

ირაკლი ყრუაშვილი

ღვარცოვები და მათთან
ბრძოლის გეთოდები

თბილისი
2014

მონოგრაფიაში განხილულია ღვარცოფული მოვლენები და მათი ბუნება, კლასიფიკაცია, გავრცელების არეალი მსოფლიოსა და კავკასიაში, ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის თანამედროვე მდგრამარეობა. შემოთავაზებულია ბმული ღვარცოფების ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის ძირითადი განმსაზღვრელი მაჩვენებლების ლაბორატორიულ-ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მეთოდიკა და ანალიზი, ბმული ღვარცოფის ჩამოყალიბების პირობები და მათთან ბრძოლის მეთოდები.

მონოგრაფია განკუთვნილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის მაგისტრებისა და დოქტორანტებისათვის აგრეთვე, იმ მეცნიერებისა და სპეციალისტებისთვის, რომლებიც მუშაობენ ჰიდროინჟინერიის, ჰიდროტექნიკური მელიორაციის, ჰიდროლოგიის, საინჟინრო ეკოლოგიისა და ჰიდროგეოლოგიის განხრით. იგი აგრეთვე დიდ დახმარებას გაუწევს ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირება-მშენებლობითა და ექსპლუატაციით დაკავებულ ინჟინრებს.

სამეცნიერო რედაქტორი

- ოთარ ნათიშვილი** – საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის განყოფილების აკადემიკონ-მდივანი, აკადემიკონი.
- რეცენზენტები:**

- თემურაზ გველესიანი** – საქართველოს საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსი, ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი.
- დავით კერესელიძე** – ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორი.

სარჩევი

	წინასიტყვაობა	6
თავი 1	ღვარცოფული მოვლენები და მათი ბუნება	10
1.1	ღვარცოფული მოვლენები და მათი კლასი- ფიკაცია	10
1.2	ღვარცოფული მოვლენების გავრცელება მსოფლიოში	18
1.3	ღვარცოფების გავრცელება კავკასიასა და საქართველოში	23
1.4	ღვარცოფებთან ბრძოლის ღონისძიებები	35
	ლიტერატურა	44
თავი 2	ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის თანა- მდეროვე მდგომარეობა	46
2.1	ბმულ ღვარცოფთა წარმოშობისა და მოძ- რაობის თავისებურებანი	46
2.2	ღვარცოფულ მოვლენებთან ადაპტირებუ- ლი საანგარიშო მოდელები	61
2.3	ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო დამოკიდებულებანი	67
	ლიტერატურა	81
თავი 3	ბმული ღვარცოფების ზღვრული წონასწო- რობისა და მოძრაობის ძირითადი განმსაზ- ღვრელი მაჩვენებლების ლაბორატორიულ- ექსპერიმენტული კვლევები	89
3.1	ღვარცოფის ბმულობის კრიტერიალური საზღვრები	89
3.2	ღვარცოფული პროცესების განმსაზღვრე-	

	ლი ფაქტორები, ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდიკა, ანალიზი და შედეგები	100
3.3	ბმული ღვარცოფის გვერდითი გაფარ- თოების კოეფიციენტის ექსპერიმენტული კვლევა	130
3.4	ბმული ღვარცოფის სრული მხები ძაბვის ექსპერიმენტული კვლევა	133
	ლიტერატურა	140
თავი 4	ბმული ღვარცოფის ჩამოყალიბების პირობები	142
4.1	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრა- დობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორ- მების შეფასება ზღვრული დაბაბულობის თეორიის საფუძველზე	142
4.2	ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის წონასწორობის რღვევის განსაზღვრა ხა- რისხობრივი ფუნქციების გამოყენებით	154
4.3	ბმული ღვარცოფის დაძვრის ფარდობითი სიღრმის განსაზღვრა	164
4.4	ღვარცოფსაცავში ბმული ღვარცოფის წო- ნასწორობის რღვევის შესწავლა და მოსა- ლოდნელი ხარჯის პროგნოზი	171
4.5	არასტაციონარულობის საფუძველზე ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების ცვლი- ლების კანონზომიერების განსაზღვრა	194
4.6	ბმული ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა დინამიკური წონას- წორობის განტოლების საფუძველზე	204
4.7	ბმული ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა შვედოვ-ბინგამის განზოგადებული მოდელის საფუძველზე	209

4.8	ბმული ღვარცოფის არათანაბარი მოძრაობის მათემატიკური მოდელი.	216
	ლიტერატურა	221
თავი 5	ღვარცოფებთან ბრძოლის მეთოდები	228
5.1	ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები	228
5.2	ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშება	236
5.3	ბმულ ღვარცოფში შეშფოთებული ზონის წარმოშობა	240
5.4	ღვარცოფსადინარებზე გადასასვლელი ნაგებობების ღიობის საანგარიშო გეომეტრიული ზომები	246
	ლიტერატურა	251
	ტერმინლოგიური ლექსიკონი	256
	ანბანური საძიებელი	333
	ABSTRACT, АННОТАЦИЯ	337

წინასიტყვაობა

დედამიწაზე მიმდინარე კლიმატის ცვლილებამ ადამიანთა ფურადღება მიაპყრო გარემოს მდგომარეობაზე, ვინაიდან ბუნება მყისევი რეაგირებს მიმდინარე პროცესებზე. როგორც ცნობილია, კლიმატის ცვლილების ფონზე მიმდინარე გლობალური დათბობა, უპირველეს ყოვლისა, იწვევს ყინულოვანი საფრის ინტენსიურ დნობას და შესაბამისად ისეთი სტიქიურ-დამანგრეველი პროცესების აქტივაციას, როგორიც არის წყალდიდობები, ზვავები და კატასტროფული ღვარცოფები.

ანომალიათა შორის განსაკუთრებული ადგილი ღვარცოფს უკავია და მისი გავლენის სფეროებში მოქცეული ობიექტების მწყობრიდან გამოსვლის, მიყენებული ეკონომიკური ზარალისა და ადამიანთა მსხვერპლის მიხედვით იგი საშიშროების უმაღლესი რისკის კატეგორიას შეიძლება შივაკუთვნოთ.

დღევანდელი მონაცემებით გარემოს დაცვითი ღონისძიებების გამოყენების დონე არის დაბალი, რაც იწვევს წყლისა და მიწის რესურსების საკმაოდ დიდ დანაკარგს. ამსთან ერთად, ეროვნული მოვლენების შედეგად, შეესებულია ღვარცოფწარმომქმნელი კერების ქვაბულების დიდი ნაწილი, მძიმე მდგომარეობაშია და რეგულირებას მოითხოვს ღვარცოფსადინართა კალაპოტები, საგალალო მდგომარეობაშია ან საერთოდ არ არსებობს ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობები.

გამომდინარე ზემოაღნიშნულიდან ღვარცოფსაცავებში მიმდინარე პროცესები, მათი საანგარიშო მახასიათებლების ცვლილების პროგნოზირება, სატრანზიტო უბნებზე და გამოტანის კონუსებზე მოძრაობის პირობების შეფასება და თეორიულ-ექსპერიმენტულ კვლევებში გამოყენებული მეთოდების გაღრმავება-დაზუსტება ღვარცოფული პროცესების შესწავლის აქტუალურ პრობლემად რჩება.

მონოგრაფიაში განხილულია ღვარცოფული მოვლენები და მათი ბუნება, კლასიფიკაცია, გავრცელების არეალი როგორც საქართველოსა და კავკასიაში, ასევე მოელ მსოფლიოში; გაანალი-

ზებულია ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა.

ჩატარებული ლაბორატორიულ-ექსპერიმენტული კვლევების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია ღვარცოფული პროცესების განშეაზღვრელი ფაქტორები, ღვარცოფის ბმულობის კრიტერიალური საზღვრები, ბმული ღვარცოფის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი და სრული მხები ძაბვები.

ზღვრული დაძაბულობის თეორიის საფუძველზე შეფასებულია ღვარცოფწარმოქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმები. განსაზღვრულია ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის წონასწორობის რღვევის პირობები ხარისხობრივი ფუნქციების გამოყენებით და ბმული ღვარცოფის დაძვრის ფარდობითი სიღრმე. აგრეთვე, შესწავლილია ღვარცოფ-საცავიდან ბმული ღვარცოფის წონასწორობის რღვევევა და მოცემულია მოსალოდნებლი ხარჯის პროგნოზის მეთოდიკა. არასტაციონარულობის საფუძველზე განსაზღვრულია ღვარცოფსაცავის მახა-სიათებლების ცვლილების კანონზომიერება. დინამიკური წონას-წორობის განტოლებისა და შვედოვ-ბინგამის განზოგადოებული მო-დელის საფუძველზე გაანგარიშებულია ბმული ღვარცოფის თანაბა-რი მოძრაობის სიჩქარე.

განხილული და შემუშავებულია ღვარცოფებთან ბრძოლის მეთოდები, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები. შესწავლი-ლია ბმული ღვარცოფისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ურთიერთქმედების საკითხები.

საყოველთაოდ ცნობილია, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩვენს დროში საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური ინფორმაციის გაცვლას. აუცილებლად უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურის გაცნობისას მკითხველისათვის ჯერ კიდევ სერიოზულ დაბრკოლებად რჩება ენობრივი ბარიერი. სწორედ ამიტომ ნაშრომის ბოლო ნაწილში მოცემულია ქართულ-რუსულ-ინგლისური ტერმინოლოგიური და ქართულ-რუსული განმარტებითი ლექსიკონები, რომლებიც ასახავს ღვარცოფული მოვლენების ყველა მხარეს (გენეზისი, წარმოქმნის პირობები და მექანიზმი, მორფოლოგია და დინამიკა, შესწავლის მეთოდები და ღვარცოფებ-თან ბრძოლის ღონისძიებები).

მონიგრაფია განკუთვნილია იმ მეცნიერებისა და სპეციალისტებისთვის, რომლებიც მუშაობენ ჰიდროინჟინერიის, ჰიდროტექნიკური მელიორაციის, ჰიდროლოგიის, საინჟინრო ეკოლოგიისა და ჰიდროგეოლოგიის განხრით. იგი დიდ დახმარებას გაუწევს მაგისტრებს და დოქტორანტებს, რომლებიც დაკავებული არიან დავარცოფული მოვლენებისა და მომიჯნავე პროცესების შესწავლის საკითხებით და, აგრეთვე, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირება-მშენებლობითა და ექსპლუატაციით დაკავებულ ინჟინრებს.

წინამდებარე ნაშრომი მოიცავს ავტორის მიერ (ან მისი უშუალო მონაწილეობითა და ხელმძღვანელობით) სხვადასხვა პერიოდში ჩატარებული კვლევის შედეგებს. თუმცადა პრობლემის სირთულის, მრავლფაქტორიანობისა და, აგრეთვე, წიგნის ფორმატის შეზღუდულობის გამო ვერ მოხერხდა მოვლენის სრული აღწერა და ყველა მკვლევრის შრომების განხილვა.

მონიგრაფია წარმოადგენს მცდელობას, ასახულ იქნას ღვარცოფული ნაკადების ბუნება, დინამიკა და მათთან ბრძოლის რაციონალური ღონისძიებები. ავტორი თვლის, რომ მის მიერ შემოთავაზებული ახალი დამოკიდებულებები და მეთოდები, ღვარცოფული პროცესების ანომალური ბუნების გამო, არ არის სრულყოფილი და მოითხოვს შემდგომ დაზუსტებას თეორიული, ლაბორატორიული და ნატურული კვლევების საფუძველზე.

ავტორი უპირველეს მოვალეობად მიიჩნევს, მადლობა მოახსენს საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის განყოფილების აკადემიკოს-მდივანს, აკადემიკოს – ოთარ ნათიშვილს, რომელიც ყოველთვის იყო და არის ავტორის ახალი მეცნიერული იდეებით მასაზრდოებელი, ნაშრომის შედგენისა და რედაქტირების დროს გამოთქმული საქმიანი შენიშვნებისა და წინადადებებისათვის, რაც დადგებითად აისახა ნაშრომის საბოლოო ვარიანტის ჩამოყალიბებაზე.

განსაკუთრებულ მადლიერებას გამოხატავს ავტორი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რექტორის, პროფესორ არჩილ ფრანგიშვილისა და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რექტორის მოადგილის, პროფესორ ლევან კლიმიაშვილის მიმართ სამუშაო გარემოს შექმნისა და ნაშრომის გამოცემის მხარდაჭერისთვის, აგრეთვე საქართველოს საინჟინრო აკადემიის აკადემი-

კოსის, ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორის **თეიმურაზ გველე-**
სიანისა და ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის პროფესორის **დავით კერძესელიძის** მიმართ ნაშრო-
მის რეცენზირების დროს გაწეული სამუშაოსთვის.

ავტორი მადლობას უხდის ედუარდ კუხალაშვილს, ირმა
ინაშვილს, კონსტანტინე ბზიავას, ირინა კლიმიაშვილს მონოგრა-
ფიაში ასახული თეორიულ-ლაბორატორიული კვლევების დამუ-
შავებაში მონაწილეობისთვის და ქალბატონ ნელი ქაფიანიძეს
ნაშრომის კორექტირების დროს გამოთქმული წინადადებებისათვის.

თავი 1. ლვარცოფული მოვლენები და მათი პუნქტები

1.1. ლვარცოფული მოვლენები და მათი კლასიფიკაცია

დედამიწაზე მიმდინარე კლიმატის ცვლილებამ კაცობრიობის ყურადღება მიაპყრო გარემოს მდგომარეობაზე, ვინაიდან ბუნება მყისიერად რეაგირებს მიმდინარე პროცესებზე. როგორც ცნობილია, კლიმატის ცვლილების ფონზე მიმდინარე გლობალური დათბობა, უპირველეს ყოვლისა, იწვევს ყინულოვანი საფრის ინტენსიურ დღობას და, შესაბამისად, ისეთი სტიქიურ-დამანგრეველი პროცესების აქტივაციას, როგორიც არის წყალდიდობები, ზვავები და ლვარცოფები [12].

აღნიშნულ მოვლენებსა და ანომალიებს სტოქასტიკური ხასიათი გააჩნიათ და მათი ზემოქმედება ეკოლოგიურ წონას-წორობაზე მკვეთრად ცვლის გარემო პირობებს. გამომდინარე აქედან, აუცილებელი ხდება გარემოს დამცავი ისეთი ღონისძიებების შემუშავება, რომელთა რეალიზება უზრუნველყოფს როგორც ეკოლოგიური წონასწორობის მდგრადობას, ასევე ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენების შესაძლებლობას.

ანომალიათა შორის განსაკუთრებული ადგილი ლვარცოფებს უკავიათ, რომელთა გავლენის სფეროებში მოქცეული ობიექტების მწყობრიდან გამოსვლა, მიყენებული ეკონომიკური ზიანი და ადამიანთა მსხვერპლი, საშიშროების უმაღლესი რისკის კატეგორიას შეიძლება მივაკუთვნოთ [17].

ლვარცოფი, ერთ-ერთი სახიფათო სტიქიური მოვლენა, წარმოადგეს სწრაფი, დამანგრეველი ძალის დინებას, რომე-

ლიც შედგება წყლისა და ნაშალი ქანებისაგან. ჩვეულებრივ, ღვარცოფი წარმოიქმნება მთის მდინარეების აუზებში ინტენ-სიური წვიმების, თოვლის დნობისა და მორენების გარღვევის შედეგად.

მორენები შედგება მყარი ქანებისგან, წვრილი ხრეშის, ქვიშის, თიხის, მსხვილი ქვებისა და ლოდების, აგრეთვე ყინუ-ლისა და თოვლისგან. მორენების წყლით გაჟღენთვის შედეგად უკარიად ხდება მათი საზღვრების გარღვევა, აღნიშნული მასა დიდი სიჩქარით იწყებს დინებას ციცაბო ქედზე და მოგვევ-ლინება ღვარცოფის სახით [12].

ღვარცოფი გამოირჩევა მცირე ხანგრძლივობით და ხშირ შემთხვევაში დინება წყდება რამდენიმე ათეულ წუთში, თუმ-ცალა შესაძლებელია იგი გაგრძელდეს 4-6 საათის გან-მავლობაშიც.

ღვარცოფული დინების თავისებურებას, აგრეთვე, წარ-მოადგენს დონის მკვეთრი აწევა, რომელიც დაკავშირებულია ღვარცოფის ჩამოყალიბების ტალღურ ბუნებასთან. ღვარ-ცოფული ტალღის ციცაბო წინა ნაწილი, რომლის სიმაღლე ძირითადად 5-დან 15 მეტრამდე მერყეობს, აყალიბებს ღვარ-ცოფის „თავს“, რომელიც მოძრაობს ტალახის, ქვებისა და წყლისგან ჩამოყალიბებული მყარი კედლის სახით. ერთი მო-რიგი ღვარცოფის დროს ასეთი ტალღების რაოდენობა შეიძ-ლება რამდენიმე ათეულს აღწევდეს [18].

ღვარცოფის კიდევ ერთ თვისებას წარმოადგენს ნაკადის გაჯერება მყარი მასალით. ღვარცოფულ მასაში მთის ქანების ნატეხების მოცულობა 10-დან 75%-მდეა. ღვარცოფულ ნაკადს გააჩნია აგრეთვე დიდი სიმკვრივე - 1,2-დან 2,0 გრ/სმ³-მდე და ზოგიერთ შემთხვევაში უფრო მეტიც. ასეთი „მძიმე“ ნაკადი უფრო ძლიერად მოქმედებს მდინარის კალაპოტზე და ანგრევს გზაზე შემსვედრ წინააღმდეგობებს [13].

ლვარცოფებს გააჩნიათ ეროზიულებისა და ტრანსპორტი-რების დიდი უნარი და შესაბამისად გამოაქვთ მთის ქანების ნაშალის დიდი მასები [16]. ყველაზე მძლავრ ლვარცოფებს შეუძლიათ გამოიტანონ 2-4 მლნ მ³ მყარი მასალა. ლვარ-ცოფულ ნაკადს რამდენიმე საათში გამოაქვს იმდენი ნატანი, რამდენსაც მდინარის ნაკადი 25-120 წლიწადს ანდომებს.

ლვარცოფების კლასიფიკაცია გამოტანილი მყარი მასის ანუ სიმძლავრის მიხედვით შემდეგნაირადაა ჩამოყალიბებული:

- მძლავრი ლვარცოფები - გამოაქვთ 100 ათსი მ³ მყარი მასა;
- საშუალო სიმძლავრის ლვარცოფები - გამოაქვთ 10-დან 100 ათასამდე მ³ მყარი მასა;
- მცირე სიმძლავრის ლვარცოფები - გამოაქვთ არაუმეტეს 10 ათასი მ³ მყარი მასა;

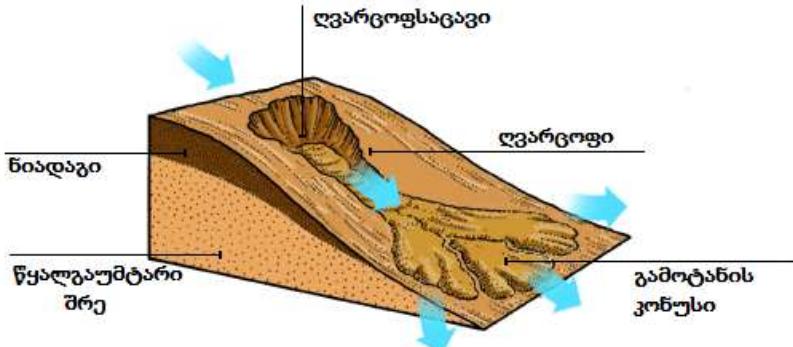
მძლავრი ლვარცოფული ნაკადების ზემოქმედების ზონაში მუდმივადაა ხიდების, წყალსაცავების, მილსადენების, შენობა-ნაგებობების, სახნავ-სათესი სავარგულების, მრავალწლოვანი ნარგავების და სხვათა წალეკვის საშიშროება. ს. ფლეიშმანის [9] მიხედვით, ლვარცოფების კლასიფიკაცია ნაგებობებზე მათი ზემოქმედების სიმძლავრის ხასიათით, შემდეგნაირადაა ჩამოყალიბებული:

- მცირე სიმძლავრის - მცირე გარეცხვა, წყალგამტარი ნაგებობების ხვრეტების ნაწილობრივი დაცობა;
- საშუალო სიმძლავრის - ძლიერი გარეცხვა, წყალგამტარი ნაგებობების ხვრეტების სრული დაცობა, უფუნდამენტო ნაგებობების დაზიანება და ნგრევა;
- მძლავრი - დიდი დამანგრეველი ძალა, ხიდების, ქვის ნაგებობებისა და გზების ნგრევა;
- კატასტროფული - ნაგებობებისა და გზების სრული ნგრევა, ნაგებობების ნატანის ქვეშ მოყოლა.

როგორც ცნობილია, ღვარცოფული ნაკადები ძირითადად ფორმირდება მთის მდინარეების აუზებსა და დროებით წყალსატარებში. წყალშემკრებ აუზს, რომლის ფარგლებშიც ხდება ღვარცოფების ფორმირება, ეწოდება ღვარცოფული აუზი. ღვარცოფულ აუზებს გააჩნიათ შეზღუდული არეალი და კალაპოტის მნიშვნელოვანი ქანობი.

სქემატურად ღვარცოფული აუზი შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად ზონად (სურათი 1.1.1.) [8]:

1. ღვარცოფის წარმოქმნის ზონა (ღვარცოფსაცავი) – აუზის ზედა ნაწილი, სადაც ყალიბდება ღვარცოფი. ეს არის ციცაბო ფერდობებისა და ქანების აქტიური ნგრევის ზონა.
2. სატრანზიტო ზონა – მოიცავს აუზის შუა და ქვედა ნაწილს. ამ ზონაში ხორციელდება ღვარცოფული ნაკადის ტრანსპორტირება კალაპოტში, თუმცა იშვიათად ხდება ღვარცოფული ნაკადის დამატებითი „გვეპა“ ნაშალი მასით და მისი ნაწილობრივი დალექვა.
3. დალექვის ანუ განტვირთვის ზონა – ჩვეულებრივ აუზის იმ ზონაშია განლაგებული, სადაც ქანობი და ნაკადის ენერგია მცირდება. აქ ნაშალი მასალა გროვდება ტერასებისა და გამოტანის კონუსების სახით. აღწერილი სქემა ბუნებაში ხშირად ირღვევა. ასე მაგალითად, მრავალ ახალწარმოქმნილ ღვარცოფულ აუზს, რომლებიც განლაგებულნი არიან ციცაბო და მოკლე ქედებზე, თითქმის არ გააჩნიათ ტრანზიტული ზონა – ღვარცოფსაცავი, რომელშიც დაგროვილი ღვარცოფული მასა პირდაპირ გადადის ფართო გამოტანის კონუსში ქედების ძირთან. ხშირად, ღვარცოფული აუზების ზედა ნაწილი წარმოადგენს მხოლოდ წყალშემკრებს, ხოლო ღვარცოფის ფორმირება ხდება ღვარცოფსადინარის შუა და ხანდახან ქვედა ნაწილშიც კი კალაპოტის ნაპირებისა და ფსკერის გარეცხვის შედეგად.



სურ. 1.1.1. ლვარცოფული აუზის სქემა.

მორფოლოგიურად განსხვავებული ლვარცოფული აუზები გავლენას ახდენს ლვარცოფების მოძრაობის რეჟიმზე [18]. თავსხმა წვიმების შედეგად წარმოქმნილი ლვარცოფები ძირითადად გვხვდება მცირე ფართობის მქონე აუზებში, მათგან ზოგიერთი მცირეპერიოდიანი და გამონატანის მოცულობით უმნიშვნელოა. შედარებით გრძელკალაპოტიან დიდ აუზებში წარმოიქმნება მძლავრი და ხანგრძლივი ლვარცოფები, მაგრამ მათი გავლა უფრო იშვიათობაა. მორფოლოგიური სხვაობის მიხედვით ლვარცოფული აუზები იყოფა ორ ნაწილად:

- კალაპოტური ლვარცოფების ფორმირება ხდება დიდი და საშუალო ფართობის მქონე ლვარცოფულ აუზებში. ჩვეულებრივ, ეს არის ჩამოყალიბებული გრძივი პროფილისა და კალაპოტების მქონე მდინარეთა ველები. აქ ფორმირდება სხვადასხვა გენეზისის მქონე ლვარცოფები: თავსხმა წვიმებით, თოვლის ინტენსიური დნობით, ტბების გარღვევით, მეწყერების ჩამოცურებით ან მათი ერთობლიობით;
- ფერდობების ლვარცოფები, წარმოიქმნება მთების ფერდობების ეროზიულ ღრანტეებში. ასეთი ტიპის ლვარცოფებისათვის დამახსინათებელია უმნიშვნელო

ფართის აუზები, ციცაბო ქანობები, მუდმივი წყალგამტარობის შედეგად გამომუშავებული კალაპოტები. ამ შემთხვევაში ღვარცოფები წარმოიქმნება ფერდობის შუა და ქვედა ნაწილში ფხვიერი საფრის გარეცხვის შედეგად თავსხმა წვიმებისა და ინტენსიური თოვლის დნობის ზეგავლენით. ფერდობების ღვარცოფის გამოტანის ზონა ფართობით დიდი არ არის და ახასიათებს ადგილმდებარეობის ცვლილება.

ზოგჯერ გამოიყენება ღვარცოფული აუზების კლასიფიკაცია მათი სათავის სიმაღლის მიხედვით:

- მაღალმთიანი – სათავე განლაგებულია 2500 მ-ზე მაღლა. გამოტანილი მასის მოცულობა 1 კმ²-დან შეადგენს 15-25 ათას მ³-ს ერთი ღვარცოფის გავლის დროს;
- საშუალომთიანი – სათავე განლაგებულია 1000-2500 მ-ზე. გამოტანილი მასის მოცულობა 1 კმ²-დან შეადგენს 5-15 ათას მ³-ს ერთი ღვარცოფის გავლის დროს;
- დაბალმთიანი – სათავე განლაგებულია 1000 მ-ზე ქვევით. გამოტანილი მასის მოცულობა 1 კმ²-დან შეადგენს 5 ათას მ³-ზე ნაკლებს ერთი ღვარცოფის გავლის დროს.

ღვარცოფული აუზების კლასიფიკაცია ღვარცოფების განმეორადობის მიხედვით ხასიათდება მათი წარმოქმნის ინტენსივობით ან ღვარცოფაქტივობით. ღვარცოფების სიხშირის მიხედვით შეიძლება გამოიყოს სამი ჯგუფი:

1. მაღალი ღვარცოფული აქტივობა (განმეორადობა 3-5 წელიწადში ერთხელ და უფრო ხშირად);
2. საშუალო ღვარცოფული აქტივობა (განმეორადობა 6-15 წელიწადში ერთხელ);
3. მცირე ღვარცოფული აქტივობა (განმეორადობა 16 წელიწადში ერთხელ და უფრო იშვიათად).

ღვარცოფული აუზის ფერდობების ქანობი განაპირობებს ზედაპირული ჩამონადენის სიჩქარეს და ეგზოგენური პროცე-სების აქტიურობას, რომლის შედეგადაც ხდება მასალის დაგროვება ღვარცოფის კალაპოტში. წყლის ნაკადის სიჩქარის 2-ჯერ გაზრდა ზრდის მის გამრეცხ ძალას 4-ჯერ, ხოლო ტრანსპორტირების ძალას - 32-ჯერ. გამომდინარე აქედან, სწორედ რომ მთის რელიეფი ქმნის ღვარცოფის წარმოქ-მნისათვის აუცილებელ ხელშემწყობ ოროგრაფიულ პირობებს.

ღვარცოფული მასის მოძრაობასა და აკუმულაციაზე გავლენას ახდენს, აგრეთვე, აუზის გეოლოგიური აგებულება. სტრუქტურისა და დინამიკის მიხედვით განასხვავებენ ბმულ და არაბმულ ღვარცოფებს.

არაბმულ ღვარცოფში ჭარბობს მსხვილი ნაშსხვრევი მასალა, ხოლო მტვრისებრი ნაწილაკები იმყოფება თავისუფალ მდგომარეობაში; ბმულში ჭარბობს წვრილი ნაწილაკების რაოდენობა. ისინი კრავენ წყლის ძირითად მასას მოლეკულუ-რი მიზიდულობის ძალით. ასეთი ღვარცოფი მოძრაობს რო-გორც ერთიანი გრავიტაციული ნაკადი.

ღვარცოფების წარმოქმნის აუცილებელ პირობებს ქმნის: მდინარეთა კალაპოტებისა და დროებითი წყალსადენების ქა-ნობები, ინტენსიური ჩამონადენი და ფხვიერი, ადვილად ერო-ზირებადი მთის ქანები [11].

გარდა აღნიშნული პირდაპირმოქმედი ფაქტორებისა, არსებობს ღვარცოფების წარმოქმნის სხვა მიზეზებიც, რომელ-თა შორის აღსანიშნავია: მთის გამყინვარების მდგომარეობა, ვულკანიზმი, მცენარეული საფრის ხასიათი, ადამიანის ჩარევა ბუნებრივი პირობების ცვლილებაში და სხვ. ღვარცოფების კლასიფიკაცია მათი გამომწვევი მიზეზების მიხედვით მოცე-მულია ცხრილში 1.1.1[8].

ლვარცოფების კლასიფიკაცია გამომწვევი მიზეზების მიხედვით

ცხრილი 1.1.1.

№	ლვარცოფის ტიპი	გამომწვევი მიზ- ეზები	გავრცელება და წარმოქმნა
1	წვიმის	თავსებები, ხანგრძლივი წვიმები	დედამიწაზე ჰავლის გამომწვევი და ლვარცოფის ტიპი. წარმოიქმნება ფერ-დობების გარეცხვისა და მეწყვრების შედეგად.
2	თოვლის	თოვლის ინტენ- სიური ღნობა	გავრცელებულია სუბარქტიკის მთებში. წარმოიქმნება თოვლის მასების გატენიანებისა და მოწყვეტის შედეგად.
3	ყინულის	თოვლისა და ყინულის ინტენ- სიური ღნობა	გავრცელებულია მაღალმთიან რე-გიონებში. წარმოიქმნება მყინვარული მდნარი წყლების გარღვევის შედეგად.
4	ველგანო- გენური	ველგანების ამოფრქვევა	გავრცელებულია მოქმედი ველგანების რაონებში. ყველაზე დიდი ღვარცოფები. წარმოიქმნება სწრაფი თოვლისძნობისა და კრატერული ტბების გარღვევის შედეგად.
5	სეისმოგენური	ძლიერი მიწისძრები	გავრცელებულია მაღალი სეიმურობის ზონებში. წარმოიქმნება ფერდობებიდან გრუნტის მასების მოწყვეტის შედეგად.
6	ლიმნოგენური	ტბის გაშენების (ჯებირების, დამბების) ფორმირება	გავრცელებულია მაღალმთიან რე-გიონებში. წარმოიქმნება კაშხლების (ჯებირების, დამბების) გარღვევის შედეგად.
7	ანთროპო- გენური (პირ- დაპირი ზემოქმედება)	ტექნოგენური ქანების დაგროვება.	უხარისხმის მიწის კაშხლები (ჯებირები, დამბები) გავრცელებულია ქანების დაგროვების ადგილებში. წარმოიქმნება ტექნოგენური ქანების გარეცხვა-დაცურებისა და მიწის კაშხლების (ჯებირების, დამბების) გარღვევის შედეგად.
8	ანთროპოგე- ნური (ირიბი ზემოქმედება)	ნიადაგურ- მცენარეული საფრის რღვევა	გავრცელებულია გაუტყეურების ზონებში. წარმოიქმნება ფერდობებისა და კალაპოტების გარეცხვის შედეგად.

ღვარცოფული მოვლენების ბუნებიდან გამომდინარე, ისინი გვხვდება მსოფლიოს ყველა მთათა სისტემებზე (ანტარქტიდის გარდა), რომელთაგან აღსანიშნავია კორდილიერები, ანდები, ცენტრალური აზიის ქედები, ალპები, სკანდინავიის, პირინეების, ბალკანეთის ნახევარკუნძულის, იაპონიისა და ვიეტნამის მთები, სადაც ღვარცოფსაშიში მდინარეების რაოდენობა აღემატება უსაფრთხო მდინარეების რაოდენობას.

1.2. ღვარცოფული მოვლენების გავრცელება მსოფლიოში

უკანასკნელ პერიოდში გლობალური დათბობის ფონზე გახშირებული ღვარცოფული კატასტროფული მოვლენები მთელი პლანეტის მოსახლეობის პრობლემას წარმოადგენს.

ევროპაში ღვარცოფსაშიშ რაიონებს წარმოადგენს ალპურ ზონაში, ბალკანეთის ნახევარკუნძულზე, აპენინებში, პირინეებსა და კარპატებში განთავსებული ქვეყნები. განსაკუთრებულად დამანგრეველი ღვარცოფული ნაკადები გამოვლენილია საფრანგეთის სამხრეთ ნაწილსა და შვეიცარიაში. ამასთან ერთად ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ღვარცოფსაშიშ რეგიონად მიჩნეულია კავკასიონის მთიანეთი. აზიაში ასეთ რაიონებად მიჩნეულია ჰიმალაის მთების ზონაში განთავსებული ქვეყნები (ინდოეთი, ჩინეთი), რომელთათვისაც დამახასიათებელია გვალვიანი ზაფხული და ხშირი თავსხმა წვიმები ზამთარ-გაზაფხულის პერიოდში. უძლიერეს ღვარცოფულ კერებს წარმოადგენს დასავლეთ ანატოლიის, თურქეთის, შუა აზიისა და ყაზახეთის რეგიონები. იაპონიაში ყველაზე ღვარცოფსაშიშ ადგილად ითვლება კუნძული ჰოკაიდო. აქ ღვარცოფების ფორმირება მთის ფერდობებზე ხდება ზაფხულის პე-

რიოდში, როდესაც მოდის დიდი რაოდენობით თავსხმა წვიმები თოვლის დნობის პერიოდში [19, 20].

მძლავრი ღვარცოფული ნაკადებით ევრაზიაში ცნობილია შუა აზიის მთათა ზაილის ალათაუს ჩრდილოეთი ფერდობი. მისი ღვარცოფული აუზებიდან კატასტროფული შედეგებით გამოიჩევა მდინარე პატარა ალმატინკის აუზი, რომლის გამოტანის კონუსის ნაწილი მოიცავს ქალაქ ალმა-ათას. ღვარცოფის გავლის 9 ცნობილი შემთხვევიდან ყველაზე მნიშვნელოვანი იყო 1921 და 1973 წლების ღვარცოფები. როგორც ისტორიული წყაროები გვატყობინებს, 1921 წლის 8 ივლისს მთაში მოვიდა თავსხმა წვიმა. სალამოს 9 საათზე გაისმა ძლიერი ხმაური, რის შემდეგაც მთების მხრიდან წყლის ნაკადმა წამოიღო მიწის, ლამის, ქვებისა და თოვლის უზარმაზარი მასა, რომელიც დასახლებაში შევარდა. იქ მყოფი ადამიანები, განლაგებული ნაგებობები, ბაღები და საქონელი ღვარცოფმა წაიღო. ნაკადმა ჩამოიტანა 3 მლნ. მ³-ზე მეტი ღვარცოფული მასა, რომელმაც იმსხვერპლა 400 ადამიანზე მეტი. 1973 წლის 15 ივლისს ამავე რაიონში შეიქმნა ახალი ღვარცოფსაშიში სიტუაცია. ყინულოვანი ტბის გარღვევის შედეგად წარმოქმნილი ღვარცოფული მასა დაიძრა ქალაქ ალმა-ათისკენ. ღვარცოფის სიმძლავრის მიუხედავად, იგი მთლიანად შეჩერებული იქნა ღვარცოფდამცავი კაშხლის მედეოს მიერ.

ღვარცოფების სიხშირითა და სიმძლავრით ევრაზიაში გამორჩეულია ჩინეთი. 2005 წლის 10 ივნისს მძლავრმა ღვარცოფულმა ნაკადმა წალეკა დაწყებითი სკოლა ჩინეთის ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარე ქალაქ ნინანში. სტიქიურ უბედურებას ემსხვერპლა 105 მოსწავლე და 4 მოზრდილი ადამიანი. დაზარალდა ქალაქ ნინანის 7 ოლქი, დაინგრა 55 სახლი.

იმავე წლის 3 ოქტომბერს ჩინეთის სანაპირო ქალაქ ფეჩუოუში მძლავრი ღვარცოფული ნაკადით დაინგრა პოლი-

ციის აკადემიის საერთო საცხოვრებლის ორი კორპუსი, რის შედეგადაც 62 კურსანტი დინებამ წაიღო.

2008 წლის 8 სექტემბერს ჩინეთის ქალაქ ლინფენზე წამოვიდა 268 ათასი მ³ ღვარცოფული მასა, რომლითაც დაიფარა 30 ჰექტარზე მეტი ტერიტორია. ღვარცოფულმა დინებამ გაანადგურა რამდენიმე სახლი, ადგილობრივი ბაზრობა, სამსართულიანი ოფისის შენობა, დაინგრა ქვანახშირის ჭაბურღილის ნარჩენების საწყობი, რის შედეგადაც დაიღუპა 254 ადამიანი.

ამერიკის კონტინენტზე ღვარცოფული მოვლენები ხშირია მექანიკური, კოლუმბიაში, ეკვადორში და ჩილეში. ღვარცოფები აშშ-ში, ძირითადად, გავრცელებულია შემდეგ შტატებში: კალიფორნია, იუტა, ნევადა, ვაიომინგი, კოლორადო, ვირჯინია, ვაშინგტონი, აიდაპო, ორეგონი და ალიასკა.

