და შეფასების მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნეს ბუნებაში არსებული ღვარცოფის ზედაპირის პროფილები. შინაგან ხახუნის კუთხესა და ჩამომეწყრის კუთხეს შორის შინაარსით ურთიერთ შებრუნებული ხასიათი აქვს. წინააღმდეგობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა როცა ჭარბობს ჩამომეწყრის კოეფიციენტის მნიშვნელობას ღვარცოფული მასა ინარჩუნებს მდგრად მდგომარეობას, ხოლო როცა იგი ნაკლებია ჩამომეწყრის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე, ხდება ზღვრული წონასწორული წრფის ჰორიზონტისაკენ დაწევა და ჩამომეწყრის მოცულობის გაზრდა. ტოლობის შემთხვევაში ადგილი აქვს მასის ზღვრულ წონასწორულ მდგომარეობას.

იმის და მიხედვით მელიორაციის რა სახის ამოცანა წყდება, მშენებლობის, ჰიდრაულიკის ტექნოლოგიის თუ ჰიდროლოგიის, კონკრეტული შემთხვევისათვის ყოველი მოვლენის შესწავლა მოითხოვს სპეციალური კვლევების ჩატარებას. რადგან

შინაგანი ხახუნის კუთხე წარმოადგენს ჩამომეწყრის კუთხის შებრუნებულ სიდიდეს და ამავე დროს მისი განსაზღვრის შესაძლებლობა შედარებით უფრო ადვილად შეიძლება მოხდეს ამისათვის გამოყენებული იქნა მდინარე არაგვის შენაკადთა აერო ფოტო მასალები, რომლის საფუძველზე აგებული იქნა შესაკადების ჩადისციხის-ხევის, ქვემო-ამირთხევის, ზემო-ამირთხევის და დიდი ქიმზარიანის, გამოტანის კონუსების გრძივი პროფილები.

ზემოთ დასახელებულ შენაკადთა წყალშემკრები აუზების მახასიათებლების დახასიათება მოცემულია ცრილის სახით (ცხრილი №2.3.1). აქვე განსაზღვრული იქნა იმ შენაკადთა გამოტანის კონუსებზე ღვარცოფული მასის გრანულომეტრიული ანალიზი ცხ. № 2.3.2.

**მდინარე არაგვის შენაკადთა წყალშემკრები აუზის მახასიათებლები**

**ცხრილი №2.3.1**

№	შენაკადების დასახელება	წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ²)	შენაკადის სიგრძე (კმ)	შენაკადის საშუალო კანობი	დასაწყისი	შესართავი	ღვარცოფის კერის ფართი (მ²)	გამოტანის კონუსის მახასიათებელი				
								ფართობი (მ²)	სიგრძე (მ)	საშუალო კანობი (γ)	მაქსიმალური სიგრძე (მ)	მაქსიმალური სიღრმე (მ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	ჩადისციხის ხევი	1.3	1.7	0.38	1720	1040	0.42	67150	450	0.15	400	2.5
2	ქვემო ამირთხევი	0.96	1.2	0.31	1540	1060	0.1	7000	125	0.25	130	4.0
3	ზემო ამირთხევი	1.87	2.5	0.264	1740	1080	0.13	10500	225	0.169	-	5.5
4	დიდი ქიმზარიანი	2.0	2.6	0.36	2080	1360	0.40	94500	560	0.20	150	7.0

წონითი გრანულომეტრიული ანალიზი მდინარე არაგვის

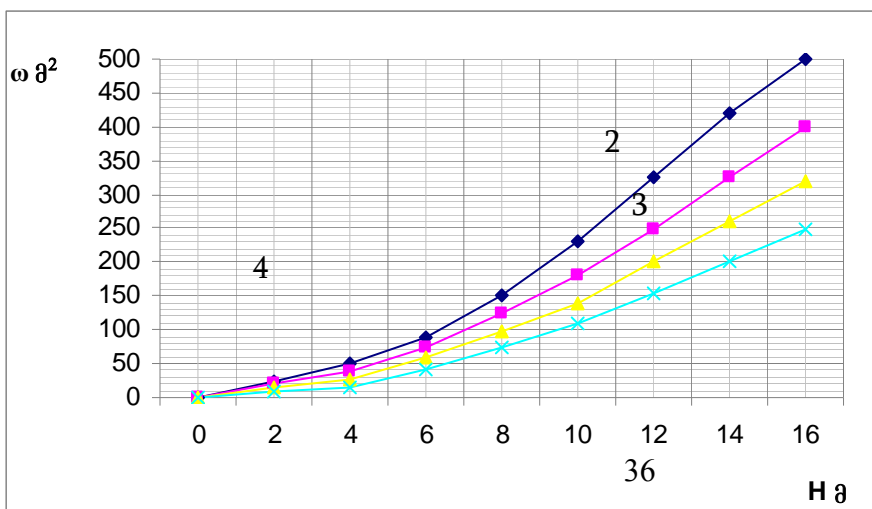
შენაკადთა გამოტანის კონუსებზე

ცხრილი № 2.3.2

№	შენაკადების დასახელება	ნიმუშის საერთო წონა	ფრაქციათა ზომები (მმ)									
			<1	1-3	3-10	10-15	15-20	20-30	30-95	95-120	120-200	>200
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	ჩადისციხის ხევი	8.89	13.40	3.50	8.20	3.60	2.60	3.10	13.10	7.40	4.70	30.30
2	ქვემო ამირთხევი	52.2	5.10	4.50	7.00	3.15	2.10	2.80	11.85	5.50	4.50	5.20
3	ზემო ამირთხევი	40.4	3.30	2.70	7.00	3.35	2.20	3.70	12.10	2.30	-	3.75
4	დიდი ქიშარიონი	59.35	13.0	2.50	2.00	10.70	3.90	4.30	10.85	3.00	3.70	5.40

ჩამომეწყრის ფართობის განსაზღვრის მიზნით დიდი ქიშარიონის გამოტანის კონუსის სიგანეზე შერჩეულია მახასიათებელი კვეტები და შესართავიდან მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით აგებულია გრძივი პროფილები. აქვე პროფილიდან ზედაპირის ფორმის მიხედვით განსაზღვრული იქნა შინაგანი ხახუნის მასის კუთხის შუალედური მნიშვნელობები და აგებული იქნა გრაფიკები ჩამომეწყრის ფართობსა და სიღრმეს შორის.

გრაფიკების აგების დროს მოცულობითი წონა  $\gamma = 2 ; \text{ტ/მ}^3$ . დამოკიდებულების გრაფიკები  $\omega = f(H)$ , მოცემულია ნახაზზე 1 2.3.1.



**ნახ. 2.3.1 გრაფიკული დამოკიდებულება. ჩამომეწყრის ფართობსა და სიღრმეს შორის  $\omega = f(H)$ , როცა  $\gamma = 2$ ; ტ/მ<sup>3</sup>.**

1.  $\varphi = 35^\circ$ ; 2.  $\varphi = 25^\circ$ ; 3.  $\varphi = 15^\circ$ ; 4.  $\varphi = 5^\circ$ .

ჩატარებული კვლევები და გრაფიკული დამოკიდებულებიდან გამოიკვეთა ჩამომეწყრის ფართობის ფუნქციონალური კავშირი  $\omega = f(H, \varphi)$  შინაგანი ხახუნის კუთხისა და სიღრმის ფუნქციას წარმოადგენს.

თეორიულად ჩამომეწყრის ფართობის განსაზღვრის დროს შეიძლება გამოყენებული იქნას მაჩვენებლიან ფუნქციონალური

დამოკიდებულება. კავშირი ჩამომეწყრის სიღრმესა და მისი გავრცელების სიღრმეს შორის განისაზღვრება მაჩვენებლიანი დამოკიდებულებით

$$Y = ax^b, \tag{2.3.1}$$

სადაც:  $Y$  არის ჩამომეწყრის სიღრმის ცვლილების კოორდინატი (მ);

$a$  და  $b$  – კოეფიციენტებია და დამოკიდებულია ღვარცოფული ტანის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე;

$d$  – ჩამომეწყრის გავრცელების სიღრმეა (მ).

ჩამომეწყრის ფართობი, როცა  $a > 0$  და  $b > 0$

$$S = Hl - \int_0^l ax^b dx. \tag{2.3.2}$$

ე.ი.

$$S = H \left( \frac{H}{a} \right)^{\frac{1}{b}} - \frac{al^{1+b}}{1+b} \tag{2.3.3}$$

რადგან,

$$H = al^b \tag{2.3.4}$$

და

$$l = \left( \frac{H}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

ჩამომეწყრის ფართობის სიღრმესთან კავშირი

$$S = \frac{ab}{1+b} \left( \frac{H}{a} \right)^{\frac{1+b}{b}} \quad (2.3.5)$$

(2.3.5.) დამოკიდებულებაში  $a$  და  $b$  კოეფიციენტების განსაზღვრის მიზნით გამოყენებული იქნა გრაფიკული დამოკიდებულებები, რომლის საფუძველზე ცალკეული შემთხვევებისათვის ჩამომეწყრის ფართობი განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$S_1 = 1,68H^{1,822}, \text{ როცა } \varphi = 35^\circ \quad (2.3.6)$$

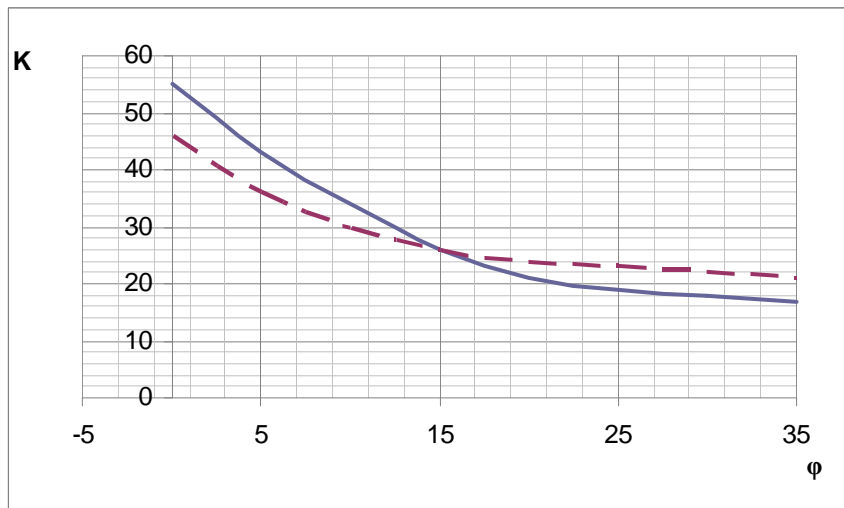
$$S_2 = 2,04H^{1,822}, \text{ როცა } \varphi = 25^\circ \quad (2.3.7)$$

$$S_3 = 2,61H^{1,822}, \text{ როცა } \varphi = 15^\circ \quad (2.3.8)$$

$$S_4 = 3,37H^{1,822}, \text{ როცა } \varphi = 5^\circ \quad (2.3.9)$$

(2.3.6), (2.3.7), (2.3.8), (2.3.9) დამოკიდებულებებიდან ჩანს ჩამომეწყრის ფართობი შინაგანი ხახუნის კუთხისა და სიღრმის ფუნქციას წარმოადგენს ე.ი.  $S=K(H,\varphi)$ .

ჩამომეწყრილი მასის სრული ფართობის განსაზღვრა  $K=f(\varphi)$ -თან ან  $K=f(\operatorname{tg}\varphi)$  კავშირშით ხდება და ამ სიდიდის განსაზღვრის მიზნით გამოიყენება (2.3.2) მოცემული გრაფიკული დამოკიდებულება, რომლის საფუძველზე



ნახ. 2.3.2 გრაფიკული დამოკიდებულება  $K = f(\varphi)$  ან  $K = f(\operatorname{tg}\varphi)$ ;

\_\_\_\_\_ ფორმულით; ----- ექსპერიმენტით;

შინაგანი ხახუნის კუთხის შემთხვევაში

$$K = \frac{171,4 + \operatorname{tg} \varphi}{1,7 + 40,9}, \quad (2.3.10)$$

შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის შემთხვევაში

$$K = \frac{1,00 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,160 + \operatorname{tg} \varphi}. \quad (2.3.11)$$

(2.3.10) და (2.3.11) დამოკიდებულებების გათვალისწინებით ჩამომეწყრის ფართობის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე

1. შინაგანი ხახუნის კუთხესთან კავშირში

$$S = \frac{171,4 + \varphi}{40,9 + 1,79} H^{1,822} \quad (2.3.12)$$

2. შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტთან კავშირში

$$S = \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{1,822} \quad (2.3.13)$$

როცა ჩამომეწყრის ფართობი განისაზღვრება (2.3.13) მაშინ დამოკიდებულებით განსაზღვრული აღნიშვნის საფუძველზე  $A = \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi}$ , ჩამომეწყრის მოცულობის

საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$W_0 = ABH_0^{1,82} \quad (2.3.14)$$

სადაც:  $B$  არის ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე.

როგორც (2.3.14) დამოკიდებულების ანალიზიდან იკვეთება ღვარცოფული კერიდან დამრული ღვარცოფის მოცულობა შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის კერის სიგანის და კერის სიღრმის ფუნქციას წარმოადგენს.

## 2.4 საველე კვლევის საფუძველზე ღვარცოფის ჩამომეწყრის ფართობის სტატისტიკური ანალიზი

იმ შემთხვევაში, როდესაც შესწავლილ პროცესზე დაკვირვებით რიგი არ აღემატება 25-30-ს მათი ამონაკრების შეფასება შერჩევითი დისპერსიის შესწორებითა და სტრუქტურურობის განაწილების კანონის გამოყენებით ხორციელდება. ე.ი. მცირე ამონაკრების შესწორებული დისპერსია ტოლი იქნება

$$S^2 = \sigma_x^2 \cdot \frac{n}{n-1}. \quad (2.4.1)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (2.4.2)$$

ამონაკრებთა საშუალო არითმეტიკული ცდომილების ანუ სტანდარტის მნიშვნელობა

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{n-1}}, \quad (2.4.3)$$

სადაც:  $\sigma$  არის საშუალო კვადრატული გადახრა.