აღნიშნულთაგან ღვარცოფული კატასტროფების მიხედვით ყველაზე ცნობილია ქალაქი ლოს-ანჯელესი. იგი გაშენებულია სან-გაბრიელის (სიმაღლე 3068 მეტრი), სანტა-მონიკასა და სანტა-ანას მთებით შემოფარგლულ, ვიწრო სანაპირო დაბლობზე. გადაჭიმულია ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ დაახლოებით 80 კმ-ზე, დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ - 50 კმ-ზე.

აღნიშნულ რეგიონში გავრცელებულია უხვი, ინტენსიური თავსხმა წვიმები. მაგალითად, 1933 წლის 29 დეკემბერს დაწყებული თავსხმა წვიმა გრძელდებოდა 53 საათის განმავლობაში. აღნიშნულ პერიოდში მოვიდა 292 მმ ატმოსფერული ნალექი, ხოლო 1943 წელს ერთ დღე-დამეში მოვიდა 650 მმ. მთაში მოსული წვიმა მიემართება ლოს-ანჯელესისა და მის შემოგარენისაკენ მძლავრი ღვარცოფული ნაქადის სახით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია 1934 და 1938 წლებში ფიქსირებული კატასტროფები.

1933 წლის 29 დეკემბერს მოსულმა თავსხმა წვიმამ, რომელის დროსაც ატმოსფერული ნალექების რაოდენობამ გა-

დააჭარბა 2 წლის ნორმას, გამოიწვია ღვარცოფული კერების გააქტიურება და 1934 წლის 1 იანვარს მძლავრი ღვარცოფული ნაკადის სახით თავს დაეცა ქალაქ ლოს-ანჯელესს. მთის ფერდობებიდან წამოსულმა წყლის დინებამ წამოიღო მიწა, ქვები და დიდი ხეები. ნაკადი მოდიოდა 6-მეტრიანი ზეირთების სახით, რომლებიც ანადგურებდა გზაზე შემხვედრ შენობება-ნაგებობებს. ღვარცოფის გავლის შედეგად დაინგრა და ქვებით ჩაიხერგა გზები, დაზიანდა 400 საცხოვრებელ სახლზე მეტი და დაახლოებით 500 ხიდი, მთლიანად დაინგრა 20 სახლი. სამწუხაროდ, აღნიშნულ კატასტროფას მოჰყვა ადამიანთა შესვერპლიც. წამოსულმა ღვარცოფმა 84 ადამიანი იშსვერპლა .

1938 წლის კატასტროფულმა ღვარცოფმა, რომელიც თავსხმა წვიმებით იყო გამოწვეული, რამდენიმე დღით მოწყვიტა ლოს-ანჯელესი გარე სამყაროს. დაინგრა სარკინიგზო და საავტომობილო გზები, განადგურდა ელექტროგადამცემი, სატელეგრაფო და სატელეფონო ხაზები, მიწასთან გასწორდა მრავალი ხიდი და ნაგებობა.

ღვარცოფულმა ნაკადმა ქალაქში შემოიტანა 11,5 მლნ მ³ ქვატალახიანი მასა. დაიღუპა 200 ადამიანი, ხოლო 10 ათასი უსახლებაროდ დარჩა. საერთო ზარალმა 50 მლნ. დოლარი შეადგინა [14].

2014 წლის 25 მაისს აშშ-ის შტატ კოლორადოში, გრანდ მესაზე ფიქსირებული იყო ძლიერი ღვარცოფი (სურათი 1.2.1, 1.2.2), რომელიც სიგრძეში 900 მეტრს და სიგანეში 3,5-5,1 კილომეტრს აღწევდა. კატასტროფას სამი ადამიანის სიცოცხლე ემსხვერპლა. განადგურდა გზები, სარწყავი არხები და შენობა-ნაგებობები.



სურ. 1.2.1. და1.2.2. აშშ-ის შტატი კოლორადოში, გრანდ მესაზე
ფიქსირებული ღვარცოფი.

აღსანიშნავია, რომ ამერიკასა და ევროპაში ღვარცოფული მოვლენების განვითარებას, ბუნებრივად განვითარებულ მოვლენებთან ერთად, ხელი შეუწყო ხე-ტყის გაჩეხვამ, რომლის შედეგად მთათა ფერდობებზე შეიქმნა ნიადაგის ჩამორეცხვისა და, შესაბამისად, წყლისმიერი ეროზიული პროცესების განვითარების ხელსაყრელი პირობები. სწორედ ანთროპოგენური ზემოქმედების გამო ღვარცოფული მოვლენებისგან ზარალდება იტალიის, ავსტრიის, საფრანგეთსა და შვეიცარიის მთისწინა რეგიონები. აღნიშნულ ქვეყნებში მთავრობის მიერ მიღებულ იქნა კანონი, რომლის მიხედვითაც ხდება ღვარცოფსაშიში ფერდობების კერძო საკუთრებიდან გამოთავისუფლება და მათზე ტყის გაშენება.

ზემოთ აღნიშნული ევრაზიისა და ამერიკის კონტინენტების გარდა, ღვარცოფული მოვლენები ფიქსირებულია აფრიკაში, ავსტრალიაში; წყნარი, ატლანტიკისა და ინდოეთის ოკეანეების კუნძულების მთიან რეგიონებში.

1.3. ღვარცოფების გავრცელება კავკასიასა და საქართველოში

ღვარცოფული ნაკადები, როგორც უკვე იყო აღნიშნული, ფართოდაა გავრცელებული კავკასიაში. ყველაზე ხშირად ღვარცოფული მოვლენების გააქტიურება გამოწვეულია წყალმოვარდნებით, ხანადაზან - თოვლისა და ყინულის დნობით, ჯებირების გარღვევით, მყინვარების ჩამოშლითა და მეწყერების ჩამოწოლით.

მძლავრი ღვარცოფები ფიქსირდება დიდი კავკასიონის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ფერდზე, აზერბაიჯანის საზღვრებში. მდინარე კიშ-ჩაიზე 1889-1956 წლებში რეგისტრირებულია 9 ღვარცოფული ნაკადი, რომელთა შორის ყველაზე მძლავრი

1901 წელს დაფიქსირდა. ასე აღწერენ ამ კატასტროფას თვით-მხილველები: „7 ივლისის საღამოს, ერთთვიანი გვალვის შემ-დეგ, კიშ-ჩაის მაღალმთიან ზონაში მოვიდა ძლიერი წვიმა. 11 საათისთვის თავსხმა წვიმა წამოვიდა ნუხშიც, სადაც მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობამ 47 მმ შეადგინა. დამის 12 საათიდან დილის 4 საათამდე მდინარე კიშ-ჩაიზე გაიარა 15-20 ლვარცოფულმა ქვატალახიანმა ზვირთმა. 8 ივლისს დილით მდინარე კიშ-ჩაის ველი დამთრგუნველად გამოიყურებოდა: რასაც კი მისწვდებოდა თვალი, იყო დაფარული რუხი ტალახით; არ ჩანდა არც ბუჩქები, არც ბალახი და არც ქვები. ყველაფერი უსიცოცხლო იყო, მწუხარე და გასწორებული.“

ამ რაიონში, კიშ-ჩაის კალაპოტში, ლვარცოფული ნაკა-დები არაერთხელ იყო ფორმირებული. ყველაზე კატასტროფული ლვარცოფი 1910 წელს არის ფიქსირებული. აგვისტოს ერთ-ერთ ღამეს, ჭექა-ქუხილისა და თავსხმა წვიმის დროს შანის ხეობიდან სოფელ ბაშ-გეინუკზე წამოვიდა 3-4-მეტრიანი სიმაღლის ლვარცოფული ნაკადი. ლვარცოფმა სოფელს დიდი ზარალი მიაყენა – დილით გამოჩნდა ქვების ქვეშ მოყოლილი ადამიანთა სხეულები, წალეპილი საკარმიდამო ეზოები, დანგრეული შენობა-ნაგებობები, ამოძირკვული ხეები. ლვარცოფული ნაკადი დაახლოებით 2 საათის განმავლობაში მოედინებოდა, დაიღუპა სოფლის მთელი მოსახლეობა, ლვარცოფს ემსხვერპლა თითქმის 400 ადამიანის სიცოცხლე.

დიდ კავკასიონზე ლვარცოფსაშიში ზონები აღმოსავლე-თით მატულობს, რაც ძირითადად დაკავშირებულია კონტი-ნენტალური კლიმატის გაძლიერებასთან და ტყის ზოლის შევიწროებასთან.

კავკასიონის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში ლვარცოფსა-შიში რაიონები განთავსებულია რიონის, ენგურისა და სხვა მდინარეების აუზებში; ცენტრალურ კავკასიონზე – თერგის, ყუბანის, არაგვისა და დიდი ლიახვის მდინარის აუზებში, ხო-

ლო დიდი კავკასიონის აღმოსავლეთ ნაწილის ჩრდილოეთ და სამხრეთ ფერდობებზე - მდინარე ალაზნის მარცხენა სანაპიროზე.

მცირე კავკასიონზე ღვარცოფსაშიში ტერიტორიები ფართოვდება აღმოსავლეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით, რაც დაკავშირებულია მაღალმთიანი რეგიონის მშრალ კლიმატთან. აქ ძირითადი ღვარცოფსაშიში რაიონები განთავსებულია სომხეთის, ბარგუშატის და მეგრინის ქედების ფერდობებზე. აქედან ყველაზე აქტიურია არაქსის მარცხენა შენაკადები, რომლებიც ზანგეზურის ქედის სამხრეთ-დასავლეთ ფერობიდან მოედინებიან. აქ ფიქსირდება ქვაწყლიანი ღვარცოფული ნაკადები. მაღალი ღვარცოფ-აქტიურობით გამოიჩინა არაგაწის ვულკანური მასივი, სადაც ფორმირდება ქვატალაზიანი და ქვაწყლიანი ღვარცოფული ნაკადები, რომლებიც 2-3 წელიწადში ერთხელ მეორდება. ქალაქ ერევნის რაიონში, გეგამის ვულკანურ მთიანეთის სამხრეთ ფერდობზე არაერთხელ გაიარა ქვაწყლიანმა ღვარცოფულმა ნაკადმა, რომელმაც ქალაქის ინფრასტრუქტურა მნიშვნელოვნად დააზიანა.

მცირე კავკასიონსა და ამიერკავკასიის მთიანეთში ღვარცოფებისგან ძირითადად ზარალდება სომხეთის ქალაქები: ერევანი, კაპანი, ალავერდი და მრავალი დასახლებული პუნქტი, რომლებიც განლაგებულია მთების ძირში და ღვარცოფსაშიში მდინარეების გამოტანის კონუსებზე. ღვარცოფული ნაკადები ხშირად აზიანებენ ვანაძორ-დილიუსანის, დილიუს-იუევანის და სხვა ავტომაგისტრალებს. ისინი, აგრეთვე დიდ საშიშროებას უქმნიან ერევანი-თბილისი და ერევანი-ბაქოს სარკინიგზო მაგისტრალების 295 კილომეტრიან მონაკვეთს, ასევე ხშირად აზიანებენ სარწყავა არხებს.

კავკასიაში აღრიცხული 5000-ზე მეტი ღვარცოფული აუზიდან თითქმის ნახევარზე მეტი საქართველოზე მოდის.

ისინი ძირითადად განლაგებულია დიდი და მცირე კავკასიონის ციცაბო ფერდობებზე ჩქარი მდინარეების ხეობების გასწვრივ. ღვარცოფული აუზების რაოდენობის, ნაკადების წარმოშობისა და განმეორადობის სიხშირის, სიმძლავრის, ფორმირების სირთულის და მიყენებული ზარალის მიხედვით საქართველოს ტერიტორია მსოფლიოში ერთ-ერთ რთულ და საშიშ რეგიონ-თა რიცხვს მიეკუთვნება.

ბოლო 10 წლის მონაცემებით, ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების ექსტრემალური გააქტიურება, დასაშვებ ფონს ზემოთ მოხდა რაჭა-ლეჩხუმში, სამეგრელოს მთისწინეთში, აჭარაში, ზემო იმერეთსა და კახეთში, მცხეთა-მთიანეთში, ნაწილობრივ - ბორჯომის, ახალციხე-ასპინძის, მესტიის რაიონებში და თბილისის ტერიტორიაზე [4, 5].

საქართველოს გარემოს დაცვის სამინისტროს მონაცემებით, 1995-2009 წლებში საქართველოში ფიქსირებულია ღვარცოფული მოვლენების 1494 შემთხვევა, მისგან მიყენებული ზარალი დაახლოებით 1189 მლნ. ლარს შეადგენს. სამწუხაროდ, იყო მსხვერპლიც, დაიღუპა 49 ადამიანი (ცხრილი 1.3.1) [3].

აქედან გამომდინარე, ეროზიულ-ღვარცოფულ მოვლენებთან ბრძოლა ჩვენი ქვეყნისათვის უმნიშველოვანეს პრობლემას წარმოადგენს.

ღვარცოფული პროცესების ფორმირებას და მის ინტენსიურობას ძირითადად აპირობებს ლანდშაფტისა და კლიმატის დიდი კონტრასტულობა, ქანების ლითოფაციალური შედგენილობა და რელიეფი.

გეოლოგიური მოვლენების (მეწყერი, ღვარცოფი)
ინტენსივობა, მათგან მიყენებული მიახლოებითი ზარალი,
ადამიანთა შსხვერპლი და საშიშროების რისკის ზონაში
მოქცეულის ობიექტები 1995–2009 წლებში¹

ცხრილი 1.3.1.

წელი	მეწყერი			ღვარცოფი				საშიშროების რისკის ზონაში მოქცეული ობიექტები		
	გამოვლინება (გასტიურებული და ახლად წარმოქმნილი)	მიახლოებითი პრდესირი ზარალი (მლნ. ლარი)	აღმიანოსა შეზეპრებული	ღვარცოფარმატენის რაოდენობა	მიახლოებითი პრდესირი ზარალი (მლნ. ლარი)	აღმიანოსა შეზეპრებული	მთლიანი ზარალი (მლნ. ლარი)	სასოფლო-სამურნეო საკონფიდენციალურობის მიზანის გარემონტინირების და სახლის გადასაცემის მიზანის გარემონტინირების და სახლის გადასაცემი	დასახლებული პუნქტების რაოდენობა	არასაცხოვრებული სახლები
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1995	670	132	6	250	96	12	228	179	274	195
1996	610	80	3	165	27	5	107	232	403	626
1997	871	102	2	335	44	7	146	337	458	227
1998	543	67	5	173	20	6	87	230	370	159
1999	56	12	1	27	5	-	17	138	157	314
2000	65	13	1	23	3	-	16	162	240	207
2001	75	15	-	26	4	-	19	128	191	127
2002	69	14	1	23	2.5	2	16	148	203	193
2003	71	15	3	28	4	-	19	107	90	207
2004	949	147	4	258	28	2	175	16289	755	6042
2005	603	96	-	155	9	4	105	7590	473	3682
2006	356	71	1	63	9	-	80	3173	531	2066
2007	136	21	-	104	12	-	32	1389	269	707
2008	311	48	10	126	15	8	63	1388	392	1198
2009	323	64	1	193	17	3	80	8232	521	2696
სულ	5708	895	38	1949	294	49	1189	39719	5327	18646

¹ საქართველოს გარემოს დაცვის სამინისტრო, სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო.

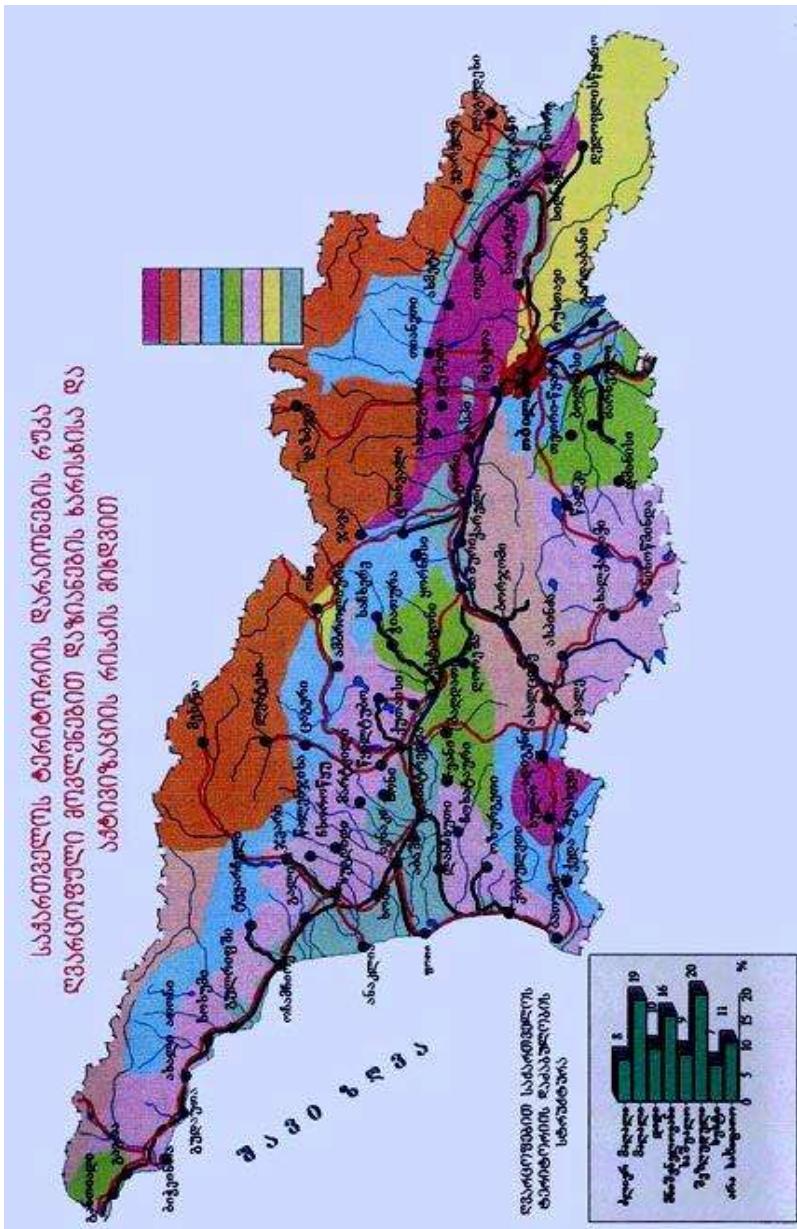
აღსანიშნავია, რომ საქართველო მთაგორიანი ქვეყანაა. მთისა და მთისწინა ზონა ქვეყნის ტერიტორიის 54%-ს მოიცავს და, შესაბამისად, ღვარცოფული მოვლენები განვითარებულია ტერიტორიის თითქმის ყველა ლანდშაფტურ-გეომორფოლოგიურ ზონაში, დაწყებული გორაკ-ბორცვიანიდან, დამთავრებული მაღალმთიანი ალპური ზონით (სურათი 1.3.1). ამასთან ერთად, 60-120 მმ ატმოსფერული ნალექების შემთხვევაში საქართველოში ღვარცოფები ფორმირდება ყველა ლანდშაფტურ გეომორფოლოგიურ ზონაში [2].

საქართველოს ღვარცოფული რაიონები (n-ღვარცოფული აუზების რაოდენობა)

ცხრილი 1.3.2.

№	ინდექსი	რაიონის დასახელება	n
1	(07.29)	ქოდორი-ბზიფი	109
2	(07.30)	ენგური-ზობის	56
3	(07.31)	რიონის	122
4	(08.2)	ყვირილა-ძირულის	29
5	(08.1)	აჭარა-გურიის (ჭოროხი-სუფსის)	40
6	(07.24)	თერგი-არღუნის	99
7	(07.32)	ლიახვისა და არაგვის	106
8	(07.34)	ცივ-გომბორის (იორის)	44
9	(07.33)	ალაზნის	80
10	(08-3)	ჯავახეთისა და მესხეთის (მტკვრის-ზედა ბორჯომაშე)	160
11	(08-4)	შიდა ქართლის (მტკვრის მარჯვენა ნაპირი თბილისამდე)	53
12	(08-5)	ლოქის (ალგეთი-ხრამის)	29
სულ			920

სურ.1.3.1



კლიმატური, ჰიდროგრაფიული, ჰიდროლოგიური და გეოლოგიური ტიპიზაციის მიხედვით საქართველოს ტერიტორია ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის კლასიფიკაციით დაყოფილია 12 ლავარცოფულ რაიონად (ცხრილი 1.3.2).

ბოლო პერიოდში სტიქიური ღვარცოფული მოვლენების მასშტაბური გააქტიურება ფიქსირდება კახეთის ტერიტორიაზე, რომელიც მთლიანად რეგიონის ბუნებრივი კატასტროფების საშიშროების რისკით საშუალო კატეგორიიდან გადავიდა მაღალში. კახეთის რეგიონში სტიქიური პროცესების გააქტიურების მაჩვენებელი 2004 წლიდან დაწყებული თითქმის ყოველ წელს ფონურზე მაღალია, ცალკეული წლების ექსტრემალური აფეთქებებით. ასეთი იყო 2009 და 2010 წლები. სტიქიური მოვლენების გააქტიურების ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორი ჭარბი ატმოსფერული ნალექების, მათ შორის თავსხმა წვიმების მოსვლაა. დაკვირვებით დადგენილია, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს სივრცეში მეწყერული მოვლენების ექსტრემალური გააქტიურება იწყება საშუალო მრავალწლიურიდან 400 მმ-ზე ზემოთ ნალექების გადახრით, ხოლო ღვარცოფების ტრანსფორმაცია - დღე-დამეში მოსული 30 მმ-ზე მეტი ნალექების რაოდენობით.

კახეთის რეგიონში კლასიკური ღვარცოფსადინარის მაგალითს წარმოადგენს მდინარე დურუჯის აუზი, რომლის ვიდეო-ვიზუალური აგეგმვა მიუთითებს, რომ ერთ ჰექტარ ფართობზე ეროზიის ინტენსივობამ განსაკუთრებულ შემთხვევებში შეიძლება 50 ტონამდე მიაღწიოს, რაც დასაშვებ ნორმაზე 25-ჯერ მეტია და იგი სატრანზიტო ადგილებში 20- მეტრიანი ღვარცოფის ტალღის გავლის მიზეზიც შეიძლება გახდეს.

მდინარე დურუჯის აუზში [1] ბოლო 100 წლის განმავლობაში დაფიქსირდა 40-მდე კატასტროფული ღვარცოფი, რომლებმაც 200-ზე მეტი ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა.

დადგენილია, რომ მდინარე დურუჯის აუზში მუდმივად განახ-ლებადი ღვარცოფული კერის ფართობი 20 კმ²-ს შეადგენს, სადაც ღვარცოფული მასის მოცულობა აღწევს 500 მლნ. ტ³-ს.

მდინარე დურუჯი წარმოადგენს აღაზნის მარცხენა შე-ნაკადს და გაედინება ქალაქ ყვარელზე. იგი იქმნება შავი და თეთრი დურუჯის შეერთებით კავკასიონის სამხრეთ კალთაზე (შავი დურუჯი იწყება შავი კლდის მთიდან, თეთრი დურუჯი – ნანიკასციხის მთიდან). მისი სიგრძე 27 კმ-ია, ხოლო აუზის ფართობი-103 კმ².

მდინარე დურუჯი ძირითადად საზრდოობს თოვლის და წვიმის წყლით, საშუალო წლიური ხარჯი შეადგენს 1.06 მ³/წმ. ხასიათდება წყალმოვარდნის რეჟიმით. დურუჯის ზემო დინებაში პერიოდულად იქმნება ტიპური სტრუქტურული ღვარცოფი, რომლის დროს ხარჯმა შეიძლება 200 მ³/წმ-ს და მეტს მიაღწიოს. მთებიდან გამოაქვს კოლოსალური რაოდენო-ბით ტალახად ქცეული მყარი მასალა და დიდ საფრთხეს უქმნის ქალაქ ყვარელს. აუზის გამოტანის კონუსის საერთო ფართობი შეადგენს 95 კმ²-ს.

ღვარცოფული მოვლენების მაღალი საშიშროების რის-კით კახეთთან ერთად გამოირჩევა რაჭა-ლეჩხუმის რეგიონი, სადაც ძირითადად გავრცელებულია ტალახიანი და ქვატალა-ხიანი ნაკადები, რომელთა ფორმირება ხდება მდინარეთა ნაპი-რებზე დაგროვილი მეწყერული მასით. რეგიონში განვითარე-ბული ღვარცოფული მოვლენებიდან აღსანიშნავია 2003, 2009, 2010 და 2011 წლების ღვარცოფები. 2010 აპრილის ოვეში ნაბოსლევის ხევის სათავეში განვითარდა 64 ტიპური ტალახოვანი ღვარცოფი.

ღვარცოფული მოვლენების განვითარების მაღალი რის-კით გამოირჩევა მცხეთა-მთიანეთის რეგიონიც. მდინარე არაგ-ვის აუზის თითქმის ყველა დაბალი რანგის შენაკადში ფიქსირ-დება ღვარცოფული მოვლენების გააქტიურება. ამ მხრივ გა-მოირჩევა მდინარე ფშავის არაგვის ხეობის მონაკვეთები

მაღაროსკართან, ჩარგალთან, გუდანთან, ხახმატთან და ბარისახოსთან. 2012 წლის აპრილ-მაისის თვეებში ღვარცოფმა სოფელ მლეთაში კიდევ ერთხელ მისილა ეკლესის ტერიტორია, დროებით გადაკეტა მდინარე არაგვის კალაპოტი და გამოუვალ მდგომარებაში ჩააყენა იქ ჯერ კიდევ დარჩენილი 8 ოჯახი. ადიდებულმა მდინარე ნარეკვავმა საშიშროება შეუქმნა სოფელ წეროვანის მოსახლეობას, დატბორა რამდენიმე სახლი, ჭერმის წყალსაცავიდან გადმოვარდნილი წყლის გამო საჭირო გახდა მოსახლეობის დროებითი გაყვანა. დაიმეწყრა ბაზალეთის ტბის მიმდებარე ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ნაწილი, რომელიც ადრე მდგრად ტერიტორიად მიიჩნეოდა.

ზემოაღნიშნულთან ერთად, საყურადღებოა 2014 წლის 17 მაისისა და 20 აგვისტოს დარიალის ხეობაში მომხდარი კატასტროფები (სურათი 1.3.2 და 1.3.3). სტიქიურმა მოვლენამ 5 ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა.

2014 წლის 17 მაისს დილის 9 საათსა და 30 წუთზე დარიალის ხეობაში, მდინარეების თერგისა და ამალი-დევდორაკის შეერთების უბანზე ჩაიარა კატასტროფული მას-შტაბის ღვარცოფმა. მწვერვალ მყინვარწვერის (5033 მ) ჩრდილო-აღმოსავლურ ციცაბო ფერდობზე, მთის წვერიდან დაახლოებით 400 მეტრის დაშორებით, 4602 მეტრ აბსოლუტურ სიმაღლეზე, წარმოიშვა გრანდიოზული მოცულობის მყინვართოვლიანი კლდეზვავი. ჩამოზვავებული მასის მოცულობა, რომელსაც ტრანზიტის ზონაში მდინარე თერგთან შეერთებამდე დაემატა აქ არსებული მორენული და გრავიტა-ციული გენეზისის მასალა, საორიენტაციოდ შეადგენდა 5 მლნ.მ³. ჩამოზვავებული გრავიტაციულ-მყინვარული მასალა განაწილდა 3 ნაკადად. პროცესი განვითარდა უხვი ატმოსფერული ნალექის ფონზე. მდინარე თერგის ხეობაში გრავიტა-ციულ-ღვარცოფულმა ნაკადმა გადაკეტა თერგის კალაპოტი.



სურ. 1.3.2 და 1.3.3. კატიასტროფა დარიალის ზეობაში
(ფოტო ლ. კაზალიკაშვილი).

20 აგვისტოს 22 საათზე, დარიალის ხეობაში უხვი ატმოსფერული ნალექის მოსკვლამ განაპირობა, 17 მაისის ღვარცოფული მოვლენის დროს დარჩენილი მასის გამოტანა. დაიკარგა ორი ადამიანი, დაიტბორა მიმდებარე ტერიტორია, გადაიკეტა მცხეთა-სტეფანწმინდა-ლარსის საავტომობილო გზის 134-ე კილომეტრი, ჩაიხერგა რუსეთთან დამაკავშირებელი საავტომობილო გზა და დაზიანდა გაზსადენი, რომლითაც სომხეთი ბუნებრივი აირით მარაგდებოდა.

ზემოთ აღწერილი კატასტროფების ერთ-ერთ მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს გარემოს დაცვითი ღონისძიებების გამოყენების დაბალი დონე: მოსალოდნელი ანომალიების გაუთვალისწინებლად ხდება გარემოსდაცვითი ღონისძიებების პროექტირება-მშენებლობა; ექსპლუატაციაში მყოფი მათი უმრავლესობა მოძველებულია, საექსპლუატაციოდ უვარვისია, სისტემისა და გარემოსდაცვითი ღონისძიებების კონსტრუქციული მდგრადობის რესურსი სავალალო მდგომარეობაშია; ეროზიული მოვლენების შედეგად შეესტურებულია ღვარცოფწარმომქმნელი კერების ქვაბულების დიდი ნაწილი; მძიმე მდგომარეობაშია და რეგულირებას მოითხოვს ღვარცოფსადინართა კალაპოტები; სავალალო მდგომარეობაშია ან არ არსებობს ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობები.

თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესები პერიოდულ ცვალებადობას (გააქტიურება და დროებითი სტაბილიზაცია) განიცდის, შეუძლებელია მათი საშიშროების რისკის ალბათობის შესახებ საიმედო ინფორმაციის მიწოდება პერიოდულად სიტუაციის შეფასების, მოსალოდნელი სტიქიის იდენტიფიკაციის და მათი შესაძლო გააქტიურების მიზეზშედეგობრივი ფაქტორების ფუნდამენტური შესწავლის გარეშე, რომელიც საფუძვლად უნდა დაედოს რისკების საშიშროების შეფასებას, მათი სივრცობრივი საზღვრების და განვითარების დადგენას, ტერიტორიის დაცვა-გაჯანსაღების ღონისძიებების დასახვას.

მიუხედავად იმისა, რომ დღეისათვის, საქართველოში გამოვლენილია ღვარცოფსაშიში და შედარებით მდგრადი უბნები, შედგენილია სპეციალური გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური და საინჟინრო გეოდინამიკური რუკები და წლების განმავლობაში ტარდება თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები მრავალი მეცნიერის მიერ, ღვარცოფული მოვლენების სპეციფიკურობის გამო, პროცესში მონაწილე ფაქტორთა და კანონებული და მიღებული მახასიათებლები ზოგჯერ ვერ იძლევა მოვლენის სრულად აღწერისა და შესაბამისი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების გატარების შესაძლებლობას. სწორედ ამიტომ, მათი პროგნოზირება და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების შემუშავება-შერჩევა ღვარცოფურმომქმნელი პროცესისა და დინამიკის თეორიულ-ექსპერიმენტული შესწავლის საფუძველზე უნდა განხორციელდეს.

1.4. ღვარცოფებთან ბრძოლის ღონისძიებები

ღვარცოფულ მოვლენებთან ბრძოლა მიმდინარეობს უხსოვარი დროიდან. ძველი ცივილიზაციის მრავალი ქვეყნის მთების ფერდობებზე შემორჩენილია ტერასების სისტემები, რომელთა მეშვეობითაც ხორციელდებოდა მყარი და თხიერი ნაკადის რეგულირება.

თანამედროვე ღვარცოფსაწინააღმდეგო სისტემების მშენებლობა XIX საუკუნეში დაიწყო და ძირითადი აქცენტი კეთდებოდა ღვარცოფსაშიში ფერდობების დატერასებასა და ტყის გაშენებაზე.

დღეისათვის ამ ღონისძიებებს მიეკუთვნება: ტერიტორიის ექსპლუატაციის რეგულირება, აგროსატყეოსამელიორაციო ღონისძიებები (ფერდობების ტერასირება და ტყის გაშენება) და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა. ამა თუ იმ

ღვარცოფდამცავი ღონისძიების შერჩევა დამოკიდებულია ღვარცოფის აუზის თავისებურებაზე [8, 15].

მიუხედავად აღნიშნული ღონისძიებებისა, ტერიტორიებისა და ნაგებობების დაცვა ღვარცოფული ნაკადების კატასტროფული ზეგავლენისგან რთული ამოცანაა, რომლის გადაწყვეტაც შესაძლებელია მხოლოდ კომპლექსური მიდგომებით, ანუ საინჟინრო (აქტიური) და პროფილაქტიკური ღონისძიებების ერთობლივი განხორციელებით.

პროფილაქტიკურს მიეკუთვნება ღონისძიებები, რომელთა მეშვეობითაც ხდება ღვარცოფების ფორმირების შეჩერება ან მათი უარყოფითი მოქმედების შესუსტება, კერძოდ:

- მთის ფერდობებზე ხე-ტყის გაჩეზვის შეჩერება;
- ტყისა და ბუჩქნარის გაშენება;
- ფერდობებზე საძოვრების შემცირება;
- ფერდობებზე არსებული წყალსაცავების (მორენები და ყინულის ტბების) დროული დაცლა;
- მთის ფერდობების დატერასება;

ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირება და სხვა სატყეომელიორაციული და აგროტექნიკური ღონისძიებები.

შენობა-ნაგებობებისა და ტერიტორიების ღვარცოფების-გან დასაცავად გამოიყენება შემდეგი საინჟინრო ნაგებობები და ღონისძიებები: ღვარცოფშემკავებელი, ღვარცოფგამტარი, ღვარცოფმიმმართველი და მასტაბილიზებელი (ცხრილი 1.4.1).

აღნიშნული ნაგებობების პროექტირება და მშენებლობა ხორციელდება ღვარცოფული ნაკადის ზედა ბიუფში შესაკავებლად და ღვარცოფსაცავების შესაქმნელად, ნაკადის ობიექტში ან მისი შემოვლით გატარებისათვის, ნაკადის ღვარცოფგამტარში მისამართად, მოძრაობის გასაჩერებლად ან შესასუსტებლად.

ლვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები და ღონისძიებები

ცხრილი 1.4.1.

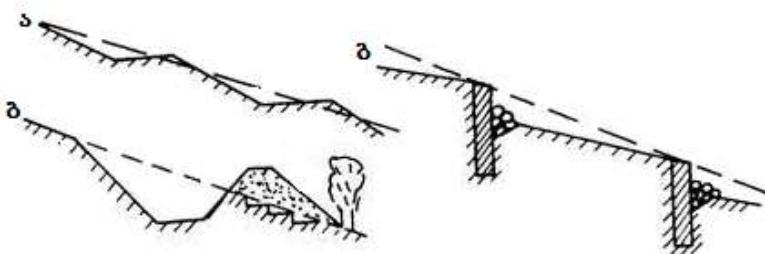
ნაგებობისა და ღონისძიების ტიპი	ნაგებობისა და ღონისძიების დანიშნულება და მათი გამოყენების პირობები
I ლვარცოფშემკავებელი	
ბეტონის, რკინია-ბეტონის, ქვანაყარი და გრუნტის გაშენები.	ლვარცოფული ნაკადის შეცავება ზედა ბიეფში. ლვარცოფსაცავების შექმნა.
II ლვარცოფგამტარი	
არხები, ლვარცოფსაგდები	ლვარცოფული ნაკადების გატარება ობიექტში ან შემოვლით.
III ლვარცოფმიმართველი	
მიმმართველი და გადამღობი დამბები, ლეჭები.	ლვარცოფული ნაკადის მიმართვა ლვარცოფგამტარ ნაგებობაში
IV მასტაბილიზებელი	
ჯებირების კასკადი. შემკავებელი კედლები. ფერდობების ტერასები. აგროსატექო-მელიორაცია	ლვარცოფული ნაკადის მოძრაობის შეჩერება ან მისი დინამიკური მასასი-ათველების შესუსტება
V ლვარცოფამცილებელი	
ლაგრცოფწარმოქმნელი წყალმოვარდნის სარეგულაციო გაშენები. წყალ-საგდებები.	ლვარცოფწარმოქმნელი წყალმოვარდნის პრევენცია
VI ორგანიზაციულ-ტექნიკური	
მეთვალყურეობისა და შეტყობინების სამსახურების ორგანიზება.	ლვარცოფული ნაკადების წარმოქმნის პროცენტირება

პირობითად, სახალხო მეურნეობის ობიექტებისა და ტერიტორიების ლვარცოფებისგან დაცვის ღონისძიებები შეიძლება ოთხ ჯგუფად დაიყოს [8]: ლვარცოფების წარმოქმნის შეჩერება, ლვარცოფების ტრანზიტული გაშვება და სრული ან ნაწილობრივი აკუმულაცია.

ლვარცოფდამცავი ღონისძიებების პირველი ჯგუფი – ლვარცოფების წარმოქმნის შეჩერება გულისხმობს ნიადაგ-გრუნტის გარეცხვის შემცირებასა და ფერდობებზე წარმოქმნილი უმნიშვნელო წყლის ნაკადების მდლავრ ნატანდატ-ვირთულ ან ქვატალახიან ნაკადებად გადაზრდის შეჩერებას. ამ ჯგუფის ყველაზე გავრცელებულ ღონისძიებას წარმოადგენს,

მთის ფერდობებზე ტყის გაშენება, რომლის საშუალებითაც ხდება ხევების წარმოქმნის პროცესის შენელება. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ კლიმატური პირობებიდან გამომდინარე, ტყის გაშენება ბევრ ადგილზე შეუძლებელია. ამასთან, ტყის გასაშენებლად და მდგრადი ტყის მასივის მისაღებად დიდი დროა საჭირო.

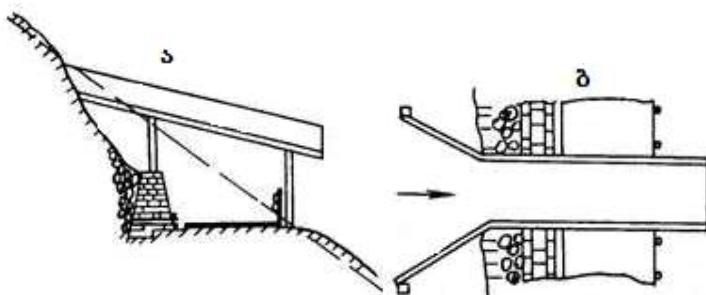
მსოფლიო პრაქტიკაში ღვარცოფული ნაკადების წარმოქმნის აქტივობის შესამცირებლად მიღებულია ციცაბო ფერდობებზე 15-20 მეტრის დაშორებით ერთმანეთის პარალელურსაფეხერებიანი ტერასების მოწყობა (ნახაზი 1.4.1 ა-ბ). ფერდობი იღებს დამრეცი კიბის ფორმას, რის შედეგადაც მცირდება წყლის ნაკადის სიჩქარე და ხდება ქვების შეკავება.



ნახ. 1.4.1. ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებები ფერდობებზე:
ა და ბ- საფეხურებიანი ტერასები; გ - საყრდენი კედლები.

კალაპოტის გარეცხვის თავიდან ასაცილებლად და ციცაბო ფერდობებისათვის კიბის ფორმის მისაცემად პრაქტიკაში, აგრეთვე, ხშირად გამოიყენება საყრდენი კედლები ზღურბლების სახით (ნახ. 1.4.1. გ), ხოლო ყველაზე გავრცელებულ ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობებად, რომლებიც ამცირებენ ღვარცოფული ნაკადების სიმძლავრეს, გამოიყენება ბარაჟებისა და ჯებირების სისტემები. ჩვეულებრივ, კალაპოტში აწყობენ რამდენიმე ბარაჟს ერთმანეთის თანმიმდევრობით. როდესაც ნაკადი გაივლის ყველა წინააღ-

მდეგობას, მათ შორის არსებული სიცარიელე შეივსება მყარი ნატანით. ბარაჟების სისტემა ცვლის კალაპოტის პროფილს და მას კიბისებურ ფორმას აძლევს.



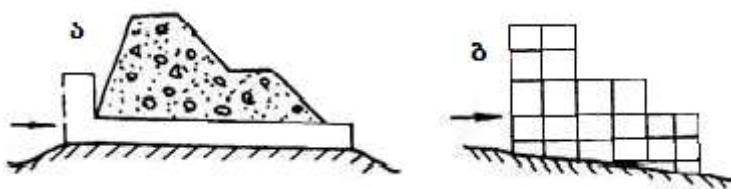
ნახ. 1.4.2. ღოვანი ღვარცოფგამტარი ნაგებობა:
ა - ღვარცოფგამტარი; ბ - მისივე გეგმა.

ღვარცოფდამცავი ღონისძიებების მეორე ჯგუფი- მიმმართველი და დამცავი დამბები, ღვარცოფგამტარი ნაგებობები (ნახ. 1.4.2) და ა.შ. ასეთი ტიპის ნაგებობები კონსტრუქ-ციულად მარტივი, ადგილად ასაგები და ეკონომიურია, თუმცა მათი გამოყენების პირობები შეზღუდულია ადგილ-მდებარეობის ქანობიდან გამომდინარე, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 5-10 %-ს.

ღვარცოფდამცავი ღონისძიებების მესამე ჯგუფი – მიეკუთვნება ნაგებობები, რომელთა მეშევეობითაც ხდება ღვარცოფების სრული შეკავება (ნახ. 1.4.3-ა). აღნიშნული ნაგებობებიდან ყველაზე საიმედოა ყრუ კაშხლები, რომელთა მეშევეობითაც შესაძლებელია ბრძოლა ნებისმიერი წარმოშობის ღვარცოფთან (თავსხმა წვიმებით გამოწვეული, სეისმური, ვულკანული, გლაციალური).

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფთან ბრძოლა ასეთი ტიპის ნაგებობებით არაეკონომიური და შრომატევადია, ვინაიდან

ღვარცოფის გავლის შემთხვევაში ივსება სარეზერვო მოცულობა და აუცილებელი ხდება ღვარცოფსაცავის გაწმენდა.



ნახ. 1.4.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკური ნაგებობები:
ა - ერუ კაშხალი წყალსაგდებით; ბ - გამჭოლი ღვარცოფდამჭერი.

ღვარცოფდამცავი ღონისძიებების მეოთხე ჯგუფი - გამჭოლი ღვარცოფდამჭერები (ნახაზი 1.4.3-ბ), რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა ღვარცოფული ნაკადების მსხვილი ფრაქციების შეკავება, ღვარცოფის მოცულობის, სიმკვრივისა და სიჩქარის შემცირება და წვრილი ფრაქციის გატარება ქვედა ბიეფში.

ასეთი ტიპის კონსტრუქციის აგება, ეკონომიკური თვალსაზრისით, გაცილებით ხელსაყრელია, ვიდრე მასიური ნაგებობის აგება [6, 7]. ი. ხერხეულიძის [10] მიერ შემუშავებული ასეთი ტიპის კონსტრუქციები ფართოდაა დანერგილი ყაზა-ხეთში, სომხეთში, ყირიმშა და ჩრდილოეთ კავკასიაში.

მსოფლიო პრაქტიკაში უკანასკნელ პერიოდში ფართოდ გამოიყენება ღვარცოფებთან ბრძოლის კომპლექსური ღონისძიებები: დინების სათავეში იგება წყალსაცავი ნატანის დასაჭრად, შუა დინებაში - დამჭერი ჯებირები, ხოლო დინების ქვედა ნაწილში - ღვარცოფვამტარი არხები.

ზემოთ აღნიშნული ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების გარდა, აგრეთვე, არსებობს ბეტონისა და რკინაბეტონის სხვადასხვა ტიპის ბლოკები და ელემენტები, როლებიც გამო-

იყენება ლოკალურ პირობებში ღვარცოფული აქტივობის შესასუსტებლად.

სხვადასხვა ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების მშენებლობა-ექსპლუატაციის კლასიკურ მაგალითად, შეიძლება განხილულ იქნას ყაზახთის დედაქალაქის, აღმა-ათას შემოგარენში აგებული კონსტრუქციები.

ორი გამჭოლი ღვარცოფდამჭერი აგებულ იქნა 1964 წელს ღედაქალაქისა და ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლის მედეოს სამშენებლო მოედნის დასაცავად. აღნიშნული კონსტრუქციების სიმაღლე შეადგენდა 10 მეტრს, სიგრძე ქიმზე - 40 მ., ღვარცოფსაცავის მოცულობა - 15 ათასი მ³. ეს ნაგებობები 10-15 წამში დაანგრია 1973 წლის 15 ივლისს მოვარდნილმა ღვარცოფმა, რომელიც ზოგიერთ წყაროში მოხსენებულია, როგორც საუკუნის უდიდესი ღვარცოფი.

1964-1966 წლებში კაშხალ მედეოს ქვემოთ აიგო მეტალის ორი (5,6 და 7 მეტრის სიმაღლის მქონე) გამჭოლი ღვარცოფდამჭერი, საერთო მოცულობით 500 ათასი მ³.

1966 წლის ოქტომბერში მედეოს ხეობაში, მდინარე მცირე აღმატინებას მარჯვენა ნაპირზე, განხორციელდა მსოფლიო პრაქტიკაში უნიკალური მიმართული აფეთქება (5,3 ათასი ტონა ასაფეთქებელი ნივთიერება), ხოლო 1967 წლის აპრილში (3,9 ათასი ტონა ასაფეთქებელი ნივთიერება) – მის მარცხენა სანაპიროზე.

აფეთქების შედეგად წარმოქმნილმა მასამ შექმნა ქვაყრილი კაშხლის ტანი, რომლის სიმაღლე შეადგენს 150 მეტრს, სიგრძე ქიმზე - 530 მ., ფუძის სიგრძე - 800 მ. ღვარცოფ-საცავის მოცულობა შეადგენს 12,6 მლნ. მ³-ს. წყალშემკრები და წყალმიმღები ნაგებობების მშენებლობისას გამოყენებულია 27 ათასი მ³ რკინაბეტონი.

1973 წელს კაშხალზე წამოვიდა 3,8 მლნ. მ³ მოცულობის უდიდესი მყინვარული ღვარცოფი (საუკუნის ღვარცოფი),

რომელიც მედეოს ღვარცოფსაცავის საშუალებით სრულად იქნა შეჩერებული.

1978 წლის მდინარე აკუარზე აიგო გამჭოლი ნაგებობა (სიმაღლე - 7,2 მ., სიგრძე ქიმზე - 7,8 მ., ფუძის სიგრძე - 23 მ., ღვარცოფული ნაკადის საანგარიშო ხარჯი - 143 მ³/წმ., ტევადობა - 112 ათასი მ³.), რომელიც სრულად იქნა გავსებული 1985 წლის 24 მაისს მოვარდნილი ღვარცოფის მასით.

ალმა-ათას დასავლეთი ნაწილის დასაცავად, მდინარე დიდ ალმატინკაზე აგებულია 40-მეტრიანი მონოლითური რკინაბეტონის თაღოვანი კაშხალი (სიგრძე ქიმზე - 422 მ., ფუძის სიგძე - 200 მ., ღვარცოფსაცავის ტევადობა - 8,2 მლნ.მ³.), რომელმაც 1988 წლის 27 ივნისს გაუძლო 1 მლნ. მ³ მოცულობის ღვარცოფულ ნაკადს.

ზემოაღნიშნულის გარდა, უკანასკნელ პერიოდში ფართო გამოყენება პოვა ღვარცოფდამცავი ნაგებობების ზოგიერთმა ახალი ტიპის ეფექტურმა კონსტუქციამ.

ასე მაგალითად, ვიწრო და ციცაბო ღვარცოფაქტიურ ხეობებში გამავალი გზების დასაცავად გამოიყენება სოლისებრი ბლოკების თაღოვანი ტიპის ნაგებობები. ღვარცოფის გავლის შემდეგ შესაძლებელია მათი გაწმენდა და ხელმეორედ გამოყენება. ასეთი ტიპის ნაგებობები სეისმომედეგია და ეკონომიური. ხშირად ნაგებობების ნგრევა ხდება მათი ფუძის გამორცხვის ან მათზე ღვარცოფის გადადინების შემთხვევაში. ღვარცოფდამცავი ნაგებობების ნგრევის ასეთი შემთხვევა ფიქ-სირებული იყო მდინარე დურუჯსა (საქართველო) და მდინარე აკუარზე (ყაზახეთი).

ღვარცოფსადინარის კალაპოტის ფართო ნაწილებში, ანუ გამოტანის კონუსის ზონაში, სადაც ნაპირი ნაკლებად ციცაბოა, ღვარცოფული ნაკადების სიჩქარე და სიღრმე კი - შედარებით მცირე, ეფექტურია გამარტივებული ღვარცოფდამცავი ნაგებობების გამოყენება: უნიფიცირებული რკინაბეტონის ღერძული ელემენტებით ან ფოლადის მესრის კონსტრუქციები.

უერდობების გასწვრივ გამავლი გზების დასაცავად, ძირითადად გამოიყენება მიწის დამბები, ტრანშეები, რკინაბეტონის ბარიერები და სხვა გრძივი ნაგებობები.

ღვარცოფებისგან დასაცავად, აგრეთვე, გამოიყენება ავტომობილების მეორეული საბურავების სხვადასხვა ტიპის კონსტრუქციები, რომელთა მეშვეობითაც ადვილად ხდება ღვარცოფული ნაკადის ენერგიის ჩაქრობა. ასეთი ტიპის კონსტრუქციები გამოირჩევა მშენებლობის სიმარტივით, მცირე ღირებულებითა და გამოყენების ვადის ხანგრძლივობით.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების ანალიზის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიუხედავად არსებული უამრავი ეფექტური ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტუქციებისა, აუცილებელია მათი დაგეგმარებისა და გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფა ნორმებისა და წესების მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების შემუშავების საფუძველზე.

ლიტერატურა

1. **ამილახვარი ზ.,** ეგზოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების გამოკვლევა საქართველოს ტერიტორიაზე ძიების გეოფიზიკური მეთოდებით. ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაცია. თბილისი, 2006, 118 გვ.
2. **ბასილაშვილი ც., სალუქვაძე მ., ცომაია ვ., ხერხეულიძე გ.** კატასტროფული წყალდიდობები, ღვარცოფები და თოვლის ზვავები საქართველოში და მათი უსაფრთხოება. სტუს გამომცემლობა, თბილისი, 2012, 248 გვ.
3. საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და გარემოს დაცვა. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური, თბილისი, 2012, 81 გვ.
4. საქართველოში 2010 წლის გეოლოგიური სტიქიის მდგომარეობის ზოგადი შეფასება. 27 გვ.
5. სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს 2013 წლის ანგარიში. 4 გვ.
6. **Байнатов Ж.Б.,** Конструкции селезащитных сооружений и методы их расчета. Алма-Ата: КазНИИНТИ, 1991, 159 с.
7. **Гагошидзе М.С.,** Селевые явления и борьба с ними. - Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970, 386 с.
8. **Перов В.Ф.,** Селеведение. Московский Государственный Университет имени Ломоносова. Москва, 2012, 274 с.
9. **Флейшман С.М.,** Сели, Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 312 с.
10. **Херхеулидзе И.И.,** Сквозные, защитные и регулирующие сооружения на горных реках. М.: Гидрометеоиздат, 1967, 131 с.

11. **Aplin A. C., Fleet A. J. & Macquaker J. H. S.**, Muds and Mudstones: Physical and FluidFlow Properties. Geological Society, London, Special Publications, (eds) 1999, 158 p.
12. **Bartoszewski S., Gluza A., Siwek K., Zagórski P.**, The functioning of Scott Glacier in conditions of climate global changes. *Landform Analysis*, 5, 2007, pp. 5–8.
13. **Cheng-lung Chen**, Debris-flow hazards mitigation mechanics, prediction, and assessment. Published by American Society of Civil Engineers in New York, 1997, 817p.
14. **Costa J. E., Wieczorek G. F.**, Debris Flows - Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation. Publisher: Geological Society of America Incorporated, 1987, 248 p.
15. **D. de Wrachien, Brebbia C.A.**, Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows III. *Wessex Institute of Technology, UK*, WIT Press, 2010, 288 p.
16. **Matthias J., Hungr O.**, Debris-Flow Hazards and Related Phenomena. Praxis Publishing, 2005, 795 p.
17. **Michael Woods, Mary B. Woods**, Mudflows and Landslides (Disasters up Close), published by Lerner Pub Group (L), 2006, 64 p.
18. **Philippe Coussot**, Mudflow Rheology and Dynamics (IAHR Monographs), published by CRC Press, 1997, 272 p.
19. **Takahashi T.**, Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures (Balkema: Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences). 2007, 465 p.
20. **Takahashi T.**, Mechanisms of sediment runoff and countermeasures for sediment hazards, Kinmirai Sha. 2006, 420 p.

თავი 2. ლგარცოფული მოვლენების შესრულების თანამედროვე მდგრადი

2.1. ბმულ ღვარცოფთა წარმოშობისა და მოძრაობის თავისებურებანი

საქართველოს მთიანეთი გეომორფომეტრიული პროცე-
სების თავისებური სახესხვაობებით გამოირჩევა. მაღალმთიანი
ალპური ზონა ზასიათდება გამყინვარებით, ხოლო მთისა და
მთისწინა უბნები - ექსტრემალური ეროზიული პროცესებით,
მთათა ჩამოცურებით, ჩამონაშალებითა და მეწყერული მოვ-
ლენებით.

ბუნებრივი კატასტროფების, კერძოდ, ღვარცოფის ფორ-
მირება რელიეფურ-კლიმატური, ფიზიკურ-გეოგრაფიული
მახასიათებლების მკვეთრად გამოხატული ვერტიკალური
ზონალობისა და სხვა მრავალ ურთიერთობართვად ფაქტორთა-
ნაა დაკავშირებული. ღვარცოფული პროცესებით გამოწვეული
ზარალი ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის პროცესში
მნიშვნელოვან მასშტაბებს აღწევს.

ღვარცოფული მოვლენები არის პროცესთა ისეთი
ერთობლიობა, რომელიც მის ფორმირებასთან, მოძრაობასთან,
დამანგრეველ ზემოქმედებასთან, ჭრანსფორმაციასა და მყარი
ნატანის დალექვასთან არის დაკავშირებული.

ასეთი ნაკადების რეგულირება და გარემოს ეკოლოგიური
მდგრადობის შენარჩუნება, რომლის ზემოქმედებას თითქმის
ყველა ქვეყნის მთისა და მთისწინა რეგიონი განიცდის, სახალ-
ხო მეურნეობის ყველა დარგის მხრიდან განსაკუთრებულ
ყურადღებას საჭიროებს.

ღვარცოფთა ჩამოყალიბების კერებში და სატრანზიტო
ზონებში ბრძოლის საინჟინრო ღონისძიებათა შერჩევა და

დაპროექტების რაციონალური ხერხების გამოყენება, უშუალოდ დაფუძნებულია მათი დინამიკური მახასიათებლების დროში პროგნოზირების და გაანალიზებული მათემატიკური მოდელების საფუძველზე მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყენებაზე.

როგორც ღვარცოფული გამონატანის კუმულაციური მრუდების ანალიზი, მყარი ნატანის ჰიდრაგლიკური სიმსხოს განსხვავებულობა და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში დროში ცვლილება ადასტურებს, იგი გამოტანის კონუსებზე წყლის ნაკადით ტრანსპორტირებულ მყარ დანალექს არ წარმოადგენს. აქედან გამომდინარე, დასტურდება, რომ ღვარცოფები წარმოშობით და მოძრაობის მახასიათებლების ცვლილებით ხასიათდება ანომალიურობით. მოვლენის შესწავლა მკაცრი მექანიკის კანონებზე დაყრდნობით ხშირად სასურველ შედეგს ვერ იძლევა.

ზემოთ აღნიშნულის დასასაბუთებლად შეიძლება მოვიყვანოთ მნიშვნელოვანი განსხვავება სამეცნიერო ლიტერატურაში მკვდევართა სხვადასხვა წარმოდგენების საფუძველზე გაანგარიშებულ შედეგებს შორის, ღვარცოფთა ფიზიკურ-მექანიკური შედგენილობის და რეოლოგიური ოვისებების განშასზღვრელი მახასიათებლების იდენტურობის შემთხვევაშიც კი.

ეროზის შედეგად წარმოქმნილი მყარი ნატანის ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვება მთის შენაკადთა სათავეებში არსებული ჰიდროგრაფიული ქსელის კალაპოტთა სისტემით ხორციელდება. სიმძლავრითა და მოსალოდნელი ზარალის მასშტაბურობით გამოირჩევა დურუჯის, ლასკადურას და არაგვის აუზებში არსებული ღვარცოფწარმომქმნელი კერები, რომელთა გავლენის ხონები შემდეგნაირად ნაწილდება: კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრეთ ფერდობი – 14,0 ათასი კმ²; ბმული ღვარცოფები – 3,2 ათასი კმ²; სამხრეთ საქართველოს მთიანეთი – 2,6 ათასი კმ²; ბმული ღვარცოფები

- 0,45 ათასი კმ²; კავკასიონის ცენტრალური ფერდობი - 1,9 ათასი კმ²; ბმული ღვარცოფები - 0,35 ათასი კმ².

სამეცნიერო შრომათა ანალიზით ღვარცოფთა 74,4% - თავსხმა წვიმებით, 18% - თოვლის დნობით, 3,7% - მყინვარებით, 0,37% - თოვლის ჩამოზვავებით, ხოლო 0,38% - წყალსაცავების გარღვევით ხდება.

კერებში დაგროვილი ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობის მნიშვნელოვან საზღვრებში ცვლილება ფაქტორების ზემოქმედებით, განსხვავებული ბუნებისა და თვისებების მქონე მაღალი სიმკვრივის ნაკადთა წარმოქმნას განაპირობებს.

დღეისათვის ღვარცოფთა სპექტრი პირობითად ორი განსხვავებული სახით არის წარმოდგენილი: პირველი - ბმული ღვარცოფები, რომელთა მოცულობითი წონა $1,8 \div 2,3 \text{t}/\text{მ}^3$ -ის ფარგლებში იცვლება და მაღალი სიმკვრივის ნაკადების სახელწოდებითაც ცნობილი; მეორე - ღვარცოფები, რომელთა მოცულობითი წონა $1,1 \div 1,7 \text{ t}/\text{მ}^3$ -ის ფარგლებში მერყეობს, მათი ტანი უწყვეტ გარემოს წარმოადგენს, ხოლო მყარი ნაკადის მატრანსპორტირებელ საშუალებად წყალია მიჩნეული.

გამოწვეული ზარალისა და ანომალიური ბუნების გამოწარმოდგენილ ღვარცოფთა სახეებიდან, ღვარცოფსარეგულაციის საინჟინრო ღონისძიებათა შერჩევისა და ფართო მასშტაბით გამოყენების შემთხვევაში, ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების ოპტიმალური ვარიანტების შერჩევის დროს ყურადღებას იპყრობს ბმული ღვარცოფები.

კერებში ჩამოყალიბებული ღვარცოფის მასა ხასიათდება გარე ძალების მიმართ წინააღმდეგობის უნარით, რის შესაბამისადაც მისმა ტანმა შეიძლება განიცადოს ფორმის გარკვეული ცვლილება. წონასწორობის რღვევა და მოძრაობის დაწყება დაძაბულობის განსაზღვრულ პირობებს შეესაბამება.

ასეთ პირობებში დამძვრელი ძაბვის მნიშვნელობა აჭარ-ბებს ბმულობის წინააღმდეგობას. როცა ღვარცოფის ტანი ირლვევა და მისი ერთი ნაწილი მეორის მიმართ გადაადგილდება, მაშინ ასეთი პირობა განსაზღვრული ძვრის ზედაპირის სიბრტყის შესაბამისი ხდება. ძვრის ზედაპირის მოხაზულობა და კერიდან მისი გავრცელების ზონა მოსალოდნელი ხარჯისა და დაძვრის გასაშუალებული სილრმის განმსაზღვრულ ფაქტორს წარმოადგენს.

სატრანზიტო უბნებზე ღვარცოფული პროცესები განსაკუთრებული ბუნებით ხასიათდება. იმ შემთხვევაში, როდე-საც სატრანზიტო უბნის ქანობი ღვარცოფის ძვრის ზედაპირის გასაშუალებული ქანობის მნიშვნელობის ტოლი ან მასზე ნაკლებია, ნაკადი წყვეტს მოძრაობას.

ღვარცოფწარმოქმნის პროცესი, ისე როგორც სხვა ნების-მიერი მოვლენა ბუნებაში, შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც ფაქტორთა ორი ტიპის – სტატიკურის და დინამიკურის – ურთიერთქმედების შედეგი.

პირველ მიახლოებით სტატიკურ ფაქტორად შეიძლება ჩაითვალოს ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვილი მყარი მასის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, პოტენციური ღვარცოფული მასივები, კერის წყალშემკრების ინფილტრაციული და თვით კერების მორფომეტრული მახასიათებლები. წარმოდგენილ მახასიათებელთა სტატიკურობა ფარდობითა იმდენად, რამდენადაც კერების ფორმა და ზომები, ლითოლოგიური შედგენილობა, ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მოცულობა გარკვეული წლების განმავლობაში შეიძლება სტაბილური იყოს, ხოლო რაც შეეხება ღვარცოფული ტანის შიდა დინამიკურ ფაქტორებს – ტენიანობას, შინაგანი ხახუნის კუთხეს, ბმულობასა და სხვ., ისინი დღე-ღამის განმავლობაში ცვალებადია.

დინამიკურ ფაქტორებს შორის აღსანიშნავია გარეგანი ბუნებრივი ფაქტორების, კერძოდ, წვიმის ხანგრძლივობა,

ინტენსივობა და სიმძლავრე, ღვარცოფურმომქმნელი მასივის ჰიდროლოგიური მახასიათებლები, ფილტრაციული შესაძლებლობანი და ადგილმდებარეობის სეისმურობა.

ღვარცოფული პროცესების ძირითად განმსაზღვრელ კრიტერიუმად შეიძლება ჩაითვალოს მისი მკვეთრად გამოხატული ფორმის მქონე გრძივი პროფილი, რომელიც რეალურ ან ალბათურ ღვარცოფურმოქმნის ცურვის ზედაპირს წარმოადგენს.

ბმული ღვარცოფები სატრანზიტო უბნის მცირე ქანობის მქონე მონაკვეთებზე მოძრაობას წყვეტს შეძენილი ფორმის დაურღვევლად. პროფ. მ. გაგოშიძის მიერ მოყვანილი მაგალითით, სიღმით 3,5 და სიგანით 35 მ ღვარცოფი ხევიდან გამოსვლის მომენტში 100-150 მ სიგანის ჭალაში 13 კმ მანძილზე სტრუქტურის დაურღვევლად განაგრძობდა მოძრაობას. მოყვანილ მაგალითში ნაკადის მდგომარეობასა და მოძრაობის შეწყვეტის მომენტს დამრტყმელი (სიმძიმის ძალა) და პლასტიკური წინააღმდეგობების ძალების განსაზღვრული მნიშვნელობები შეესაბამებოდა.

ღვარცოფურმომქმნელ გრუნტში წყლის შემცველობა მისი წვრილფრაქციული შემადგენლობის ქვის ჩანართან ურთიერთთანაფარდობის მიხედვით განისაზღვრება და წონით სიდიდეებში მისი ცვლილების დიაპაზონის საზღვრებში მერყეობს, ხოლო, როცა წყლის შემცველობა ჭარბობს აღნიშვნული დიაპაზონის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ღვარცოფში ბმულობა ქრება და იგი ტურბულენტური რეჟიმით მოძრაობს.

ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო დამოკიდებულებებით აღწერას, მოვლენის სირთულის გამო, ეტაპობრივი სახე გააჩნია. პირველ სისტემურ კვლევებს სამეცნიერო პუბლიკაციებში მოვლენის აღწერითი ხასიათი გააჩნია და იგი მე-19 საუკუნის 20-იან წლებამდე გრძელდება.

შემდგომი ეტაპი, ღვარცოფთა სპეციალისტი ძირითადი სახეების გამოყოფას, ღვარცოფთა სახეების სასაზღვრო პირობე-

ბის შეფასებას, ტერმინოლოგიის, გავრცელების გეოგრაფიის დაზუსტებას, პიდრავლიკური და პიდროლოგიური მახასიათებლების შესწავლას ეძღვნება. ამ მხრივ ყურადღებას იპყრობს ცნობილი მეცნიერების ი. ველიკანოვის, მ. გაგოშიძის, პ. ნეპოროჟნის, მ. მოსტკოვის, ს. ფლეიმმანის, ი. ხერხეულიძის, გ. ხმალაძის, ა. შეკოს, ნ. დუმიტრაშვილს, ვ. პეროვის, მ. აიზენბერგის, ი. ბოიარსკის, ბ. ბუდაგოვის, ვ. ვარდუგინის, ი. ვინოგრადოვის, ბ. გოლდინის, ა. დეგოვეცის, ნ. დუმიტრაშვილს, დ. ივანოვის, ხ. ისმაგილოვის, ტ. კირენსკაიას, ა. კოვალიოვის, ი. მოსაკოვსკაია, ვ. მოჩალოვის, ა. ოლიფეროვის, ვ. პუშკარენკოს, ს. რუსტამოვის, ნ. რუხაძის, ი. სეინოვის, რ. ხონინის, ე. წერეთელის, ვ. იაბლონსკის, დ. ვარნესის და სხვათა სამეცნიერო პუბლიკციები.

დაგროვილი ინფორმაციისა და არსებული სტატისტიკური მასალების ანალიზის საფუძველზე შემდგომი ეტაპი ღვარცოფთა პიდრავლიკის, პიდროდინამიკის, რეოლოგიის და მომიჯნავე კვლევის სფეროებში გამოყენებული მოდელების პროცესთან ადაპტირებაზეა ორიენტირებული და მოიცავს მათი თანაბარი და, უფრო მოგვიანებით, არათანაბარი მოძრაობისა და საინჟინრო ღონისძიებების საპროექტო პარამეტრების ნორმატივების შემუშავების საკითხებს. მათ რიცხვში აღსანიშნავია ი. ვინოგრადოვის, გ. ბერუჩაშვილის, ო. ნათიშვილის, ც. მირცხულავას, თ. ვოინიჩ-საინოჟემსკის, ნ. კერესელიძის, ბ. ახმედოვას, ა. კვასოვის, ვ. სანოიანის, უ. მირზაზადეს, ლ. სულაქველიძის, ზ. იორდანიშვილის, ვ. თევზაძის, გ. ხერხეულიძის, უ. ბაინატოვის, ვ. კორობოვის, ტ. ტაკაპაშის, რ. ბრიგენტის, ი. იშიკავას და სხვათა სამეცნიერო ნაშრომები.

ანალოგიური ხასიათის შრომათა შორის ყურადღებას იმსახურებს აგრეთვე ვ. მიასნიკოვის, ბ. სტეპანოვის, დ. ფრუიძის, გ. კვაშილავას, გ. ხარაიშვილის, მ. მაქარაშვილის, ლ. სოხაძის, ე. კუხალაშვილის, ი. ყრუაშვილის, გ. გავარდაშვილის,

კ. ბეარლის, კ. იანოს, ლ. სილვიოს, ფ. კოუსოტის, მ. ვუდსის, ჯ. დუფის, ა. ფერეროს და სხვათა სამეცნიერო პუბლიკაციები.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა პროექტირებისა და რიგი საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის საკითხებში საფურადღებოა მ. გაგოშიძის მიერ შემოთავაზებული კვლევის შედეგები, რომლის მიხედვით დადგენილ იქნა ღვარცოფთა სახეების სასახლვრო პირობები, მათი შეფასების რიგი კრიტერიუმები და საანგარიშო სქემები. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ეტაპზე პროცესის შეფასება სრულად არ არის წარმოდგენილი მოვლენის მრავალფაქტორიანობისა და კვლევის სტატისტიკის სიღარიბის გამო.

ზღვრული წონასწორობის თეორიაზე დაყრდნობით, ნატურული და ლაბორატორიული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე, ღვარცოფის ყველა შესაძლო სტრუქტურულ-რეოლოგიური ტიპისათვის, დადგენილია მყარი შემადგენლის მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებით შევსების ქვედა ზღვარი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებული არ არის ქვის ჩანართის დიამეტრზე და წონით ნაწილში 0,23-ის ტოლია [36].

მყარი ნატანით წყლის შევსების ზღვრული შესაძლებლობა ქანობთან დამოკიდებულებაში მოცემულია შრომაში [32], რომლის მნიშვნელობა 48%-ის ტოლია. მ. მოსტკოვის [40] მიხედვით, მყარი შემადგენლობის მოცულობითი კონცენტრაციის ქვედა ზღვარი ღვარცოფებში 26–40%-ის ფარგლებში იცვლება.

სხვადასხვა დისპერსიული სისტემების კვლევის ანალიზისა და განზოგადების საფუძველზე ი. ზერხეულიძის მიერ [56] მდინარე დურუჯის აუზის ღვარცოფებისათვის დადგენილია მყარი შემადგენლობის მოცულობითი კონცენტრაციის მაქსიმალური სიდიდე და მისი შესაბამისი ქანობის მნიშვნელობები, ე.ი. როცა მოცულობითი კონცენტრაცია 0,7-ის ტოლია, ღვარცოფის ქანობი $i = 0.25$.

ეროვნის შედეგად ღვარცოფურმომქმნელ კერძებში დაგროვილი ღვარცოფის მასის წონასწორობის რღვევის პირობები დაკავშირებულია გარეგანი დატვირთვების ან მის ტანში შინაგანი წინააღმდეგობის განშსაზღვრელი პარამეტრების მოქმედების ეფექტის შემცირებასთან. დაბაბული მდგომარეობა იცვლება როგორც ფენის ზრდის პირობებში, სე მისი მასის წყლით შევსების შედეგად. აღნიშნული შემთხვევა იწვევს ეფექტური ხახუნისა და ბმულობის შემცირებას. დამძვრელი ძაბვის შედეგად ღვარცოფურმომქმნელი მასის ერთი ნაწილი გადაადგილდება მეორის მიმართ. წარმოიქმნება ძვრის ზედაპირი, რომელიც ზღვრული წონასწორობის პირობებს შეესაბამება.

მიმდინარე პროცესის შეფასებისა და ღვარცოფურმომქმნელ გრუნტში ძაბვების განაწილების სურათის დადგენის დროს, ფართოდ არის გამოყენებული ხაზოგნად დეფორმირებადი სხეულების განტოლებები.

ღვარცოფურმომქმნელი გრუნტის მდგომარეობა, მისი ზედაპირიდან ჩამომეწყვრილი ფართობის სიდიდე ზღვრული წონასწორობის თეორიის კერძო ამოცანას წარმოადგენს და ძვრის ზედაპირზე შესაძლო მოქმედი ძაბვების განსაკუთრებულ შემთხვევებს შეესაბამება. დაბაბულობის მომენტში, როცა მთავარ ძაბვებს შორის სხვაობა აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას, იქმნება კრიტიკული მდგომარეობა და ღვარცოფის წარმოქმნის შესაძლებლობა [26, 34, 36, 44, 51, 52, 61, 62, 65], ხოლო ჩამომეწყვრის მოცულობის სიდიდე კერაში დაგროვილი მასის სიმაღლის, ბმულობის, შინაგანი ხახუნის კუთხის და ძვრის ზედაპირზე მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვების ფუნქციას წარმოადგენს [13].

დაბაბულობის გარკვეულ მოქმენტში, როცა მთავარ ძაბვებს შორის სხვაობა აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას, იზრდება ღვარცოფის მოძრაობის დაწყების შესაძლებლობა.

ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტისათვის დამახასიათებელია არაერთგვაროვნება. აქედან გამომდინარე, იცვლება მისი როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური მახასიათებლები. კერებიდან ყალიბდება სხვადასხვა სახის ღვარცოფები. ერთგვაროვნების კოეფიციენტი K , რომელიც d_{60}/d_{10} სიდიდეების ფარდობით არის წარმოდგენილი, სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით დიდ დიაპაზონში მერყეობს, მაგალითად, გ. ბერუჩაშვილის მიხედვით – $K = 8.5$ [18]; ე. ვარდუგინის მიხედვით – $K = 8.56 \cdot 7 \div 8$ [19]; ა. ზემსის მიხედვით – $K = 6.5$ [33]; მ. გაგოშიძის მიხედვით – $K = 2.5$ [29]; ი. ვინოგრადოვის მიხედვით – $K = 20$ [23].

ღვარცოფის მასის წონასწორული მდგომარეობის ძირითად განმსაზღვრულ პარამეტრად შინაგანი ხახუნის კუთხეა მიჩნეული, რომლის ცვლილების დინამიკას ტენიანობასთან კავშირში შემდეგი სახე აქვს: როცა ტენიანობა $3 \div 5\%$ -ის ფარგლებშია, შინაგანი ხახუნის კუთხის გასაშუალოებული მნიშვნელობა $\varphi = 35^\circ$ -ს; ტენიანობის 10% -მდე გაზრდის შემთხვევაში $\varphi = 27^\circ$ -ს, ხოლო როცა ტენიანობა 12% -ია, შინაგანი ხახუნის კუთხე 4° -მდე ეცემა. შინაგანი ხახუნის კუთხის ცვლილების ანალოგიურად იცვლება ბმულობა: როცა ტენიანობა 5% -ის ტოლია, ბმულობის მნიშვნელობა $0,03 \div 0,036$ კგ/ს 2 -ის ფარგლებშია; ტენიანობის 10% -მდე გაზრდით მისი მნიშვნელობა $0,1$ კგ/ს 2 -მდე იზრდება; 12% ტენიანობის შემთხვევაში ბმულობის ეფექტი მთლიანად ქრება.

ღვარცოფის უეცარი წარმოშობის ბუნების, მოქმედების ხანგრძლივობის სიმცირის, მოძრაობის არასტაციონარულობის, რეალურ პროცესთან რეალური შეფასების ამომწურავოპერატიულ შესაბამისობად შეიძლება ჩაითვალოს ჰიდროგრაფი, რომელიც ღვარცოფის ერთი ტალღის გავლას შეესაბამება. იგი დიამეტრალურადაა განსხვავებული ჩვეულებრივი წყალ-

დიდობის პიდროგრაფისაგან როგორც ფერდის აწევის, ისე დაწევის მონაკვეთების სიმრუდით და დახრილობით.

ღვარცოფთა ტიპური პიდროგრაფი, რომელსაც ტრაპე-ციის ფორმა აქვს და ციცაბო აღმავალი და მდორედ დამრეცი ფერდებით ხასიათდება, ი. ხერხეულიძის მიერ იქნა შესწავლი-ლი [58]. პიდროგრაფი სატრანზიტო უბნებზე ცვალებადი მასით მოძრავი ღვარცოფის ისეთი მახასიათებელია, რომლის ფორმის ცოდნის შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება მათი პიდრავლიკური ამოცანების შედარებით მარტივად გადაწ-ყვეტა.