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum(x_j - \bar{x})^2}{n}}. \quad (2.4.4)$$

ნორმირებული გადახრა, სტრუქტურული კრიტერიუმი,  $t$  ანუ სტანდარტული ცდომილება ( $\Delta$ ) განისაზღვრება დამიკიდებულებით

$$t = \frac{x - \bar{x}}{Sx} = \frac{\Delta}{Sx} \quad (2.4.5)$$

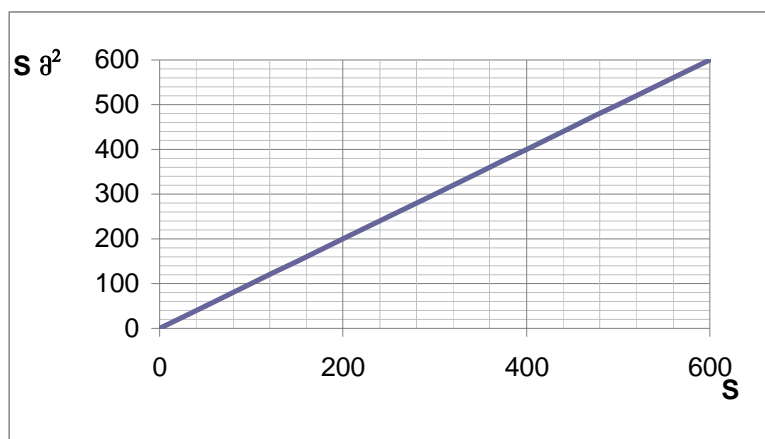
კორელაციური კავშირის კოეფიციენტი ექსპერიმენტით და ფორმულით მიღებულ შედეგებს შორის გამოისახება ფორმულით

$$r = \frac{\sum(S_{1i} - \bar{S}_1)(S_{0i} - \bar{S}_0)}{\sqrt{\sum(S_{1i} - \bar{S}_1)^2 \sum(S_{0i} - \bar{S}_0)^2}}, \quad (2.4.6)$$

სადაც:  $S_{1i}$  არის ექსპერიმენტით მიღებული ჩამომეწყრის ფართობები ( $m^2$ );  
 $S_{0i}$  – ფორმულით გაანგარიშებული ჩამომეწყრის ფართობების

მნიშვნელობები (მ<sup>2</sup>).

რამდენადაც ჩამომეწერის ფართობის შეფასების შემოთავაზებული ფორმულა სხვადასხვა შემადგენლობის ღვარცოფცარმომქმნელი გრუნტების შეფასების უნივერსალობაზე არ აცხადებს პრეტენზიას, იგი შეიძლება ბმული ღვარცოფის მოსალოდნელი ხარჯის საპროგნოზოდ გამოყენებული იქნას, როცა შინაგანი ხახუნის კუთხე  $\varphi$ ,  $5 \div 35\%$ -ის ფარგლებში იცვლება.



**ნახაზი №2.4.1. გრაფიკული დამოკიდებულება  $S_{\text{ფ}} = f(S_{\text{გ}})$**

*ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებსა და ფორმულით გაანგარიშებულ მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულების კორელაციის კოეფიციენტი*

$$r = \frac{\sum (s_{i1} - \bar{s}_1)(s_{0i} - \bar{s}_0)}{\sqrt{\sum (s_{i1} - \bar{s}_1)^2 \sum (s_{0i} - \bar{s}_0)^2}} = \frac{592658,5}{\sqrt{553668,4 \cdot 59661771}} = \frac{552658,5}{744,1 \cdot 772,4} = \frac{742,72}{772,4} = 0,96$$

ე.ი. კორელაციის კოეფიციენტი  $r = 0,96$

საშუალო კვადრატული გადახრა

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1,80}{3,1}} = 0,25$$

საშუალო მნიშვნელობის ცდომილება  $\sigma_y$

$$\sigma_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{n}} = \frac{0,25}{5,65} = 0,044$$

**თავი 3.**

**კერებში ფორმირებული ღვარცოფის**

**მახასიათებლების განსაზღვრა**



### 3.1 ღვარცოფის, სიღრმის, სიჩქარის და ხარჯის

#### დროში ცვლილების პროგნოზი

ბმული ღვარცოფებიდან ობიექტების დაცვის და საინჟინრო გადაწყვეტების შერჩევა კერებიდან ჩამოყალიბებული ნაკადების ჰიდრავლიკური მახასიათებლების პროგნოზირების საფუძველზე უნდა განხორციელდეს.

უკანასკნელ პერიოდში ბმული ღვარცოფების ფორმირების და მოძრაობის კანონზომიერების ცვლილების მექანიზმის შესწავლასა და მათთან ბრძოლას საინჟინრო გადაწყვეტის საკითხებს გადაწყვეტს მრავალი მეცნიერ-მკვლევარის მრავალრიცხოვანი შრომები [2, 3, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 30, 40, 41, 43, 44, 47, 50, 57, 77, 83, 92, 100].

მოძრავი ბმული ღვარცოფის ფიზიკაზე სრული წარმოდგენა სატრანზიტო უბანზე მათი დინამიკის ცვლილების კანონზომიერების შეფასების საშუალებას იძლევა.

არსებული კონცეფციებიდან გამომდინარე მთავარი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის ღვარცოფსადენებში გავლილი მაღალი სიმკვრივის ნაკადების ანალიზით მონოგრაფიაში [47] აღწერილია ღვარცოფთა მოძრაობის განსაკუთრებულობა. ხევიდან გამოსვლის მომენტში ნაკადი მაშინ იცვლის დინამიკურ ღერძს როცა სარეგულაციო ღონისძიებები ნაკადთან დაყენებულია 15%-ზე მეტი კუთხით.

ღვარცოფთა კვეთიდან კვეთში მოძრაობის დროს ძვრის დეფორმაციები მცირდება, რაც მრავალი ნაკლებად შესწავლილი ფაქტორის გავლენის გათვალისწინებას საჭიროებს. შერჩეულ მოდელებში მხედველობაშია მისაღები წინააღმდეგობის ძალებით ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობებით გამოწვეული ცვლილებები ნაკადის მოძრაობის პროცესზე და მათი გავლენა მოძრაობის შეწყვეტის შესაძლებლობაზე.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტა თავისი არსით დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული და ზოგიერთი დაშვებების და დამატებითი გამარტივებული გამოსახულებების შემოყვანას საჭიროებს, რომლის საფუძველზეც შეიძლება კერებიდან დაძრული მასის მახასიათებლების დროში პროგნოზირება განხორციელდეს.

ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის ბუნება, როგორც დროში ისე სატრანზიტო უბანზე კარგად აღწერს მის ბუნებას ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის სახეს, რომელიც სიჩქარის და ხარჯის ცვლილებით არის გამოწვეული.

ნაკადის დაძვრის მომენტიდან ჰიდრავლიკური მახასიათებლების დროში ცვლილება ერთ-ერთ აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს და იგი პროცესში მონაწილე მრავალი ურთიერთდამოუკიდებელი ფაქტორის ცვლილების კანონზომიერების დადგენას და გათვალისწინებას საჭიროებს.

ღვარცოფწარმოქმნელ კერებში დაგროვილი მყარი მასის ზღვრული წონასწორობის დაკარგვას და მის მოძრაობას ბმულობისა და შინაგანი ხახუნის კუთხის გარკვეული მნიშვნელობანი შეესაბამება. ეს პარამეტრები გარკვეულ გავლენას ახდენს აგრეთვე მოძრავი ღვარცოფის დინამიკურ მახასიათებლების ცვლილების პროგნოზირებაში.

მოძრაობის პროცესში ჰიდრავლიკურ მახასიათებლებისა და ხარჯის ცვლილების საფუძველზე შესაძლოა შედარებით სრულად დახასიათდეს არასტაციონალურობის პროცესი მოძრაობის მთელ გზაზე და მათი განტვირთვის ადგილებზე.

ღვარცოფის ფორმირების ბუნების მხედველობაში გათვალისწინება და მისი მოძრაობის ხასიათის შეფასება, სახელდობრ, თავისუფალი ზედაპირის გრაფიკი მისი სიმძლავრის ცვლილების განმსაზღვრელ გრაფიკულ მოწმობას წარმოადგენს და კარგად აღწერს მის როგორც მოქმედების ხანგრძლივობის, ასევე მოძრაობის არასტაციონალურობას.

არასტაციონალურობის პროცესის ერთ-ერთ სააღბათო მოდელად შეიძლება ჩაითვალოს მიწის კაშხლის გარღვევის პროცესი.

ღვარცოფთა სადინარებში მოძრაობის მახასიათებლების გაანგარიშება წარმოებს მხოლოდ ცალკეული მონაკვეთებისათვის, სადაც მოსალოდნელია ამა-თუ იმ სახის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ან სახალხო დანიშნულების ობიექტის მშენებლობა. ესეთი შემთხვევებისათვის ნაკადის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრის დროს თანაბარი მოძრაობის შესაბამისი დამოკიდებულებები გამოიყენება, ხოლო კალაპოტის მახასიათებლად მიღებული ღვარცოფის პარამეტრები პასუხობს მოცემულ მონაკვეთზე ღვარცოფის თანაბარ მოძრაობას. მოძრავი ნაკადის ასეთი მაჩვენებლების გაუთვალისწინებლობა, ნაგებობათა მდგრადობის შემცირების ძირითად მიზეზს წარმოადგენს და სინამდვილეში ღვარცოფთა სადინარებში ნაკადის მოძრაობა არასტაციონალურად მიმდინარეობს. სათავეში ფორმირებული ღვარცოფი მოძრაობის გზაზე იცვლის თავის დინამიკურ მახასიათებლებს. გასაგებია თუ როგორი

ცდომილებები შეიძლება მოჰყვეს დამყარებული მოძრაობის იგნორირებისას გაანგარიშებებში.

დაუმყარებელი მოძრაობის ფორმულირება სქემატურად სადინარებში შეიძლება გავნითარდეს ფაზებად. მოძრაობის დაწყება, მოძრაობა კალაპოტში და გაჩერება გამოტანილ კონუსზე. ასეთი სასაზღვრო პირობის სამოდელო ამოცანაზე დართვით შესაძლებელი გახდება დამოკიდებულებების გამოყვანა.

ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის მყისიერად დაძვრის შემთხვევაში ე.ი. როცა,  $t = t_0$ ,  $w = w_0$ , ხოლო ძვრის შემდეგ მოცულობა მოცემულ  $t$  დროში  $wt$ -ს ტოლი იქნება. შესაბამისად მოძრაობის დაწყების მომენტში ღვარცოფის ხარჯი

$$q_0 = \frac{w_0}{t_0}. \quad (3.1.1)$$

საწყის მომენტში ღვარცოფის ხარჯისათვის შეიძლება დაიწეროს

$$q_0 = \frac{ABH_0^{1,82}}{t_0}, \quad (3.1.2)$$

სადაც:  $A$  არის კოეფიციენტი და დამოკიდებულია ღვარცოფის ტანის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტზე;  
 $B$  – ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე (მ);  
 $H_0$  – მოძრაობის დაწყების მომენტში ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიმაღლე (მ).

მოყვანილი ხარჯებს შორის თანაფარდობის საფუძველზე მოძრაობის დაწყების შემდეგ საანგარიშო  $q$  ხარჯი  $t$  დროში გამოსახება ფორმულით

$$q_b = \frac{ABHt^{1,82}}{t}. \quad (3.1.3)$$

მე-(3.1.2) და მე-(3.1.3) დამოკიდებულებით

$$Ht = H_0 \left( \frac{t_0}{t} \right)^{0,55}. \quad (3.1.4)$$

ღვარცოფის კერიდან გადმოდინების შემთხვევაში საანგარიშო ხარჯისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ დამოკიდებულება

$$q_0 = mB \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}}, \quad (3.1.5)$$

სადაც:	$m$	არის	ხარჯის კოეფიციენტი;
	$B$	-	ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე (მ);
	$g$	-	სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $\text{მ/წმ}^2$ );
	$H_0$	-	კერის სიღრმე მოძრაობის დაწყების მომენტში (მ).

ხოლო მოძრაობის დაწყების მომენტში საწყისი დრო შეიძლება განსაზღვრული იქნას ფორმულით

$$t_0 = \frac{w_0}{q_0} = \frac{ABH_0^{1,82}}{mBH_0^{1,5}\sqrt{2g}} = \frac{A}{m} \frac{H_0^{0,82}}{\sqrt{2g}}. \quad (3.1.6)$$

თუ (3.1.6) გავითვალისწინებთ მე-(3.1.4)-ში მივიღებთ

$$Ht = 0,44 \left( \frac{A}{m} \right)^{0,55} \frac{H_0^{1,175}}{t^{0,55}}. \quad (3.1.7)$$

ღვარცოფის ხარჯი მოძრაობის დაწყების შემდეგ

$$q_t = \frac{ABHt^{1,82}}{t} = 0,22 \left( \frac{A}{m} \right) \frac{H_0^{2,15}}{t^2} AB.$$

$$q_t = 0,22 \frac{A^2 B H_0^{2,15}}{m t^2}. \quad (3.1.8)$$

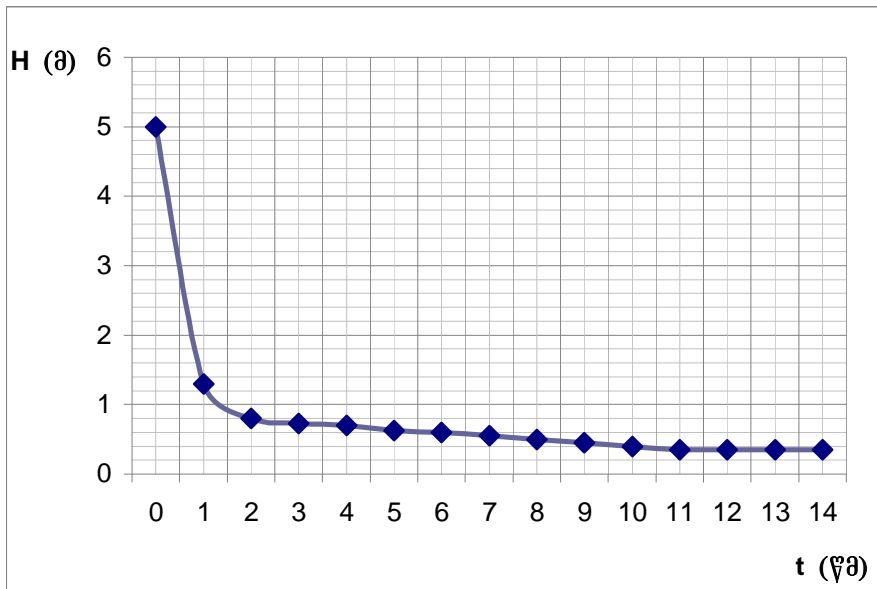
როცა  $B = 1,0$

$$q_t = 0,22 \left( \frac{A}{m} \right) \frac{AH_0^{2,5}}{t^2}. \quad (3.1.9)$$

ნაკადის საშუალო სიჩქარე

$$V_t = \frac{q_t}{HtB} = 0,5 \frac{A^{1,45}}{m^{0,45}} \frac{H_0^{0,975}}{t^{1,45}}. \quad (3.1.10)$$

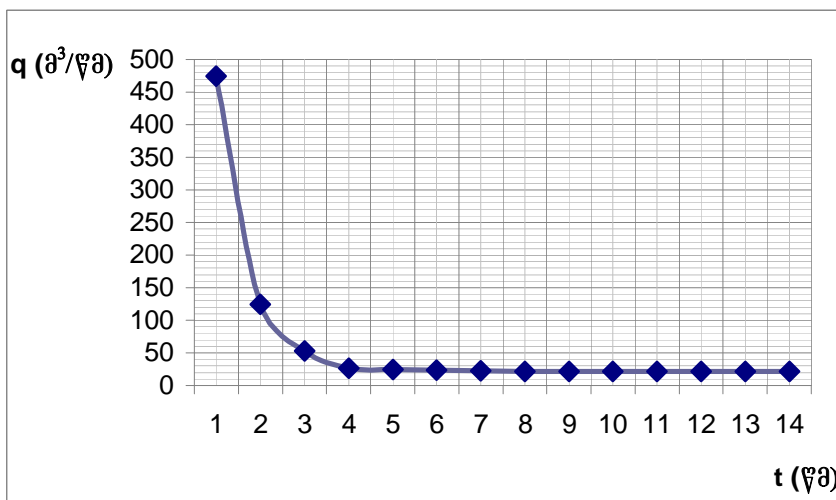
თვალსაჩინოების მიზნით გრაფიკული დამოკიდებულება  $H = f(t)$ ,  $q=f(t)$  და  $Vt = f(t)$  მოცემულია ნახაზებზე (3.1.1.), 3.1.2) და (3.1.3).