ბმულ ღვარცოფთა პიდროგრაფის ერთადერთ მოდელად შესაძლებელია მიწის კაშხლის გარღვევის პროცესის მისა-დაგება. მოვლენის სირთულის გამო ღვარცოფთა მოძრაობის მახასიათებლები ხშირად სადინართა ცალკეული უბნებისათვის გაიანგარიშება და თანაბარი მოძრაობის ძირითად ოპერატიულ საშუალებას, დამოკიდებულებას წარმოადგენს. საანგარიშო პარამეტრებად აღებულია სიდიდეები, რომელებიც სატრან-ზიტო უბნის შერჩეული მონაკვეთის კალაპოტს შეესაბამება, ხოლო პიდრავლიკური მახასიათებლების დადგენა თანაბარი მოძრაობის განტოლებებით ხდება. ასეთი დაშვებებით მოძრავი ნაკადის მახასიათებლების შეფასება ზრდის ნაგებობათა მდგრადობის მარაგს. სინამდვილეში, ღვარცოფსადინარში ნაკადის მოძრაობა არასტაციონალურია, სათავიდან მოძრაობის მიმართულებით იგი ხშირად იცვლის თავის დინამიკურ ღერძს და მაჩვენებლებს. აქედან გამომდინარე, გაანგარიშებისას აუცილებელია მხედველობაში იქნას მიღებული მოსალოდ-ნელი დაუმყარებელი მოძრაობის ფაქტორი.

ღვარცოფის ზღვრული წონასწორობიდან დინამიკურში გადასვლის დროს მოძრავი ტანის სტრუქტურის დარღვევის გამო საგრადიენტო შრეში იცვლება საწყისი წინაღობა ძვრაზე.

სრული ძვრის წინააღმდეგობის ცვლილების სურათის დადგენა ერთ-ერთი რთული საკითხია, რადგან იგი მოიცავს

სიბლანტეს და ძვრის საწყისი წინააღმდეგობის პარამეტრებს. სიბლანტის კოეფიციენტის განსაზღვრის მცდელობა ღვარ-ცოფმცოდნეობაში მისი შემადგენელი ტალახოვანი წყალკო-ლოიდური ნაწილის კვლევით იწყება. აღნიშნული კვლევების საფუძველზე გამოვლინდა მისი როლი რეოლოგიური თვისებე-ბის განსაზღვრელ მახასიათებლებზე.

სიბლანტის კოეფიციენტის განსაზღვრის დროს, ფართოდ იქნა გამოყენებული ღვარცოფის მასის მონოდისპერსიულ გა-რემებად დაყოფის მეთოდი, რომლის საფუძველზე მისი სიდი-დის განსაზღვრა დაყოფილი ცალკეული ნარევების სიბლანტის მნიშვნელობების ნამრავლით ხდება.

მყარი ქვის ჩანართის საშუალო დიამეტრის ცვლილების გამო ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის სიბლანტის კოეფი-ციენტს განსხვავებული მნიშვნელობები გააჩნია. ქვის ჩანარ-თის გავლენის ცვლილებას სიბლანტეზე მიეძღვნა როტაციულ ვისკოზიმეტრებზე ჩატარებული ცდები [17, 27, 35, 41, 44, 54, 55].

სატრანზიტო უბნებზე მოძრავ ნაკადს გააჩნია რიგი თავისებურებანი, რაზედაც მიუთითებს მეცნიერთა მიერ წარ-მოდგენილი სხვადასხვა მოდელის ამსახველი დამოკიდებულე-ბები ძვრის წინაღობის ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის. შრომათა ერთ ნაწილში ნაკადის დინების მრუდთა ოჯახის კავშირი ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის სხვადასხვა ფორმით წარმოდგენილი დამოკიდებულებით არის აღწერილი [7, 27, 34, 36, 40, 41, 55], ხოლო მეორე მიმართულებაში ეს კავშირი ხარისხობრივი ფორმით არის წარმოდგენილი. აღნიშ-ნულ მოდელთა განსხვავებულობა მიუთითებს განსხვავებულ შეხედულებებზე ღვარცოფთა მოძრაობის სქემასა და მოძ-რაობის მექანიზმზე [63, 64, 66, 67, 68].

სტრუქტურული კავშირებისა და სიმტკიცის მახასიათებ-ლების დიდ დიაპაზონში ცვლილებისა და ღვარცოფის მასის გაუმჯობესების გამო სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილე-

ბის სურათის კანონზომიერების შეფასება და მასზე სწორი წარმოდგენის შექმნა ხშირად ვერ ხერხდება. რის გამოც მეცნიერთა ერთი ნაწილი, თეორიულად, სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების უწყვეტ ფორმას იღებს, ხოლო მეორე ნაწილი ამ სურათს საგრადიენტო შრითა და ძირითადი ბირთვის არსებობით ასაბუთებს. უკანასკნელ პერიოდში, სამეცნიერო პუბლიკაციებში მოძრაობის სამშრიან მოდელებსაც ვხვდებით [7].

ღვარცოფთა ჰიდრავლიკის ამოცანების ანალიზური გადაწყვეტა თანამედროვე პირობებში იმის გამო არ კარგავს თავის აქტუალობას, რომ ნაკადის სატრანზიტო უბნის ცალკეულ მონაკვეთზე ხდება მორფომეტრული მახასიათებლების ისეთი ცვლილებები, რომლებიც ხშირად არ ექვემდებარება შეფასებას. მიუხედავად იმისა, რომ კალაპოტურ პროცესებზე არსებობს მრავალგვარი სამეცნიერო ინფორმაცია, ღვარცოფთა ჰიდრავლიკური ამოცანების გადაწყვეტისას აუცილებელია ღვარცოფსაწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკა დაფუძნებული იყოს ისეთი გაანგარიშების მეთოდებზე, რომელიც სრულად ასახავს მათ ბუნებას.

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

ღვარცოფთა დინამიკისა და დაძაბული მდგომარეობის ამოცანათა გადაწყვეტის შესაძლებლობა დამოკიდებულია ღვარცოფულ მასაში შემადგენელ კომპონენტთა წილობრივ შემცველობასა და ურთიერთთანაფარდობაზე. კრიტერიუმით საზღვრების უმნიშვნელო ცვლილებითაც კი შესაძლებელია ღვარცოფის ერთი სახიდან მეორეში გარდასახვა. კომპონენტთა ცვლილება ბმული ღვარცოფისათვის საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის დროს უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას: წყლისა და მილიმეტრიანი ნაწილაკების წონითი თანაფარდ-

ბა უნდა შეადგენდეს $0 \div 0,49$ -ს; წყლის წონის ფარდობა ღვარ-ცოფის მთლიან მასასთან უნდა თავსდებოდეს $0,112 \div 0,20$ ფარ-გლებში, ხოლო მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილა-კების წონის შეფარდება მთლიან მყარ მასასთან - $0,23 \div 0,45$ საზღვრებში.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შესაძლებელია მოსალოდნელი ხარჯის პროგნოზირება, აქტიური და პასიური წევების სურათის შესწავლა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე და სხვა [50].

ბმული ღვარცოფები მაღალი სიმკვრივის ნაკადთა შორის ბუნების ის სტიქიური გამოვლინებაა, რომლის დინამიკის საკითხების გადაწყვეტა მისი დინების კანონზომიერებათა ფიზიკური არსის სრული შესწავლითაა შესაძლებელი. მოძრაობის დროს ღვარცოფები ხასიათდება არასტაციონალური რეჟიმით. მოვლენის აღწერა და დაუმყარებელი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების გამოყენების შესაძლებლობა ასახულია შრომებში [2, 4, 5, 8, 16, 28].

ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფული ნაკადების მოძრაობის ტალღური რეჟიმის წარმოქმნის თეორიული და პრაქტიკული საკითხები განხილულია შრომებში [42, 43], რომლებშიც ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის მოდელი განხილულია როგორც “მუშა აბსტრაქცია”. ასეთი ახლებური მიდგომა ბუნებაში მიმდინარე რეალური პროცესების თვალ-ნათლივი წარმოდგენის საშუალებას იძლევა.

ბმულ ღვარცოფებთან ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის დროს განსაკუთრებული ყურადღება ნაკადის სტრუქტურის რღვევის საკითხებს ეძღვნება. ღვარცოფსადინარები, რომლებიც ხასიათდება მორფომეტრული მახასიათებლების მკვეთრი ცვლილებით, გარკვეულ გავლენას ახდენს მისი სტრუქტურის ცვლილებაზე და მოძრაობის რეჟიმზე. განსაკუთრებულ ყურადღებას ნაკადის სტრუქტურის ცვლილებაზე

მისი ტანის კუმშვისა და გაფართოების მახასიათებლები იპყრობს. წყალთან შედარებით ეს მაჩვენებელი გაცილებით დიდი სიდიდით ხასიათდება და გარკვეულ გავლენას ახდენს ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრებზე [15, 20, 21, 59].

უკანასკნელ პერიოდში ნაგებობასთან ურთიერთმოქმედების შემთხვევაში, დინამიკური ძალის სრული პროგნოზის მიზნით (მკვეთრად გამოხატული ბმულობის პირობებში) ყურადღება დაეთმო მის ტანში ტალღის გავრცელების სიჩქარის ცვლილების თავისებურებას. აღმოჩნდა, რომ ღვარცოფში, წყალთან შედარებით, ტალღის გავრცელების სიჩქარე თითქმის 7-ჯერ მცირდება [12].

საინჟინრო ოვალსაზრისით ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მდგრადობა და სარეგულიაციო ნაგებობათა პროექტირება ისეთი კრიტერიუმების გათვალისწინებას საჭიროებს, რომელშიც არ ხდება ნაკადის სტრუქტურის ცვლილება და მდგრადობის კოეფიციენტის ნორმატივებიდან გამოსვლა. პირობის დარღვევისა და მათი სადინარის ღიობების ზომების არასწორად დანიშვნის შემთხვევაში მოსალოდნელია ხერგილების წარმოქმნა და ეკოლოგიური სტაბილურობის რღვევა [10].

ბმულობის თვისებებიდან გამომდინარე, ნებისმიერი სიმძლავრის მქონე ღვარცოფწარმომქმნელი მასის ტანში შეიძლება გამოიყოს ორი ზონა: პირველი – სადაც არ ხდება ძვრის ზედაპირების წარმოქმნა, გვერდები ინარჩუნებს ვერტიკალურ მდგომარეობას და მისი სიდიდე ბმულობის ეკვივალენტური სიდიდის სიმაღლით ხასიათდება; მეორე – პირველი ზონის გაგრძელებას წარმოადგენს, რომელშიც ხდება ზღვრული წონისწორობის რღვევა. ბმულობის საფუძველზე შესაძლებელია შეფასდეს ღვარცოფის აქტიური ძაბვისა და გვერდითი წნევის კოეფიციენტის მნიშვნელობები [3].

ეროზიულ ღრანტებში დაგროვილი ღვარცოფის ტანის ქვის კარკასის ტალახოვანი მდგენელით შევსების დასრულე-

ბით შესაძლებელი ხდება ზღვრული წონასწორობის დაკარგვა და ღვარცოფის ტანის არამდგრად - დენად მდგომარეობაში გადასვლა.

ღვარცოფთა რეგულირების სირთულეები მათ სადინარებში მიმდინარე რთული კალაპოტური პროცესის შესწავლის დონეზეა დამოკიდებული. აქედან გამომდინარე, ღვარცოფთა რეგულირება კალაპოტების მდგრადობის მორფომეტრული მახასიათებლებისა და ნაკადის პიდრავლიკური პარამეტრების ისეთ ურთიერთშერწყმას მოითხოვს, რომლის დროსაც დაცული იქნება ნაგებობისა და ნაკადის მდგრადობის პირობები [1, 15, 21, 40, 59].

რეალურად ღვარცოფთა მოძრაობას სადინარებში არასტაციონარული ხასიათი გააჩნია. ნაკადის სატრანზიტო უბნები ხასიათდება დინამიკური მახასიათებლების ცვლილების თავისებურებით. ამოცანის გადაწყვეტის დროს არსებული მიზნის მისაღწევად ხშირად გამოიყენება რიცხვითი მეთოდები.

ღვარცოფულ პროცესებზე მოქმედი ფაქტორების ანალიზით დასტურდება მნიშვნელოვანი განსხვავება საანგარიშო მოდელების პროცესზე ადაპტირებით მიღებულ პიდრავლიკურ პარამეტრებს შორის როგორც ნაკადის ჩამოყალიბებისას, ასევე მათი მოძრაობისას სატრანზიტო უბნებზე. საკითხი ეხება კერიდან დაძრული მასის ხარჯის პროგნოზირების არასტაციონარულობას, მათი რეოლოგიური მახასიათებლების, დინამიკის საანგარიშო დამოკიდებულებების დაზუსტებას, სატრანზიტო უბნებზე მათი მოძრაობის პირობებს და კალაპოტებში მიმდინარე პროცესებს.

2.2. ღვარცოფულ მოვლენებთან ადაპტირებული საანგარიშო მოდელები

თეორიული თვალსაზრისით, ღვარცოფული პროცესების, ზღვრული წონასწორობის, მოძრაობისა და გაჩერების საანგარიშო დამოკიდებულებებით აღწერა, ძირითადად ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური პარამეტრების გამოყენებით ხდება. მათი ცვლილების კანონზომიერების ცოდნით შესაძლებელი ხდება მოვლენის არსის სრულად წარმოჩენა და, შესაბამისად, ისეთი მოდელების შერჩევა, რომლებიც რეალურად შეესაბამება სიტუაციას და რეალური სურათის წარმოჩენის საშუალებას იძლევა.

ცოდნის თანამედროვე დონეზე და კვლევის არსებული პირობებით ღვარცოფთა სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლების დადგენა რთულდება მათი ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური თვისებების განშაზღვრული პარამეტრების დიდ დიაპაზონში ცვლილების გამო. რეოლოგის თვალსაზრისით, აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ სწრაფი დეფორმაციის პირობებში წყალი შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც მყარი სხეული, ხოლო თვით ბმული ღვარცოფი, უმნიშვნელო დეფორმაციის პირობებში – როგორც დენადი ტანი.

არსებული მრავალრიცხოვანი კვლევის მიუხედავად, მოვლენის რთული ბუნების გამო დღემდე არ არის შემუშავებული ერთიანი სრულყოფილი მეთოდიკა ისეთი რეოლოგიური თვისებების მქონე ღვარცოფებისათვის, რომელთა მოცულობითი მასა 1800-დან 2300 კგ/მ³-მდე დიაპაზონში მერყეობს.

დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის პირობებში, ღვარცოფი აკლებს არანიუტონურ სითხეთა თვისებების ფართო სპექტრს, ამიტომ რეოლოგიური მოდელის რეალურად შერჩევა, ხშირად, პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის შემთხვევაში, დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული.

აღნიშნულმა განაპირობა არანიუტონური სითხეების არსებული მოდელების ანალიზისა და მათი ღვარცოფულ პროცესებთან მისადაგების აუცილებლობა, რაც მოცემულია სამეცნიერო შრომებში [22, 31, 34, 36, 38, 39, 41, 47, 48, 52, 54, 57].

ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის საანგარიშო სქემის სწორად შერჩევა, საანგარიშო პარამეტრთა დაზუსტება მასზე მოქმედ ფაქტორთა კომპლექსის შესაძლო გათვალისწინებით, რეოლოგიური თვისებების განშაზღვრული პარამეტრის სამედო შეფასება ღვარცოფის ტანის უწყვეტი გარემოს ფუნქციას წარმოადგენს. ბმულ ღვარცოფთა სპექტრისათვის დისკრეტულობიდან უწყვეტ გარემომდე ტრანსფორმაციას და კრიტერიალურ საზღვრებს პასუხობს ის უბნები, რომლებიც შეესაბამება პირობას: ღვარცოფის შემადგენელი წყლის, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები მყარი ნაწილაკების წონითი თანაფარდობა, წყლის წონის შეფარდება ღვარცოფის მთლიან მასასთან, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები მყარი ნაწილაკების წონის მთლიან მყარ მასასთან შეფარდება დადგენილ საზღვრებშია მოცემული [35].

ღვარცოფის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობის დადგენილ ზღვრებში ცვლილების დროს მნიშვნელოვნად იცვლება ღვარცოფის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობა. ბმულობის მყარ მასაში მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონითი ან მოცულობითი სიდიდის გაზრდა იწვევს სტატიკური მაჩვენებლების შემცირებას და დინამიკურის გაზრდას. სულ სხვაგვარად ხასიათდება წყლის ფაქტორის როლი: კრიტიკული მდგომარეობის საზღვრებს გარეთ იზრდება როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური მაჩვენებელი, ხოლო შემდეგ სურათი იცვლება. ღვარცოფის წარმოდგენილი ბუნება აისახა მათი დაძვრის და გაჩერების სიმაღლის შეფასების დროს [23].

მთის ქანების ნაშალზე ეროზიული, ფიზიკური და ქიმიური ზემოქმედებით ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში

გროვდება მყარი მასალა, რომლის დაძაბული მდგომარეობა იცვლება გარეგანი და შიდა განმსაზღვრელი ფაქტორების მიხედვით. ღვარცოფული ტანის დაძაბული მდგომარეობის შეფასების დროს ფართოდ არის გამოყენებული წონასწორობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა ან მხებ და ნორმალურ ძაბვას შორის დამოკიდებულების ხაზოვანი კანონი. მხებ და ნორმალურ ძაბვებს შორის ხაზოვანი დამოკიდებულების შემთხვევაში, თავისუფალი წევრისა და საკუთხო კოეფიციენტის ანალოგებად მიჩნეულია ბმულობა და შინაგანი ხახუნის კუთხე. დასახელებულ პარამეტრთა მნიშვნელობების დადგენა, ძირითადად, ექსპერიმენტით მიღებული შედეგებით ხდება [3, 45].

ღვარცოფსადინარში მოძრავი ნაკადი ხასიათდება რიგი თავისებურებით, რაც ართულებს სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების კანონზომიერების შესწავლას და მისი ეპიურის სახის დადგენას. აქედან გამომდინარე, პროცესზე სხვადასხვა ავტორთა განსხვავებული წარმოდგენების გამო რთულდება ნაკადის გვერდითი კუმშვის ოპტიმალური სიდიდის შეფასება და საინჟინრო გადაწყვეტათა საპროექტო პარამეტრების შერჩევა.

რეოლოგიური განტოლება, რომელიც ნებისმიერი სხეულის მარტივი და რთული რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელ პარამეტრთა ფუნქციას წარმოადგენს, სრულად აღწერს განსახილველი ტანის თვისებას. ინტეგრირების საფუძველზე მიღებული შედეგების შერჩევა და ადაპტირება ბმული ღვარცოფის მოძრაობის გამომსახველი სქემის განზოგადოებულ ფორმასთან პრაქტიკისათვის დამაკმაყოფილებელ შედეგებს იძლევა.

შრომაში [25] რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარამეტრების გამოყენების სირთულის გამო აღებულია მისი გასაშუალოებული მნიშვნელობები, რასაც მოძრაობის გამარტივებული მოდელი შეესაბამება.

კვლევის უახლესი მონაცემები ბმულ ღვარცოფთა დინამიკის შესახებ ადასტურებს, რომ მათი დინების კანონზომი-ერების პროგნოზირებისა და საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის ძირითად ოპერატორულ საშუალებას ვ. თევზაბის მიერ შედგენილი დაუმყარებელი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება წარმოადგენს [52].

სტრუქტურული კავშირებისა და სიმტკიცის მახსიათებლების დიდ დაუპაზონში ცვლილებებისა და ვერტიკალზე სიჩქარის განაწილების კანონზომიერების დადგენის სირთულის გამო ვერ ხერხდება მოძრაობის მოდელის სწორად წარმოდგენა. ამით არის განპირობებული მეცნიერთა ერთი ნაწილის მიერ, სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების უწყვეტი ფორმით წარმოდგენა. მეორე ნაწილი მოძრაობას საგრადიენტო შრითა და ბირთვით იხილავს, ხოლო მექანიკური სამუცნიერო შრომები სამშრიანი მოდელითაც არის წარმოდგენილი [53].

ღვარცოფთა სიმძლავრის სიდიდის რაოდენობრივი მნიშვნელობა მოძრაობის საშუალო და ზედაპირული სიჩქარის ცვლილების ფუნქციაა.

სატრანზიტო უბნებზე ღვარცოფსადინართა კალაპოტები იშვიათად ხასიათდება მორფომეტრული მახსიათებლების მკვეთრი ცვალებადობით, რაც გარკვეულ გავლენას ახდენს ნაკადის მოძრაობის სახესა და რეჟიმზე. ხშირად ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ცვალებადობას შეესაბამება მის სიღრმეთა მკვეთრი ცვლილება. ანალიზით დასტურდება, რომ იდენტურ პირობებში ღვარცოფის შეუღლებულ სიღრმეთა თანაფარდობა წყალთან შედარებით გაცილებით დიდია, ხოლო კუთრი ენერგიის დანაკარგი, რომელიც მათ ცვალებადობას შეესაბამება – მცირე. სიღრმეთა ცვალებადობის ასეთი სურათი რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრული პარამეტრებით არის გამოწვეული.

მოძრაობის აღწერის მონაცემებით, ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობა ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული მძაფრი რეჟი-

მით, ზედორითი ძალისა და შინაგანი ხახუნის კუთხის ცვლილების განსაზღვრული მნიშვნელობებითა და შეშფოთებული ზონის გავრცელების თავისებურებებით. პროპორციულობის ზღვრებში, დრეკად-დეფორმაციული ხაზოვანი კანონის გამოყენების საფუძველზე, ღვარცოფთა გვერდითი გაფართოების ცვლილების კანონზომიერებას და ტალღის გავრცელების სიჩქარის ცვლილების დიაპაზონს, არანიუტონური სითხე-ებისგან განსხვავებით, განსაკუთრებული სახე გააჩნია. გრუნტების ანალოგიურად ბმული ღვარცოფის გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტი $0,33 \div 0,45$ -ის დიაპაზონში, ხოლო ტალღის გავრცელების სიჩქარის მნიშვნელობა სტრუქტურული კავშირების, ხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობის დროს 200 მ/წმ-მდე მცირდება.

მოძრაობის მიმართულების შეცვლის ან ნაგებობებთან ურთიერთქმედების დროს ღვარცოფის ტანში წარმოიქნება შეშფოთებული ზონა, რომელიც მისი სიღრმის საწყის პირობებთან შედარებით Δh სიღიდით გაიზრდება. გაჭიმულ ზონაში მოქმედებს შეჭიდულობის და ხახუნის ძალები, რომელიც გაჭიმვის პროცესს შეესაბამება, ხოლო გაჭიმულ ზონაში მოქმედი დრეკადობის ძალა ნაკადის სიღრმისაკენ არის ორიენტირებული.

როცა ნაკადის სიღრმე დრეკადობის ძალების მოქმედებით გაუტოლდება შეშფოთებამდე არსებულს, შინაგანი ძალებით გამოწვეული აჩქარება 0 -ის ტოლი ხდება და ამ მომენტში იგი ინერციის ძალებით განაგრძოს კუმშვას. კუმშვის გარკვეულ მომენტში იღვიძებს მის საწინააღმდეგოდ წარმოქმნილი ძალის ეფექტი და ხდება ღვარცოფის ტანის პირვანდელ მდგომარეობაში დაბრუნება. პროცესის პერიოდული განმეორებით რხევის ამპლიტუდა თანდათანობით მცირდება და შეშფოთების ზონის გავრცელების არე ქრება. მოვლენის აღწერის დროს სამეცნიერო შრომებში გამოყენებულია ერთჯერადი გრძივი

ტალღისა და უწყვეტობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა.

ღვარცოფთა რეგულირება და მათ სადინართა კალაპოტების მდგრადობის შენარჩუნება სხვადასხვა სახის ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით ისეთნაირად ხდება, რომლის დროსაც ნაკადის მახასიათებლების ცვლილება არ იწვევს მდგრადი ფორმის რღვევას [11].

ღვარცოფსადინართა გადამკვეთი საინჟინრო ნაგებობებით ნაკადის მოძრაობის ცვლილებების სპეციფიკურობა, ჰიდრავლიკური რეჟიმის, დაწევის, განივი კვეთის ცვლილება ხშირად იწვევს ხერგილების წარმოქმნას, რომელთა გარღვევას თან ახლავს დიდი ზარალი. ნაკადის უსაფრთხო ტრანზიტისა და კალაპოტური პროცესების შეფასების დროს ხელსაყრელია ზღვრული დამაბულობის მოდელის გამოყენება.

ბმულ ღვარცოფთა დინამიკური მახასიათებლების პროგნოზირება და მათემატიკური ფორმულირება დროში ერთი მიმართულების ტალღის ფორმით მოძრავი მოდელითაა წარმოდგენილი. მოძრაობის აღწერა სათანადო კორექტირებით ერთგანზომილებიანი დაუმყარებელი მოძრაობის და უწყვეტობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებით ხდება.

სატრანზიტო უბნებზე რეოლოგიური მოდელების ანალიზით დასტურდება მნიშვნელოვანი სხვაობა ღვარცოფული პროცესების ჰიდრავლიკურ პარამეტრებს შორის. აღნიშნული ეზება კერებიდან შესაძლო ხარჯის პროგნოზირებას, რეოლოგიურ მახასიათებლებს, დინამიკის საანგარიშო დამოკიდებულებებს, სატრანზიტო უბნებზე მოძრაობის პირობებს და ღვარცოფსადინარების კალაპოტში მიმდინარე პროცესებს.

2.3. ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო დამოკიდებულებანი

ბუნებრივი გარემოს მდგრადი განვითარება და მისი ინფრასტრუქტურის ღვარცოფისაგან საიმედო დაცვა საჭიროებს მოსალოდნელი კატასტროფის ძირითადი პარამეტრების ცოდნას. ბმული ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობა, მოძრაობის სიჩქარე, მაქსიმალური ხარჯი, დონეები, სიღრმეები და სხვა, მის მახასიათებელ კომპონენტებს წარმოადგენს. მათი რეალური განტოლებების აღწერა და პროცესის მათემატიკური ფორმულირება საშუალებას მოგცემს შევინარჩუნოთ მდგრადი გარემო და ეკოლოგიური წონასწორობა.

ღვარცოფული ტანის ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის რღვევის მთავარ მიზეზს გარეგანი ფაქტორები წარმოადგენს. გარე ფაქტორების ძალური ზემოქმედებით ხდება ზღვრული წონასწორობის ძირითადი მაჩვენებლების ცვლილება. ასეთ გარეგან ფაქტორად შეიძლება დასახელდეს ღვარცოფის მასის წყლით გაჟღენთვის ხარისხი, გრანულო-მეტრული შემადგენლობა, საწყისი წინააღმდევობა ძვრაზე, პოტენციური სიმძლავრე, გვერდითი გაფართოება, დრეკადობის მოდული, კერის მორფომეტრული მახასიათებლები და სხვ.

ღვარცოფული პროცესის გრუნტის ზემოაღნიშნული მახასიათებლების ერთმანეთთან განსხვავებული ფუნქციური კავშირის გამო შესაძლებელია სხვადასხვა სახის ღვარცოფის ჩამოყალიბება და მათი განსხვავებული რეჟიმით მოძრაობა.

ღვარცოფოულ პროცესებზე მასიური დაკვირვებების წარმოების სირთულე არ იძლევა საანგარიშო მახასიათებლების მარტივად დადგენის შესაძლებლობას და ხშირად აუცილებებლი ხდება მცირემასშტაბიან მოდელებზე ხელოვნური ღვარცოფების შექმნა [27, 32, 35, 55].

კერებში არსებული ღვარცოფული მასის ზღვრული წონასწორობის რღვევის და მოძრაობის დაწყების ამოცანების განხილვის დროს აუცილებელია დაცული იყოს შემდეგი პირობები: 1. კერებში არსებული ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ცალკეულ შრეში ან მთლიანად მასაში არსებობდეს ზღვრული წონასწორული მდგომარეობა; 2. აუცილებელი მოძრაობის დაწყების კინემატიკური შესაძლებლობა. აღნიშნული პირობებიდან პირველი აფასებს ღვარცოფის მასის მდგრადობის პირობას, ხოლო მეორე დაბრილი შრისათვის მოძრაობის დაწყებას შეესაბამება. ასეთ პირობებში ღვარცოფის ტანის ძვრის ზედაპირის სიბრტყე კალაპოტის ფუძის პარალელურია.

ზღვრული წონასწორობის ამოცანის განხილვის დროს ი. ვინოგრადოვი [23] ღვარცოფის მასის დაძვრის პროცესს დამჭერი და დამბჯრელი ძალების ურთიერთთანაფარდობის საფუძველზე აფასებს. მის მიერ მიღებულია ზოგიერთი პარამეტრის, კერძოდ დაძვრის სიმაღლის კრიტიკული მნიშვნელობა, რომლის საანგარიშო დამოკიდებულებას შემდეგი სახე აქვს:

$$h_j = d \left[\left(1 - \varepsilon\right) \left(\frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} - 1 \right) \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) - 1 \right] + \frac{c}{\rho_0 g \sin \alpha}, \quad (2.3.1)$$

სადაც g არის სიმძიმის ძალის აჩქარება;

d	-	ვერტიკალზე ქვის ნაყარის შრის სისქე;
ρ	-	ნაყარის შემადგენლის სიმკვრივე;
ρ_0	-	წყლის სიმკვრივე;
ε	-	ფორიანობა;
φ	-	შინაგანი ხაზუნის კუთხე;
C	-	წყლით შევსებული ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ბმულობა;
α	-	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის შრის განლაგების კუთხე;
h	-	წყლის ნაკადის სიღრმე.

ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლების საფუძველზე ანალოგიური საანგარიშო დამოკიდებულება შედარებით ადრე იქნა მიღებული თ. ვოინიჩ-სიანოჟენსკის და გ. ბერუჩაშვილის მიერ [25]:

$$h = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} d \left(\frac{f}{\tan \alpha} - 1 \right), \quad (2.3.2)$$

- სადაც h არის ტალღის ზღვრული სიმაღლე, როცა
ძვრის სახით ჯერ კიდევ არ შეიმჩნევა
კალაპოტის გრძივი დეფორმაცია და d
სისქის მქონე ზედა შრის ღვარცოფის
მასასთან უწყვეტი შერევა;
- | | | |
|----------|---|--|
| f | - | სტატიკური კალაპოტური
წინააღმდეგობა; |
| ρ | - | ქვის მოცულობითი წონა; |
| ρ_0 | - | წყლის სიმკვრივე; |
| α | - | კალაპოტის დახრის კუთხე. |

ღვარცოფული პროცესების საწინააღმდეგო ღონისძიებების დაპროექტების დროს განსაკუთრებული ადგილი უქავია დაძვრის კრიტიკულ ქანობს, მოსალოდნელ ხარჯს, ღვარცოფის სტატიკური და დინამიკური ზემოქმედების ძალებს, გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტს, მოძრაობის სიჩქარეს და სხვ.

მოძრაობის დაწყების მომენტში კრიტიკული სტატიკური შინაგანი ხახუნის კუთხის საანგარიშოდ მოცემულია დამოკიდებულება:

$$\tan \alpha_1 = \frac{(\rho - \rho_0)(1 - \varepsilon) \tan \varphi + \cot h \cos \alpha_1}{\rho(1 - \varepsilon) + \rho_0 \varepsilon}, \quad (2.3.3)$$

ხოლო მოძრავი ტანის დინამიკური შინაგანი ხახუნის კუთხის საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$\tan \alpha_2 = \frac{(\rho - \rho_0)(1 - \varepsilon) \tan \varphi}{\rho(1 - \varepsilon) + \rho_0 \varepsilon}, \quad (2.3.4)$$

სადაც	ρ	არის წყლის სიმკვრივე;
	ρ_0	- მყარი ტანის სიმკვრივე;
	φ	- შინაგანი ხახუნის კუთხე;
	h	- დაძვრის კრიტიკული სიღრმე;
	ε	- ფორიანობა.

ხაზოვნად დეფორმირებადი სხეულების და დრეკადობის თეორიის გამოყენების საფუძველზე შრომაში [3] გამოყვანილია ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის წონასწორობის რღვევის ზედაპირის მოხაზულობის საანგარიშო დამოკიდებულება:

$$X = \frac{(2Z + b)\sqrt{Z^2 + bZ + C} - c - b\sqrt{C}}{2m} + \frac{N}{4m} \ln \left(\frac{2Z + b + \sqrt{(2Z + b)^2 + N}}{b + \sqrt{b^2 + N}} \right), \quad (2.3.5)$$

სადაც

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

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

Z	არის ღვარცოფის მასაში სიღრმის ცვლილების კოორდინატი;
h_0	- ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიღრმე;
H	- ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის კერის სიმაღლე.

ღვარცოფის დაძვრისა და გაჩერების განმსაზღვრელი პარამეტრების დადგენას მიეძღვნა სამეცნიერო შრომა [13]. ზემოთ აღნიშნული კრიტერიუმები დაედო საფუძვლად სამეც-

ნიერო შრომებში ღვარცოფის ხარჯის განსაზღვრას, რომლის საანგარიშოდ მოყვანილია ფორმულა:

$$Q = 3,72 B^{0,469} \left[\frac{\gamma H \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \rho}{C} \right]^{0,675}, \quad (2.3.6)$$

სადაც	Q	არის ღვარცოფული კერიდან ჩამომეწყრილი მასის ხარჯი;
	B	- ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიგანე;
	γ	- ღვარცოფის მოცულობითი წონა;
	H	- ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სიმაღლე;
	φ	- ღვარცოფის შინაგანი ხახუნის კუთხე;
	C	- ღვარცოფის ბმულობა;

მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებსა და ღვარცოფული ხასიათის კალაპოტებში (კინ-ჩაი, ჩხერი, დურუჯი, ნაღვარევის ხევი), აგრეთვე ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული კვლევების შედეგების საფუძველზე პროფესორ მ. გაგოშიძის მიერ [27] გაკეთდა დასკვნა: ბმული ღვარცოფი მოძრაობს სა-გრადიენტო შრითა და ბირთვით, გაჩერების შემთხვევაში არ შეიმჩნევა მის ტანში მყარი მასალის ხარისხობრივი გადანაწილება, ინარჩუნებს იმ სტრუქტურას, რომელიც მოძარობის დაწყებამდე გააჩნდა და არ შეიმჩნევა მისი გარემოდან წყლის გაცემა. მეცნიერთა და მკვლევართა მიერ ღვარცოფულ პროცესებზე ჩატარებულმა კვლევებმა გამოხატულება პოვა მათ მიერ გამოყვანილ საანგარიშო დამოკიდებულებებში და ანგარიშით მიღებულ შედეგებში [2, 14, 18, 24, 30, 35, 40, 41, 45, 46, 49, 53, 58, 60].

წყალთან შედარებისას, იდენტური პიდრავლიკური მახასიათებლების მქონე ბმულ ღვარცოფს შეიძლება ჰქონდეს წყალზე ნაკლები, მეტი ან ტოლი სიჩქარე.

დეფორმაციასა და დაძაბულობას შორის კავშირის ამსახ-
ველი ოროლოგიური განტოლების გამოყენების საფუძველზე
მ. მოსტკოვის მიერ [40] თეორიულად მიღებული იქნა ბმული
ღვარცოფის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებუ-
ლება. წარმოდგენილ დამოკიდებულებაში ოროლოგიური თვი-
სებების ამსახველი ძირითადი პარამეტრი i^* წინააღმდეგობის
ქანობის სახით ფუნქციონირებს, რომლის ჭეშმარიტი მნიშ-
ვნელობის დადგენა შესაბამისი მეთოდიკის დამუშავებით უნდა
განხორციელდეს:

$$\overline{V} = \frac{2}{\sqrt{3e}} \sqrt{\frac{(1-e)^3}{1-\frac{e}{2}}} \sqrt{g(i - i^*)}, \quad (2.3.7)$$

სადაც e არის კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს
ნაკადში ქვის ჩანართისა და ნაკადის
სიღრმის ურთიერთთანაფარდობას.

- | | |
|------------|------------------------------------|
| $e = d/h;$ | |
| i | - კალაპოტის ძირის ქანობი; |
| i^* | - მოძრაობის წინააღმდეგობის ქანობი; |
| g | - სიმძიმის ძალის აჩქარება. |

ს. ფლეიშმანის [55] მიერ შემოთავაზებული ბმული
ღვარცოფის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულება
მისი ტალახოვანი შემადგენლის სიბლანტის ფუნქციას წარ-
მოადგენს, რომლის მნიშვნელობები ღვარცოფის ნარევის სიბ-
ლანტის მნიშვნელობებთან შედარებით გაცილებით ნაკლებია:

$$\overline{V} = V_0(1-a), \quad (2.3.8)$$

სადაც $a = 0.09\sqrt{\eta - \eta_0} - \tan(3\eta)(\delta - 1);$

\overline{V} არის ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე;

V_0 - ღვარცოფის გეომეტრიული ზომებით

- იდენტური წყლის ნაკადის სიჩქარე;
 η - საანგარიშო ეფექტური სიბლანტე;
 δ - ღვარცოფის მოცულობითი მასა.

$\frac{\bar{V}}{V} = f(n)$ -ის ანალიზით ავტორი ადასტურებს, რომ საანგარიშო დამოკიდებულების (2.3.8) გამოყენების საზღვრები შეზღუდულია, მასში შემავალი სიბლანტის რეალურ მნიშვნელობებთან შედარებით ნაკლები სიდიდეების გამო.

ნატურული მონაცემების საფუძველზე [58] მიღებული ღვარცოფის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულება წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\bar{V} = K \cdot L^{0.25} \cdot i^{0.42} \cdot Q^{0.125}, \quad (2.3.9)$$

- სადაც K არის კოეფიციენტი და იცვლება საზღვრებში
 $K = 1.5 \div 2.0$;
- i - საშუალო საპაერო ქანობი ღვარცოფის წარმოქმნის კერის ცენტრიდან საანგარიშო კვეთამდე;
 - Q - ღვარცოფის ძირითადი ტალღის საანგარიშო მაქსიმალური ხარჯი;
 - L - ტალღის გარბენის სიგრძე.

მიუხედავად იმისა, რომ საანგარიშო დამოკიდებულება (2.3.9) მიღებულია ნატურული მონაცემების საფუძველზე და ძირითადად სინამდვილეს შეესაბამება, მისი გამოყენების საზღვრები შეზღუდულია ბუნებაში ფიქსირებული ღვარცოფების უამრავი სახეობის გამო.

ძალთა დინამიკური წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე და ბუნებაში აღებული ღვარცოფის მასის ნიმუშებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შემოთავაზებულ

საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას [34] შემდეგი სახე აქვს:

$$\overline{V} = \left(14,6i \cdot h/B^4 - 0,346\sqrt{K/B} \right)^{1,7}, \quad (2.3.10)$$

სადაც	\overline{V}	არის ნაკადის საშუალო სიჩქარე;
δ	-	ღვარცოფის მოცულობითი მასა;
h	-	ნაკადის სიღრმე;
i	-	კალაპოტის ქანობი;
K	-	ღვარცოფის კოლოიდური ნაწილის წონის შეფარდება მყარი ტანის წონასთან;
B	-	წყლისა და მყარი ნაწილის წონების თანაფარდობა.

მოძრაობის გამარტივებული მოდელის საფუძველზე, რომელშიც მოქმედი რეოლოგიური თვისებების განმაზღვრელი პარამეტრები გასაშუალებული მნიშვნელობებითაა მიღებული, ბმული ღვარცოფის საშუალო სიჩქარის განტოლება [23] წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\overline{V} = \frac{2H^2}{3S} \left(\frac{F^2}{H^4} + \frac{S}{H} \right)^{3/2} - \frac{4}{15} \frac{H^3}{S^2} \left[\left(\frac{F^4}{H^4} + \frac{S}{H} \right)^{\frac{5}{2}} - \frac{F^5}{H^{10}} \right] - \frac{F}{2H}, \quad (2.3.11)$$

სადაც	$F = \frac{\mu}{2\alpha\beta}$; $S = \frac{g \sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi}{\beta^3}$;
	H	არის ნაკადის სიღრმე;
	φ	დინამიკური შინაგანი ხახუნის კუთხე;
	g	სიმძიმის ძალის აჩქარება;
	μ	სიბლანტის კოეფიციენტი;
	α	ღვარცოფის მასის დახრის კუთხე;
	β	სიმქისეზე დამოკიდებული კოეფიციენტი.

სატრანზიტო უბნებზე ღვარცოფის არათანაბარი მოძრაობის შეფასება მისი თავისუფალი ზედაპირის წირით ხდება, რომლის აღსაწერად პრიზმატული კალაპოტებისათვის მიღებულია [4] განტოლება:

$$\frac{il}{h_0} = a_1(\eta_2 - \eta_1) - (1 - I_1 a) [F(\eta_2) - F(\eta_1)] \quad (2.3.12)$$

სადაც	i	არის სატრანზიტო ქანობი;
	l	- სატრანზიტო უბნის განსახილველ კვეთებს შორის მანძილი;
	h_0	- ნაკადის თანაბარი მოძრაობის შესაბამისი სიღრმე;
	α	- კოეფიციენტი და ღვარცოფის რეოლოგიურ მაჩვენებელზეა დამოკიდებული;
	η_2, η_1	- კვეთში მოძრავი ნაკადის სიღრმისა და მისი შესაბამისი თანაბარი მოძრაობის სიმაღლის თანაფარდობით მიღებული უგანზომილებო მნიშვნელობები.

ბმულ ღვარცოფთა დაუმყარებელი მოძრაობა, ხშირად, გრძივი ტალღის მოდელით არის წარმოდგენილი. დიფერენციალური განტოლებები, რომლებითაც აღწერილია ერთჯერადი გრძივი ტალღების ფორმები, მოცემულია [5] შრომაში:

$$\begin{aligned} dl &= \left(V + \sqrt{\frac{Ag\omega}{aB}} \right) dt \\ dt &= \left(V - \sqrt{\frac{Ag\omega}{aB}} \right) dt \end{aligned} \quad (2.3.13)$$

სადაც	A	არის კოეფიციენტი, რომელიც რეოლოგიურ მახასიათებლებზეა დამოკიდებული;
-------	-----	--

- | | | |
|----------|---|-------------------------------------|
| g | - | სიმძიმის ძალის აჩქარება; |
| V | - | მოძრავი ტალღის სიჩქარე; |
| α | - | სიჩქარის კოეფიციენტი; |
| ω | - | ცოცხალი კვეთის ფართი; |
| B | - | სითხის თავისუფალი ზედაპირის სიგანე. |

შეედოვ-ბინგამის მოდელის გამოყენებით შრომაში [9] მიღებულია ღვარცოფული ნაკადების თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა:

$$\bar{V} = C \sqrt{H_i} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \left(1 - \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}\right)} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \left(2,68 + 1,32 \frac{h_0}{H}\right), \quad (2.3.14)$$

- | | | |
|-------|-----------|---|
| სადაც | C | არის სიჩქარის კოეფიციენტი; |
| | H | ნაკადის სიღრმე; |
| | h_0 | ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიგრძე; |
| | φ | ღვარცოფის შინაგანი ხახუნის კუთხე; |
| | α | ნაკადის კალაპოტის დახრის კუთხე; |
| | i | ღვარცოფსადინარის ქანობი. |

სატრანზიტო უბნებში ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების დასახასიათებლად ხშირად მიმართავენ კრიტიკული მახასიათებლების შეფასებას.

ზემოთ განხილული საანგარიშო დამოკიდებულებებით მიღებული შედეგები იძლევა ბუნებაში ბმულ ღვარცოფთა რეალურად ფიქსირებულ მნიშვნელობებთან ზოგჯერ კარგ დამთხვევას, თუმცა შესაძლებელია, რომ ერთი და იგივე მოცულობითი მასის შემთხვევაში ნაკადის დინამიკური სტრუქტურა და სიჩქარეთა ველის განაწილების სახე ხშირად განსხვავებული იყოს.

ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის საკითხი ძალზე რთულია. წარმოდგენილი საანგარიშო დამოკიდებულებები სრულად ვერ ასახავენ მოვლენას. ხშირად საანგარიშო დამოკიდებულებებში ნაკლებადაა გათვალისწინებული სიჩქარის წინააღმდეგობის მახსიათებლის ისეთი პარამეტრი, როგორიცაა სიმქისე.

მოძრავი ღვარცოფის მიმართ სადინართა წინააღმდებობის კანონზომიერება წყალსადინართა ასეთივე პარამეტრისაგან სავსებით განსხვავებულია და მისი მახსიათებელი კოეფიციენტი გაცილებით მაღალი მნიშვნელობით ხასიათდება. ზემოაღნიშნული მიუთითებს სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების კანონზომიერების შესწავლის არასრულყოფილ მოდელებზე, რომელიც სრულად არ ასახავს მოვლენის არს და დინების მოდელირების ამოცანა გადაუწყვეტელი რჩება. შვედოვანგამის განზოგადებული ფორმის მოდელით ღვარცოფის მოძრაობის წარმოდგენა საშუალებას იძლევა თეორიულად არასრულყოფილად გადაწყდეს მათი დინამიკის რიგი ამოცანები და გათავისუფლდეს იგი ემპირიზმის ტყვეობიდან.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა შერჩევის ერთეული განშესაზღვრელ პარამეტრს, ნაკადის ნატანით შევსების სხვადასხვა პირობებში, მაქსიმალური ხარჯი წარმოადგენს.

თავსხმა წვიმებით ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ფორმირებული ხარჯი, რომელიც საერთო საბალანსო თანაფარდობის საფუძველზე იქნა მიღებული, მოცემულია [23] შრომაში:

$$Q_{\varphi} = (1 + K)Q + \alpha(1 + \xi) \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi} \sin \alpha^{0.22} [1 - \exp(-l/L)] (Q^{1.7} - Q_0^{1.7}), \quad (2.3.15)$$

ხოლო ღვარცოფის მოცულობის საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$V_{\varphi} = V + \alpha(1 + \xi) \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi} \sin \alpha^{0.22} [1 - \exp(-l/L)] \left(\int_0^T Q^{1.7} dt - Q_0^{1.7} T \right), \quad (2.3.16)$$

სადაც Q არის კერაში მოხვედრილი წყლის ხარჯი;

V	-	კერაში მოხვედრილი წყლის მოცულობა;
α	-	ღვარცოფულობის კოეფიციენტი;
K	-	ღვარცოფის ტანსა და მის წინა ფრთხებს შორის სიჩქარეთა განსხვავების კოეფიციენტი;
ξ	-	კოეფიციენტი, რომელიც მყარი შემადგენლის Q_θ ხარჯის, ξ ფორმანობის და მოცულობითი ტენიანობის ფუნქციას წარმოადგენს:
		$\xi = \frac{Q}{1-\varepsilon};$
α	-	ღვარცოფის მასის დახრილობის კუთხე;
φ	-	ღვარცოფის მასის შინაგანი ხახუნის კუთხე;
l	-	სიგრძე კერის დასაწყისიდან განსახილველ კვეთამდე;
L	-	კერის სიგრძე.

სატრანზიტო უბნებზე საინჟინრო დონისძიებათა შერჩევის მიზნით, შრომაში [6] მოყვანილია დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულება:

$$R = \frac{4E^3 gb}{\gamma^2 V_1^2} \left(1 - \frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{\sigma}{1-\sigma} \right) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{h}{2} \right), \quad (2.3.17)$$

სადაც E არის წყლის დრეკადობის მოდული;

g	-	სიმძიმის ძალის აჩქარება;
b	-	ღვარსადინარის სიგანე;
V	-	ღვარცოფის ნაგებობასთან მისვლის სიჩქარე;
h_0	-	შინაგანი ხაზუნის კუთხე;
φ	-	ნაკადის ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმე;
h_1	-	ღვარცოფის სიღრმე;
γ	-	ღვარცოფის მოცულობითი წონა;
σ	-	გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი

ღვარცოფსადინარში მიმდინარე პროცესების და მათი სარეგულაციო ღონისძიებების საპროექტო პარამეტრების დაზუსტებას მიეძღვნა შრომა [37], რომელშიც მდგრადი ფორმების შეფასების მიზნით გამოყვანილია განტოლება:

$$\frac{B}{H} = \frac{2P}{h_0} \left(K_1 - \frac{h_0}{2} \ln K_2 \right), \quad (2.3.18)$$

სადაც	B	არის კალაპოტის სიგანე;
	H	კალაპოტის სიღრმე;
	K_1, K_2	კოეფიციენტები, დამოკიდებულია ნაკადის რეოლოგიურ მაჩვენებელზე;
	h_0	ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმე.

ზემოაღნიშნულთან ერთად არსებობს ღვარცოფული პროცესების ანალოგიური გამოკვლევები, რომლებიც არა-ბმული (ტურბულენტური) ღვარცოფის გაანგარიშებასთან არის დაკავშირებული. ასეთი ტიპის ნაკადების მყარი ჩანართის

მოცულობითი შემცველობა 10-70 %-ის ზღვრებშია განთავსებული.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე სიმკვრივის შესაბამისად აღნიშნული ნაკადები შეიძლება განეკუთვნოს არანიუტონურ სითხეებს და პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტა შესაძლებელია მექნიკის შესაბამისი კანონების გამოყენებით.

ერთადერთ შესაძლო მიმართულებას ტურბულენტური ღვარცოფების ჰიდრავლიკის საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის დროს ერთიანი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა წარმოადგენს. ტურბულენტური თეორიის გამოყენებით ნატანდატვირთული ნაკადების ჰიდრავლიკის ამოცანების გადაწყვეტას მიეძღვნა ი. ეგიაზაროვის, მ. ველიკანოვის, მ. დემენტევის, ი. ლევის, ფ. ფრანკლის, მ. მოსტკოვის, ს. აბალიანცის, თ. ვოინჩ-საინოვენციკის, ა. კარაუშევის და სხვათა შრომები. ტურბულენტობის საერთო თეორიის ბაზაზე საუკეთესო შედეგები მიღებულ იქნა ა. კოლმოგოროვის, ლ. ლანდაუს, ლ. ლოიციანსკის და სხვათა მიერ, ხოლო აკადემიკოსმა ო. ნათიშვილმა გამოიყვანა ნატანდატვირთული ნაკადების ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლებები, რომელთა ამონსნის საფუძველზე ხორციელდება ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების დადგენა.

ლიტერატურა

1. ბასილაშვილი ც., სალუქვაძე მ., ცომაია ვ., ხერხეულიძე გ. კატასტროფული წყალდიდობები, ღვარცოფები და თოვლის ზვავები საქართველოში და მათი უსაფრთხოება. სტუს გამომცემლობა, თბილისი, 2012, 248 გვ.
2. გავარდაშვილი გ., ბმული ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით. საქ. მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, თბილისი, 1995, ჭ. 151, 3, გვ. 444-447.
3. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., ხუცურაული ბ., ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმები. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 145-151.
4. კუხალაშვილი ე., ბმული ღვარცოფის თავისუფალი ზედაპირის განტოლება პრიზმატულ კალაპოტებში დამყარებული ართანაბარი მოძრაობის დროს. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის 70 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი, 2000, გვ. 370-375.
5. კუხალაშვილი ე., დანელია რ., ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის სასრულსხვაობანი განტოლებები. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალეკოლოგიის სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 116-118.
6. კუხალაშვილი ე., დანელია რ., გოქსაძე ი., ბმული ღვარცოფის ურთიერთქმედება კალაპოტურ ნაგებობებზე. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2000, გვ. 27-31.

7. ნათიშვილი ო., თევზაძე ვ., დანელია ზ., ღვარცოფების და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პილრავლიკა. თბილისი, 1995, 70 გვ.
8. უნდილაშვილი ნ., ბმულ ღვარცოფთა რეგულირების ღვარცოფსადინარების მორფომეტრიული მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები“. ტ. XXXVI, თბილისი, 2005, გვ.198-200.
9. ყრუაშვილი ი. კუხალაშვილი ე., ღვარცოფული ნაკადების დინამიკის ზოგიერთი საკითხები. საუ-ის სამეცნიერო შრომები, “საინჟინრო ეკოლოგიის საკითხები პიდროტექნიკურ მელიორაციაში”, 1996, გვ. 55-63.
10. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., კალაპოტურ პიდროტექნიკურ ნაგებობათა ღიობების ძირითადი გაბარიტების შერჩევა. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, ტ. I, 1997, გვ. 231-238.
11. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი ტიპის კონსტრუქციები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ნაწილი II, თბილისი, 1998, გვ. 180-186.
12. ყრუაშვილი ი., ღვარცოფების შეშფოთებული ზონის საანგარიშო მახასიათებლები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, ტ. №1. 1997, გვ. 228-235.
13. ხუცურაული ბ., ბმული ღვარცოფის ფორმირება და საანგარიშო ხარჯის პროგნოზირება. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XIII, თბილისი, 2001, გვ. 139-144.
14. **Айзенберг М.М., Иванов Б. И., Олиферов А.Н.,** Современное состояние и главные задачи изучения селей, и со-

- здание противоселевой защиты на Украине. Труды Укр.НИИГиМ, 1971, вып. 120, с. 107-113.
15. Алтунин В.С., Деформации русел канала. М.: Колос, 1972, 120 с.
 16. Ахмедов Т.Х., Дебольский В.К., Селевые потоки, включая транспорт наносов в руслах с большими уклонами. Гидротехническое строительство, 1985, № 7, с.51-54.
 17. Белкин И.М., Виноградов Н.В., Леонов А.И., Ротационные приборы. Измерение физико-механических характеристик материалов. Москва, Машиностроение, 1968, 272 с.
 18. Беручашвили Г.М., Метод определения максимальных расходов селевых потоков в момент их возникновения. В сб.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата: Казахстан, 1979, с.40-55.
 19. Вардугин В.Н., Основные физико-механические свойства селеформирующих грунтов и селевых отложений в бассейне р. Чемолган. - Селевые потоки. Сб.1. М.: Гидрометеоиздат, 1976, с.25-35.
 20. Великанов М.А., Качественный динамический анализ селевого потока. Изд-во АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., т. 9, №4, 1945, с. 353-363.
 21. Великанов М.А., Динамика русловых потоков. М.: т. 2, 1955, 323 с.
 22. Виноградов Ю.Б., Методы расчета основных характеристик селевых потоков. – В сб.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, “Казахстан”, 1979, с.55-71.
 23. Виноградов Ю.Б., Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеоиздат, 1980, 144 с.
 24. Власов А.Ю., Перов В.Ф., Селевые явления в Австрии и борьба с ними. XV Всесоюзная научно-техническая кон-

ференция по противоселевым мероприятиям (Ташкент, 27-29 сентября 1978 г.). Тезисы докладов. Вып.3. М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1978, с. 157-162.

25. **Войнич-Сяноженский Т.Г., Беручашвили Г.Н.,** К гидравлической теории потоков лавинного характера. Тр. ЗакНИИГиМ, М.: 1970, вып. 37(43), с. 29-69.
26. **Гавришкина А.Н.,** К методике расчета статистического напряжения сдвига селевой массы. Селевые потоки. Сб. 6, М.: Гидрометеоиздат, 1982, с. 5-15.
27. **Гагошидзе М.С.,** Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси, Изд-во Сабчота Сакартвело, 1970, 386 с.
28. **Гагошидзе М.С.,** Способы защиты от селевых потоков объектов, расположенных на конусе выноса горного водотока. Тр. Груз. НИИГиМ, вып. 23, 1965, с. 137-158.
29. **Гагошидзе М.С.,** Структура, формирование и движение структурных селевых потоков. Сб. Защита железных дорог от селевых потоков. М.: 1962. с. 162-167.
30. **Гвелесиани Т.Л.,** Определение максимальной высоты обвальной волны у плотины при сравнительно малой протяженности обвально-оползневого фронта. Стр-во и архитектура. Серия 14. Стр-во. в особых условиях. Вып. № 5. ВНИИС Госстроя СССР, М.: 1986, с. 19-22.
31. **Григорян С.С.,** Об общих уравнениях динамики грунтов. Вест. ДАН СССР, 1959, т. 124, №2, с. 285-287.
32. **Заликашвили О.Г.,** Исследование некоторых свойств селевой массы в лабораторных условиях. Тр. ГПИ, 1966, №3 (69), с. 61-78.
33. **Земс А.Э.,** Некоторые количественные характеристики Жарсайского селя 1963 года на р. Иссык. В кн.: Селевые потоки. Москва, Гидрометеоиздат, сб. № 1, 1976, с. 75-87.

34. **Иорданишвили З.С.**, Движение структурных селей на прямолинейные участки русла. В кн.: Защита железных дорог от селевых потоков. М.: Трансжелдориздат, 1962, с. 188-196.
35. **Иорданишвили З.С.**, Лабораторные исследования физико-механических свойств в процессе движения. Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ними. Баку, 1962, с. 195-200.
36. **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.
37. **Кухалашвили Э.Г., Данелия Р.В., Гоксадзе И.Г., Круашвили Р.В.**, Устойчивые формы поперечных сечений русел мелиоративных водотоков. Проблемы аграрной науки. Сб. тр. ГАУ, Тбилиси, 2004, с. 70-73.
38. **Мамед-Заде М.С.**, Формирование структурных селей Главного Кавказа в пределах Азербайджана и некоторые их физико-механические свойства. Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ними. Баку, 1962, с. 215-219.
39. **Мостков М.А.**, Гидравлические закономерности в горных потоках, насыщенных наносами. В кн.: Селевые потоки и меры борьбы с ними. Изд-во АН СССР, М., 1975, с. 18-54.
40. **Мостков М.А.**. Очерки теории руслового потока. Изд-во АН СССР, М.: 1959, с. 246.
41. **Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И.**, Гидравлические закономерности связных селей. Мецниереба, 1996 г. 156 с.
42. **Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И.**, Основы динамики селей. Национальная Академия Наук Грузии Институт водного хозяйства, Издательство: Мецниереба, Тбилиси, 2007, 214 с.

43. **Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И.**, Волны в селях. Национальная Академия Наук Грузии Институт водного хозяйства, Издательство: Мецниереба, Тбилиси, 2011, 162 с.
44. **Прудзде Д.К.**, Определение уклона остановки селевых потоков. В кн. №6, М.: 1978, с. 118-121.
45. **Прудзде Д.К., Квашилава Н.Г., Кухалашвили Э.Г.**, Допустимые границы плотностей связного селевого состояния. ЦБ НТИ Минводхоза СССР, 1985, с. 1-5.
46. **Рабкова Е. К.**, О движении селевых потоков. Гидротехника и мелиорация, №12, 1955, с. 14-23.
47. **Рустамов С.Г.**, Селевые явления в Азербайджане и их гидравлическая природа. Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ними. Баку, 1962, с. 6-12.
48. **Сулаквелидзе Л.А.** и др. Прохождение селевых потоков по руслу горного потока Шави Дуруджи 29.07.1956 г. Труды ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1957, вып. с. 18-19.
49. **Сулаквелидзе Л.А., Прудзде Д.К.**, К вопросу генезиса и прогноза грязекаменных потоков в селевых очагах. – В сб.: Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. Сборник научных трудов. Вып.2. М.: 1973, с.122-125.
50. **Степанов Б.С.**, Баланс жидкой и твердой фаз Зелинского Алатау. Труды КазНИИГиМ, 1976, сб. 1, с. 153-157.
51. **Степанов Б.С.**, О соотношении транспортных и гравитационных сил при движении селевых потоков. Селевые потоки. М.: Гидрометеоиздат, 1977, сб. №2.
52. **Тевзадзе В.И.**, К вопросу установления предельного напряжения сдвига модели структурной селевой массы. Труды Груз. НИИГиМ, Тбилиси, 1972, вып. 29, с. 136-145.

53. Тевзадзе В.И., Кухалашвили Э.Г., Квирквелия И.Б., Расчет параметров связного селевого потока. Гидротехника и мелиорация, N 8, 1982, с. 42-44.
54. Флейшман С.М., Исследование вязкости и взвешенной способности селевой массы. Труды ВНИИЖДСиП, вып. 7, 1952, с. 132-149.
55. Флейшман С.М., Сели. Л., Гидрометеоиздат, 1978, 312 с.
56. Херхеулидзе Г.И., К определению нагрузок от воздействия селевого потока на поперечные преграды. Тр. Зак. НИГМИ, вып. 40(46), Л.: Гидрометеоиздат, 1972 г., с. 76-113.
57. Херхеулидзе И.И., Овражные и селевые выносы. М.: Дориздат, 1947, 97 с.
58. Херхеулидзе И.И., Эмпирические формулы для приближенного определения расчетных параметров структурных селевых потоков. Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ними. Баку, 1962, с. 178-183.
59. 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.
60. Шеко А.Н., Распространение и формирование селей на территории СССР. В сб.: Метод, руководство по комплексному изучению селей. М., Недра, 1971, с. 13-16.
61. Cannon S., Debris-flow generation from recently burned watersheds. Environmental & Engineering Geoscience. 7(4), 2001, pp. 321-341.
62. Cannon S. & Gartner J., Runoff and erosion generated debris flows from recently burned basins. Geological Society of America Annual Meeting, Salt Lake City, UT. 2005, pp. 258-263.

63. **Coussot P.**, Mudflow Rheology and Dynamics, IAHR Monograph Series, A.A. Balkema: Rotterdam, 1997, 543 p.
64. **Gartner J.**, Relations between debris-flow volumes generated from recently burned basins and basin morphology, triggering storm rainfall and material properties. M.S. thesis, University of Colorado, Boulder, CO. 2005. 73 p.
65. **Meyer G., Pierce J. & Wells S.**, Runoff-generated debris flows in burned and unburned basins, Yellowstone National Park and Central Idaho. Geological Society of America Annual Meeting, Salt Lake City, UT. 2005, pp. 157-169.
66. **Revellino, P., Hungr, O., Guadagno, F.M. & Evans, S.G.**, Velocity and runout prediction of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania region, Italy. Environmental Geology, 45, 2004, pp. 295-311.
67. **Scotto di Santolo A. & Evangelista A.**, Some observations on the prediction of the dynamic parameters of debris flows in pyroclastic deposits in the Campania region of Italy. Int. Journal of Natural Hazards 50, 2009, pp. 605-622.
68. **Scotto di Santolo A., Pellegrino A. M. & Evangelista A.**, Experimental study on the rheological behaviour of debris flow material in Campania region, Fifth International Conference on Computational and Experimental Methods in Multiphase and Complex Flow, New Forest, 2009, pp. 305-316.

**თავი 3. ბმული ღვარცოფების ზღვრული
ფონასტორისა და მოძრაობის ძირითადი
განხსაზღვრები მაჩვენებლების
ლაბორატორიულ-ექსპრიმენტული
კვლევები**

**3.1. ღვარცოფის ბმულობის კრიტერიალური
საზღვრები**

ნარევში შემადგენელი კომპონენტების სხვადასხვა კონკრენტრაციის დროს ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის წონასწორობისა და მოძრაობის დაწყების კანონზომიერების შესწავლა მოითხოვს მისი ბმულობისა და უწყვეტი გარემოს კრიტერიალური საზღვრების დადგენას [6].

აქედან გამომდინარე, ცდების პირველი სერია მიზნად ისახავდა ბმულობის კრიტერიალური საზღვრების დადგენას. ღვარცოფის ტანის შემადგენელი კოპონენტების ურთიერთთანაფარდობით, ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური მუდმივების დადგენის მიზნით. ექსპერიმენტულ დანადგარებზე ჩატარებული კვლევის დროს ცდებში გამოყენებული საკვლევი ნიმუშები ხასიათდებოდა დისკრეტულობით, ე.ი. მისი გარემოს წყვეტით შიგა სიცარიელეების გამო, იგი არ ექვემდებარებოდა რაოდენობრივ შეფასებას და გააჩნდა განსხვავებული მნიშვნელობები რეალურთან შედარებით.

რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარამეტრების საიმედო მნიშვნელობები შეიძლება მიღებულ იქნას ღვარცოფის ტანის უწყვეტი გარემოს პირობებისათვის, რაც მისი კრიტერიალური მნიშვნელობების განსაზღვრის ერთ-ერთ აუცილებელ პირობას წარმოადგენს. ღვარცოფის ტანის უწყვეტი გარემოს შექმნა ძირითადად დაფუძნებულია მისი მასის

შემადგენელი კოლოიდური ნაწილის წყალთან ერთად ნარევზე, რომელიც ქვის კარკასის შემავსებლის როლს ასრულებს და მოძრობის შემთხვევაში შემზეთავი ფენის სახითაა წარმოდგენილი.

ღვარცოფურმოქმნელი გრუნტის დისკრეტულობიდან უწყვეტ გარემომდე ტრანსფორმაცია ხორციელდება ტენიანობის თანდათანობითი გაზრდით, რომლის მოცულობითი მასა თანდათან იზრდება და განსაზღვრულ ექსტრემალურ მნიშვნელობამდე მიღწევის შემდეგ იწყებს შემცირებას.

ღვარცოფულობის საზღვრებისა და მისი გარემოს უწყვეტობის კრიტერიალური მნიშვნელობების დადგენა, შემადგენელი კომპონენტების ცვლილების გათვალისწინებით, ხორციელდება საინჟინრო გეოლოგიასა და ტექნიკის სხვა დარგებში აპრობირებული ელექტრული მეთოდით, რომელიც დაფუძნებულია საკვლევ ნიმუშში დენის გავლის წინააღმდეგობაზე და ღვარცოფის ნარევის სხვადასხვა კონცენტრაციებს შორის ურთიერთკავშირზე.

საკვლევი ღვარცოფის მასის წინასწარ მომზადებული ნიმუშები თავსდებოდა ექსპერიმენტულ დანადგარზე პლექსიგლასის ყეთში, რომლის სიგრძე შეადგენდა 48 სმ-ს, სიგანე 7 სმ-ს და სიმაღლე 8 სმ-ს. დენის კვების წყაროდ გამოყენებული იყო მშრალი ანოდური ბატარეა. ნიმუშში მოთავსებული სპილენძის ჩხირები მიერთებული იყო დენის კვების წყაროსთან. პოტენციალთა სხვაობის აღრიცხვა ხორციელდებოდა პოტენციომეტრის გამოყენებით.

საცდელი ნიმუშების მომზადება ხორციელდებოდა მდინარე დურუჯის ღვარცოფის კერაში აღებული მასისგან სტანდარტული ცხაურების კომპლექტის გამოყენებით. სხვადასახვა დიამეტრის ნაწილაკებისა და მათი მოცულობითი მასის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილი 3.1.1-ის სახით და შეესაბამება ბუნებაში ქვის ნაყარს.

**ნაწილაკების დიამეტრებისა და მათი მოცულობითი მასის
მნიშვნელობები**

ცხრილი 3.1.1.

ნაწილაკის დიამეტრი d (მმ)	1	2	4	6	8	15
მოცულობითი მასა ρ (კგ/მ³)	1125	570	15760	1553	1758	1560

ცდების ჩატარების პირველი სერია მიეძღვნა ღვარცოფუ-
წარმომქმნელი გრუნტის ქვის კარკასის შემადგენელი უწყვეტი
გარემოს კრიტერიალური მაჩვენებლის დადგენას, რომელიც
წარმოდგენილია მილიმეტრზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებისა
და კოლოიდური ნაწილისაგან. მყარი შემადგენლის კოლოიდუ-
რი ნაწილის მექანიკური ანალიზი მოცემულია ცხრილი 3.1.2-
ის სახით.

**მყარი შემადგენლის კოლოიდური ნაწილის მექანიკური
ანალიზის შედეგები**

ცხრილი 3.1.2

ფრაქციის ზომები (მმ)	1- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,05	0,005- 0,001	$\leq 0,001$
ფრაქციის პროცენტული შემცველობა მასაში	23,03	24,67	20,12	10,70	6,89	14,6

ცდების ჩატარების წინ, ცალკეული დიამეტრებისათვის,
ხორციელდებოდა მყარი ნაწილისა და წყლის ნარევის
მომზადება, რომლის მყარ მასაში მილიმეტრზე ნაკლები ფრაქ-
ციის წონითი შემცველობა იცვლებოდა გრადაციით: 0,23;
0,346; 0,50; 1,00.

ნიმუშების ელექტრული წინააღმდეგობა დგინდებოდა
ფორმულით:

$$r = K \frac{\Delta U}{\Delta J}, \quad (3.1.1)$$

სადაც	K	არის	გარემოს დიელექტრიკული მუდმივა
			და ტოლია $K = \pi \frac{l_1 l_2}{l_3}$;
l_1, l_2	-		სპილენბის წყვილ ჩხირებს შორის დაცილება;
ΔU	-		ძაბვა;
ΔJ	-		დენის ძალა.

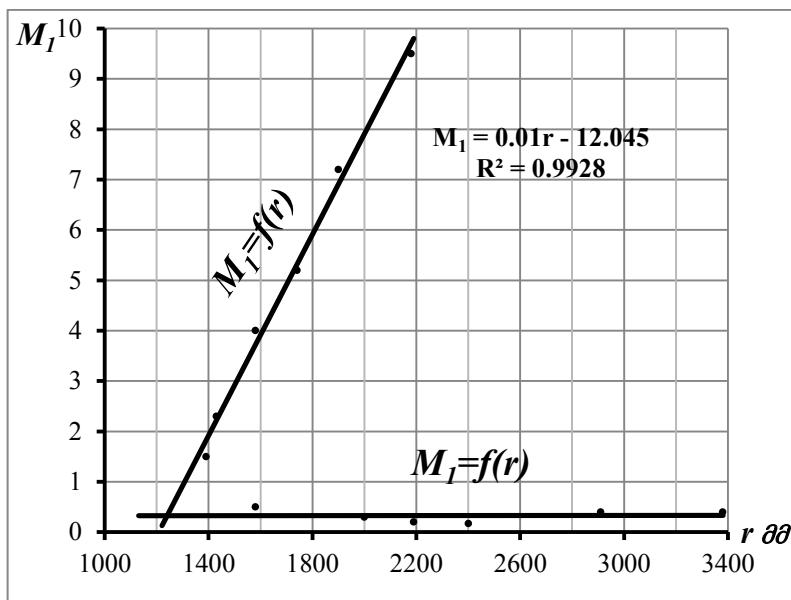
ლაბორატორიული კვლევების შემდეგი სერია მოიცავდა ბმული ღვარცოფის როგორც წონასწორობის, ასევე მისი რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარამეტრების დადგენას, ნარევში შემადგენელი კომპონენტების სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს.

ბმული ღვრცოფები, რომლებიც მაღალი სიმკვრივის ნაკადებითაა ცნობილი, არაბმულისაგან განსხვავებით ხასიათ-დებიან მყარი შემადგენელი ნაწილის ვიწრო დიაპაზონში ცვლილებით, რომელიც წონით ნაწილებში იცვლება 0,7-დან 0,9-ის ფარგლებში. მიუხედავად მყარი შემადგენლის წონითი ნაწილის მცირე საზღვრებში ცვლილებისა, მათთვის დამახა-სიათებელია რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარა-მეტრების მნიშვნელობების დიდ დიაპაზონში ცვლილება, რომელიც მასის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობათაა განპირობებული. ეს მდგომარეობა შეძლება იყოს როგორც ბლანტ-პლასტიკური, ასევე დრეკადი.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, აუცილებელია მაღა-ლი სიმკვრივის გარემოს უწყვეტობის კრიტერიალური საზღვრების დაზუსტება, რადგან მის მნიშვნელობაზეა დამო-კიდებული ლაბორატორიულ პირობებში ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარამეტრების

საანგარიშო დამოკიდებულებებით მიღებული შედეგების შესაბამისობა და ადეკვატურობა ბუნებაში არსებულთან.

მაღალი სიმკვრივის ღვარცოფის ნიმუშების ვისკოზიმეტრით რეოლოგიური მუდმივების დადგენის დროს, ზემოთ მითითებული კონცეტრაციის საზღვრებში, საკვლევი ნიმუშები შეიძლება ხასიათდებოდეს დისკრეტულობით ე.ი მისი გარემოს წყვეტით შიგა სიცარიელების არსებობის გამო. ვისკოზიმეტრით ჩატარებული კვლევის შედეგად მიღებული რეოლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობები განსხვავებულია არსებულთან შედარებით და აღწევს მისი რეალური სიდიდის ნახევარს. რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარამეტრების სიდიდეების ზუსტი მინიშვნელობები შეიძლება მიღებული იქნეს ღვარცოფის მასის უწყვეტი გარემოს პირობებში.



ნახ. 3.1.1. $r = f(M_1)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.

მაღალი სიმკვრივის ღვარცოფზე ჩატარებული ექსპერი-
მენტები, თავისი ფიზიკური არსით, წარმოადგენს მსგავსი
კვლევების გაგრძელებას, სადაც მკაცრად არის დადგენილი
მისი გარემოს უწყვეტობის საზღვრები, რისთვისაც ჩატარებულ
კვლევებში პირველად გამოყენებული იქნა ელექტრული
მეორედ.

ჩატარებული ცდების დროს ვსაზღვრავდით მილიმეტრზე
ნაკლები ფრაქციით მომზადებული ნიმუშების ელექტრულ
წინააღმდეგობებს, მის ტანში წყლის კონცენტრაციის თანდა-
თანობითი გაზრდის დროს. ჩატარებული ცდების შედეგები
მოცემულია გრაფიკების სახით. წარმოდგენილ გრაფიკებში
(ნახ. 3.1.1) აბსიცია ღერძზე გადაზომილია ნიმუშების ელექ-
ტრული წინააღმდეგობა, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – წყლი-
სა და მილიმეტრზე ნაკლები ან ტოლი ფრაქციის წონითი
ურთიერთთანაფარდობის (M_1) მნიშვნელობები.

როგორც ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგებმა
გვიჩვენა, ნიმუშთა მაქსიმალური ელექტრული წინააღმდეგო-
ბიდან მინიმალურ მნიშვნელობამდე ცვლილებას შეესაბამება
მისი მოცულობითი მასის წყლით გაუღენთვის ხარისხის ზრდა,
ხოლო ფუნქცია $r = f(M_1)$ წარმოდგენილია ნიშანცვლადი
ფუნქციის სახით $\frac{dr}{dM_1} \geq 0$. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ნარევში
წყლის კომპონენტის თანდათანობითი გაზრდით ელექტრული
წინააღმდეგობა მცირდება და მისი 0-თან ტოლობა შეესაბამება
უწყვეტი გარემოს წარმოშობას. რაც შეეხება ელექტრულ
წინააღმდეგობას, ღვარცოფის სიმკვრივის ცვლილებასთან
კავშირში, ისიც ნიშანცვლადი ფუნქციაა. მოცემულ შემ-
თხვევაში, მოცულობითი მასის ზრდას, შეესაბამება ელექტრუ-
ლი წინააღმდეგობის თანდათანობით შემცირება, ხოლო
კრიტიკულ მნიშვნელობას – ფუნქციის 0-თან ტოლობა.
სწორედ ეს წერტილი შეესაბამება ღვარცოფის მასის სიმკვრივის
მაქსიმალური და უწყვეტი გარემოს კრიტიკულ მნიშვნელობას.