ნახაზი 3.1.1 გრაფიკული

დამოკიდებულება  $H = f(t)$ ;

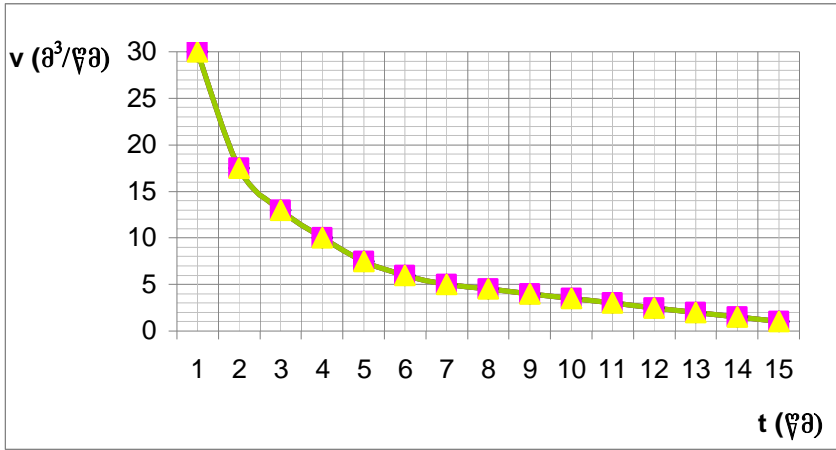
როცა  $H_0 = 5$  მ და  $B=10$ მ,  $\left(\frac{A}{m}\right) = 0,1$ .



ნახაზი 3.1.2 გრაფიკული

დამოკიდებულება  $q = f(t)$ , როცა  $B = 1,0$  მ;  $A=4,5$ ,  $A = 4,5$ ,  $\frac{A}{m} = 15$ ;  $\varphi = 5^\circ$ ,

$\text{tg } \varphi = 0,09$ .



ნახაზი 3.1.3 გრაფიკული

დამოკიდებულება  $V = f(t)$ ,

როცა  $\frac{A}{m} = 5,0 ; H_0 = 5 ; A = 4,5 ; m = 0,3 .$

მიღებული (3.1.7), (3.1.8) და (3.1.9) დამოკიდებულებით შესაძლებელია ანალიზურად განისაზღვრული იქნას ღვარცოფწარმომქმნელი კერიდან დაძრული მასის დინამიკური მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერება ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის დარღვევის შემდეგ.

**3.2 ღვარცოფის ფორმირება და საანგარიშო ხარჯის დადგენა**

ღვარცოფთა რეგულირების და პროცესის შეწყვეტის, წარმოშობის, სატრანზიტო და გამოტანის კონუსებზე საინჟინრო ღონისძიებათა შერჩევის და მათი საპროექტო პარამეტრების გაანგარიშების ერთ-ერთ მახასიათებლს, მისი ხარჯის პროგნოზირების სიდიდე წარმოადგენს. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ღვარცოფის ხარჯის ფორმირებაში მონაწილე ფაქტორების შეუცნობადობის გამო ხშირად საინჟინრო ღონისძიებათა გამოყენების სფერო გამარტივდება და მათი გამოყენების ობიექტის დაცვის ეფექტი მნიშვნელოვნად მცირდება.

ბმული ღვარცოფებისაგან განსხვავებით ტურბულენტურ ღვარცოფთა ხარჯი წყალშემკრები აუზის ეროზიის ფუნქციას წარმოადგენს და რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ და კლიმატურ ფაქტორებზეა დამოკიდებული.

ტურბულენტური ღვარცოფისაგან განსხვავებით დიდი სიმძლავრის ბმულ ღვარცოფთა ჩამოყალიბება კერებში ხდება და მათი პოტენციური შესაძლებლობის

გამოვლენის, განმსაზღვრელ მახასიათებელს სატრანზიტო უბანზე და გამოტანის კონუსზე ნაკადის მოსალოდნელი ხარჯი წარმოადგენს. ბმული ხარჯის ფორმირება კერების, გეოლოგიურ, გეომორფოლოგიურ და კლიმატურ ფაქტორების ურთიერთ შერწყმის განსაკუთრებულ მომენტში ხდება. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე გეოლოგიური და ეროზიული პროცესებით ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ხდება ღვარცოფის ტანის მყარი ნატანით უზრუნველყოფა, ხოლო დენად მდგომარეობაში ტრანსფორმაცია წყლისა და ნატანის ურთიერთანაფარდობის განსაზღვრულ მომენტში ხორციელდება.

საერთოდ ღვარცოფის ხარჯის პროგნოზირების განმსაზღვრელ კრიტერიუმად კერებში დაგროვილი მასის ზღვრული წონასწორობის პირობებია მიჩნეული, რაც ჩამომეწყრის მოცულობისა და მისი რეოლოგიური მახასიათებლების ურთიერთკავშირის შესწავლას მოითხოვს და მისი განსაზღვრა დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს შემდეგი დაშვებების გათვალისწინებას:

1. კერებში ფორმირებული, სატრანზიტო უბანზე მოძრავ და გამოტანის კონუსებზე გაჩერებული ღვარცოფის ტანის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები იდენტურია;
2. სატრანზიტო უბნების მოძრაობას გააჩნია სტრუქტურული ხასიათი;
3. კერებში სადაწნეო ფრონტის გარღვევის შემთხვევაში წინააღმდეგობათა გადალახვაზე ენერჯის დანაკარგები თანაბარი მოძრაობის ანალოგიურია;
4. ნაკადი მოძრაობის შემთხვევაში არ იცვლის თავის მიმართულებას.

ღვარცოფთა ჩამოყალიბებისა და გავლის მონიტორინგის მასალების საფუძველზე შესაძლებელია ანალიზი და ფორმულირება გაუკეთდეს ღვარცოფსადინართა ხეობებში მიმდინარე პროცესებს.

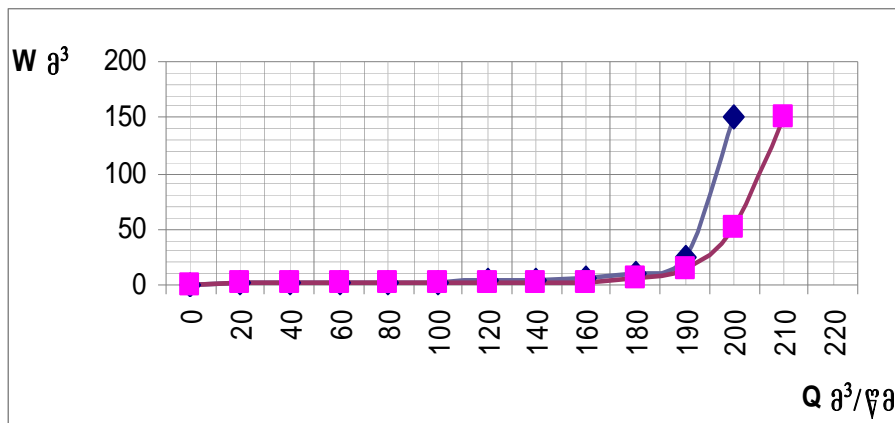
დაკვირვების მასალებით დასტურდება ღვარცოფთა ცალკეული ტალღებად მოძრაობის ჰიდრავლიკური მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების განსაკუთრებულობა [9, 10, 11, 46].

თვალსაჩინოების მიზნით ღვარცოფის ცალკეული ტალღის ჰიდრავლიკური მახასიათებლების ცვლილება მოცემულია ცხრილში (3.2.1).

**სატრანზიტო უბნებზე ფიქსირებული ღვარცოფის ცალკეული  
ტალღის მახასიათებლები**

**ცხრილი 3.2.1**

№	ღვარცოფის მასაში წყლის წონითი შემცველობა %-ში	უმზადგელი მყარი ფრაქციის პროცენტული შემცველობა	ღვარცოფის მოცულობითი წონა (ტ/მ <sup>3</sup> )	Mმოდრაობის ხანგრძლივობა (წთ)	საშუალო სიჩქარე (მ/წმ)	Nნაკადის სიღრმე (მ)	ნაკადის კვეთის ფართობი (მ <sup>2</sup> )	ნაკადის ხარჯი ( Q მ <sup>3</sup> /წმ)	გამოტანის კონუსზე ღვარცოფის გატანილი მოცულობა (მ <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	3,45	2,05	1,15	3,8	3,0	43,5	215,5	14870,0
2	19	2,63	2,07	2,0	3,83	3,5	50,75	194,7	23364,0
3	27	2,89	1,95	1,0	3,61	3,5	50,75	183,2	10992,0
4	17,7	1,45	2,32	5,0	3,35	4,0	58,4	194,3	58290,0
5	27,4	2,2	2,38	3,52	3,27	3,0	43,5	142,2	25603,2



**ნახაზი 3.2.1 გრაფიკული დამოკიდებულება  $Q = f(W)$**

**1. საველე კვლევის მონაცემები; 2. ფორმულის საფუძველზე მიღებული მონაცემები**

მდინარე დურუჯის სატრანზიტო უბნაზე ხარჯსა და მოცულობას შორის დამოკიდებულებას აქვს ხარისხობრივი ფუნქციის სახე

$$Q = aW^b. \tag{3.2.1}$$

$a$  და  $b$  კოეფიციენტების განსაზღვრის მიზნით გალოგარითმების საფუძველზე განტოლებათა სისტემას ექნება სახე:



$$\left. \begin{aligned} 2,26 &= \lg a + b4,04; \\ 2,29 &= \lg a + b4,77. \end{aligned} \right\} \quad (3.2.2)$$

(3.2.2) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის საფუძველზე  $a = 125,9$  და  $b = 0,4$ .  $a$  და  $b$  მნიშვნელობების გათვალისწინებით 3.2.1-ში ბმული ღვარცოფის ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$Q = 125,9W^{0,04} \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}). \quad (3.2.3)$$

თუ (3.2.3)-ში გავითვალისწინებთ ჩამომეწყყრის მოცულობის საანგარიშო დამოკიდებულებებს

$$Q = \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,073} B^{0,04} \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}), \quad (3.2.4)$$

სადაც:	$\operatorname{tg} \varphi$	არის	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი;
	$H$	-	ღვარცოფის კერიდან დაძრული ნაკადის სიღრმე (მ);
	$B$	-	ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე (მ).

როგორც (3.2.4) საანგარიშო დამოკიდებულებიდან ჩანს ბმული ღვარცოფის მოსალოდნელი ხარჯი მისი ტანის შინაგანი ხახუნის კუთხის, ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიმაღლის და სიგანის ფუნქციას წარმოადგენს და იგი პირდაპირ დამოკიდებულებაშია სიღრმესთან და სიგანესთან, ხოლო შინაგანი ხახუნის კუთხის გაზრდით იგი მცირდება.

### 3.3 ბმული ღვარცოფის მოძრაობის შეწყვეტის განმსაზღვრელი მახასიათებლები

საინჟინრო ღონისძიებათა კომპლექსით ღვარცოფთა რეგულირება აუცილებელს ხდის ისეთი თეორიების შექმნის, რომელიც სრულად გაითვალისწინებს მათ დინამიკურ თავისებურებებს. პრობლემა განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს იმ შემთხვევაში როცა ნაკადი ფორმირებულია. ასეთი ნაკადების მოძრაობის შეწყვეტის კანონზომიერების პროგნოზირება ხშირად ჩვეულებრივი კალაპოტური ნაკადებისათვის დამახასიათებელი ამსახველი კრიტერიუმებით ხდება, რაც

მოკლებულია ჭეშმარიტი სურათის ფიზიკური შეფასების რაოდენობრივ მხარესთან ანომალიისა და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ცვლილების გამო. ასეთი ნაკადების მოძრაობის საპროგნოზო მეთოდებმა დღემდე ვერ მიიღო დასრულებული სახე და ერთ-ერთ აქტუალურ საკითხად რჩება.

ფაქტორთა ურთიერთმიმართ უთანაზომობისა და მოვლენის სირთულის გამო კიდევ უფრო რთულდება ღვარცოფულ პროცესებზე ლოგიკური თეორიების ადაპტირება და ხშირად პროცესის აღწერა ერთმანეთის საწინააღმდეგო მოსაზრებების წარმოშობის მიზეზია.

ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობის შეწყვეტა დაძვრის პროცესისგან დიამეტრალურად განსხვავებულია. მოძრაობის დაწყების დროს ღვარცოფის ტანის უწყვეტი გარემოს რღვევა მაშინ ხდება, როცა მდგრადობის მახასიათებლები, კერძოდ შინაგანი ხახუნის კუთხე და ბმულობა მინიმალური ხდება. რაც შეეხება მოძრაობის შეწყვეტის პროცესს, ამ დროს მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკების წყალთან ერთად ნარევის თანდათანობით გამოჟონვის შედეგად ხდება მოძრავი ტანის წინააღმდეგობის განმსაზღვრელი მახასიათებლების თანდათანობითი გაზრდა და მისი გავლენის გაძლიერება.

უკანასკნელ პერიოდში ღვარცოფთა მოძრაობის შეწყვეტის კანონზომიერების შესწავლის მრავალი მეცნიერის შრომა მიექმდნა [15, 27, 29, 39].