გამოყენებული მეთოდით მიღებული გრაფიკული დამოკიდებულება საშუალებას იძლევა, განსაზღვრულ იქნას მყარი შემადგენლის მიღიმეტრზე ნაკლები ფრაქციის ნიმუშების მოცულობითი მასა ელექტრული წინააღმდეგობების საფუძველზე და მოცულობით-წონითი მეთოდის გამოყენების გვერდის ავლით. ანალოგიური ცდები ჩატარდა, აგრეთვე, მყარი შემადგენლის ქვის ჩანართის სხვადასხვა დიამეტრი-სათვის. საკლვლევ ნიმუშებში ქვის საშუალო დიამეტრი იცვლებოდა გრადაციით: 2, 4, 6, 8, 15 მმ.

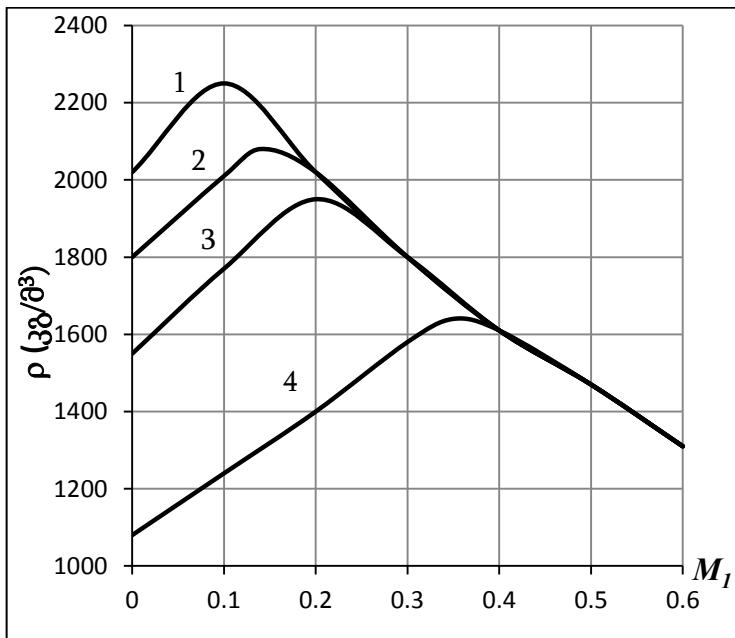
ცდების შემდეგ სერიაში ქვის ჩანართის შემადგენლობა ნიმუშებში შეფასებული იყო მიღიმეტრზე ნაკლები ფრაქციის წონის შეფარდებით მყარ მასასთან და იცვლებოდა გრადაციით: 0,228; 0,346; 0,50; 1,00. ცდებით მიღებული მასალების შედეგების საფუძველზე აიგო გრაფიკული დამოკიდებულება $\rho = f(M_1)$, რომელიც გვიჩვენებს, რომ M_2 -ის კონკრეტული შემთხვევისათვის წარმოიქმნება უწყვეტი გარემო, რასაც შესაბამება ყოველი ნიმუშისათვის შესაბამისი მრუდის გარდატეხის წერტილი.

ნახაზ 3.1.2-ის ანალიზი და ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა, გამოიყოს უწყვეტი გარემოს კრიტერიალური საზღვრები, რომელიც ღვარცოფის ნარევში წონითი მოცულობითა გამოსახული, ე. ი. $0.10 \leq M_3 \leq 0.33$.

ღვარცოფის უწყვეტი გარემოს მეორე კრიტერიალურ მაჩვენებელს მოცულობითი მასის მნიშვნელობები წარმოადგენს, რომელიც მიღიმეტრზე ნაკლები ზომის ფრაქციებით ქვის კარკასის სიცარიელეთა შევსების ხარისხზეა დამოკიდებული.

ჩატარებული ცდების მიხედვით ქვის კარკასის სხვადას-ხვა დიამეტრებისათვის ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის კრიტერიალური საზღვრები წარმოდგენილია მიღიმეტრიანი

და მასზე ნაკლები ზომის ფრაქციების წონის თანაფარდობით
მთლიან მყარ მასასთან, ე. ი. $0.228 \leq M_2 \leq 0.5$.



ნახ. 3.1.2. $\rho = f(M_1)$ დამოკიდებულების გრაფიკი:
1. $M_2 = 0.230$; 2. $M_2 = 0.346$; 3. $M_2 = 0.50$; 4. $M_2 = 1.0$.

ღვარცოფის მასის მყარი შემადგენლის დაყოფა მიღი-
მეტრზე ნაკლები და მეტი ზომის ნაწილაკებად მიზანშეწო-
ნილია როგორც ფიზიკურ-მექანიკური, ისე რეოლოგიური
პოზიციებიდან. ეს პირობა დადასტურებულია საველე დაკვირ-
ვებებითაც [1].

ღვარცოფის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები $\text{კგ}/\text{მ}^3$, მისი
შემადგენელი კომპონენტების წონითი
ურთიერთთანაფარდობების გათვალისწინებით

ცხრილი 3.1.3

აზოვი	M_2	წყლის წონის შეფარდება ღვარცოფნარევის მოლიან წონასთან (M_3)								
		0	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1	0.000	1560	1590							
2	0.067	1680	1710	1720	1740	1750				
3	0.097	1730	1770	1780	1800	1820	1840			
4	0.126	1790	1820	1840	1860	1880	1900	1930		
5	0.152	1840	1880	1900	1920	1940	1960	1980	2010	
6	0.177	1900	1940	1960	1980	2000	2020	2060	2070	2100
7	0.207	1960	2000	2020	2040	2060	2080	2100	2130	2150
8	0.228	2020	2070	2090	2110	2130	2150	2180	2200	2220
9	0.258	1960	2000	2020	2040	2070	2090	2110	2130	2160
10	0.298	1890	1930	1950	1970	1990	2010	2030	2050	2070
11	0.342	1810	1850	1870	1890	1910	1930	1950	1970	1990
12	0.389	1730	1770	1790	1810	1830	1850	1870	1890	1910
13	0.498	1580	1610	1626	1660	1670	1680	1700	1720	1740
14	0.629	1430	1460	1470	1490	1500	1520	1540	1550	1570
15	0.752	1280	1300	1320	1330	1345	1360	1375	1390	1405
16	1.00	1125	1150	1160	1170	1190	1200	1210	1220	1240

ღვარცოფის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები $\text{კგ}/\text{მ}^3$, მისი
შემადგენელი კომპონენტების წონითი
ურთიერთთანაფარდობების გათვალისწინებით

(ცხრილი 3.1.3-ის გაგრძელება)

№ რიცხვი	M_2	წყლის წონის შეფარდება ღვარცოფნარევის მთლიან წონასთან (M_3)								
		0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
1	0.000									
2	0.067									
3	0.097									
4	0.126									
5	0.152									
6	0.177									
7	0.207	2180								
8	0.228	2250	2280							
9	0.258	2180	2210	2240						
10	0.298	2100	2120	2140	2160	2180				
11	0.342	2010	2030	2060	2080	2110	2140			
12	0.389	1930	1950	1970	1990	2020	2040	2060	2080	
13	0.498	1760	1780	1810	1820	1840	1860	1880	1910	1930
14	0.629	1590	1610	1620	1640	1660	1680	1700	1720	1740
15	0.752	1420	1430	1450	1465	1480	1495	1520	1555	1560
16	1.00	1250	1260	1280	1290	1310	1320	1340	1360	1370

ღვარცოფის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები $\text{კგ}/\text{მ}^3$, მისი
შემადგენელი კომპონენტების წონითი
ურთიერთთანაფარდობების გათვალისწინებით

(ცხრილი 3.1.3-ის გაგრძელება)

N _{ზოგადება}	M_2	წყლის წონის შეფარდება ღვარცოფნარევის მთლიან წონასთან (M_3)							
		0.19	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.33	0.49
1	0.000								
2	0.067								
3	0.097								
4	0.126								
5	0.152								
6	0.177								
7	0.207								
8	0.228								
9	0.258								
10	0.298								
11	0.342								
12	0.389								
13	0.498	1950	1990						
14	0.629	1760	1790	1830	1880				
15	0.752	1580	1600	1670	1680	1720	1730		
16	1.00	1380	1410	1440	1480	1520	1560	1620	1670

საიმედო შედეგების მიღების მიზნით უნდა გავითვალისწინოთ მხოლოდ ის მონაცემები, რომლებიც შექსაბამება ნიმუშების უწყვეტი გარემოს მქონე იმ უბნებს, რომლებიც წარმოდგენილია უტოლობებით:

$$0 < M_1 < 0.49; \quad 0.228 < M_2 < 0.45;$$

$$0.112 < M_3 < 0.20.$$

ღვარცოფული პროცესების შესწავლის მიზნით, მათი ლაბორატორიაში მოდელირების თვალსაზრისით, შედგენილ იქნა ცხრილი 3.1.3, რომელშიც მოცემულია ღვარცოფის მოცულობითი მასის ცვლილების ყველა შესაძლო ვარიანტი შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთანაფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს.

3.2. ღვარცოფული პროცესების განმსაზღვრელი ფაქტორები, ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდიკა, ანალიზი და შედეგები

ექსპერიმენტულ დანადგარზე ჩატარებული ცდები მიზნად ისახავდა ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი მახასიათებლების მნიშვნელობების დადგენას და რიგი, ნაკლებად შესწავლილი, ფაქტორების გათვალისწინებას ღვარცოფის ტანის წონასწორობასა და მოძრაობაზე. ზემოთ აღნიშნული ასახვას პოულობს ღვარცოფის მასის დაძვრის სიმაღლის, თანაბარი მოძრაობის საშუალო სიჩქარის, დაწნევის დანაკარგების, რეინოლდსის რიცხვის, შეუღლებული სიღრმეების, ნაკადის კალაპოტში გვერდითი შევიწროების, ნაგებობებზე სტატიკური და დინამიკური დამრტყმელი ძალების საანგარიშო დამოკიდებულებებში.

ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს წარმოადგენდა ისეთი პარამეტრების დადგენა და საანგარიშო დამოკიდებულებების

მიღება, როგორიცაა ძვრის საწყისი წინააღმდეგობა, შინაგანი ხახუნის კუთხე, ღვარცოფის მასის ტალახოვანი შემადგენლობის სიბლანტე და სხვ. შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობათა გათვალისწინებით, ზემოთ ჩამოთვლილი მახასიათებლების ამსახველი დამოკიდებულებების თეორიულად მიღება, მოქმედ მრავალრიცხოვან ფაქტორთა გამო, განსაკუთრებით რთულია. ამიტომ, ქვემოთ აღწერილი მეთოდიკის მიხედვით, ჩატარდა მიზნობრივი ექსპერიმენტული კვლევები.

ვინაიდან ექსპერიმენტის დაგეგმვის მათემატიკური მეთოდი ემყარებოდა კვლევის ობიექტის კიბერნეტიკულ წარმოდგენას, ამიტომ არჩეულ იქნა კიბერნეტიკული სისტემა - „შავი ყუთი”. „შავი ყუთის” განხილვისას გამოიყო შესასვლელი (მმართველი) ფაქტორები X_1, X_2 და გამოსასვლელი Y .

რადგან ყოველ ფაქტორს ცდაში შეიძლება ჰქონდეს ერთი ან რამდენიმე მნიშვნელობა (დონეები), ამიტომ მასზე წაყენებული მოთხოვნებია მართვადობა და ობიექტზე უშუალო ზემოქმედება.

ცდის მოელი პერიოდის განმავლობაში ფაქტორის მართვადობა გულისხმობდა მისი სხვადასხვა მუდმივი დონის შენარჩუნებას ობიექტზე, რაც გამოწვეულია იმით, რომ ფაქტორის მართვა შეუძლებელია, თუ ის სხვა ფაქტორის ფუნქციაა.

ფაქტორთა ცალკეულ მნიშვნელობებს შეესაბამება სისტემის გარკვეული რეაქცია - გამოძახილი. მათემატიკური მოდელისათვის დამახსინათებელი სისტემის გამოძახილსა და ფაქტორთა დონეებს შორის არსებობს სავსებით განსაზღვრული კავშირი:

$$Y = \psi(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (3.2.1)$$

რომელშიც ψ წარმოადგენს გამოძახილის ფუნქციას, ხოლო მისი გეომეტრიული სახე - გამოძახილის ზედაპირს. რადგან ფუნქციის სახე წინასწარ უცნობია, ამიტომ ექსპერიმენტის

მონაცემების მიხედვით კსარგებლობთ მიახლოებითი დამოკიდებულებებით:

$$\hat{Y} = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (3.2.2)$$

რომელიც (3.2.1) დამოკიდებულებისაგან განსხვავებულია ცდომილებით.

ექსპერიმენტის დაგეგმვის მიზანს წარმოადგენდა ცდების მინიმალური ოდენობითა და შემთხვევითი ცდომილების მინიმალური მნიშვნელობით, (3.2.2) დამოკიდებულებით, მათემატიკური მოდელის აგება.

კონკრეტული მოდელის შესარჩევად აუცილებელია ადეკვატურობის მოთხოვნილებათა ფორმულირება, რომელიც თავისთავად გულისხმობს მოდელის შესაძლებლობას ექსპერიმენტის შედეგის მნიშვნელობაზე.

ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნებს, პარამეტრებად აპროქ-სიმირებული ფუნქციის ხაზოვნების დაურღვევლად, ყველაზე უკეთ პასუხობს მოდელები აღგებრული პოლინომების სახით, რომელთა პარამეტრების შეფასება შეიძლება განხორციელდეს უმცირეს კვადრატთა მეთოდით.

ექსპერიმენტის აღწერისათვის მიზანშეწონილად იქნა მიჩნეული მოდელი შერეული წევრებით მეორე რიგამდე:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \beta_1 X_1^2 + \beta_{nn} X_n^2 + \\ & + \beta_{12} X_1 X_2 + \dots + \beta_{n-1} X_{n-1} X_n, \end{aligned} \quad (3.2.3)$$

სადაც $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ მუდმივი კოეფიციენტებია და განისაზღვრება ცდების მონაცემების საფუძველზე.

ექსპერიმენტის გეგმის შერჩევას წინ უძლოდა ფაქტორთა სივრცის ლოკალური არის შერჩევა:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{1H} \leq X_1 \leq X_{1B} \\ \dots \\ X_{nx} \leq X_n \leq X_{nB} \end{array} \right. . \quad (3.2.4)$$

საწყისი X_i ცვლადიდან კოდირებულზე \tilde{X}_i -ზე გადასვლა, რომლის ზედა დონე წარმოდგენილია +1, ხოლო ქვედა -1-ით, წარმოებს დამოკიდებულებით:

$$\tilde{X}_i = \frac{X_i - X_i^{\circ}}{\Delta X_i}, \quad (3.2.5)$$

სადაც, X_i° ნულოვანი დონეა, ხოლო

$$\Delta X_i = \frac{X_{iB} - X_{iH}}{2}, \quad (3.2.6)$$

ფარირების ინტერვალია.

მიახლოებითმა ექსპერიმენტებმა და თეორიულმა პროგნოზმა გვიჩვენა გამოძახილის ზედაპირის დიდი სიმრუდე. ამიტომ ექსპერიმენტის ჩატარების დროს მიღებულია მთლიანი ფაქტორული გეგმა ფარირების ორი დონის დამატებით -0,5 და +0,5. მოდელირების თეორიის შესაბამისად შესაძლებელი შეიქნა სამართავი ფაქტორების რაოდენობა განსაზღვრულიყო ორი ცვლადით. მთლიანი ფაქტორული გეგმა, ღვარცოფის მასის სტატიკური და დინამიკური მაჩვენებლების განმსაზღვრელი პარამეტრების მატრიცის სახით, მოცემულია ცხრილებში 3.2.1 და 3.2.2.

ფაქტორთა სახით შეირჩა სიდიდეები $X_1 = M_1 = P_{\beta\gamma}/P_{\theta\theta}$ და $X_2 = M_2 = P_{\theta\theta}/P_{\beta\gamma}$, რომლებიც აკმაყოფილებენ ფაქტორთა წინაშე წაყენებულ მოთხოვნებს. X_1 და X_2 ფაქტორებში, $X_1 = M_1$ წარმოადგენს ღვარცოფის მასის წყლისა და მყარი შემადგენლის მილიმეტრზე ნაკლები ზომის ფრაქციების წონების თანაფარდობას, ხოლო $X_2 = M_2$ – მილიმეტრზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონის შეფარდებას ქვის კარკასის წონასთან.

ფაქტორთა ცვლილების დიაპაზონი განხორციელებულ ექსპერიმენტში წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} 0,092 \leq M_1 \leq 1,0; \\ 0,25 \leq M_2 \leq 0,45. \end{cases} \quad (3.2.7)$$

ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს ფაქტორული სივრცის სწორკუთხა, ორგანზომილებიანი ლოკალური არე.

ცდების პირველი სერიის შემთხვევაში გამოსასვლელ პარამეტრებად მიღებული იყო ლვარცოფის მასის ძვრის საწყისი წინააღმდეგობა τ_0 და შინაგანი ხახუნის კუთხე φ (ცხრილი 3.2.1), ხოლო ცდების მეორე სერიისათვის – სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი μ და ძვრის დინამიკური ძაბვა τ_φ (ცხრილი 3.2.2).

ცდის ყოველ წერტილში დისპერსიის ერთგვაროვნები-სათვის რეალიზებულია ხუთი დონე.

ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებისას აუცილებელია აგრეთვე შევაფასოთ გაზომვების შემთხვევით ცდომილებათა როდენობა ამა თუ იმ მაჩვენებლის სათანადო კორექტირების მიზნით.

ჰიდრავლიკურ ექპერიმენტებში მიღებულ საბოლოო შედეგებზე თავისი თვისებების და გავლენის ხასიათის მიხედვით, აუცილებელია ცდომილებათა დიფერენცირება კლასიფიკაციური ნიშნების მიხედვით, რაც საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ მათი კონტროლი, შესწორება და შეფასება, ე.ი. აღმოფხვრა ან აღრიცხვა.

გაზომვის ცდომილებები, გამოწვეული დიდი რაოდენობის სხვადასხვა მიზეზებით, მათი აღმოფხვრა ან აღრიცხვა, დამოკიდებულია მარეგულირებელი მოწყობილობებისა და გამზომი ხელსაწყოების მუშაობის სპეციფიკურ პირობებზე. ამასთან ერთად, ცდომილებები შეიძლება განპირობებული იყოს გარემო პირობების ცვალებადობით, რაც გავლენას ახდებს გაზომვების შედეგებზე (ტემპერატურა, ჰაერის ტენიანობა, ბარომეტრული წნევა და სხვა). აღნიშნულ მიზეზებს შეიძლება მივაკუთვნოთ, აგრეთვე, გამზომი ხელსაწყოების და

მათი ცალკეული შემადგენელი ელემენტების ერთგვარი არასრულყოფილება, „დეფექტები”, რაც იწვევს გაზომვების გადახრას ნომინალებიდან და აქედან გამომდინარე, ცდომილებებს მათი გამოყენების სფეროს ფარგლებში.

ცნობილია, რომ საკმაოდ დიდი რაოდენობის გაზომვების შემთხვევაში, ცდომილებები, ძირითადად, ემორჩილებიან განაწილების ნორმალურ კანონს, რაც საფუძვლად უდევს ასილუტური და ფარდობითი ცდომილებების სიღილეების დადგენას.

საშუალო კვადრატული გადახრის სტანდარტული სიდიდის ცოდნის შემთხვევაში ხდება ექსპერიმენტის პროცესში გამოვლენილი ცდომილებების რაოდენობრივი შეფასება. მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით და გამოთვლილი ალბათობის მნიშვნელობის მიხედვით ვაღენთ გაზომვების შედეგების დამუშავებიდან ცდომილებების გამორიცხვის მართობულობას.

თუ სტანდარტი ცნობილი არ არის, ცდომილების შეფასება ხდება ისევ და ისევ, ექსპერიმენტის მონაცემების დამუშავების ცნობილი მეთოდების საფუძველზე.

ყოველი ცალკეული ფაქტორის მიერ გამოწვეული სისტემატური ცდომილებების გამოვლენა საჭიროებს სპეციალური გამოკვლევების ჩატარებას (მაგალითად, ერთი და იმავე სიღილის გაზომვა სხვადასხვა მეთოდებით და ზოგიერთი ეტალონის იმავე ხელსაწყოებით). გამოვლენილი სისტემატური ცდომილებების აღმოფხვრა, მათი სიღილეების გაანგარიშებისთანავე, ადვილად შეიძლება გაზომვების შედეგებში შესაბამისი შესწორებების შეტანით.

ჩვენს გამოკვლევებში გაზომვების შედეგების მათემატიკური დამუშავების დაწყებამდე ყველა სისტემატური ცდომილება უკვე გამოვლენილი იყო.

ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ თითოეული შედეგების საერთო ცდომილება უცნობი რჩება. ასე რომ, მათი საერთო სისტემატური ცდომილებებიდან გამორიცხვა კი არ ხდება, არ-

ამედ მხოლოდ შესწორებების შეტანა იმ ფაქტორთა მოქმედების ცნობილ ეფექტზე, რომელთა გამოვლენაც შევძლით.

დაკვირვებათა შემთხვევითი ცდომილებები შეიძლება გამოდგეს შემთხვევითი სიდიდეების ერთ-ერთ ყველაზე ნათელ მაგალითად. ყველა გამოვლენილი სისტემატური ცდომილების აღმოფხვრის შემდეგ დარჩენილი ცდომილებები მივიჩნიეთ როგორც შემთხვევითი, რაშიც ვგულისხმობთ შემთხვევითი ცდომილებების დაკვირვების შედეგად მიღებულ და ზუსტ სიდიდებს შორის სხვაობას.

ცნობილია, რომ დაკვირვებების პირობების მთელი კომპლექსის განმაპირობებელ აღურიცხავ ფაქტორთა მერყეობა იწვევს მიახლოებითი შედეგების შემთხვევით ცდომილებას, ამიტომ მონაცემების დამუშავებისას ვიყენებდით ნორმალური განაწილების ფუნქციის პარამეტრებს.

ჰიდრავლიკური და გეოტექნიკური ამა თუ იმ მახასიათებლების დასადგენად, აუცილებელია ხელსაწყოობით გაზომვების სიზუსტის აღრიცხვა და აგრეთვე თვით გასაზომი პარამეტრების დამახინჯების ხარისხის დადგენა [2, 7, 10, 11, 12, 13, 14].

ღვარცოფული პროცესების შესწავლის დროს მრავალრიცხოვანი კონკრეტული გამოკვლევებით დადგინდა, როგორც მორფომეტრული, ასევე ჰიდროდინამიკური მაჩვენებლების ცდომილებების ხარისხი.

ვინაიდან ცდების ცდომილება წარმოადგებს გამზომხელსაწყოთა და ექსპერიმენტის ცდომილებათა ჯამურ მნიშვნელობას, ამიტომ დისპერსია გეგმის ყოველ წერტილში, პარალელური ცდების რეალიზაციის შემთხვევაში, განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{vi} - \bar{Y}_v)^2}{r_v - 1}. \quad (3.2.8)$$

გამოძახილის საშუალო მნიშვნელობა გეგმის V წერტილში:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{vi}}{r_v}, \quad (3.2.9)$$

ხოლო თავისუფლების ხარისხის ერთით შემცირებული მნიშვნელობა:

$$f = r_v - 1.$$

თუ პარალელურ ცდებში ერთ-ერთის შედეგი, მაგალითად $r + 1$ -ის, მნიშვნელოვნად განსხვავდება დანარჩენებისაგან, საჭიროა იგი შემოწმდეს ვ. რომანოვსკის [3] კრიტერიუმის მიხედვით:

$$Y_{r+1} - \bar{Y} \geq tS^2\{Y\}. \quad (3.2.10)$$

t -ს მნიშვნელობა $f = r_{max} - r_{min}$ -ის და r -ის შხვადასხვა სიდიდეებისათვის მოცემულია ცხრილების სახით [3].

დანარჩენ საძიებელ სიდიდეთა საშუალო მნიშვნელობა და დისპერსია განისაზღვრება ფორმულით:

$$\begin{cases} Y' = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{r}; \\ S^2\{Y\} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)}{r - 1}. \end{cases} \quad (3.2.11)$$

დისპერსიის განსაზღვრის ზემოთ მოყვანილი განტოლებით საშუალებას გვეძლევა დავრწმუნდეთ მის ერთგაროვნებაში. რადგან ჩვენს შემთხვევაში გეგმის ყველა წერტილში პარალელური ცდების რიცხვი ერთი და იგივეა, დისპერსიის ერთგვაროვნება განისაზღვრება კოხრენის [3] კრიტერიუმის მიხედვით:

$$C = \frac{S_{max}^2\{Y\}}{\sum_{i=1}^n S_i^2\{Y\}}. \quad (3.2.12)$$

ჰიპოთეზის უარყოფა დისპერსიის ერთგვაროვნებაზე მისაღებია, თუ კოხრენის კრიტერიუმის ექსპერიმენტული მნიშვნელობა არ აღემატება ტაბულის მონაცემებს 0,1656-ს.

ჩვენს შემთხვევაში, საწყისი წინააღმდეგობა ძვრაზე და შინაგანი ხახუნის კუთხე აღებულია ტარირების მრუდებიდან.

ექსპერიმენტები ჩატარდა სპეციალურად კონსტრუირებულ დანადგარზე, რომლის აღჭურვილობა სათანადო აპარატურით უზრუნველყოფდა ღვარცოფის მასის მოწყვეტის მომენტში საწყისი ძვრის წინააღმდეგობისა და შინაგანი ხახუნის კუთხის მექანიკური ეკვივალენტის განსაზღვრას ირიბი მეთოდით, დენის სიხშირესთან კუთხური სიჩქარის ფიქსაციით.

დანადგარი წარმოადენდა ვერტიკალურ ღერძის გარშემო მბრუნავ სიბრტყეს, რომლის ცენტრიდან დაცილებით 25 სმ-ზე მიმაგრებული იყო ღრუტანიანი ცილინდრი სიმაღლით 8 სმ, ფუძის დიამეტრით 14 სმ. მიმაგრებულ ცილინდრზე ზემოდან მოთავსებული იყო იმავე ზომის ცილინდრი. მბრუნავი სიბრტყის მოძრაობაში მოყვანა ხორციელდებოდა ელექტროძრავის საშუალებით. ცდების ჩატარების დროს დანადგარი ჩართული იყო სპეციალურად მოწყობილ სტენდზე.

აღნიშნული სტენდის მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: სქემაში მოკლედშერთულროტორიან ასინქრონულ ძრავას მოძრაობაში მოჰყავს მუდმივი დენის გენერატორი, საიდანაც ძაბვა მიეწოდება დამოუკიდებელაღგზნებიან მუდმივი დენის ძრავას, რომლის ლილვი ხისტადაა დამაგრებული სინქრონული გენერატორის ლილვზე. რეოსტატების წინაღობების სიდიდეთა ცვლილებით შესაძლებელია სინქრონული გენერატორის ძაბვის 0-დან 380 ვოლტამდე, ხოლო ცვლადი დენის სიხშირის 5-დან 60 ჰერცამდე ფარგლებში ცვლილება. სიხშირის გაზომვა ხორციელდებოდა სიხშირმზომით.

ექსპერიმენტის ჩატარების მათემატიკური გეგმა და
ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობის განშსაზღვრელი
ძირითადი მახასიათებლების საშუალო მნიშვნელობები

ცხრილი 3.2.1

N ზოდება	გეგმის მატრიცა		სამართავი ფაქტორები		ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობის განშსაზღვრელი მაჩვენებლები	
	\tilde{X}_1	\tilde{X}_2	$X_1 = M_1$	$X_2 = M_2$	$\tilde{Y}_1 = \tau_0$	$\hat{Y}_1 = \varphi$
1	-1,0	1,0	0,092	0,25	7,350	25,17
2	-0,5	-1,0	0,319	0,25	10,490	29,81
3	0	-1,0	0,546	0,25	11,265	32,10
4	+0,5	-1,0	0,772	0,25	10,487	31,13
5	+1,0	-1,0	1,000	6,25	8,378	26,45
6	-0,1	-0,5	0,092	0,30	6,355	22,74
7	-0,5	-0,5	0,319	0,30	8,911	28,80
8	0	-0,5	0,546	0,30	9,931	30,31
9	+0,5	-0,6	0,773	0,30	9,128	29,44
10	+1,0	-0,5	1,000	0,30	7,438	25,49
11	-0,1	0	0,092	0,35	5,322	20,25
12	-0,5	0	0,319	0,35	0,6941	25,58
13	0	0	0,546	0,35	7,598	28,81
14	+0,5	0	0,773	0,35	7,966	27,26
15	+1,0	0	1,000	0,35	6,378	23,12
16	-0,1	+0,5	0,092	0,40	4,31	17,68
17	-0,5	+0,5	0,319	0,40	6,530	22,96
18	0	+0,5	0,546	0,40	7,510	25,58
19	+0,5	+0,5	0,773	0,40	6,844	28,81
20	+1,0	+0,5	1,000	0,40	5,418	20,51
21	1	+1,0	0,092	0,45	3,359	15,04
22	-0,5	+1,0	0,319	0,45	5,398	20,10
23	0	+1,0	0,546	0,45	6,351	22,68
24	+0,5	+1,0	0,773	0,45	5,748	21,80
25	+1,0	+1,0	1,00	0,45	4,438	17,71

**ექსპერიმენტის ჩატარების მათემატიკური გეგმა და ღვარცოვის მასის დინამიკის ძირითადი მახასიათებლების საშუალო
მნიშვნელობები**

ცხრილი 3.2.2

№ რიგი	გეგმის მატრიცა		სამართავი ფაქტორები		ღვარცოვის მასის ზღვრული წონასწორობის განმსაზღვრელი მაჩვენებლები	
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	$X_1 = M_1$	$X_2 = M_2$	$\bar{Y}_3 = \tau_0$	$\varphi = \mu$
1	-1,0	-1,0	0,092	0,25	0,29	0,02513
2	-0,5	-1,0	0,319	0,25	0,55	0,04596
3	0	-1,0	0,546	0,25	0,62	0,04952
4	+0,5	-1,0	0,772	0,25	0,48	0,03799
5	+1,0	-1,0	1,000	0,25	0,35	0,031
6	-0,1	-0,5	0,092	0,30	0,43	0,0439
7	-0,5	-0,5	0,319	0,30	0,66	0,0569
8	0	-0,5	0,546	0,30	0,74	0,0595
9	+0,5	-0,6	0,773	0,30	0,62	0,032
10	+1,0	-0,5	1,000	0,30	0,48	0,0413
11	-0,1	0	0,092	0,35	0,62	0,0693
12	-0,5	0	0,319	0,35	0,80	0,0788
13	0	0	0,546	0,35	0,88	0,080
14	+0,5	0	0,773	0,35	0,71	0,0699
15	+2,0	0	1,000	0,35	0,65	0,0675
16	-0,1	+0,5	0,092	0,40	0,70	0,0873
17	-0,5	+0,5	0,319	0,40	0,90	0,0983
18	0	+0,5	0,546	0,40	1,00	0,1000
19	+0,5	+0,5	0,773	0,40	1,88	0,0758
20	+1,0	+0,5	1,000	0,40	0,75	0,0874
21	1	+1,0	0,092	0,45	0,85	0,118
22	-0,5	+1,0	0,319	0,45	1,06	0,130
23	0	+1,0	0,546	0,45	1,14	0,128
24	+0,5	+1,0	0,773	0,45	1,88	0,126
25	+2,0	+1,0	1,00	0,45	0,87	0,115

აღნიშნული დანადგარი საშუალებას იძლეოდა, გან-გვესაზღვრა ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობის განმსაზღვრელი დამჭერი ძაბვისა და შინაგანი ხახუნის კუთხის მნიშვნელობები მისი შემადგენელი კომპონენტების ცვალებადობის სხვადასხვა დიაპაზონში. წინასწარ დამზადებული ღვარცოფის მასის ნიმუშები თავსდებოდა ღრუტანიან ცილინდრებში. რეოსტატების საშუალებით თანდათანობით იზრდებოდა ბრუნთა რიცხვი. ღვარცოფის მასის მოწყვეტის ფიქსაცია ხორციელდებოდა სიხშირმზომით. ღვარცოფის მასის მოწყვეტის მომენტში საწყისი ძვრის წინააღმდეგობასა და მის შესაბამის ბრუნთა რიცხვებს შორის დამოკიდებულების განსაზღვრა ხდებოდა $\tau_0 = f(\omega)$ და $\varphi = f(\omega)$ გრაფიკებით.

ცდებში გამოყენებული იყო ბმული ღვარცოფის ნიმუშები, რომლის მასის შემადგენელი კომპონენტების ცვლილების დიაპაზონი მოიცავდა $M_1 = 0.092 \div 1.00$, ხოლო $M_2 = 0.25 \div 0.4$. შემადგენელი კომპონენტების ცვალებადობის გათვალისწინებით, პროცესის ნატურასთან მაქსიმალურად მიახლოებული პირობებისათვის, ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი ფაქტორების შესწავლა ხდებოდა ზემოთ აღწერილი დანადგარისა და მეთოდიკის მიხედვით.

ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი ფაქტორების დადგენის მიზნით, გამოყენებული მეთოდი საშუალებას იძლევა, მისი შემადგენელი კომპონენტების ცვლილების გათვალისწინებით განვსაზღვროთ დაძვრისა და მოძრაობის სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები.

ექსპერიმენტი ტარდებოდა შემდეგი თანმიმდევრობით: თავდაპირველად სტანდარტული ცხაურების მეთოდით ხორციელდებოდა ქვის ჩანართის ცალკეული დიამეტრებისა და მილიმეტრზე ნაკლები ზომის ფრაქციებით ნიმუშების მომ-

ზადება. ზემოთ აღნიშნული შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობის ცვლილების შესაბამისად, მზადდებოდა დვარცოფის ნიმუშები და მოცულობითი წონის მეთოდით ისაზღვრებოდა მისი მოცულობითი მასა, რომლის შემდეგაც ხორციელდებოდა მათი ჩატვირთვა ღრუტანიან ცილინდრებში. სტენდის ჩართვის დროს კუთხური სიჩქარე იზრდებოდა ჩართული რეოსტატების მეშვეობით. რეოსტატთა ხელით რეგულირების დროს ხდებოდა დვარცოფის მასის მომენტი სიხშირმზე ანათვლის ფიქსირება, ხოლო ქვემოთ მოყვანილი საანგარიშო დამოკიდებულებების საშუალებით – ძვრის საწყისი წინააღმდეგობისა და შინაგანი ხახუნის კუთხის გაანგარიშება.

საწყისი წინააღმდეგობა ძვრაზე:

$$\tau_0 = \frac{m\omega^2 R}{S}. \quad (3.2.13)$$

შინაგანი ხახუნის კუთხე:

$$\varphi = \arctan \frac{\omega^2 R}{60g}, \quad (3.2.14)$$

სადაც ω არის კუთხური სიჩქარე დვარცოფის მასის დაძვრის მომენტში;

R – ბრუნვის ღერძიდან დვარცოფის მასის სიმძიმის ცენტრის დაცილება;

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება;

S – მოწყვეტის ზედაპირის ფართობი.

დვარცოფის მასის დინამიკური მახასიათებლების სიბლანტისა და ძვრის წინააღმდეგობის განსაზღვრა ხორციელდებოდა გრაფიკული მეთოდით.

დვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელ პარამეტრებზე ცდების ჩატარების დროს გამოიყენება ექსპერიმენტების დაგეგემვის მათემატიკური თეორია.

ექსპერიმენტის დამთავრებისას გეგმის ყველა წერტილი-სათვის გამოითვლებოდა გამოძახილის საშუალო მნიშვნელო-ბები და სტიუდენტის t კრიტერიუმის მიხედვით [9] მოწმდებო-და \bar{Y}_{max} და \bar{Y}_{min} მნიშვნელობათა ურთიერთგანსხვავება:

$$t = \frac{\bar{Y}_{max} - \bar{Y}_{min}}{S^2\{Y\} \sqrt{\frac{1}{r_{max}} - \frac{1}{r_{min}}}}. \quad (3.2.15)$$

საშუალო მნიშვნელობები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, თუ t -ს ექსპერიმენტული მნიშვნელობები არ აღემატება ტაბულის მონაცემებს თავისუფლების ხარისხის $f = r_{max} - r_{min}$ და ხუთპროცენტიანი დონის მნიშვნელობე-ბისათვის.