როგორც კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა ბმული ღვარცოფის მოძრაობის დროს როცა დაწნევის დანაკარგები წინააღმდეგობის ძალებით გამოწვეული ენერჯის ინტეგრალურ მნიშვნელობას უტოლდება ნაკადი წყვეტს მოძრაობას.

ხევიდან გამოსვლის გარკვეულ მანძილზე როგორც დაკვირვებები გვიჩვენებს გარკვეულ შემთხვევაში ნაკადი წყვეტს მოძრაობას.

მოძრაობის მოდელს, რომელიც მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის საფუძველზე არის მიღებული შემდეგი სახე აქვს.

$$V = 4,54L \left( 1 - 0,5 \left( 1 - \sin \alpha \frac{tg \varphi}{tg \alpha} - \frac{h_0}{2H} \left( \sqrt{1 + tg^2 \varphi} - tg \varphi \right) \right) \right), \quad (3.3.1)$$

შადაც:	$\Lambda$	არის	ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე (მ/წმ);
	$L$	-	ნაკადის მოძრაობის სიგრძე (მ);
	$\varphi$	-	ნაკადის შინაგანი ხახუნის კუთხე;

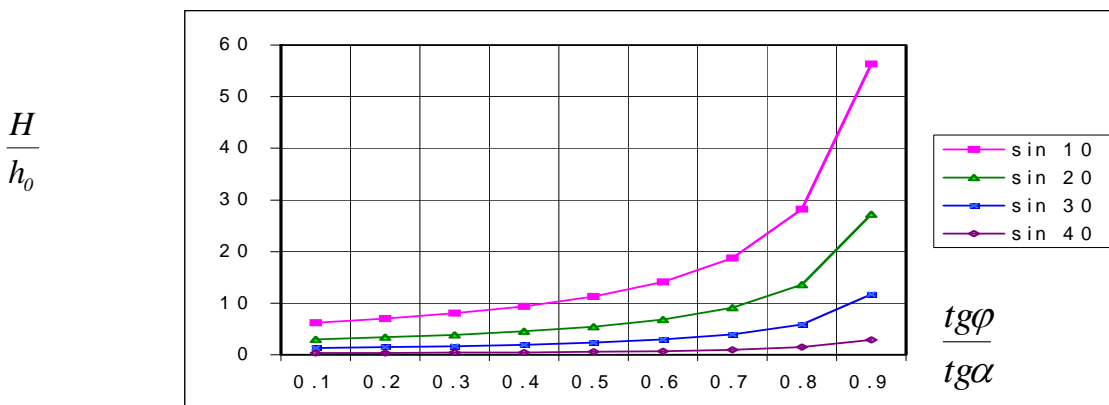
- $i$  – მოძრავი ნაკადის ქანობი;
- $H$  – მოძრავი ნაკადის სიღრმე (მ);
- $h_0$  – ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე (მ);
- $g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $m/s^2$ ).

ზემოთ მიღებულ (3.3.1) განტოლებაში თუ სიჩქარეს გაუტოლებთ 0-ს ნაკადის სიღრმის მიმართ გვექნება:

$$\frac{h_0}{H} = \frac{1 - \sin \alpha \frac{tg \varphi}{tg \alpha}}{\sqrt{1 + tg^2 \varphi - tg \varphi}} \quad (3.3.2)$$

მე-(3.3.2) განტოლების ანალიზით ჩანს, რომ ნაკადის გაჩერების სიღრმე მისი ბმულობის, შინაგანი ხახუნის კუთხის, მოძრაობის ქანობის ფუნქციას წარმოადგენს.

თვალსაჩინოების მიზნით მოცემულია გრაფიკული დამოკიდებულება ფარდობით კოორდინატებში  $\frac{H}{h_0} = f\left(\frac{tg \varphi}{tg \alpha}\right)$  მოძრაობის ქანობის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. ნახ. (3..2.1)



ნახ.№ 3.2.1. გრაფიკული დამოკიდებულება

$$\frac{H}{h_0} = f\left(\frac{tg \varphi}{tg \alpha}\right)$$

მიღებული შედეგებით აღმოჩენილია, რომ ნაკადის გაჩერების სიღრმე პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაში არის მის ბმულობასთან, ხოლო ქანობის გაზრდით მისი მნიშვნელობები მცირდება და არაწრფივადაა დამოკიდებული  $tg \varphi / tg \alpha$  ფარდობით სიდიდეზე.

## თავი 4.

### ღვარსადინართა კალაპოტების მორფომეტრიული მახასიათებლები და ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრები

#### 4.1 ღვარსადინართა კალაპოტების მახასიათებლები

ღვარცოფსადინარების კალაპოტები უწყვეტ კავშირშია ღვარცოფულ ნაკადებთან, იგი მუდმივად იცვლის თავის ფორმას და ხდება მისი ფორმირება. ძალზე ხშირად კალაპოტის ფორმის ცვლილება იწვევს ნაკადის დინამიკური სტრუქტურის ცვლილებას და ხერგილების წარმოქმნას. აქედან გამომდინარე, ღვარცოფსადინართა კალაპოტების ფორმირების ძირითად ამოცანას ნაპირებისა და ნაკადის ურთიერთქმედების რაციონალური ორგანიზება წარმოადგენს.

ღვარცოფთა კალაპოტწარმომქმნელი პროცესების სტაბილიზაცია უნდა იყოს ისეთი სახით მიმართული, რომ შესაძლებელი იყოს მათი სახალხო მეურნეობის მიზნებისათვის გამოყენება.

ღვარცოფების რეგულირების პროცესში წარმოქმნილმა სირთულეებმა, კალაპოტური პროცესების გათვალისწინებით, მათ სარეგულაციო საინჟინრო გადაწყვეტებმა დღემდე დასრულებული სახე ვერ მიიღო. ღვარცოფული პროცესების შესწავლის საველე ლაბორატორიად შეიძლება ჩაითვალოს საქართველო, რომლის ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ნაწილი ღვარცოფსადინარების, მშრალი ხევების ქსელის სიხშირით და ინტენსიური ეროზიული პროცესებით გამოირჩება.

ღვარცოფსარეგულაციო ყოველი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტა ურთიერთმართვად ფაქტორთა მთელ კომპლექსეა დამოკიდებული და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა სახის შერჩევის გგანმსაზღვრელი ფაქტორია. წარმოდგენილი მოვლენის დარეგულირებისა და აღკვეთის მიზნით სადღეისოდ დამუშავებულია როგორც თეორიული ისე საინჟინრო ღონისძიებათა მოდელის სისტემა, რომლებიც მაღალი ელასტიურობით, გეომეტრიული ზომების ნაკადთან თანდათანობითი ტრასფორმაციით, საიმედოობით და ღვარცოფსადინარის ქვედა წელში ეკოლოგიური სტაბილურობის შენარჩუნებით ხასიათდება.

უნდა აღინიშნოს, რომ დაპროექტებულ ნაგებობათა მეტი წილი ვერ პასუხობს ან არ შეესაბამება მათდამი წაყენებულ მოთხოვნებს. ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა დაპროექტებისას უგულვებელყოფილია არ მიიღება მათ სადინართა დიდი ქანობები, მყარი ჩამონადენის დინამიკა და კალაპოტური პროცესების არასტაციონალურობა.

ზოგიერთ ღვარცოფსადინარებზე ჩატარებული კვლევები მოწმობს, რომ კალაპოტური პროცესები მრავალი ფაქტორის ფუნქციას წარმოადგენს [4, 5, 6, 25, 37, 53, 67, 68, 69, 108]. ღვარცოფული პროცესების კვლევის მხრივ ერთ-ერთ კლასიკურ ობიექტს მდინარე არაგვის მარჯვენა სანაპიროს ღვარცოფსადინარები წარმოადგენს, სადაც ყველა სახის ღვარცოფთა გავლას დაფიქსირებული. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მოყვანილია ჰიდროგრაფიული ქსელის კალაპოტის ფორმების და ზომების ცვლილების კანონზომიერებანი ჰიდროლოგიური პროცესების თავისებურებიდან გამომდინარე, ნატანის საშუალო შეტინარებული დიამეტრი 21,3 მმ-დან 108,2 მმ-მდე ფარგლებში მერყეობს. სადინართა კალაპოტების გრძივი პროფილები ფორმირების სტადიაში იმყოფება. ქანობის და კალაპოტის გრძივი პროფილის ფორმების ცვლილების მიხედვით ისინი დაყოფილია სახეებად: გრძელი-10 კმ-მდე სიგრძით; საშუალო 3 ÷ 5 კმ სიგრძით; მოკლე- 1კმ-მდე სიგრძით. ქანობის ცვლილების მიხედვით მცირე -  $i = 0,1 \div 0,3$ ; საშუალო- $i = 0,3 \div 0,4$ ; ციცაბო  $i > 0,64$ . პროფილის სიმრუდის მიხედვით:

ჩაზნექილი-  $\frac{dH}{dx} > 0$ ; სწორხაზოვანი-  $\frac{dH}{dx} = const$ ; ამოზნექილი -  $\frac{dH}{dx} < 0$

**მდინარე არაგვის შენაკადთა ჰიდროლოგიური მახასიათებლები**

**ცხრილი 4.1.1**

№	შენაკადის დასახელება	შენაკადის სიგრძე (კმ)	ქანობი I	წყალშემკრე -ბი უზის ფართობი (კმ <sup>2</sup> )	წყალშემკრე -ბი აუზის მაქსიმალური სიგანე (კმ)	მაქსიმალური ხარჯი (მ <sup>3</sup> /წმ)
1	2	3	4	5	6	7
1	მლეთის ხევი	1,62	0,25	1,67	0,725	23,10
2	დიდი ქიმზარიანი	2,25	0,226	1,22	0,625	18,70
1	2	3	4	5	6	7
3	პატარა ქიმზარიანი	4,90	0,29	7,14	0,500	12,40
4	ნაღვარევი	4,50	0,25	7,60	2,375	72,67
5	ჩოხის ხევი	4,90	0,29	7,14	2,600	76,66
6	ხარხეთის ხევი	2,00	0,21	1,46	0,950	20,40
7	კოტორას	0,50	0,14	0,26	0,370	5,50

	ხევი					
8	დიდახომ ხევი I	-	-	-	-	-
9	დიდახომ ხევი II	-	-	-	-	-
10	ამირთხევი ქვემო	2,00	0,33	1,34	0,750	19,40
11	ამირთხევი ზემო	1,75	0,22	1,28	0,870	18,90
12	ჩადის ციხის ხევი	1,50	0,29	0,56	0,56	104

ღვარცოფსადინარებში კალაპოტური პროცესების გამოვლენა ადვილად მისაწვდომ უბნებისათვის ადასტურებს რომ, მაგრამ ზოგიერთ ადგილებში მკვეთრად იკვეთება კალაპოტის ფორმების მკვეთრი ცვალებადობა, რომელიც ხასიათდება კვეთის უეცარი გაფართოებით და გვერდითი კუმშვით, ადგილი აქვს ამოზნექილი მონაკვეთების მორიგეობით ცვლილებას. გააჩნიათ ნათლად გამოხატული ტრაპეციის ფორმის განიკვეთები, რომლის ძირის სიგანე სათავიდან შესართავამდე  $2 \div 10$  მ-ის ფარგლებში იცვლება. იშვიათად ფიქსირდება კალაპოტის კვეთის სამკუთხედის ფორმა.

#### 4.2 კალაპოტური პროცესების გათვალისწინებით ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების შერჩევა

ღვარცოფთა ჩამოყალიბებისა და სახალხო მეურნეობის ობიექტებზე ზემოქმედების შეფასება, ღვარცოფსაშიში ტერიტორიებზე უსაფრთხოების პრობლემების პოტენციური საფრთხის გამოვლენა, მათი ჩამოყალიბების და მოძრაობის პირობების ხელშემწყობი ფაქტორებისა და პირობების ერთობლიობათა შესწავლის და რისკის საკითხების შეფასებას საჭიროებს.

ღვარცოფწინააღმდეგო ბრძოლის საინჟინრო მეთოდები მათი ფორმირების თავიდან აცილებისა და ჩამოყალიბებული ღვარცოფების ზემოქმედების დაცვისაკენ უნდა იყოს მიმართული, რომელთა დანერგვა და შემდგომ რეალიზაცია მათი საწინააღმდეგო სტრატეგიის შემუშავება აუცილებელი გარანტი იქნება.

ღვარცოფთა ზემოქმედების ქვეშ მოქცეული მიწის რესურსები ძირითადად გამოტანის კონუსებზეა განლაგებული, რომელთა დაცვა და ეკოლოგიური მდგრადობა ღვარცოფსადინართა გამტარუნარიანობის ფუნქციას წარმოადგენს.

ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მდგრადობის მახასიათებლები და კალაპოტის წონასწორული მდგომარეობის ცვალებადობა ნაკადის მოძრაობის რეჟიმის და დინამიკური სტრუქტურის განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორია.

განივ საინჟინრო ღონისძიებათა გამოყენებით ღვარცოფთა რეგულირება და მისი ფიზიკური სურათის გამოვლენა ჰიდრომექანიკის ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს. ამასთანავე საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ღვარცოფსადინარებში ადგილი აქვს სხვადასხვა ბუნებისა და ჰიდრომექანიკური მახასიათებლებით მათ გავლას.

ასეთი არანიუტონური ბუნების მქონე ნაკადებისა და განივ საინჟინრო ღონისძიებათა ურთიერთმოქმედების საკითხები სათანადოდ არის გამოუქეხული, სამეცნიერო შრომებში, მაგრამ მოვლენის სირთულის გამო ისინი მოითხოვს უფრო ღრმა მეცნიერულ შესწავლას და პროექტირებისათვის მისაღები სიზუსტით მათ განისაზღვრს.

კალაპოტისა და ნაკადის მოქმედების ურთიერთშრწყმას სადინარის მორფომეტრიული მახასიათებლების და ნაკადის ჰიდრაულიკური ელემენტების განსაკუთრებული მნიშვნელობები შეესაბამება.

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა პროექტირებისა და მშენებლობის პრაქტიკულმა მოთხოვნებმა განაპირობა ღვარცოფსადინართა კალაპოტების დეფორმაციათა შესწავლის აუცილებლობა.

ჰიდრაულიკური პარამეტრებისა და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ზემოქმედება კალაპოტის დეფორმაციაზე და მათი ფორმირების მახასიათებლებზე საკმაოდ ღრმად განხილულია შრომებში [4, 6, 8, 20].

მდგრადი კალაპოტის მქონე ღვარცოფსადინარში ნაკადის ჰიდრაულიკური ელემენტების და განივი კვეთის მორფომეტრიული მახასიათებლების დადგენის მიზნით სხვადასხვა ეტაპზე გამოყენებულია არაგამომრეცხი სიჩქარის, წარმატული ძალის მოდელების ჰიდრაულიკური განტოლებები, რომლის საფუძველზე სადინარების მდგრადობა წარმოდგენილი კალაპოტის დინამიკური და სტატიკური ფორმებითაა.

ღვარცოფსადინართა მდგრადი ფორმის განმსაზღვრელ კრიტერიუმებად შეიძლება კალაპოტის განივი კვეთის შეზღუდვის კოეფიციენტი ჩაითვალოს წარმტაც ძალას, ნაკადის ტურბულენტურ პარამეტრებსა და კალაპოტშემადგენელი გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს შორის კავშირის საფუძველზე რუსეთისა და შუა აზიის წყალსადინარებისათვის, რომელთა კალაპოტები წარმოდგენილია წვრილმარცვლოვანი

გრუნტებით. წარმოდგენილი მდგრადობის პარამეტრის უმცირესი მნიშვნელობა 24 შეადგენს, მიღებული შედეგი კარგად ემთხვევა თ. ვონიჩ-სიანოჟენცკისა და ნ. კერესელიძის თეორიული კვლევის შედეგებს [42].

ჩამოყალიბებულ სადინართა მდგრად ფორმას თავისუფალი ზედაპირის წყლის სიღრმე, კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხე და ბმელობის გარკვეული მნიშვნელობები შეესაბამება. ე.ი. კალაპოტის მდგრადი ფორმა ნაკადის ჰიდრავლიკურ პარამეტრებთან არის უშუალო კავშირში. ასეთ სადინარებში ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობით და ექსლუატაციით იცვლება ნაკადის რეჟიმი, სტრუქტურა, სიჩქარის განაწილება სიღრმეზე განივი მიმართულებით.

ღვარცოფსადინართა კალაპოტის განივი კვეთის შეზღუდვას სადინარის სიგანის კრიტიკული მნიშვნელობა შეესაბამება და თეორიულად შეიძლება გამოვსახოთ დამოკიდებულებით.

$$B = nL, \quad (4.2.1)$$

სადაც:  $n$  არის კალაპოტის განივი კვეთის შეზღუდვის კოეფიციენტი;  
 $L$  – კალაპოტის განივი კვეთის შეზღუდვის სიდიდე (მ);  
 $B$  – კალაპოტის სიგანე (მ);

როცა კალაპოტის განივი კვეთის შეზღუდვა ნაკადმიმმართველი განივი ნაგებობებით ხდება მაშინ მისი განივი კვეთის სიგანის კრიტიკული მნიშვნელობა უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$B - L = B_{\phi}. \quad (4.2.2)$$

თუ - (4.2.2.)-განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ  $B$ -ზე გვექნება

$$1 - \frac{L}{B} = \frac{B_{\phi}}{B}. \quad (4.2.3)$$

მე - (4.2.3.)-ის გათვალისწინებით (4.2.1.)-ში გვექნება

$$L = \frac{n}{n - 1} B_{\phi}. \quad (4.2.4)$$

თუ ღვარცოფსადინარის კალაპოტის ცოცხალი განივი კვეთის განაზღვრისათვის გამოყენებული იქნება დამოკიდებულება

$$S = \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{1,82}. \quad (4.2.5)$$



და მის ორივე მხარეს გავყოფთ ნაკადის  $H$  სიღრმეზე გვექნება

$$\frac{S}{H} = B_{\phi} = \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,82}. \quad (4.2.6)$$

(4.2.6.)-გათვალისწინებით (4.2.4.)-ში გვექნება

$$L = \frac{n}{n-1} \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,82}. \quad (4.2.7)$$

განივ ნაგებობებს შორის გეგმაში განლაგების დაცილება ( $l$ ) იანგარიშება ფორმულით

$$l = \frac{n}{n-1} \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,82} (\sin \alpha \operatorname{tg} \varphi \beta + \cos \alpha), \quad (4.2.8)$$

სადაც:  $\beta$  არის ღვარცოფის ნაგებობაზე მისვლის კუთხე;  
 $\alpha$  – ნაგებობის სანაპირო ზოლთან დაყენების კუთხე.

ღვარცოფსადინართა განივი კვეთის კუმშვის კოეფიციენტის დადგენა სპეციალურ თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფთა გამოტანის კონუსებზე სადინარები მათ მიერ გამოტანილ დანადგარებში ჩამოყალიბებულ კალაპოტებს წარმოადგენს. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე როცა  $\varphi=45^{\circ}$ .

$$B = 1,4 H^{0,82}. \quad (4.2.9)$$

დადგენილია, რომ ხვედრითი კუმშვის კოეფიციენტი  $n$  ღვარცოფსადინარებისათვის  $n=44$ .

იცვლება 0,45–0,70-ის ფარგლებში და თუ მას გასაშუალებულ მნიშვნელობას ავიღებთ  $n=0,55$ -ს მაშინ (4.2.7) და (4.2.8) დამოკიდებულებები შემდეგ სახეს მიიღებს:

განივი ნაგებობის სიგრძე

$$L = 1,22 \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,82}. \quad (4.2.10)$$

ნაგებობებს შორის დაცილება

$$l = 1,22 \frac{1 + 0,625}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,82} (\sin \alpha \operatorname{tg} \varphi + \cos \alpha). \quad (4.2.11)$$

რადგან სადინართა მდგრად ფორმებას პარამეტრთა  $\frac{H}{B_{\phi}}$  ფარდობით აფასებენ

ასეთ შემთხვევაში ღვარცოფსადინარების დამოკიდებულება შემდეგ სახეს მიიღებს.

$$\frac{H}{B_{\phi}} = \frac{0,16 + tg \varphi}{1,22 + 0,76 tg \varphi} H^{0,18}. \quad (4.2.12)$$

როგორც (4.2.12) დამოკიდებულებიდან ჩანს კალაპოტის მდგრადობის მახასიათებელი, კალაპოტშემდგენელი გრუნტი შინაგანი ხახუნის კუთხისა და ნაკადის სიღრმის ფუნქციას წარმოადგენს. მდინარე არაგვის ღვარცოფული ხასიათის შენაკადთა კალაპოტების მდგრადობის შეფასებისათვის 50 ადგილზე გაზომილი იქნა კალაპოტის კვეთის  $h$  სიგანეები, სიგრძეები და კალაპოტის დაფერდების კუთხეები.  $\frac{H}{B_{\phi}}$  ფარდობის ცვლილების ზღვარი კალაპოტის მდგრადობის მახასიათებლის გამოსახული იქნა უტოლობით.

$$0,267 \leq \frac{h}{B} < 0,682. \quad (4.2.13)$$

### 4.3. ბმულ ღვარცოფთა გამოტანის კონუსებზე

#### ნაკადის მოძრაობის პირობები

გარემოზე ნებისმიერი ანტროპოგენური ზემოქმედება ხშირად ანომალიების, კერძოდ ბმული ღვარცოფების წარმოშობის მიზეზია, რომლის შედეგად დიამეტრულად იცვლება არსებული სიტუაცია და ეკოლოგიური წონასწორობა.

ღვარცოფული ხასიათის სადინარებს გააჩნიათ გამოტანის კონუსები დიდი სიგრძით და ზედაპირის ფართობებით. ღვარცოფის გამოტანის კონუსის ქანობი საერთოდ (0,04-0,05)-ის ფარგლებში იცვლება და ამ ადგილზე ადგილი აქვს მდინარის შენაკადებად დაშლას. იშვიათ შემთხვევებში გამოტანის კონუსები წარმოადგენს ადგილს, სადაც წარმოებს ღვარცოფის გამონატანის დალექვა და ნაკადის გატვირთვა. ნატანის დალექვის ხარისხის მიხედვით შეიძლება შეფასდეს სადინარის ღვარცოფულისა და არა პირიქით. ღვარცოფის ხევიდან გამოტანილი დანალექი წარმოადგენს არასორტირებული განსხვავებული ზომების ქვების, ქვიშისა და მასში შერეული ტალხოვანი მდგენელის მასას.

ღვარცოფული ხასიათის სადინართა გამოტანის კონუსები წარმოადგენს აგრეთვე ადგილს, სადაც ძირითადად განლაგებულია დასახლებული პუნქტები, საწარმოო და

სასოფლო-სამეურნეო ობიექტები, სასოფლო-სამეურნეო მიწები, გადის რკინიგზისა და საავტომობილო გზები, ტრასები ე.ი. გამოტანის კონუსები წარმოადგენს იმ ადგილს, სადაც ღვარცოფთა დამანგრეველ მოქმედებას განსაკუთრებული დგილი უნდა დაეთმოს.

წყალშემკრები აუზის კვადრატული კილომეტრიდან ტრანსპორტირებული ღვარცოფთა დანალექები გამოტანის კონუსზე, მისი ერთი გავლის შემთხვევაში, ათეული ათას კუბიკურ მეტრს აღწევს, და მიწის ფენის დანაკარგის სიდიდე საშუალოდ აუზში 87 მმ-ს.

როგორც დაკვირვების მასალები ადასტურებს ღვარცოფმა ერთი თავსხმა წვიმის შემთხვევაში ან მის გარეშე წელიწადში 1 კვადრატული კილომეტრი აუზიდან შეიძლება გამოტანის კონუსზე 2000-ჯერ მეტი მთის ქანების დაშლის პროდუქტების ტრანსპორტიება მოახდინოს, რომლის მნიშვნელობა 100-ჯერ მეტია უეცარი წყალდიდობებისაგან გამოტანილ მყარი ნატანთან.

ღვარცოფთა მოქმედების შესაძლებლობა დასაცავ ობიექტზე არ შემოიფარგლება დინამიური ზემოქმედებით მან შეიძლება გამოიწვიოს კატასტროფა სხვა გზებითაც თუ ღვარცოფით ხდება წყალსადინარის კალაპოტის გადაკეტვა, მაშინ დროებით ხელოვნურად წარმოქმნილმა კაშხლის გარღვევამ დინების მიმართულებით შეიძლება გამოიწვიოს უმძიმესი შედეგები. ღვარცოფთა გამოტანის კონუსებზე გამოსვლის მრავალრიცხვანი დაკვირვებები ადასტურებს, რომ ხევიდან გამოსვლის მომენტში როცა ნაკადს არ გააჩნია ძალზე დიდი სიღრმე მაშინ მის განივ კვეთს ტრაპეციის ფორმა გააჩნია რომლის ფერდის დახრის კუთხე  $60-70^{\circ}$ -ის ფარგლებში მერყეობს. გაჩერების შემთხვევაში მისი ტანი ინარჩუნებს საწყის მდგომარეობას, ხოლო წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შემთხვევაში მისი გარსდენის კუთხე  $11-15^{\circ}$ -ის ფარგლებშია მოთავსებული.

ბმულ ღვარცოფთა კინეტიკური ენერგია ტურბულენტური ღვარცოფებისა და უეცარი წყალდიდობებისაგან განსხვავებით გაცილებით დიდია. მასთან ერთად შეუძლებელია თეორიული და ისეთი ექსპერიმენტული კვლევების წარმოება, რომელიც ზუსტად აღწერდა მისი მოძრაობის არასტაციონალურ ხასიათს.

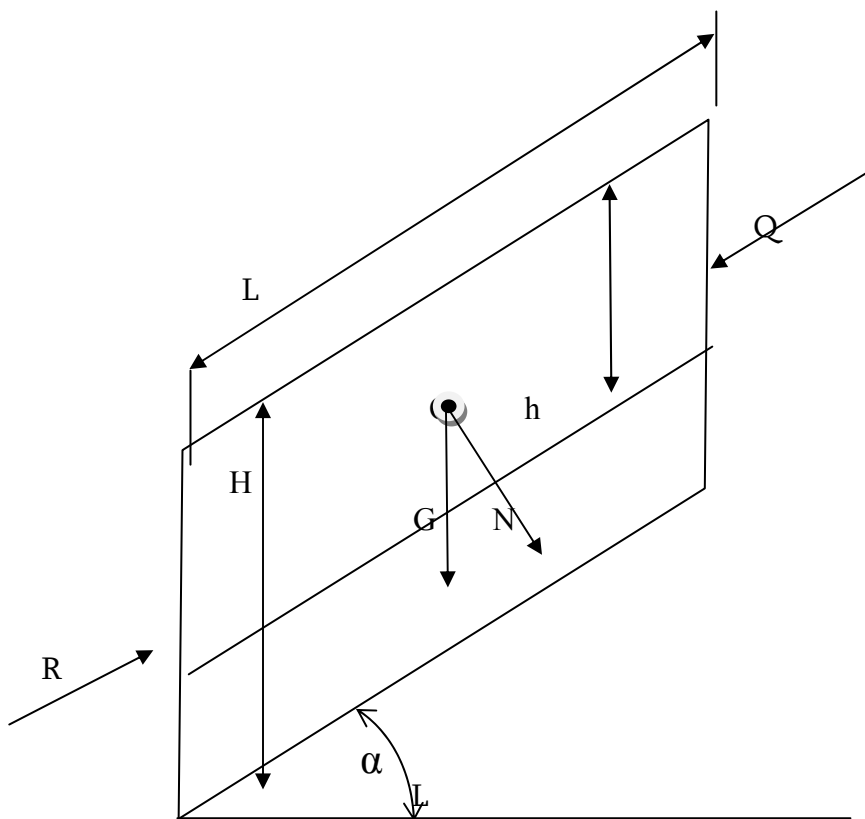
განსაკუთრებით ყურადღებას იპყრობს ხევიდან გამოტანის კონუსზე გამოსული ნაკადი. გაჩერების სიგრძის, მოძრაობის დროს, მოძრაობის წინააღმდეგობის

კოეფიციენტის და სიჩქარის კოეფიციენტის მნიშვნელობები შეესაბამება. აღნიშნულ პარამეტრთა ცვლილების კანონზომიერების დაზუსტება ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა ოპტიმალური საპროექტო პარამეტრების შერჩევის გარანტს წარმოადგენს.

სატრანზიტო უბნებზე და გამოტანის კონუსებზე ღვარცოფთა აღებული ნიმუშის კუმულაციური მრუდის და ჰიდრავლიკური სიმსხოს ანალიზით დასაბუთებულია ბუნებაში მათი გასწვავებული სახეებით არსებობა. ბმული ღვარცოფების მოძრაობის დაწყების და შეწყვეტის პროცესს განსაკუთრებული პირობები შეესაბამება, რომელსაც მრავალი საეცნიერო შრომა მიეძღვნა [8, 15, 40, 47, 100].

ბუნებაში ხშირად ვხვდებით ასეთი ნაკადების ხევიდან გამოსვლის გარკვეულ მანძილზე მოძრაობის სიჩქარის შემცირების და მისი გაჩერების შემთხვევებს.