განტოლება (3.2.3.)-ის კოეფიციენტების წინასწარი შეფასება ხდება უმცირეს კვადრატთა მეთოდით და ფუნქციის მინიმიზაცია ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 = f(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12}). \quad (3.2.16)$$

ორფაქტორიანი ექსპერიმენტის ალგებრულ განტოლება-თა სისტემას აქვს შემდეგი სახე:

$$\left. \begin{aligned} & \beta_0 N + \beta_1 \sum x_1 + \beta_2 \sum x_2 + \beta_{11} \sum x_1^2 + \beta_{22} \sum x_2^2 + \beta_{12} \sum x_1 x_2 = \sum y \\ & \beta_0 \sum x_1 + \beta_1 \sum x_1^2 + \beta_2 \sum x_1 x_2 + \beta_{11} \sum x_1^3 + \beta_{22} \sum x_1 x_2^2 + \beta_{12} \sum x_1^2 x_2 = \sum yx_1 \\ & \beta_0 \sum x_2 + \beta_1 \sum x_1 x_2 + \beta_2 \sum x_2^2 + \beta_{11} \sum x_1^2 x_2 + \beta_{22} \sum x_2^3 + \beta_{12} \sum x_1 x_2^2 = \sum yx_2 \\ & \beta_0 \sum x_1^2 + \beta_1 \sum x_1^3 + \beta_2 \sum x_1^2 x_2 + \beta_{11} \sum x_1^4 + \beta_{22} \sum x_1^2 x_2^2 + \beta_{12} \sum x_1^3 x_2 = \sum yx_1^2 \\ & \beta_0 \sum x_2^2 + \beta_1 \sum x_1 x_2^2 + \beta_2 \sum x_2^3 + \beta_{11} \sum x_1 x_2^2 + \beta_{22} \sum x_2^4 + \beta_{12} \sum x_1 x_2^3 = \sum yx_2^2 \\ & \beta_0 \sum x_1 x_2 + \beta_1 \sum x_1^2 x_2 + \beta_2 \sum x_1 x_2^2 + \beta_{11} \sum x_1^3 x_2 + \beta_{22} \sum x_1 x_2^3 + \beta_{12} \sum x_1^2 x_2^2 = \sum yx_1 x_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.2.17)$$

განტოლებათა სისტემის (3.2.17) ამოხსნის საფუძველზე
მიღებულია კოეფიციენტთა შემდეგი მნიშვნელობანი:

საწყისი ძვრის წინააღმდეგობისათვის –

$$\begin{aligned}\beta_0 &= 8.65; & \beta_1 &= 0.4497; & \beta_2 &= -2.2766; \\ \beta_{11} &= -2.7766; & \beta_{22} &= 0.012; & \beta_{12} &= -0.007.\end{aligned}$$

შინაგანი კუთხისათვის –

$$\begin{aligned}\beta_0 &= 29.248; & \beta_1 &= 1.406; & \beta_2 &= -4.729; \\ \beta_{11} &= -6.440; & \beta_{22} &= -0.816; & \beta_{12} &= -0.290.\end{aligned}$$

კოეფიციენტში ამ მნიშვნელობათა შესაბამისად (3.2.3.)
ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

ძვრის საწყისი წინააღმდეგობისათვის –

$$\bar{Y}_1 = 8.65 + X_1(0.45 + 2.75X_1) - X_2(2.28 - 0.01X_2 - 0.07X_1). \quad (3.2.18)$$

შინაგანი ხახუნის კუთხისათვის –

$$\bar{Y}_1 = 2.82 + X_1(1.41 - 6.44X_1) - X_2(4.70 - 0.08X_2 - 0.29X_1). \quad (3.2.19)$$

მოდელის აღეკვატურობა, როცა $m = 5, l = 6, N = 25$
(m პარალელური ცდების რიცხვია, l ნიშანცვლადი კოეფი-
ციენტების რიცხვი) მოწმდებოდა ფორმულით:

$$S_{\text{ჯ}} = \frac{M}{N-l} \sum_{v=1}^N (\bar{Y} - Y_v)^{\alpha}, \quad (3.2.20)$$

ხოლო ფიშერის ექსპერიმენტული კრიტერიუმი:

$$\phi = \frac{S_{\text{ჯ}}^2}{S^2\{Y\}}. \quad (3.2.21)$$

აღეკვატურობაზე ჰიპოთეზა მისაღებია იმ შემთხვევაში,
თუ (3.2.18) დამოკიდებულებით მიღებული სიდიდეთა მნიშ-
ვნელობები ნაკლებია ტაბულირებულზე $\phi_{\text{ჯ}} \leq \phi_{\text{ც}}.$

ფიშერის და კოხრენის კრიტერიუმები ჩატარებული ექს-
პერიმენტებისათვის მოცემულია ცხრილი 3.2.3-ის სახით.

ფიშერისა და კოხოვენის კრიტერიუმები

ცხრილი 3.2.3

დარცვის მასის ზღვრუ- ლი წინას- წორისის მა- სასიათბლები	კოხოვენის რიცხვი			ფიშერის რიცხვი		
	გენერი- მენტით	ცხრი- ლით	$G_{\alpha} \leq G_{\theta}$	გენერი- მენტით	ცხრი- ლით	$\Phi_{\alpha} \leq \Phi_{\theta}$
სწორი წინააღ- მდეგობა ძვრაზე τ_0	0,1269	0,1665	0,12269< 0,1665	0,207	1,94	0,207< 1,94
შინაგანი ხახუნის კუთხე φ°	0,1029	0,1665	0,1069< 0,1665	0,3645	1,94	0,3645< 1,54

რადგან საანგარიშო დამოკიდებულებებში შემავალი წევრები წარმოდგენილია კოდირებული მნიშვნელობებით, ამიტომ მათი რეალურ სიდიდეებზე გადაყვანისათვის ვაგებთ გრაფიკულ დამოკიდებულებას ნახაზი (3.2.1)-ის სახით $\bar{X}_i = f(X_i)$.

ნახაზი (3.2.1)-ის საფუძველზე მოცემული გრაფიკული დამოკიდებულება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} \bar{X}_1 = 2,2x_1 - 1,2 \\ \bar{X}_2 = 10x_2 - 3,5 \end{cases}. \quad (3.2.22)$$

ცვლადების კოდირებული მნიშვნელობებიდან რეალურ-ზე გადასვლა განხორციელდა (3.2.22) დამოკიდებულებით და, შესაბამისად, აღგებრული განტოლებების შესწორებულმა კოეფიციენტებმა მიიღო სახე:

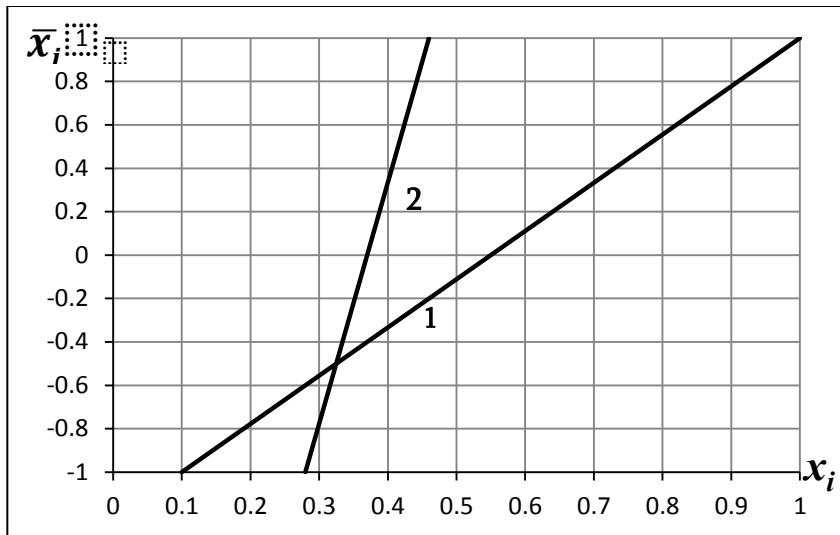
$$\beta_0 = 12.2; \quad \beta_1 = 15.62; \quad \beta_2 = -23.6;$$

$$\beta_{11} = -13.44; \quad \beta_{22} = 0.00; \quad \beta_{12} = 0.00.$$

შინაგანი ხახუნის კუთხისათვის:

$$\beta_0 = 25.03; \quad \beta_1 = 34.88; \quad \beta_2 = 6.44;$$

$$\beta_{11} = -3.317; \quad \beta_{22} = 81.6; \quad \beta_{12} = 6.38.$$



ნახ. 3.2.1. $\bar{X}_i = f(X_i)$. დამოკიდებულების გრაფიკი

1. $\bar{X}_2 = f(X_2)$; 2. $\bar{X}_1 = f(X_1)$.

შესაბამისად საანგარიშო ფორმულები (3.2.18) და (3.2.19) ცვლადების რეალური მნიშვნელობებისათვის მიიღებს სახეს:

საწყისი ძვრის წინააღმდეგობა –

$$\tau_0 = 12.2 + M_1(15.6 - 13.4M_1) - 23.6; \quad (3.2.23)$$

შინაგანი ზახუნის კუთხე –

$$\varphi = 25.3 + M_1(34.85 - 31.2M_1) + M_2(6.44 - 81.6M_2). \quad (3.2.24)$$

მბრუნავ კოორდინატების ოპტიმიზაციის მეთოდმა გვიჩვენა, რომ ფუნქციების τ და φ განსაზღვრულ არეებში მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები შეესაბამება ფაქტორების შესაბამის მნიშვნელობებს $M_1=0.49$ და $M_1=0.228$.

ნახაზების (3.2.2), (3.2.3), (3.2.4) და (3.2.5)-ის სახით მოცემულია გრაფიკული დამოკიდებულებები დვარცოფის

ზღვრული წონასწორობის განმსაზღვრელ ფაქტორებსა და მისი შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთანაფარდობებს შორის.

ზღვრული წონასწორობის განმსაზღვრელი ფაქტორებისათვის აგებულია გამოძახილის ზედაპირების კვეთები ნახაზ 3.2.6 და 3.2.7-ის სახით.

ძვრის საწყისი წინააღმდეგობის სხვადასხვა მნიშვნელობაზე ნახაზ 3.2.6-ის მიხედვით:

$$1. \tau_0 = 4.0 \text{ გრ/ს}^2; 2. \tau_0 = 5.0 \text{ გრ/ს}^2; 3. \tau_0 = 6.0 \text{ გრ/ს}^2;$$

$$4. \tau_0 = 7.0 \text{ გრ/ს}^2; 5. \tau_0 = 8.0 \text{ გრ/ს}^2; 6. \tau_0 = 9.0 \text{ გრ/ს}^2;$$

$$7. \tau_0 = 10.0 \text{ გრ/ს}^2.$$

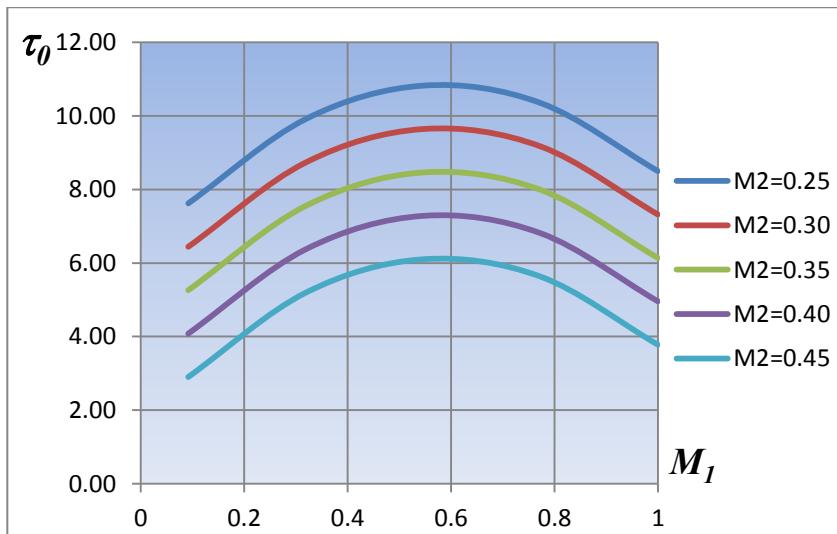
და შინაგანი ხახუნის კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობები-სათვის ნახაზ 3.2.7-ის სახით.

$$\varphi = 15^\circ; \quad \varphi = 17^\circ; \quad \varphi = 19^\circ; \quad \varphi = 21^\circ; \quad \varphi = 23^\circ;$$

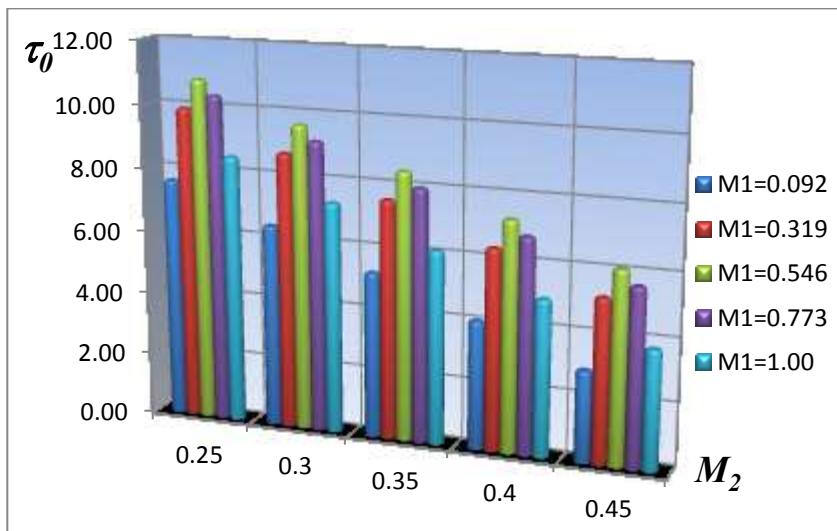
$$\varphi = 25^\circ; \quad \varphi = 27^\circ; \quad \varphi = 29^\circ; \quad \varphi = 31^\circ; \quad \varphi = 32^\circ;$$

როგორც (3.2.23) და (3.2.24) გამოსახულებები $\tau_0 = f(M_1, M_2)$, $\varphi = f(M_1, M_2)$ გრაფიკებიდან ჩანს, ღვარცოფის მასის ზღვრული წონასწორობის განმსაზღვრელ პარამეტრებს გააჩნიათ მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც მისი მასის კრიტიკულ მდგომარეობას შეესაბამება. კრიტიკული მდგომარეობის მიღწევამდე ადგილი აქვს ბმულობას, ხოლო კრიტიკული წერტილის ზევით ბმულობა ქრება.

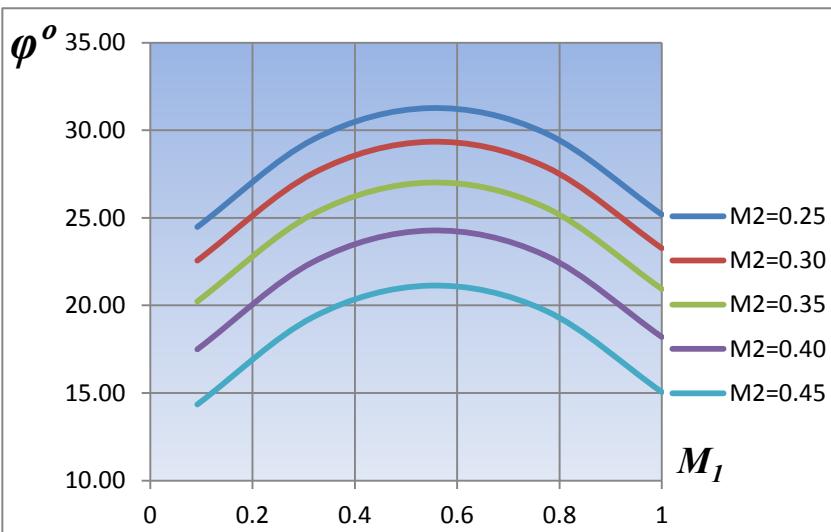
სიბლანტის კოეფიციენტის μ -ს და დარღვეული სტრუქტურის მხები ძაბვის $\tau_{\text{დ}}-\text{s}$ განსაზღვრა განხორციელდა აღწერილ მოწყობილობაზე ჩატარებული ცდების მონაცემების საფუძველზე, ღვარცოფის მასის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთანაფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.



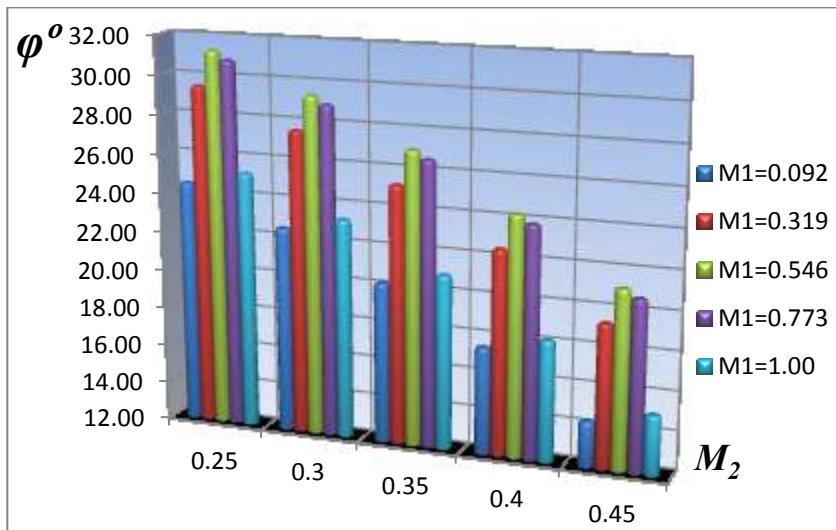
ნახ. 3.2.2. $\tau_0 = f(M_1)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



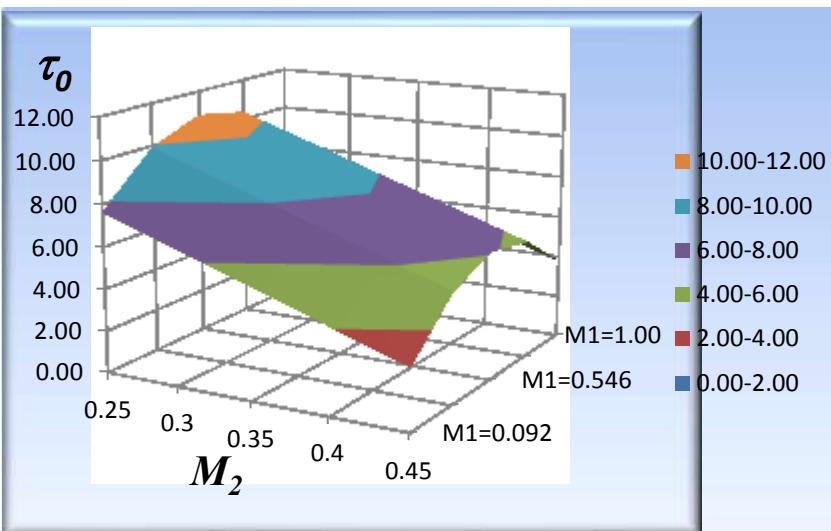
ნახ. 3.2.3. $\tau_0 = f(M_2)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



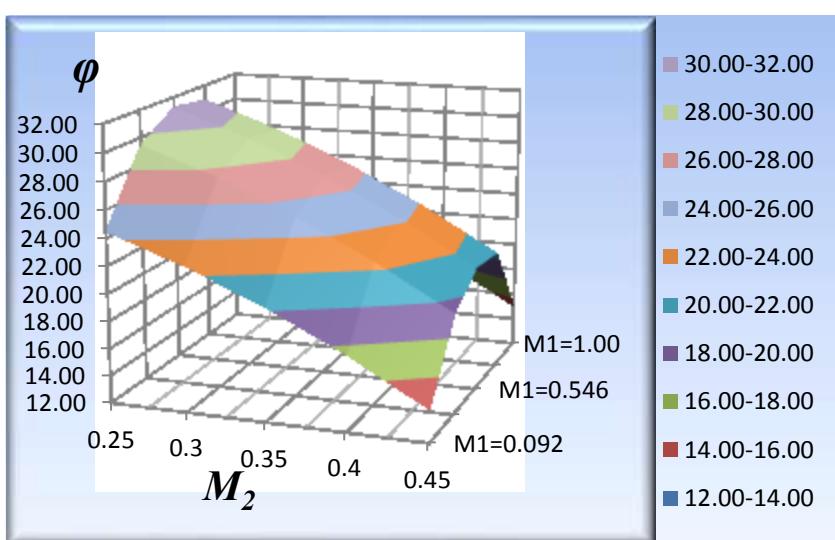
ნახ. 3.2.4. $\varphi = f(M_1)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.2.5. $\varphi = f(M_2)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.2.6. ძვრის საწყისი წინააღმდეგობის გამოძახილის კვეთები.



ნახ. 3.2.7. შინაგანი ზახუნის კუთხის გამოძახილის კვეთები.

ღვარცოფული მასის დარღვეული სტრუქტურის მხები ძაბვის მნიშვნელობების განსაზღვრა წარმოებდა გრაფიკული მეთოდით. ცნობილი იყო რა მოწყვეტილი ღვარცოფის წონა, ე. ი. მისი ნორმალური ძაბვა, შინაგანი ზახუნის კუთხე და საწყისი წინააღმდეგობა ძვრაზე, გრაფიკულად განისაზღვრა დარღვეული სტრუქტურის მხები ძაბვა τ_{φ} , ხოლო სიბლანტის კოეფიციენტის მნიშვნელობები შესაბამისად სიჩქარის გრა- დიენტისა და მხები ძაბვის τ_{φ} -ის საშუალებით. (3.2.17) გან- ტოლებათა სისტემის ამონახსნისა და (3.2.22)-ის გათვალის- წინებით ღვარცოფის მასის დინამიკური მაჩვენებლების საშუალო მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 3.2.4. სიბ- ლანტის დინამიკური კოეფიციენტისა და მოძრაობის მხები ძაბვისათვის კოეფიციენტთა მნიშვნელობებს აქვს შემდეგი სახე:

მოძრაობის დროს მხები ძაბვისათვის –

$$\beta_0 = 0.031; \quad \beta_1 = 1.408; \quad \beta_2 = 2.589;$$

$$\beta_{11} = 1.246; \quad \beta_{22} = 0.114; \quad \beta_{12} = 0.035.$$

სიბლანტის კოეფიციენტისათვის –

$$\beta_0 = 0.031; \quad \beta_1 = 0.07; \quad \beta_2 = 2.589;$$

$$\beta_{11} = -0.065; \quad \beta_{22} = 1.02; \quad \beta_{12} = 0.036.$$

კოეფიციენტების შესაბამისი მნიშვნელობების გათვა- ლისწინებით (3.2.3) დამოკიდებულებაში მივიღებთ [5]:

მოძრაობის მხები ძაბვა –

$$\tau_{\varphi} = M_1(1.41 - 1.25M_1) + M_2(2.59 + 0.04M_1 - 0.11M_2) - 0.47. \quad (3.2.25)$$

სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი –

$$\mu = 0.031 + M_1(0.08 - 0.06M_1) - M_2(0.04M_1 - 1.02M_2 + 0.28). \quad (3.2.26)$$

(3.2.23) განტოლების გამარტივებითა და გარდაქმნით, როდესაც დვარცოფის მყარ ნაწილში ქვის ჩანართის წონა 0-ის ტოლია, მივიღებთ:

$$\tau_1 = 0.78 + M_1(0.044 - 0.065M_1). \quad (3.2.27)$$

ადეკვატურობაზე პიპოოზა მისაღებია, თუ (3.2.21) დამოკიდებულებით მიღებული სიდიდეები ნაკლებია ტაბული-რებულზე.

ჩატარებული ექსპერიმენტით მიღებული ფიშერის და კოხენის კრიტერიუმები მოცემულია ცხრილი (3.2.4)-ის სახით.

კოხენის და ფიშერის კრიტერიუმები

ცხრილი 3.2.4

ლვარცოფის მასის ზღვრუ- ლი წინას- წორობის მა- ნასათბობები	კოხენის რიცხვი			ფიშერის რიცხვი		
	ექსპერი- მეტოდით	ცხრი- ლით	$G_{\text{ჯ}} \leq G_{\theta\delta}$	ექსპერი- მენტით	ცხრი- ლით	$\Phi_{\text{ჯ}} \leq \Phi_{\theta\delta}$
საწყის წინააღ- მდეგობა ძვრაზე, τ_0	0,1497	0,1665	$0,1497 < 0,1$ 665	1,18	1,94	$1,18 < 1,94$
შინაგანი საზონის კუთხი, φ°	0,1491	0,1665	$0,1491 < 0,1$ 665	0,732	1,94	$0,32 < 1,94$

გრაფიკული დამოკიდებულება დინამიკურ ძაბვასა და სიბლანტის კოეფიციენტს შორის, დვარცოფის შემაღებელი კომპონენტების წონითი თანაფარდობების ცვალებადობასთან კავშირში, მოცემულია 3.2.8, 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11 ნახაზებზე.

წარმოდგენილი ექსპერიმენტების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ შემაღებელი კომპონენტების ურთიერთანაფარდობების ცვლილება, მნიშვნელოვან გავლენის ახდენს ბმული დვარცოფის დაძაბულ-დეფორმაციულ მდგომარეობაზე, უპირველესად, მის განმსაზღვრელ პარამეტრებზე.

როგორც წონასწორობის 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5 და მოძრაობის 3.2.8, 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11 განმსაზღვრელი პარა-

მეტრების გრაფიკებიდან ჩანს, ღვარცოფის მასის შემადგენელი კომპონენტების ცვლილებით მათი ცვლილების ხასიათს შემდეგი სახე აქვს: ღვარცოფის ბმულობის საზღვრებში M_2 -ის მნიშვნელობის გაზრდით სტატიკური მახასიათებლების სიდიდეები მცირდება, ხოლო დინამიკური მაჩვენებლები - პირიქით.

რაც შეეხება M_1 ფაქტორის გავლენას ზღვრულ წონას-წორობასა და მოძრაობაზე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მისი ერთი და იმავე მნიშვნელობის დროს, კრიტიკულ წერტილამდე როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური მაჩვენებლები იზრდება, ხოლო მისი გავლის შემდეგ, ხდება მათი სიდიდეების შემცირება. ღვარცოფის ეს ბუნება წარმოგვიდგება შემდეგი სახით: ღვარცოფის მასა კრიტიკულ მდგომარეობის მიღწევამდე ბმულ მდგომარეობაშია, ხოლო კრიტიკული წერტილის ზემოთ - არაბმულ მდგომარეობაში.

ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის მოდელირების შედეგები ანალიზური დამოკიდებულებების მისაღებად ხშირად ქმნიან დაუძლეველ სიძნელებს მოცულობითი და ზედაპირული ძალების უთანაზომობის გამო. აქედან გამომდინარე, მოდელირების ორიგინალურ-ექსპერიმენტული მეთოდის [4] საფუძველზე შეიქმნა ფართო შესაძლებლობა მსგავსების თეორიის, გრუნტების მექანიკის, არანიუტონური სითხეების სტატიკისა და დინამიკის, ალბათურ-სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით დამუშავდეს ბმული ღვარცოფების დაძრის, მოძრაობისა და ნაგებობებზე მოქმედების ერთიანი მეთოდიკა.

ღვარცოფის დაძრისა და მოძრაობის გაჩერების კრიტიკული სიღრმეების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდი, როგორც მისი წარმოშობის კერებში, ასევე სატრანზიტო უბნებზე, მსგავსების სხვადასხვა კრიტერიუმებისა და აგრეთვე ექსპერიმენტული კვლევების მონაცემების ალბათურ-სტატიკური დამუშავებაზე, ზღვრული წონასწორობის თეორიასა და შვედოვ-ბინგამის თეორიულ კონცეფციაზეა დაფუძნებული.

ზღვრული წონასწორობის მხები ძაბვის მიღებული მნიშვნელობები, ბმული ღვარცოფის შემადგენელი კომპონენტების სხვადასხვა თანაფარდობების დროს, ჩაწერილია (3.2.23) დამოკიდებულებების სახით. ღვარცოფის მასის დაძაბულ-დეფორმაციული პირობიდან გამომდინარე, დაძვრის კრიტიკული სიღრმე, რომლის გადაჭარბებისას იგი იწყებს მოძრაობას, შეიძლება შეფასებული იქნას წონასწორობის პირობით:

$$h_\beta = \frac{\tau_0}{\gamma i}. \quad (3.2.28)$$

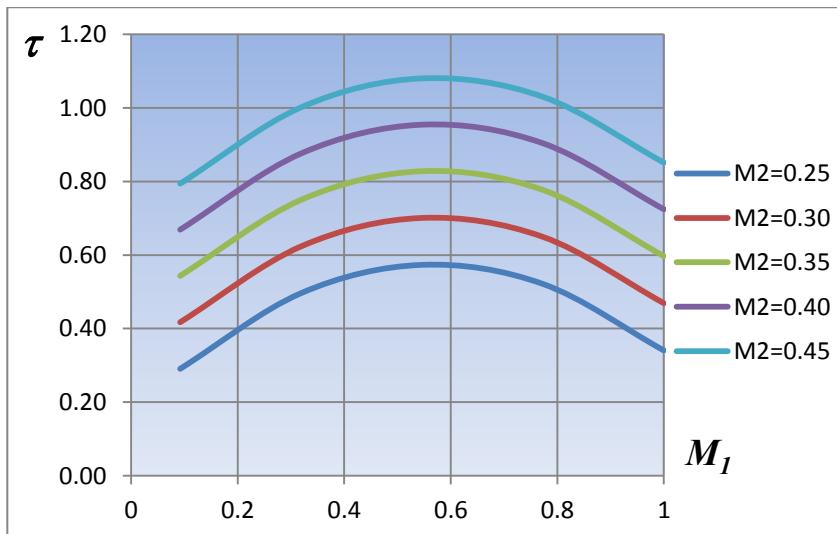
ღვარცოფის მოცულობითი მასის γ -ის და მისი შემადგენელი კომპონენტების ცვალებადობის გამოსახვის მიზნით, აიგო გრაფიკული დამოკიდებულება $\tau_0 = f(\gamma)$ (ნახ. 3.2.11.) უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით. გრაფიკული დამოკიდებულება $\tau_0 = f(\gamma)$ ჩაიწერა შემდეგი სახით:

$$\tau_0 = 12.346\gamma - 16.914. \quad (3.2.29)$$

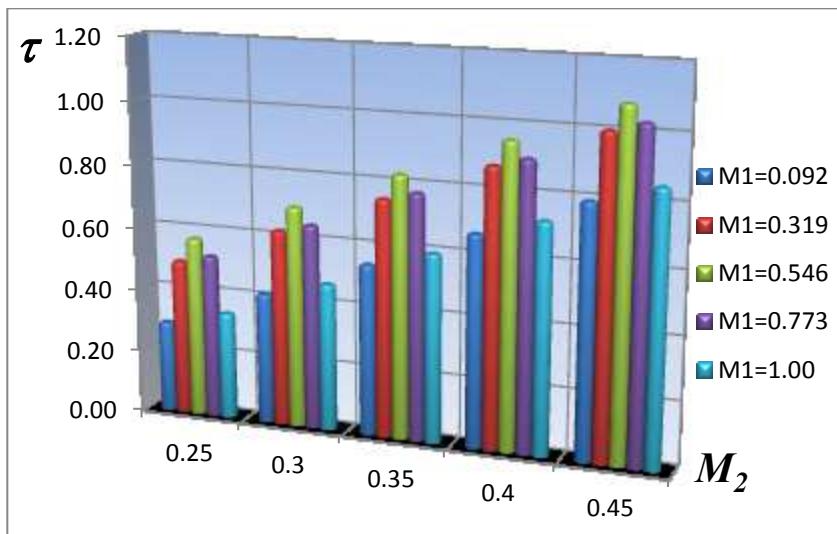
(3.2.28) დამოკიდებულების და (3.2.23)-ის გათვალისწინებით (3.2.29)-ში და ზოგიერთი გამარტივების ჩატარებით მივიღებთ ზღვრული წონასწორობის სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებას:

$$h_\beta = \frac{12.2 + M_1(15.6 - 13.4M_1) - 23.6M_2}{[2.36 + M_1(1.27 - 1.09M_1) - 1.91M_2]i}. \quad (3.2.30)$$

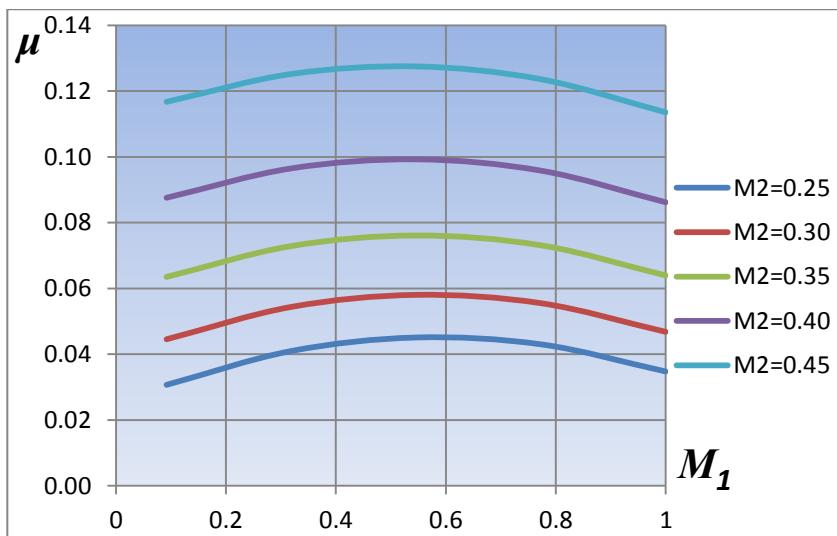
თალსაჩინოების მიზნით ცხრილ 3.2.5-ში მოყვანილია ზღვრული წონასწორობის შესაბამისი კრიტიკული სიღრმეების მნიშვნელობები, ბმული ღვარცოფის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობათა სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს.



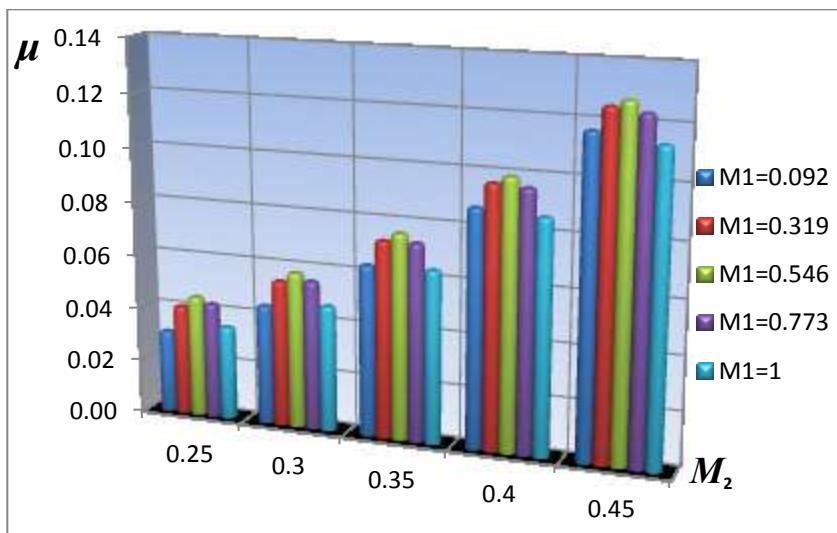
ნახ. 3.2.8. $\tau = f(M_1)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.2.9. $\tau = f(M_2)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.2.10. $\mu = f(M_1)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.2.11. $\mu = f(M_2)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.

ხშირ შემთხვევაში ღვაცოფული ხასიათის მდინარეთა სატრანზიტო უბნებზე და გამოტანის კონუსის აკვატორიაზე საინჟინრო ღონისძიებათა განლაგების ტრასის შერჩევა მოითხოვს ისეთი მაჩვენელების აუცილებელ ცოდნას, როგორიცაა ღვარცოფის გაჩერების ქანობი და სიღრმე.

**დაძვრის კრიტიკული სიღრმის სიღიდეები ღვარცოფის
შემადგენელი კომპონენტებისა და კერის ქანობის სხვადასხვა
მნიშვნელობების დროს (სანტიმეტრებში)**

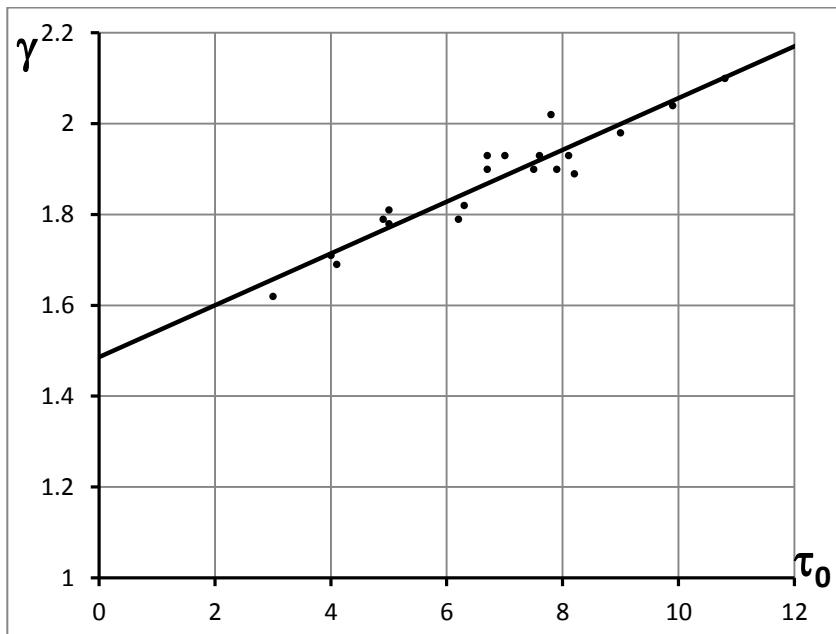
ცხრილი 3.2.5

№	ღვარ-ცოფ-წარმომ-ქმნელი პერის ქანობი i	$M_1 = 0.1$			$M_1 = 0.40$			$M_1 = 1.0$		
		M_2			M_2			M_2		
		0,25	0,35	0,45	0,25	0,35	0,45	0,25	0,35	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0,01	396,9	297,2	198,6	469,9	397,6	310,3	412,7	328,6	225,3
3	0,02	193,3	148,6	99,3	329,2	199,9	155,5	206,3	164,3	112,7
4	0,05	77,4	59,4	39,7	93,98	79,7	62,1	82,32	65,7	45,07
5	0,1	38,7	29,7	19,9	46,9	39,8	31,03	41,3	32,9	22,5
6	0,2	19,3	14,9	9,9	23,5	20,0	15,5	20,6	16,4	11,3
7	0,3	12,9	9,9	6,6	15,7	13,2	10,3	13,6	11,0	7,5

საღლეისოდ ჯერ კიდევ არ არსებობს საიმედო მონაცემები ბუნებაში გაზომილი ნაკადის გაჩერების ქანობსა და სიმაღლის შესახებ, მათი ფიზიკურ-მექანიკური და კალაპოტის მორფო-მეტრიული მაჩვენებლების გათვალისწინებით. ღვარცოფის გაჩერების აბსოლუტური სიღრმის განსაზღვრისათვის გამოიყენება კვაზი-მყარი სხეულის თანაბარი მოძრაობის გან-

ტოლება $\tau = \gamma i h$, რომლის საფუძველზე ნაკადის გაჩერების სიღრმეა:

$$h_3 \frac{M_1(1.41 - 1.25M_1) + M_2(2.50 - 0.11M_2 - 0.04M_1) - 0.47}{[2.36 + M_1(1.27 - 1.09M_1) - 1.91M_2]i} . \quad (3.2.31)$$



ნახ. 3.2.12. ღვარცოფის მოცულობითი მასისა და საწყისი ძვრის წინააღმდეგობას შორის დამოკიდებულებების გრაფიკი.