გაჩერების სიგრძის ქანობის პროგნოზირების მიზნით ხევიდან გამოსვლის 1-1 კვეთიდან 2-2 კვეთამდე ნაკადის მოძრაობის მოდელი, შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ნახაზზე № 4.3.1-ზე მოცემული სქემის საფუძველზე.



*ნახაზი № 4.3.1. ნაკადის ხევიდან გამოსვლის მომენტში მისი მოძრაობის საანგარიშო სქემა.*

ზედაპირული ძალების მოქმედებით 1.1 კვეთიდან 2.2 კვეთამდე ღვარცოფის მოძრაობა მუდმივი სიღრმით შეიძლება აღწერილი იქნას განტოლებით

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = Q + G - R. \quad (4.3.1)$$

სადაც:  $m$  არის მოძრავი ტანის მასა (ტ);  
 $G$  – გამოტანის კონუსზე მოძრავი ნაკადის წონა (ტ.ძ);  
 $R$  – გამოტანის კონუსზე მოძრავი ნაკადის წინააღმდეგობის ძალა (ტ.ძ).

ნაკადის 1.1 კვეთში ძალური მახასიათებელი შეიძლება შეფასდეს დამოკიდებულებით, რომელაც აქვს სახე.

$$Q = K_1 \frac{\alpha \omega V^2}{g} = \frac{K m V^2}{L}. \quad (4.3.2)$$

ხოლო მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალას აქვს სახე

$$R = N \operatorname{tg} \varphi + GL = mg \sin \alpha \left( \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi \right). \quad (4.3.3)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ რომ  $N = G \cos \alpha$ ,  $G = \gamma H L B$  და  $G = \gamma h_0 / 2 (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - \operatorname{tg} \alpha)$ , პირველი განტოლება მიიღებს სახეს

$$G = \gamma H L B = \rho g H^3 L = \frac{m}{W} g H L \gamma B = \frac{m}{H L B} H L B g = m g, \quad (4.3.4)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{K \bar{V}^2}{L} + g \left[ 1 - \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{h_0}{2H} \right] \left( \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi \right), \quad (4.3.5)$$

სადაც:  $\bar{V}$  არის ხევიდან გამოსვლის მომენტში ნაკადის საშუალო სიჩქარე (მ/წმ);  
 $L$  – ნაკადის მოძრაობის შეწყვეტის სიგრძე (მ);  
 $\varphi$  – ღვარცოფის მასის შინაგანი ხახუნის კუთხე;  
 $\alpha$  – სატრანზიტო უბნის დახრის კუთხე;  
 $g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ<sup>2</sup>);  
 $K$  – კოეფიციენტი, რომლის გასაშუალებელი მნიშვნელობა აიღება 4,5.

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნებს  $\alpha = \frac{K \bar{V}^2}{L}$ , და

$$b = g \left[ 1 - \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{h_0}{2H} \left( \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi \right) \right] = g K_2, \quad (4.3.6)$$

მაშინ (4.3.6) განტოლება მიიღებს სახეს

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = a + b. \quad (4.3.7)$$

(4.3.7) დამოკიდებულების პირველი ინტეგრირებით გვექნება

$$\frac{dx}{dt} = (a + b)t + c. \quad (4.3.8)$$

ამოცანის პირობის შესაბამისად, როცა  $t=0$   $dx/dt=\bar{V}$ ;  $c=\bar{V}$  და (4.3.6)

დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$\frac{dx}{dt} = (a + b)t + \bar{V}. \quad (4.3.9)$$

რადგან ნაკადის გაჩერება განსაზღვრული  $t$  დროში ხდება ე.ი. როცა  $dx/dt=0$  გვექნება

$$t = -\frac{\bar{V}}{a + b}. \quad (4.3.10)$$

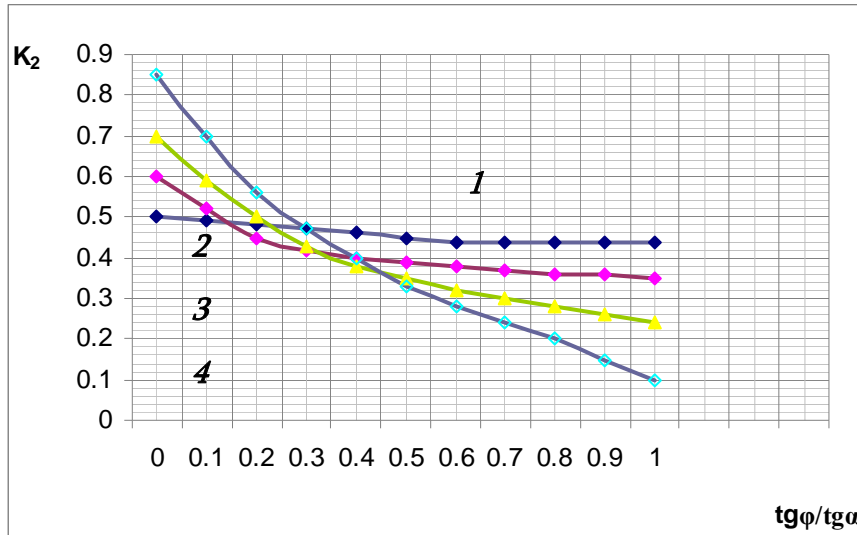
(4.3.9)- დამოკიდებულების ინტეგრირებით გვექნება

$$x = L = \frac{a + b}{2} t^2 + \bar{V}t + c_2. \quad (4.3.11)$$

როცა ნაკადის მოძრაობის დრო  $t=0$ -ს მაშინ  $c_2=0$  და შესაბამისად ნაკადის გაჩერების სიგრძე

$$L = \bar{V}t + \frac{a + b}{2} t^2. \quad (4.3.12)$$

(4.3.12) დამოკიდებულებით ღვარცოფის გაჩერების სიგრძის განგარიშების მიზნით მოყვანილია გრაფიკული დამოკიდებულება  $K_2 = f\left(\frac{h_0}{H}\right)$  ღვარცოფის ტანის შინაგანი ხახუნის კუთხისა და კალაპოტის დახრის კუთხის ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს რომელიც მოცემულია ნახ. (4.3.1)-ზე.



ნახ. 4.3.1 გრაფიკი დამოკიდებულება  $K = f\left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}\right) \frac{h_0}{H}$  ფარდობის სხვადასხვა

მნიშვნელობის დროს:

$$1. \frac{h_0}{H} = 0,3 ; 2. \frac{h_0}{H} = 0,35 ;$$

$$3. \frac{h_0}{H} = 0,40 ; 4. \frac{h_0}{H} = 0,5 .$$

რადგან (4.3.1) განტოლებაში

$$\frac{a+b}{2} = g. \quad (4.3.13)$$

(4.3.12)-ში (4.3.13)-ის გავითვალისწინებით გვექნება

$$\frac{K_1 V^2}{2L} + \frac{gK^2}{2} = g. \quad (4.3.14)$$

(4.3.13) ტოლობის საფუძველზე ნაკადის მოძრაობის სიგრძე

$$L = \frac{V^2}{2g} \frac{K_1}{1 - 0,5 K_2}. \quad (4.3.15)$$

მიღებული (4.3.15) განტოლება წარმოადგენს ხევიდან გამოტანის კონუსზე

ნაკადის გაჩერების მანძილს. თუ მასში შევიტანთ მნიშვნელობებს  $V = \frac{Q}{\omega} \quad g = 9,8$

და  $K = 4,5$ , მაშინ

$$L = 0,22 \frac{Q}{\omega(1 - 0,5K_2)}. \quad (4.3.16)$$

ბრტყელი ნაკადებისათვის, როცა ხვეის სიგანე  $B = 1$  მ-ს  $\omega = 1 \cdot H$  და შესაბამისად

$$L = 0,22 \frac{Q}{H} \frac{1}{1 - 0,5 \left[ 1 - \sin \alpha \frac{tg \varphi}{tg \alpha} - \frac{h_0}{2H} (\sqrt{Htg^2 \varphi} - tg \varphi) \right]}. \quad (4.3.17)$$

4.3.14)-ში (4.3.12)-ის გავითვალისწინებით და  $t$ -ს მიმართ ამოხსნით ნაკადის მოძრაობის დროს გვექნება

$$\frac{V^2}{2g} \frac{K_1}{1 - 0,5K_2} = gt^2 + V_0 t. \quad (4.3.18)$$

როცა  $K_3 = \frac{K_1}{1 - 0,5K_2}$  და (4.3.18)-ის  $t$ -ს მიმართ ამოხსნით გვექნება

$$t = \frac{1}{g} \left( 1 \pm \sqrt{1 + 0,5V^2} \right). \quad (4.3.19)$$

საბოლოოდ გაჩერების დროს მნიშვნელობას გამოტანის კონუსზე მოძრაობის დრო ექნება სახე

$$t = \frac{1}{g} \left( 1 + \sqrt{1 + 0,5V^2} \right). \quad (4.3.20)$$

გამოტანის კონუსებზე საინჟინრო ღონისძიებათა შერჩევის თვალსაზრისით მისი ენერგიის დანაკარგს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, დარსი\_ვეინბახის ცნობილი დამოკიდებულების საფუძველზე, რომელსაც აქვს სახე

$$h = \lambda \frac{L}{4H} \frac{V^2}{2g}. \quad (4.3.21)$$

(4.3.21)-ში (4.3.15)-ის გავითვალისწინებით გვექნება

$$h = \lambda \frac{K_1}{1 - 0,5K_2} \frac{V^4}{16g^2H}. \quad (4.3.22)$$

ე.ი. მოძრაობის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი

$$\lambda = \frac{h(1 - 0,5K_2)16g^2H}{K_1 V^4}. \quad (4.3.23)$$

რადგან,



$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64 L}{VH} = \frac{64 M}{\rho VH} = \frac{64 Mg}{\gamma VH}. \quad (4.3.24)$$

$$i = \frac{M}{\gamma} \frac{K_1}{1 - 0,5 K_2} \frac{V^3}{gH^2 \cdot L}. \quad (4.3.25)$$

სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი განისაზღვრება შეზის ფორმულის საფუძველზე

$$V = C \sqrt{Hi}, \quad (4.3.26)$$

$$C = \frac{V}{\sqrt{\frac{M}{\gamma} \frac{K}{1 - 0,5 K_2} \frac{V^3}{gHL}}}. \quad (4.3.27)$$

მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულებით სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი ნაკადის გავლილი ( $L$ ), მოცულობითი მასის ( $\gamma$ ), სიმაღლის ( $H$ ), ქანობის ( $\sin \alpha$ ), სიბლანტის ( $\mu$ ), სიგრძის ( $L$ ), შინაგანი ხახუნის კუთხის ( $\varphi$ ), ფუნქციას წარმოადგენს. წარმოდგენილი (4.3.27)–ე დამოკიდებულების საფუძველზე შესაძლებელია ბმული ღვარცოფის მოძრაობის პირობების პროგნოზირება და ნაგებობათა განლაგების სქემების ოპტიმალური ვარიანტების შერჩევა.

#### 4.4 ღვარცოფსადინართა გარეცხვის პროცესის პროგნოზი

ბუნებრივ წყალსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესების პროგნოზირება, გეომეტრიულ და ჰიდრაულიკურ ელემენტებს შორის კანონზომიერების დადგენა, არსებული თანაფარდობების დაზუსტება და კორექტირება მოვლენის სირთულის გამო ფართო კვლევებს მოითხოვს.

ცნობილია, რომ ნაკადისა და კალაპოტის ურთერთქმედებით მყარდება კავშირი გეომეტრიულ და ჰიდრაულიკურ მახასიათებლებს შორის აღნიშნულმა ასახვა ჰპოვა მეცნიურ-მკვლევით შრომებში [25, 108].

სადინართა მდგრადი ფორმების შეფასებისას მეცნიერთა ერთი ნაწილი მდგრადობის შესაბამისი განტოლებებით მიღებულ შედეგებს ეფუძნება, ხოლო მეორე

მდგრადობის მახასიათებელ კრიტერიუმებად კალაპოტის ფორმის კოეფიციენტს მიიჩნევს.

ღვარცოფთა ზემოქმედება სადინართა კალაპოტებზე დეფორმირებით და ნგრევის ეფექტით ვლინდება. აქედან გამომდინარე კვლევის ძირითად მიზანს ღვარცოფსადინართა კალაპოტების ფორმის ცვლილების კანონზომიერების საანგარიშო მეთოდების სრულყოფა, თვითჩამოყალიბების პროცესიდან სტაბილიზაციაზე პროცესის პროგნოზირება და არსებული საანგარიშო მეთოდების სრულყოფა წარმოადგენს.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით ჩატარებული კვლევების საფუძველზე სადინართა კალაპოტების დეფორმაციების შესწავლის შედეგად მიღებულია კალაპოტის მდგრადი ფორმის საანგარიშო დამოკიდებულება: რომელიც წყლის ხარჯთან, ქანობთან, კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ნაწილაკის დიამეტრის სიდიდებთან და წყლის ნაკადის იმ სიჩქარესთან ამყარებს კავშირს როცა განივი კვეთი ზღვრულ მდგომარეობაშია

$$B = \frac{Q^{0,5}}{I^{0,2}} \frac{K}{\sqrt{V_{\text{სლ}}}}, \quad (4.4.1)$$

სადაც:	<b>B</b>	არის	წყალსადინარის წყლის ზედაპირის სიგანე (მ);
	<b>Q</b>	-	სადინარის განივი კვეთის ფორმირების ხარჯი (მ <sup>3</sup> /წმ);
	<b>I</b>	-	სადინარის გრძივი ქანობი;
	<b>K</b>	-	კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა დაახლოებით 1-ის ტოლია.

წარმოდგენილი მოდელი შეესაბამება სადინარებზე წყლის ნაკადის ზემოქმედების შედეგებს, ხშირად ასეთ შემთხვევებს ადგილი აქვს ღვარცოფწარმომქნელი გრუნტით შექმნილ კალაპოტებში.

იდენტური პირობების შემთხვევებისათვის შეიძლება გვექნება

$$B_{\text{სლ}} = \frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi}{0,16 + \operatorname{tg} \varphi} H^{0,82}. \quad (4.4.2)$$

(4.4.2)-ის გათვალისწინებით (4.4.1.)-ში პირველში

$$\frac{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi H^{0,82}}{1 + \operatorname{tg} \varphi} = \frac{Q^{0,5} K}{I^{0,2} \sqrt{V_{\text{ბღ}}}}. \quad (4.4.3)$$

ზღვრული წონასწორული სიგანის გათვალისწინებით არაგამომრეცხი სიჩქარის საანგარიშო მოდელში ნაკადის არაგამრეცხი სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება

სახე

$$\sqrt{V_{\text{ბღ}}} = \frac{Q^{0,5} K (1 + \operatorname{tg} \varphi)}{I^{0,2} (1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi) H^{1,64}}. \quad (4.4.4)$$

ან

$$V_{\text{ბღ}} = K^2 \left( \frac{Q}{H} \right) \frac{(1 + \operatorname{tg} \varphi^2)}{I^{0,4} (1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi)^2 H_{1,64}}. \quad (4.4.5)$$

როცა წყლის სიმაღლე კალაპოტის სიღრმის ტოლია ე.ი. მივიღებთ

$$V_{\text{ბღ}} = \left( \frac{1 + \operatorname{tg} \varphi}{1 + 0,625 \operatorname{tg} \varphi} \right)^2 \frac{Q}{H^{2,64} I^{0,4}}. \quad (4.4.6)$$

როგორც (4.4.6.) დამოკიდებულებიდან ჩანს ღვარცოფწარმომქნელი მასის მიერ წარმოქმნილი კალაპოტის წყლის ნაკადით გარეცხვის ზღვრული დასაშვები სიჩქარე მისი შემადგენელი გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხის, წყლის ხარჯისა, სიღრმის და მოძრაობის ქანობის ფუნქციას წარმოადგენს.

### ძირითადი დასკვნები და რეკომანდაციები

ნაშრომში წარმოდგენილ ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების საფუძველზე გაკეთებულია შემდეგი დასკვნები:

- კორელაციური კავშირის საფუძველზე დადგენილი იქნა ღვარცოფწარმომქნელი კერის მახასიათებლების კავშირის ხარისხობრივი დამოკიდებულება შესაძლო ჩამომეწყრის ფართობისა და მოცულობებს შორის. მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულების გაანგარიშებით მიღებული შედეგების სავსე კვლევის შედეგებთან შედარების კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 0,96-ის ტოლია;
- გამოტანის კონუსებზე სარეგულიაციო ნაგებობათა გეგმაში განლაგების მიზნით მეორე რიგის დიფირენციული განტოლების ამოხსნის საფუძველზე შესწავლილი

- მოსალოდნელი კატასტროფის შეფასების მიზნით ღვარცოფის კერებში დაგროვილი მასის მოძრაობის არასტაციონალური პირობიდან გამომდინარე, თეორიული გზით, მიღებულია მოსალოდნელი საპროგნოზო ხარჯის განზოგადოებელი ხარისხობრივი დამოკიდებულება მის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებთან;
- დადგენილია ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების სიმაღლის, სიგრძის, სიჩქარის დროში შესაძლო ცვლილების კანონზომიერება და მიღებულია მათი საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- ღვარცოფებისაგან გამოწვეული კატასტროფის თავიდან აცილების მიზნით შეფასებულია კერებში დაგროვილი მასის პოტენციური სიმძლავრე, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის კერის დახრის კუხის თანაფართობათა სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს როცა ფარდობა შინაგანი ხახუნის და კერის დახრის კუთხეს შორის 1-ის ტოლია და ქანობის ცვლილება მოთავსებულია (0,17-0,64)-ის ფარგლებში, მაშინ ფარდობა კერის სიმაღლის მისი ბმულობის შესაბამის ექვივალენტურ სიღრმეს შორის (0,5-5,0)-ის საზღვრებშია მოთავსებულია;
- ღვარცოფსადინართა კალაპოტების რეგულირების მიზნით დადგენილია მათი გვერდითი შევიწროების კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობები, როცა ღვარცოფწარმოქმნელი გრუნტით შედგენილი კალაპოტის შინაგანი ხახუნის კუთხე იცვლება (5-35<sup>0</sup>) ფარგლებში; მაშინ გვერდითი შევიწროების კოეფიციენტი (0,25-0,1)-ის საზღვრებში იცვლება;
- ღვარცოფსადინარების კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების შეფასების მიზნით მათი მორფომეტრიული მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერება და მდგრადობის კოეფიციენტი ცვლილების საზღვრები მდინარე არაგვის ღვარცოფული ხასიათის შენაკადებისათვის, როცა სადინარის გრძივი ქანობი  $2^{\circ} \leq \alpha \leq 25^{\circ}$ , მაშინ განივი კვეთის სიგანის ფარდობა ნაკადის სიღრმესთან იქნება  $1,466 \leq \frac{B}{H} \leq 3,74$ ;

- ღვარცოფულ გამონატანში ფორმირებული სადინართა კალაპოტების გარეცხვისადმი წინააღმდეგუნარიანობის შეფასების მიზნით გამოყვანილია ზღვრული სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულება. იდენტურ პირობებში მისი მნიშვნელობა თიხა გრუნტებით შედგენილ წყალსადინარის კალაპოტების გამრეცხუნარიანობასთან შედარებით (17-20%)-ით მცირდება;
- საველე კვლევის შედეგებზე დაყრდობით მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულებით დადგენილია, რომ იდენტურ პირობებში ღვარცოფული კერებიდან წარმოქმნილი ხარჯი წყალსაცავის გარღვევით წარმოქმნილ ხარჯთან შედარებით(22-23%)-ით მცირდება;
- ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირებისა და მოძრაობის პირობების განმსაზღვრელი განტოლებების საფუძველზე გაანგარიშებული ჰიდროლიგიური, ჰიდრავლიკური და კალაპოტის მორფომეტრიული მახასიათებლების პარამეტრები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ღვარცოფსარეგულიაციო ნაგებობათა პროექტირებისა და მშენებლობის მეცნიერულად დასაბუთებული ნორმებისა და წესების შემუშავებაში.

### გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ უ ლ ი ლ ი ტ ე რ ა ტ უ რ ა

1. გავარდაშვილი გ. ბმული ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინააღმდეგობის გათვალისწინებით. საქ. მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, თბილისი, 1995, ტ. 151, 13, გვ. 444-447 (თანაავტორობით).
2. გავარდაშვილი გ. – მდინარე დურუჯის აუზში ეროზიულ – ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი საწინააღმდეგო ახალი საინჟინრო – ეკოლოგიური ღონისძიებები. „მეცნიერება“. თბილისი, 2003 წ. გვ. 116.
3. გავარდაშვილი გ., ჩახაია გ. – საქართველოს ძირითადი ღვარცოფული ტიპის მდინარეთა აუზების ტიპოლოგია და მათი შეფასება. „საქჰიდროეკოლოგიის“ ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2005. წ. გვ. 12-19.

4. გუბელაძე დ. კალაპოტური ნაკადები და მათი მოძრაობის ზოგიერთი თავისებურება. სამეცნიერო შრომათა კრებული მეცნიერების პრობლემები, საერთაშორისო კრებული. თბილისი. ერევანი. სსაუ. 1999 წ.
5. გუბელაძე დ. ძირითადი და ინდუქციური ნაკადების ურთიერთქმედების კანონზომიერებანი. სამეცნიერო შრომათა კრებული აგრარული მეცნიერებათა პრობლემები, საიუბილეო კრებული. თბილისი. სსაუ. 1999წ.
6. გუბელაძე დ. კალაპოტური პროცესების გაანგარიშება და პროგნოზირება. მონოგრაფია. თბილისი. 2002 წ.
7. დანელია რ., კუხალაშვილი ე. ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობა; კალაპოტური პროცესების სამილსადენო ტრანსპორტისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჰიდრავლიკისა და ჰიდროტექნიკის საკითხებზე სამეცნიერო კონფერენციის შრომები „თბილისი“ 2000 წ. გვ. 43-45.
8. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., ხუცურაული ბ. ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმები. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 145-151.
9. კუხალაშვილი ე. ბმული ღვარცოფის თავისუფალი ძედაპირის განტოლება პრიზმატულ კალაპოტებში დამყარებული ართანაბარი მოძრაობის დროს. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის 70 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი 2000 წ. გვ. 370\_375.
10. კუხალაშვილი ე., დანელია რ. ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის სასრულო სხვაობანი განტოლებები. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალეკოლოგიის სამეურნეო შრომათა კრებული. თბილისი 2001 წ. გვ. 116-118.
11. მამასახლისი ჟ., კუხალაშვილი ე., ომსარაშვილი გ. არაპრიზმულ კალაპოტებში მუდმივი სიღრმის ბმული ღვარცოფის მოძრაობის განტოლება. აგრარულ მეცნიერების პირობები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XII თბილისი. 2001წ.
12. მამასახლისი ჟ., წყალდიდობები დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე და მასთან ბრძოლა. ივ. ჯავახიშვილი. დაბადების 120 წლისთავთან მიძღვნილი მეხუთე რესპუბლიკური კონფერენცია თსუ. 1996წ. თბილისი. გვ. 114.
13. მამასახლისი ჟ. კატასტროფული წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების გაანგარიშება და პროგნოზირება. (დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა

14. მამასახლისი ჟ., ცომაია გ., შაუთიძე ო. ერთხელ კიდევ მდინარე რიონზე 1987 წლის 31 იანვრის კატასტროფული წყალმოვარდნების შესახებ. ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის სამეცნიერო სესია. თბილისი. 1998წ. გვ. 23-25.
15. ნათიშვილი ო. გ., თევზაძე ვ. ი., დანელია ზ. ნ. ღვარცოფების და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ჰიდრავლიკა. თბილისი, 1995 წ. 70 გვ.
16. უნდილაშვილი ნ., ბმულ ღვარცოფთა რეგულირების ღვარცოფსადინარების მორფომეტრიული მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები“. ტ. XXXVI. თბილისი. 2005 წ. გვ.198-200.
17. უნდილაშვილი ნ. ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობის შეწყვეტის განმსაზღვრელი მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები“. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XXXIII თბილისი, 2005 წ. გვ. 141-143.
18. ყრუაშვილი ი. ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე. კალაპოტურ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ღიობების ძირითადი გაბარიტების შერჩევა. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი ტ. I 1997 წ. გვ. 231-238.
19. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი ტიპის კონსტრუქციები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ნაწილი II, თბილისი. 1998, გვ. 180-186.
20. ყრუაშვილი ი. ფერდობების ეროზიული მდგრადობის საინჟინრო პროგნოზი. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი. 2001წ. 139-145 გვ.
21. ყრუაშვილი ი. ღვარცოფების შემფოთებული ზონის საანგარიშო მახასიათებლები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი. 1997 წ. ტ. №1. გვ. 228-235.
22. ხუცურაული ბ. ბმული ღვარცოფის ძირითადი განმსაზღვრელი პარამეტრები. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XIII, თბილისი, 2001, გვ. 144-151.
23. ხუცურაული ბ. ბმული ღვარცოფის ფორმირება და საანგარიშო ხარჯის პროგნოზირება. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XIII, თბილისი, 2001, გვ. 139-144.

24. Авалиани Э.С. О прогнозировании селей. Селевые потоки. Тр. Каз. НИИГиМ, М., 1976, сб. 1, с. 484.
25. Алтунин В. Деформации русел канала -М, Колос, 1972 г. 120с.
26. Ахмедов Б.М., Джартаев Д.К.Б Квасов Л.Н. Исследование сбросных сооружений селезадерживающих плотин. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, изд-во Казахстан, 1979, с. 144-152
27. Бегишвили К.Р. Новые данные о движении грязекаменных потоков. Материалы всесоюзной конференции по селевым потокам, Алма-Ата, 1959 г.с. 122-123.
28. Белкин И.М., Виноградов Н.В., Леонов А.И. Ротационные приборы. Измерение физико-механических характеристик материалов. М., Машиностроение, 1968, 272 с.
29. Беручашвили Г.М. Некоторые вопросы динамики селевого потока и его взаимодействия с сооружениями. Материалы IV всесоюзной конференции по селевым потокам. Алма-Ата, изд-во АН Каз ССР, 1959, с. 132-144
30. Беручашвили Г.М. Метод определенияч максимальных расходов селевых потоков в момент их возникновения. В кн.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, 1979, с. 40-55.
31. Белый Л.Д. Инженерная геология. М., Высшая школа, 1985, 231 с.
32. Белый Л.Д. Теоретические основы инженерного-геологического картирования. М., "Недра", 1964, 168 с
33. Боголюбова И.В. Селевые потоки и их распространение на трерриториях СССР, Л., Гидрометеоиздат, 1957, 162 с.
34. Великанов М.А. Изучение селей в СССР. Селевые паотоки и борьба с ними. Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 7-13.
35. Великанов М.А. Современное представление динамической структуры селевого потока. Вест. Моск. Ун-та, сер. Физ-мат. и естест. наук. В кн.: Вопросы геологии Азии. Изд-во АН СССР, М.-Л., т. 2, 1955, с. 397-403.
36. Великанов М.А. Качественный динамический анализ селевого ротока. Изд-во АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., т. 9, №4, 1945, с. 353-363.
37. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. М., т. 2, 1955, 323 с.
38. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. М., Радио и связь, 1983, 141 с.



39. Виноградов Ю.Б. О структуре и динамике селевой массы. Селевые потоки. Гидрометеиздат, сб. 2, 1977 г., с. 2-26.
40. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л., Гидрометеиздат, 1980, 144 с.
41. Власов А.Ю., Петров В.Ф. Селевые явления в Австрии и борьба с ними. Тезисы докладов XV всесоюзной конференции по противоселевым мероприятиям, вып. 3, М., ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1978, с. 157-162.
42. Войнич-Сяноженский Т.Г., Беручашвили Г.Н. К гидравлической теории потоков лавинного характера. Тр. ЗакНИИГиМ, М., 1970, вып. 37(43), с. 29-69.
43. 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.
44. Гавардашвили Г.В. Чахая Г.Г., Цулукидзе Л.Н. Оценка эрозионно-селевых явлений в бассейнах р. Терек, Белая Арагви и Дуруджи Матеряли Международной конференции по селевым. Пятигорскб 2003 г. 22-24.
- трнародной кщнфуеренц
45. Гавришкина А.Н. К методике расчета статистического напряжения сдвига селевой массы. Селевые потоки. Сб. 6, М., Гидрометеиздат, 1982, с. 5-15.
46. Гвелесиани Т.Л. Анализ основной зависимости для высоты образованной волны в водохранилищах при вертикальном смещении части их дна в результате тектонических землетресений. Сообщения АН ГССР, т. 51, №3, 1968.
47. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Изд-во "Сабчота Сакартвело", Тбилиси, 1970, 386 с.
48. Гагошидзе М.С. Структура, формирование и движение структурных селевых потоков. Сб. Защита железных дорог от селевых потоков, М., 1962.
49. Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г. Экспериментальная установка по изучению селевых потоков и паводков. Тр. ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1965, вып. 23, с. 175-184.
50. Гагошидзе М.С. Новый способ борьбы с селями (грязекаменными потоками). Сб. тр. Груз. НИИГиМ, сб. №2, 1951, с. 146-167.
51. Гагошидзе М.С. Способы защиты от селевых потоков объектов, расположенных на конусе выноса горного водотока. Тр. Груз. НИИГиМ, вып. 23, 1965, с. 137-158.

52. Гагошидзе М.С., Натишвили О. Г., Сулаквелидзе Г. А., Иорданишвили З.С., Тевзадзе В.И. Некоторые инженерные задачи расчета селевых потоков. Труды Груз. НИИТИМ. Тбилиси, 1967 г.. вып. 25. с. 26-37.
53. Губеладзе Д. О. Искусственные водоемы Грузии и их природоохраненные аспекты. Прорлемы сельского хозяйства и экологии закавказского региона, Международная научная конференция, Ереван 2001. ст. 53-58.
54. Думитрасико Н.В. Геологические условия образования селей в СССР. V Всесоюзное совещание в г. Баку. М.-Л., 1982, с. 15-21.
55. Егизаров И.К. К решению задачи и транспорта несвязных наносов (любых фракций) с учетом влияния их концентраций в слое градиентом мутности. Изд-во АН СССР №5, 1959, с. 115-126.
56. Егизаров И. К. Движение неоднородной по крупности смесей наносов. Изд-во АН Арм. СССР, серия техн. 1963, т. 16, №2-3, с. 41-50.
57. Ибад-Заде Ю.А. Инженерные методы борьбы с селевыми потоками в Азербайджане. Материалы V всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ними. Баку, 1962, с. 223-224.
58. Иванов Г.А. Некоторые свойства грязекаменных потоков и новый способ их изучения. Материалы V всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ними. Баку, 1962, с. 223-224.
59. Иорданишвили З.С., Сохадзе А.Д. К вопросу об ударном воздействии структурного селевого потока на сквозные сооружения. Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. М., 1974, вып. 3, с. 48-54.
60. Иорданишвили З.С. Движение структурных селей на прямолинейные участки русла. В кн.: Защита железных дорог от селевых потоков. М., Трансжелдориздат, 1962, с. 188-196.
61. Кавецкий С.П. Об искусственном воспроизводстве селей в природных условиях и меры борьбы с ними. Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 200-205.
62. Квасов А.Н. Селевые потоки и их взаимодействие на сооружения. Изд-во "Наука" Казахской ССР, Алма-Ата, 1987, 130 с.
63. Квашилава Н.Г. Влияние водонасыщенности на условия возникновения селей. Сообщения АН Груз. ССР, 1982, №106, с. 353-356.

64. Кереселидзе Н.Б. К проблеме устойчивости течения потока и его твердых границ в размываемых грунтах. Тбилиси, Мецниереба, Труды ТНИСГЭИ, 1968, вып. 1, с. 38-
65. Кикилашвили Т.В. О селевых потоках правобережья р. Алазани и меры борьбы с ними. Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 171-177.
66. Кулиев С.Н., Усьман Б.Н., Абдинов И.А. Вопросы гидравлики глинистых и цементных растворов. Баку, Азернесир, 1963, с. 140.
67. Круашвили И. Г., Критические скорости течения в земляных каналах при наличии фильтрации. Труды Груз СХИ, „Орошении земель в горных условиях”. 1985, с. 53-58.
68. Круашвили И. Г. Губеладзе Д. О. Влияния фильтрации на кинематическую структуру придонного слоя водного потока. Материалы Все\_союзной конференции молодых специалистов, строительство ГЭС в высокогорных условиях. Цкфлтубо, 1986, с. 80-
69. Круашвили И. Г., Купреишвили Ш. З. Влияния филтрации начального градиента на расстояние межд дренами. „Проблемы Аграрной Наук”. сб. научных трудов ГГГАС, т. XX. 2002, с. 128-130.
70. Кухалашвили Э.Г., Гавардашвили Г.В., Сиамашвили А.П. Комплекс инженерных мероприятий по зарегулированию Хархети-хеви. В Душетском районе. Научно-техническая конференция молодых ученых и аспирантов на темут мелиорацых и водохозяйственное строительство, Тбилиси. 1989г, с. 116.
71. Кухалашвили Э.Г. К оценке гранулометрического состава селевого потока. Республиканская научная конференция молодых ученых и аспирантов на тему „Водохозяйственное строительство и мелиорация в Грузии”, Тезисы докладов, Тбилиси, 1982 г., с. 18-19.
72. Кухалашвили Э.Г. Сичинава П.О, Ундилашвили Н. А., „Условия движения многово компонентных потоков. „Известия Аграрной Науки”. Т.3.,№4. Тбилиси, 2005. с. 98-100.
73. Кухалашвили Э.Г., Круашвили И.Г., Мирцхулава З.Ц. Показатели предельного равновесия состояния. Сообщения АН Груз. ССР, Тбилиси, 1985, т. 120. 32, с. 373-376.
74. Кухалашвили Э.Г. Об адаптации законов механики неньютоновских систем для описания динамики трехлинейной модели структурных (грязекаменных) селевых потоков. Сообщения АН Груз. ССР, Тбилиси, 1983, т. 112, 31, с. 113-116.
75. Мирзаджанзаде А.Х., Мирзоян А.Л., Гевинян Г.Н., Сейдра М.К. Гидравлика цементных растворов. М., 1966, с. 298.

76. Мирцхулава Ц.Е. Оценка риска повреждения противоселевых сооружений. Труды ВНИИГиМ, М., 1975, вып. 4, с. 48-62.
77. Мирцхулава Ц. Е. Современные СТМИ возможности предсказания уязвимого состояния территорий и объектов для катастрофических селей- ж. Геоэкология № 1 Тбилиси 2006 гю ст. 57-65.
78. Мостков М.А. Очерки теории руслового потока. Изд-во АН СССР, М., с. 18-54
79. Мостков М.А. Очерк теории руслового потока. М. Изд-во АН СССР, 1959, с. 246.
80. Мостков М.А. Прикладная гидромеханика. М.-Л., „Госэнергоиздат“, 1959, 246 с.
81. Мясников В.П. Течение вязко-пластической среды при сложном сдвиге. ПМТФ, 1961, №6, с. 76-78.
82. Натишвили О. Г. Тевзадзе В.И. Гидравлические закономерности связных селей, „Мецниереба ”, 1996 г.с. 156.
83. Непорожный П.С. Защита гидроэлектростанций от селевых потоков. Под. ред. проф. М.Ф. Срибногo. М.-Л., „Госэнергоиздат“, 1947, 167 с.
84. Панюков П.Н. Основы физической минералогии. Часть 1, М., 1966, 70 с.
85. Панюков П.Н. Основы физической петрографии. Часть 2, М., 1968, 108 с.
86. Пруидзе Д.К. Определение уклона остановки селевых потоков. В кн. №6, М., 1978, с. 118-121.
87. Саноян А.Г. Неравномерное движение селевого потока в непризматических каналах с переменным уклоном дна. Изв. АН Арм. ССР, Ереван, 1973, №2, с. 28-34.
88. Сванидзе Г.Г., Цуцкиридзе Я.А. Основные гидрометеорологические явления на Кавказе. Л., Гидрометеoиздат, 1980, 268 с.
89. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М., Изд-во МГУ, 1983, 389 с.
90. Смирнов И.П. Опыт изучения селей путем искусственного их воспроизводства. Труды Каз. НИИГиМ, 1953, вып. 4, с. 39-54.
91. Сохадзе А.д. Об ударном воздействии структурных селевых потоков Материалы конференции молодых научных работников по гидроэнергетическому строительству и гидромелиорации, Изд-во. „ Месниереба ”, Тбилиси, 1971 г.с. 77-80.
92. Сулаквелидзе Л.А. и др. Прохождение селевых потоков по руслу горного потока Шави Дуруджи 29.07.1956 г. Труды ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1957, вып. 18-19.

93. Степанов Б.С. Баланс жидкой и твердой фаз Землинского Алатау. Труды КазНИИГиМ, 1976, сб. 1, с. 153-157.
94. Степанов Б.С. О соотношении транспортных и гравитационных сил при движении селевых потоков. Селевые потоки. М., Гидрометеиздат, 1977, сб. №2, с.
95. Тевзадзе В.И. К вопросу установления предельного напряжения сдвига модели структурной селевой массы. Труды Груз. НИИГиМ, Тбилиси, 1972, вып. 29, с. 136-145.
96. Тевзадзе В.Н., Каладзе Б.Л., Кухалашвили Э.Г. Критериальные значения сложности селевых смесей высокой плотности. Прогноз и борьба с эрозией почв. Сб. научных трудов Груз. НИИГиМ, Тбилиси, 1987 г., с. 119-125.
97. Флейшман С.М. Исследование вязкости и взвешенной способности селевой массы. Труды ВНИИЖДСиП, 1952, вып. 7, с. 132-149.
98. Флейшман С.М. За четкое представление о структурных селевых потоках. „Метеорология и гидрология“, №10, 1959, с. 49-50.
99. Флейшман С.М. Сели. Л., Гидрометеиздат, 1970, 352 с.
100. Флейшман С.М. Л., Гидрометеиздат, 1978, 312 с.
101. Фукс Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов. М.-Л., Гостехиздат, 1951, с. 252.
102. Хмаладзе Г.Н. Редкий водокаменный поток. „Природа“, №10, 1995, с. 91-93.
103. Херхеулидзе Н.Н. Селевые нагрузки и способы их определения. Тр. ЗакНИИГМ, вып. 83(90), Л., Гидрометеиздат, 1984, с. 77-111.
104. Херхеулидзе Г.И. К определению нагрузок от воздействия селевого потока на поперечные преграды. Тр. Зак. НИГМИ, вып. 40(46), Л., Гидрометеиздат, 1972 г., с. 76-113.
105. Херхеулидзе И.И. Эмпирические формулы для приближенного определения расчетных параметров структурных селевых потоков. Всесоюзной конференции-совершения по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку, 1962, с. 178-185.
106. Хмаладзе Г.Н. Выносы наносов реками Черноморского побережья Кавказа. Л., „Гидрометеиздат“, 1978, с. 165-166.
107. Хмаладзе Г.Н. Селевые потоки в Армении и условия их формирования. Труды ЗакНИИГиМ, вып. 11, Л., Гидрометеиздат, 1963.

108. Шатберашвили Ф.А., Сичинава О.А., Сиамашвили А.Р. Некоторые гидравлические и гидрометрические закономерности потока в устойчивых руслах. Сообщ. А.Н. Грузии, 1999, с.454-457.
109. Шеко А.Н. Распространение и формирование селей на территории СССР. В сб.: Метод, руководство по комплексному изучению селей. М., Недра, 1971, с. 13-16.
110. Шеко А.И. Исследование механизма развития экзогенных геологических процессов и факторов, их обуславливающих. ВСЕГИОГНД, М., 1985, 119 с.
111. Шеко А.И. Методы изучения и прогноза экзогенных геологических процессов. М., „Недра“, 1988, 215 с.
112. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. Перевод с англ. М., Мир, 1972, 382 с.
113. Эзимов С.Э. Селевые явления в туркменской ССР и меры борьбы с ними. Ашхабад, 1980, 58 с.
114. Яно К., Даидо А. Фундаментальные исследования грязекаменных потоков. Труды института защиты от стихийных бедствий. Т. 14, часть 2, Киото, 1985, с. 69-93.
115. Bearly K.M. Viscosity-concentration relation in defalcated Kaolin suspensions. J. Colloid Int. Sa. 1972. vol. 41, #1, p. 105-115
116. Daido A., Sacamoto V. Viscosity and yield value of the fluid containing plenty clay. Proc. Osaka tech. College Depart. Civ. Eng., 1973, p. 59-68.
117. Di Silvio G. Flood and Sediment Dynamics in Mountain Rivers. Pre-proceeding of the NATO ASJ on „Coping with Floods“. E. Mojoraamana center Erice, November 3415, 1992, p. 110..
118. Fltecher A.G., Hamilton W.S. Flood Routing in an Irregular Channel. J. Eng., Mechanics Div. PASSCE, June, 1967, vol. 93, EM3, Paper 5282, p. 45-62.
119. Gubeladze D. The Transfomation of Woter Sector in Georgia. Annals of Agrarian Science 2. 2003. pp. 57-61.
120. Gubeladze D. Problems of fresh Woter in industrial sector and methods of reduction their pollution. The 12 Stockholm Woter Symposiom, Abstract Volume, Sweden. 2002. pp. 99-101.

## ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი;

თავი 1 ბმულ ღვარცოფთა ზღვრული

წონასწორობისა და მოძრაობის

განმსაზღვრელ მახასიათებელზე საერთო

წარმოდგენა;

1.1. ღვარცოფული მოვლენების კვლევის

ეტაპები და მათი შესწავლის თანამედროვე

მდგომარეობა;

1.2. ფაქტორთა როლი ღვარცოფულ

პროცესებში;

1.3. ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო

დამოკიდებულებები;

თავი 2 ღვარცოფული პროცესების შეფასების

საველე კვლევის შედეგები;

2.1. ღვარცოფთა მონიტორინგი და მათ

სადინართა ეკოლოგიური მდგომარეობა;

2.2. ღვარცოფის მოსალოდნელი მოცულობის

განსაზღვრის თეორიული საფუძვლები;

2.3. საველე ექსპერიმენტების ბაზაზე

ღვარცოფის დაძვრის მოცულობის

პროგნოზი;

2.4. საველე კვლევის საფუძველზე ღვარცოფის

ჩამომეწყვრის ფართობების

სტატისტიკური ანალიზი;

თავი 3 ღვარცოფულ კერებში ფორმირებული

ნაკადის მახასიათებლების განსაზღვრა;

3.1. ღვარცოფის სიღრმის, სიჩქარის და ხარჯის

დროში ცვლილების პროგნოზი;

3.2. ღვარცოფის ფორმირება და საანგარიშო

ხარჯის დადგენა;

- 3.3. ბმული ღვარცოფის მოძრაობის შეწყვეტის განმსაზღვრელი მახასიათებლები;

თავი 4 ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მორფომეტრული მახასიათებლები და ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრები;

- 4.1. ღვარცოფსადინარების კალაპოტების მახასიათებლები;

- 4.2. კალაპოტური პროცესების გათვალისწინებით ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების შერჩევა;

- 4.3. ბმულ ღვარცოფთა გამოტანის კონუსებზე ნაკადის მოძრაობის პირობები;

- 4.4. ღვარცოფსადინართა გარეცხვის პროცესების პროგნოზი;

დასკვნები და რეკომენდაციები;

გამოყენებული ლიტერატურა.