საანგარიშო დამოკიდებულების (3.2.31) პრაქტიკული გამოყენება საჭიროებს ღვარცოფის მასის შემადგენელი კომპონენტების წონითი მოცულობის ცოდნას. რადგან ღვარცოფის წარმოშობის, მოძრაობისა და გაჩერების შემთხვევაში, ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები არ იცვლება, შეიძლება ვისარ-

გებლოთ მოძრაობის დაწყებამდე დადგენილი შემადგენელი კომპონენტების განსაზღვრული სიღილებით.

გაჩერების სიმაღლის კრიტიკული მნიშვნელობები სხვადასხვა დვარცოფული სასიათის მდინარეებზე

ცხრილი 3.2.6

ლაპარცოფული გაეჭირები	ლაპარცოფული განვითარების კანონი	ლავარცოფის მასაში შემადგენელი კომპონენტების მნიშვნელობები			გაჩერების კრიტიკული სიღილე სმ-ში		
		$P_{\text{წ}}$	$P_{\text{მ}}$	$P_{\text{ქ}}$	ნატურული მონაცემებით	3.2.31 ფორმულით	
1949 დურუკი	მდ.	0,021	0,151	0,25	0,60	250	225
1959 თარგმნის ხევი	0,09	0,10	0,26	0,64	200	148	
1967 ბილარა	მდ.	0,075	0,12	0,34	0,54	150	151
1975 დურუკი	0,524	0,15	0,36	0,49	200	173	

ცხრილ 3.2.6-ში მოცემულია საანგარშო დამოკიდებულებით (3.2.31) მიღებული შედეგების შედარება ნატურულ მონაცემებთან.

3.3. ბმული ღვარცოფის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტის ექსპერიმენტული კვლევა

ბუნებაში არსებულ ღვარცოფთა სპექტრის მრავალ-ფეროვნების გამო დღემდე არ არსებობს საიმედო მეთოდიკა, რომელიც გაითვალისწინებდა მოვლენაში მონაწილე ყველა ფაქტორს მათი დაძვრის, მოძრაობის და ნაგებობებთან ურთიერთქმედების მახასიათებლების დასაღენად.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ცდების პირველი სერია მიზნად ისახავდა ღვარცოფის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტის დადგენას მისი ტანის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობის ცვლილების სხვადასხვა პირობებში.

პროცესის შესწავლის მიზნით, სპეციალურად კონსტრუირებულ დანადგარზე ჩატარდა ცდები, რომლის მიხედვითაც ხორციელდებოდა ღვარცოფის მოწყვეტის მომენტში შინაგანი ხახუნის კუთხის მექანიკური ეკვივალენტის განსაზღვრა ირიბი მეთოდით, დენის სიხშირესთან კუთხური სიჩქარის ფიქსაციით.

ცდებში გამოყენებული იყო მდინარე დურუჯის ღვარცოფული მასალისაგან დამზადებული ნიმუშები, რომლის მასის შემადგენელი კომპონენტების ცვლილების დააპაზონი წარმოდგენილი იყო შემდეგნაირად:

1. წყლის წონის შეფარდება ღვარცოფის მასის მყარი შემადგენლის მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონასთან იცვლებოდა საზღვრებში:

$$M_1 = \frac{P_{\text{წ}}}{P_{\text{მ}}} = 0,092 \div 1,00;$$

2. შემადგენელი კომპონენტების ცვალებადობის გათვალისწინებით პროცესის ნატურასთან მაქსიმალურად მიახლოებული პირობებისათვის მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონის შეფარდება

მთლიან მყარ მასასთან წარმოდგენილი იყო საზღ-
გრებში: $M_2 = \frac{P_{\text{მ}}}{P_{\text{ტ}} \cdot \eta} = 0,25 \div 0,45$.

ვინაიდან ექსპერიმენტის დაგეგმვის მათემატიკური მეთოდი ემყარებოდა კვლევის ობიექტის კიბერნეტიკულ წარმოდგენას, ამიტომ არჩეულ იქნა კიბერნეტიკული სისტემა, რომლის განხილვისას გამოიყო ზემოთ დასახელებული შესასვლელი (მმართველი) ფაქტორები $X_1 = M_1$ და $X_2 = M_2$. გამოსასვლელ ფაქტორს გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი $\sigma = Y$ წარმოადგენდა.

ღვარცოფის მასის გვერდითი გაფართოების განშსაზღვრელი პარამეტრის მთლიანი ფაქტორული გეგმა მატრიცის სახით მოცემულია ცხრილში 3.3.1.

დეპრესიის ერთგვაროვნების მიზნით ცდის ყოველ წერტილში მათი რაოდენობა ხუთის ტოლი იყო.

ექსპერიმენტის დამთავრებისას გეგმის ყველა წერტილში გამოძახილის საშუალო მნიშვნელობები და სტიუდენტის t კრიტერიუმი მოწმდებოდა $Y_{\text{მინ}}$ და $Y_{\text{მაქ}}$ მნიშვნელობებს შორის ურთიერთგანსხვავებით.

რადგან საანგარიშო დამოკიდებულებაში შემავალი წევრები კოდირებული მნიშვნელობებით არის წარმოდგენილი, ამიტომ მათი რეალურ მნიშვნელობებში გადაყვანისათვის ვსარგებლობთ (3.3.1) დამოკიდებულებებით:

$$\begin{aligned} \bar{X}_1 &= 2.2X_1 - 1.2; \\ \bar{X}_2 &= 10X_2 - 3.5. \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

საბოლოოდ ცვლადების რეალური ღვარცოფის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის საანგარიშო დამოკიდებულება შემდეგნაირად ჩაიწერება:

ექსპერიმენტის ჩატარების მათემატიკური გეგმა და
ლვარცოფის მასის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტის
საშუალო მნიშვნელობები

ცხრილი 3.3.1

№	გეგმის მატრიცა		სამართავი ფაქტორები		ლვარცოფის მასის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი
	\tilde{X}_1	\tilde{X}_2	$X_1 = M_1$	$X_2 = M_2$	
1	-1.0	-1.0	0.092	0.25	0.290
2	-0.5	-1.0	0.319	0.25	0.250
3	0	-1.0	0.546	0.25	0.230
4	+0.5	-1.0	0.773	0.25	0.240
5	+1.0	-1.0	1.000	0.25	0.270
6	-1.0	-0.5	0.092	0.30	0.300
7	-0.5	-0.5	0.319	0.30	0.256
8	0	-0.5	0.546	0.30	0.247
9	+0.5	-0.5	0.773	0.30	0.254
10	+1.0	-0.5	1.000	0.30	0.285
11	-1.0	0	0.092	0.35	0.327
12	-0.5	0	0.319	0.35	0.283
13	0	0	0.546	0.35	0.259
14	+0.5	0	0.773	0.35	0.271
15	+1.0	0	1.000	0.35	0.304
16	-1.0	+0.5	0.092	0.40	0.348
17	-0.5	+0.5	0.319	0.40	0.305
18	0	+0.5	0.546	0.40	0.283
19	+0.5	+0.5	0.773	0.40	0.291
20	+1.0	+0.5	1.000	0.40	0.325
21	-1.0	+1.0	0.092	0.45	0.370
22	-0.5	+1.0	0.319	0.45	0.328
23	0	+1.0	0.546	0.45	0.307
24	+0.5	+1.0	0.773	0.45	0.314
25	+1.0	+1.0	1.000	0.45	0.480

$$\sigma = -\frac{tg^2 \left[32,49^\circ + \frac{P_{\partial\partial}}{P_{\partial y}} \left(3,22 - \frac{40,8 P_{\partial\partial}}{P_{\partial y}} \right) - \frac{P_{\tilde{\partial}y}}{P_{\partial\partial}} \left(17,42 - \frac{1,55 P_{\partial y}}{P_{\partial\partial}} \right) \right]}{1 + tg^3 \left[32,49^\circ + \frac{P_{\partial\partial}}{P_{\partial y}} \left(3,22 - \frac{40,8 P_{\partial\partial}}{P_{\partial y}} \right) - \frac{P_{\tilde{\partial}y}}{P_{\partial\partial}} \left(17,42 - \frac{1,55 P_{\partial y}}{P_{\partial\partial}} \right) \right]}. \quad (3.3.2)$$

როგორც 3.3.2 დამოკიდებულების ანალიზით ჩანს, ღვარცოფის მასის შემადგენელი კომპონენტების ცვლილებას-თან კავშირში გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტის ცვლილების დინამიკას შემდეგი სახე აქვს: წყლის, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონითი თანაფარდობების მუდმივობის შემთხვევაში ღვარცოფის მასის გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი იზრდება, ხოლო პირველის გაზრდის და მეორის მუდმივობის შემთხვევაში ხდება ამ პარამეტრის შემცირება.

3.4. ბმული ღვარცოფის სრული მხები ძაბვის ექსპერიმენტული კვლევა

სრული მხები ძაბვის განსაზღვრის დროს კვლევები მიზნად ისახავდა ხორკლიანობის გავლენის დადგენას აღნიშნულ სიდიდეზე. კვლევის დროს გამოყენებულ იქნა გრეხითი ვისკოზიმეტრი. მის პარამეტრებს აქვს სახე: ვისკოზიმეტრის მბრუნავი გარე და შიგა ცილინდრის დიამეტრი ჭოლია 6,4 და 44 სმ-ის. შიგა ცილინდრის სიმაღლე 11 სმ-ს შეადგენს, ხოლო სიცარიელე შიგა და მოძრავ ცილინდრს შორის 19,8 სმ-ია; ცდებში გამოყენებულია სხვადასხვა ხორკლიანი ზედაპირის მქონე წინასწარ დამზადებული ცილინდრები.

ცალკეული შიგა ცილინდრის ზედაპირიდან ჩაღრმავებული კონტურის სიმაღლე და სიგანე მისი გარე ზედაპირიდან როგორც რადიალური, ისე ვერტიკალური მიმართულებით იცვლებოდა გრადაციით 0-2-4-6-8-10-15 მმ-ის ფარგლებში.

ფოლადის მავთულის წინაღობა, რომელზეც ჩამოკიდებულია შიგა ცილინდრი, 1°-ით შემობრუნებისას შეადგენდა 0,22 გრ-ს. დინამიკური მახასიათებლების შესწავლის მიზნით წინასწარ დამზადებული ნიმუშები თავსდებოდა გრებით ვისკოზიმეტრის გარე ცილინდრში, რის შემდეგ ხდებოდა შიგა ცილინდრის ჩაძირვა და მისი მნიშვნელობის ფიქსირება ღვარ-ცოფის ტანში. ამასთანავე შედგელობაში მიიღება გარე ცილინდრის ფუძის გავლენა ფოლადის მავთულის დაგრძელებაზე. ყოველი ცდის დროს საძიებელი პარამეტრების ფიქსირება ხორციელდებოდა ხელსაწყოს ლიმბზე მავთულის შემობრუნების კუთხის მიხედვით.

ექსპერიმენტის დაგეგმვის დროს გამოყენებულია პლანირების რაციონალური მეთოდი, რომლის საფუძველზე ფაქტორთა გეგმა შედგენილია ლათინური კვადრატის სახით [8].

შერჩეული მოდელის შესაბამისად ექსპერიმენტის ფაქტორული გეგმა წარმოდგენილია ფუნქციური დამოკიდებულებით:

$$\tau = N f_1(K) f_2(V) f_3 \left(\frac{\Delta}{d} \right), \quad (3.4.1)$$

სადაც	τ	არის სრული მხები ძაბვა;
K	-	მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონის შეფარდება მთლიან მყარ მასასთან;
$\frac{\Delta}{d}$	-	ხორკლიანი ზედაპირის გამონაშვერების სიმაღლის შეფარდება ღვარ-ცოფის ტანში არსებული საშუალო ქვის დიამეტრთან;

- V - შიგა ცილინდრის ზედაპირზე ღვარ-
ცოფის ტანის საშუალო სიჩქარე;
- N - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწი-
ნებს ექსპერიმენტით მიღებული
შედეგების ადეკვატურობას ფორმუ-
ლით გაანგარიშებულ სიდიდეებთან.

ექსპერიმენტში გამოყენებული ლათინური კვადრატის სქემა მოცემულია 3.4.1 ცხრილის სახით.

ფაქტორთა ცვლილების მატრიცის სქემა

ცხრილი 3.4.1

	$(\Delta/d)_1$	$(\Delta/d)_2$	$(\Delta/d)_3$	$(\Delta/d)_4$
V_1	K_1	K_4	K_3	K_2
V_2	K_2	K_1	K_4	K_3
V_3	K_3	K_2	K_1	K_4
V_4	K_4	K_3	K_2	K_1

ფაქტორების ინტერვალების ცვალებადობა წარმოდგენი-
ლია შემდეგნაირად:

$$(\Delta/d)_1 = 0,5 \quad (\Delta/d)_2 = 1,0 \quad (\Delta/d)_3 = 1,5 \quad (\Delta/d)_4 = 2,0$$

$$V_1 = 4,3 \quad V_2 = 5,6 \quad V_3 = 6,9 \quad V_4 = 8,2$$

$$K_1 = 0,27 \quad K_2 = 0,30 \quad K_3 = 0,33 \quad K_4 = 0,37$$

ექსპერიმენტით ფიქსირებული მხები ძაბვის მნიშ-
ვნელობების ცვლილების სურათი მოცემულია ცხრილში 3.4.2.

მხები ძაბვების მნიშვნელობები

ცხრილი 3.4.2.

ღვარცოფის მასის გადადგილების სიჩქარე, სმ/წმ	მხები ძაბვა, გრ/სმ2			
	$(\Delta/d)_1 = 0,5$	$(\Delta/d)_2 = 1,0$	$(\Delta/d)_3 = 1,5$	$(\Delta/d)_4 = 2,0$
$V_1 = 4,3$	$K_1 = 0,27$ $\tau_1 = 5,54$	$K_4 = 0,37$ $\tau_4 = 1,90$	$K_3 = 0,33$ $\tau_3 = 1,70$	$K_2 = 0,30$ $\tau_2 = 2,95$
$V_2 = 5,6$	$K_2 = 0,30$ $\tau_2 = 2,95$	$K_1 = 0,27$ $\tau_1 = 5,54$	$K_4 = 0,37$ $\tau_4 = 1,90$	$K_3 = 0,33$ $\tau_3 = 1,70$
$V_3 = 6,9$	$K_3 = 0,33$ $\tau_3 = 1,70$	$K_2 = 0,30$ $\tau_2 = 2,95$	$K_1 = 0,27$ $\tau_1 = 5,54$	$K_4 = 0,37$ $\tau_4 = 1,90$
$V_4 = 8,2$	$K_4 = 0,37$ $\tau_4 = 1,90$	$K_3 = 0,33$ $\tau_3 = 1,70$	$K_2 = 0,30$ $\tau_2 = 2,95$	$K_1 = 0,27$ $\tau_1 = 5,54$

ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების ადეკვატურობის დროს პირველი დამოკიდებულებით მხები ძაბვის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 3.4.3.

მხები ძაბვების ცვლილების დინამიკა

ცხრილი 3.4.3.

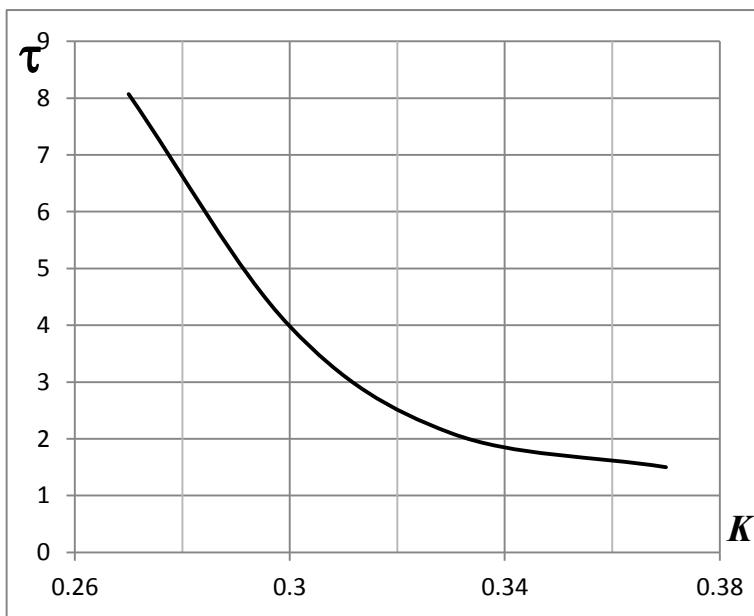
მხები ძაბვების მნიშვნელობების ლოგარითმები				ჯამი	საშუალო	τ , გრ/სმ ²	V , სმ/წმ
კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი
0.7440	0.413	0.320	0.690	1.79	0.45	2.80	4.3
0.4700	0.839	0.134	0.440	1.89	0.47	2.96	5.6
0.2200	0.559	0.964	0.250	2.00	0.50	3.16	6.9
0.2718	0.305	0.680	1.081	2.34	0.58	4.50	8.2
კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი	კოეფიციენტი
1.70	0.43	0.50	0.5	3.630	0.91	8.07	0.27
1.74	0.44	1.0	1.0	2.398	0.59	3.98	0.30
2.09	0.52	1.5	1.5	1.290	0.32	2.10	0.33
2.47	0.62	2.0	2.0	0.710	0.18	1.50	0.37

ცხრილში 3.4.3 მოცემული მნიშვნელობებით აგებული იქნა $\tau = f(K)$, $\tau = f(V)$ და $\tau = f(\Delta/d)$ -ს დამოკიდებულებათა გრაფიკები (ნახ. 3.4.1, ნახ. 3.4.2, ნახ. 3.4.3), რომლის აპროქსიმაციით მიღებულია საანგარიშო ფორმულები

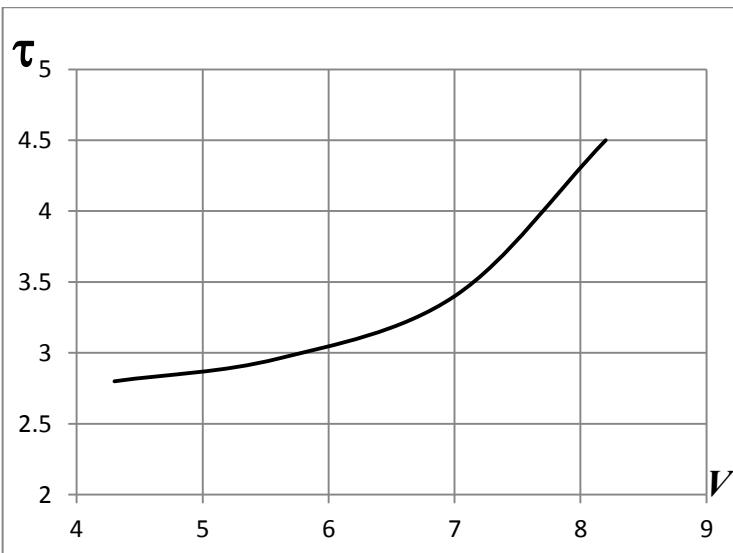
$$f(K) = 0,0045K^{-5,72}; \quad (3.4.2)$$

$$f(V) = 0,000024V^{5,08} + 2,77; \quad (3.4.3)$$

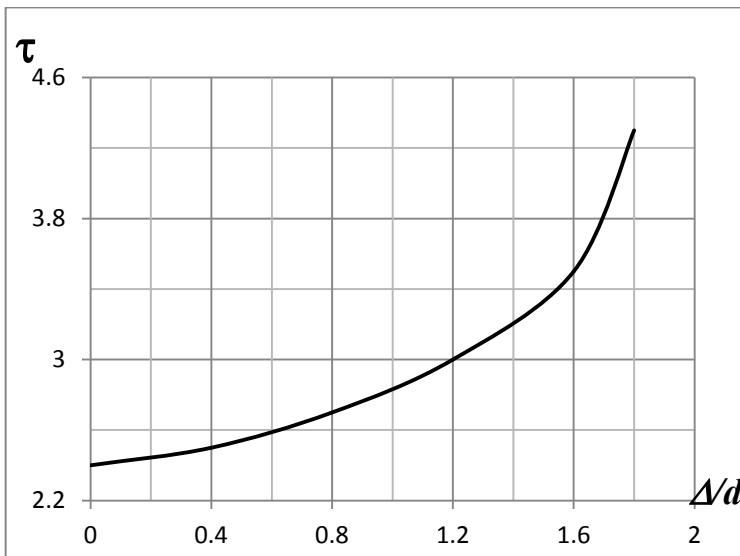
$$f(\Delta/d) = 2,50 + 0,18\left(\frac{\Delta}{d}\right)^{3,266}. \quad (3.4.4)$$



ნახ. 3.4.1. $\tau = f(K)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.4.2. $\tau = f(V)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.4.3 $\tau = f(\Delta/d)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.

3.4.2, 3.4.3 და 3.4.4-ში ფუნქციური დამოკიდებულებების 3.4.1-ში შეტანით, კოეფიციენტის გათვალისწინებით, შესაბამისი გარდაქმნებით და გამარტივებით, სრული მხები ძაბვის საანგარიშო დამოკიდებულებებს ექნება სახე:

$$\tau = \frac{\left(0,00112 + 0,00008 \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{3,266}\right) (2,77 + 0,000024 V^{5,08})}{K^{5,72}}. \quad (3.4.5)$$

ექსპერიმენტით ფიქსირებულ მნიშვნელობებსა და ფორმულით გაანგარიშებულ სიდიდეებს შორის თანხვედრის კოეფიციენტი 0,996-ის, საშუალო კვადრატული გადახრა 0,004-ის, ხოლო საშუალო კვადრატული ცდომილება 0,001-ის ტოლია.

მოცემული ალბათობისათვის გენერალური N -დან საშუალო ცდომილების მინიმალური მნიშვნელობა 0,097-ის, მაქსიმალური კი 0,099-ის ტოლია.

ლიტერატურა

1. **Беручашвили Г.М. Кокоришвили В.И.**, Некоторые результаты исследования селевых потоков. Труды КазНИГМИ, 1969, вып.33, с.42-62.
2. **Вардугин В.Н.**, Основные физико-механические свойства селеформирующих грунтов и селевых отложений в бассейне р. Чемолган. Селевые потоки. Сб.1. М.: Гидрометеоиздат, 1976, с.25-35.
3. **Зедгенидзе И.Г.**, Ведение и планирование эксперимента. Изд-во ГПИ, Тбилиси, 1975, 179 с.
4. **Кухалашвили Э.Г.**, Исследование основных показателей, предопределяющих равновесие и движение селевых потоков высокой плотности. Автореферат дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук. Тбилиси, 1985. 22 с. (Тбилисский госуд. ун-т).
5. **Кухалашвили Э.Г., Круашвили И.Г., Мирцхулава З.Ц.**, Показатели предельного равновесного состояния селевой массы. Сообщения АН Груз. ССР, Тбилиси, 1985, т. 120. №2, с. 373-376.
6. **Тевзадзе В.И., Кухалашвили Э.Г., Квирквелия И.Б.**, Расчет параметров связного селевого потока. Гидротехника и мелиорация, 1982, N 8, с.42-44.
7. **Яно К., Даидо А.**, Фундаментальные исследования грязекаменных потоков. Труды института защиты от стихийных бедствий. Т. 14, часть 2, Киото, 1985, с. 69-93.
8. **Яно К., Даидо А.**, Фундаментальные исследования грязекаменных потоков содержащих обломки горных пород. Сообщения 3., М.: 1966, 32 с.
9. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.**, Прикладные задачи теории вероятностей. Радио и связь, М., 1983, 414 с.
10. **Bunte K., Potyond J., P., Abt S.**, Sampler size and sampling time affect measured bedload transport rates and particle sizes measured with bedload traps in gravel-bed streams, [in]: Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Technological and Methodological Advances. J. Bogen, T. Fergus and

- D.E. Walling (eds.), IAHS-Publication No. 283, 2003, pp. 126–133.
11. **Dewolfe V.**, An evaluation of erosion control methods after wildfire in debris-flow prone areas. M.S. thesis, Colorado School of Mines, Golden, CO. 2006, 185 p.
 12. **Lin P.-S. & Lee J.-H.**, Risk assessment of potential debris flows in the watershed of the Chen-Yu-Lan River. Debris flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection, Proceedings of the Int. Conference, Pyatigorsk. 2008. pp. 62-65.
 13. **Scotto di Santolo, A., Pellegrino, A. M. & Evangelista, A.**, Experimental study on the rheological behaviour of debris flow material in Campania region, Fifth International Conference on Computational and Experimental Methods in Multiphase and Complex Flow, New Forest, 2009, pp. 305-316.
 14. **Takahashi T.**, Debris flow. Taylor & Francis Group, London, UK. 2007. 465 p.

თავი 4. ბმული ღვარცოფის ჩამოყალიბის პირობები

4.1. ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმების შეფასება ზღვრული დაძაბულობის თეორიის საფუძველზე

ღვარცოფწარმომქმნელი ტანის დაძაბული მდგომარეობის შეფასება და წონასწორული რღვევის საწინააღმდეგო ღონისძიებათა შერჩევა ჩამომეწყრის შესაძლო ზედაპირის ფორმით განისაზღვრება, რომელიც ძირითადად მათი ბუნებრივი პირობებითაა გამოწვეული.

ეროზიულ ღრანტებში დაგროვილი ღვარცოფის ტანის წონასწორული მდგომარეობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების პროგნოზით შესაძლებელია მათი მდგრადობის რღვევის გამომწვევი მიზეზების ფორმულირება.

ღვარცოფის ტანის წონასწორობის რღვევის ზედაპირების ფორმა მეტწილად რეალური ბუნებრივი პირობების იდენტურია, ამიტომ ჩამომეწყვრის პროცესის პროგნოზირება ხშირად შეუძლებელი ხდება.

ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვილი მყარი მასის მდგრადობა სტრუქტურული კავშირების ბმულობით და შინაგანი ხახუნის კუთხითაა განპირობებული [3]. წარმოდგენილ ფაქტორთა ცვლილების დიაპაზონი ღვარცოფის ტანის შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობით განისაზღვრება, რაც თეორიული და ბუნებაში ფიქსირებული ღვარცოფების კვლევის ანალიზით დასტურდება. ღვარცოფთა სპექტრიდან კონცენტრირებული მნიშვნელობების განსხვავებულობით და დინამიკური მაჩვენებლების ცვლილების განსაკუთრებულად მაღალი სიმკვრივით გამოირჩევა ე.წ. ბმული

ღვარცოფები, რომელთა წარმოშობის და მოძრაობის დაწყების დამატებითი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა თანა-მედროვეობის ერთ-ერთ აქტუალურ საკითხად რჩება.

კვლევის ძირითად მიზანს ღვარცოფის წარმოშობის კერებში დაგროვილი მყარი მასის ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის შესაბამისი შესაძლო ჩამომეწყრის და ნარჩენ მასას შორის გამავალი ზედაპირის მოხაზულობის ფორმის ცვლილების კანონზომიერების პროგნოზირება წარმოადგენს.

გარკვეული სამეცნიერო პუბლიკაციების მიუხედავად, ღვარცოფული პროცესების განმსაზღვრული კრიტერიუმების შესწავლაში და მათი საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანის მცდელობაში მოვლენის სირთულისა და გააქტიურების, გავლენის ზონების ზრდის გამო ვერ მიიღო დასრულებული სახე, რის გამოც საპროექტო და სამშენებლო დაწესებულებები სრულყოფილი სამედო რეკომენდაციების დეფიციტს დღესაც განიცდის.

ექსპერიმენტულ დანადგარებზე და ბუნებაში ფიქსირებული კვლევის შედეგების მასალების ანალიზით დასტურდება, რომ ღვარცოფული ტანის და გრუნტების წონასწორობის რღვევის ამოცანებს შორის ბევრია საერთო.

ემპირიული გზით მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულებები ყოველთვის სრულად ვერ აღწერს პროცესის კანონზომიერებებსა და აქედან გამომდინარე, ღვარცოფის ტანის წარმოშობის და მოძრაობის საკითხების შესწავლა აუცილებელია მრავალფაზიანი გარემოს მექანიკის კანონების საფუძველზე მოხდეს.

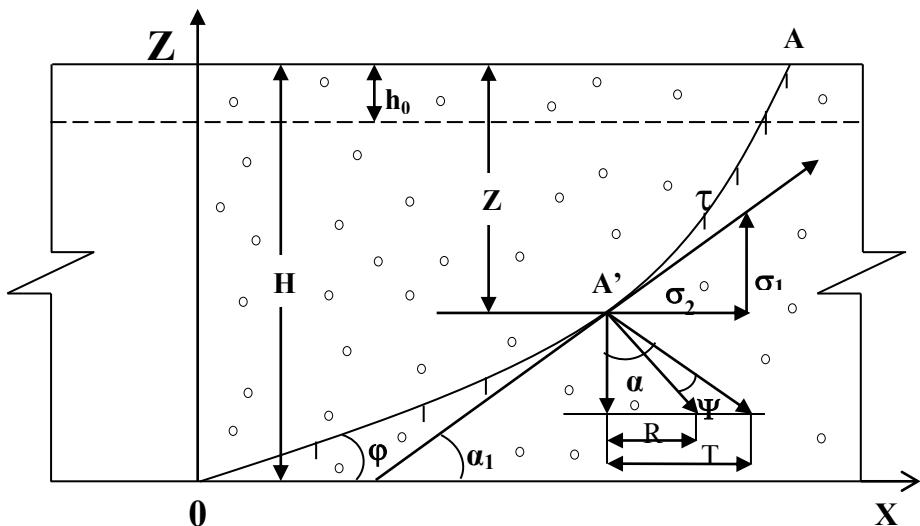
ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვილი ღვარცოფწარმომქმნელი ტანის დაძაბული მდგომარეობის შეფასებისთვის, მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ ხაზოვნად დეფორმირებადი სხეულების თეორია, ღრეკადობის თეორიის განტოლებები და დამოკიდებულებები. ამოცანის გადაწყვეტის დროს მიღებულია შემდეგი დაშვებები: ღვარცოფწარმომქმნელი მასის მდგრადო-

ბის რღვევა ან მთლიანად დაძვრა შეიძლება განხორციელდეს როგორც კერის ქანობის ცლილებით, ასევე მისი ტანის წყლით შევსებით.

ღვარცოფურმომქმნელი მასის სიღრმეში აღებულ ნებისმიერ ზედაპირზე, სადაც მთავარ ძაბვებს შორის სხვაობა ზღვრულ მნიშვნელობას მიაღწევს, იწყება მისი ტანის უწყვეტი გარემოს რღვევა და ერთი ნაწილის მეორეს მიმართ გადაადგილება. ცურვის ზედაპირი მთავარი ძაბვების მიმართულებასთან შეიძლება დახრილი იყოს სხვადასხვა კუთხით, ეს უკანასკნელი კი განსაზღვრავს ჩამოცურების ზედაპირის ფორმას.

ამოცანის გადაწყვეტის დროს მხედველობაში მიიღება, რომ წონასწორული მდგომარეობის დროს მდგრადობის კოეფიციენტი $n = 1$, ხოლო ძვრის და შინაგანი ხახუნის კუთხე ერთმანეთის ტოლია, ანუ $\alpha = \varphi$. ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვილი ღვარცოფურმომქმნელი მასა ხასიათდება H სიმაღლით და კერის პორიზონტალური ზედაპირით. წონასწორული რღვევის მომენტი შეესაბამება პირობას $H > h_0$.

ღვარცოფურმომქმნელი გრუნტის წონასწორობის რღვევის ზედაპირის ფორმა და მოხაზულობა შეიძლება შესწავლითი იქნეს ნახაზზე 4.1.1 მოცემული საანგარიშო სქემის მიხედვით [3]. საანგარიშო სქემის მიხედვით ღვარცოფის მასის უწყვეტი ტანის რღვევის ზონაში წარმოიქმნება გამყოფი $OA'A$ ზედაპირის სიბრტყე. ცურვის $OA'A$ ზედაპირის აღებულ A' წერტილზე წარმოიქმნება ნორმალური და მხები ძაბვის სისტემა, რომლის მოქმედების ეფექტი H სიმაღლით და C^* ბმულობით განისაზღვრება.



ნახ. 4.1.1. ბმული ღვარცოფის ტანის ზღვრული წონასწორობის რღვევის საანგარიშო სქემა.

აღებულ A' წერტილში მხებ და ნორმალურ ძაბვებს შორის დამოკიდებულება გამოისახება კულონის განტოლებით:

$$\tau = \sigma_n \tan \varphi + C^*, \quad (4.1.1)$$

სადაც τ, σ_n არის განსახილველ წერტილში მხები და ნორმალური ძაბვა;

φ - ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხე;

C^* - ბმულობა.

როგორც დრეკადობის თეორიიდან არის ცნობილი, მხები და ნორმალური ძაბვების კავშირი მთავარ ძაბვებთან გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha, \quad (4.1.2)$$

ხოლო

$$\sigma_n = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha. \quad (4.1.3)$$

ზღვრული წონასწორობის დროს, რადგან $\varphi = \alpha$, მივიღებთ:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha = (\sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha) \tan \alpha + C^*. \quad (4.1.4)$$

ბმულობის თვისებიდან გამომდინარე, ნებისმიერი სიმძლავრის მქონე ღვარცოფწარმომქმნელი მასის ტანი შეიძლება გაყოფილი იქნეს ორ ზონად: პირველი – სადაც ძვრის ზედაპირების წარმოქმნა არ ხდება და ღვარცოფწარმომქმნელი ტანის გვერდები ინარჩუნებს ვერტიკალურ მდგომარეობას; მეორე – წარმოადგენს პირველი ზონის გაგრძელებას, სადაც ირღვევა ზღვრული წონასწორობა. აქედან გამომდინარე, ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა:

$$\sigma_2 = \gamma \cdot H \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) - 2C^* \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right). \quad (4.1.5)$$

ბმული ღვარცოფის ის ნაწილი, რომელიც ინარჩუნებს წონასწორობას, აკმაყოფილებს პირობას $\sigma_2 = 0$ და $H = h_0$ და შესაბამისი ბმულობის მნიშვნელობაა:

$$C^* = \frac{\gamma h_0}{2} \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right). \quad (4.1.6)$$

რადგან $\alpha = \varphi$ და $\tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} - \tan \alpha$ -ს,

მათი მნიშვნელობების ჩასმით 4.1.4-ში, 4.1.6-ის გათვალისწინებით და სათანადო გამარტივებებისა და გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

$$2\sigma_2 \tan \alpha = -\gamma \cdot h_0 \left(\sqrt{1 + \tan^2 \alpha} - \tan \alpha \right). \quad (4.1.7)$$

გვერდითი წნევის კოეფიციენტის ξ -ის გათვალისწინებით აქტიური ძაბვის მნიშვნელობა იქნება:

$$\sigma_2 = \sigma_1 \xi, \quad (4.1.8)$$

სადაც

$$\xi = \frac{H - h_0}{H} \left(\sqrt{1 + \tan^2 \alpha} - \tan \alpha \right). \quad (4.1.9)$$

ძაბვების სიღრმეში განაწილების კანონიდან:

$$\sigma_1 = \gamma(H - Z). \quad (4.1.10)$$

თუ 4.1.9-ს და σ_1 -ის მნიშვნელობას გავითვალისწინებთ 4.1.7-ში, მივიღებთ:

$$\tan \alpha = \frac{h_0}{H - h_0} \frac{H}{2(H - Z)} / \sqrt{1 + \frac{h_0}{H - h_0} \frac{H}{2(H - Z)}}. \quad (4.1.11)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $m = \frac{h_0 H}{H - h_0}$ და მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\frac{dz}{zx} = \tan \alpha$, ვვეჯება:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{m\sqrt{H - Z}}{2(H - z)\sqrt{H - z + m}}, \quad (4.1.12)$$

ე.ო.

$$\int dx = \frac{2}{m} \int \sqrt{Z^2 - (2H + m)Z + H(H + m)} dZ + G. \quad (4.1.13)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას:

$$b = -(H + m), \quad C = H(H + m), \quad x = L,$$

მივიღებთ:

$$L = \frac{2}{m} \int \sqrt{Z^2 + bZ + CdZ + G}. \quad (4.1.14)$$

რადგან 4.1.14-ში:

$$a > 0, \Delta = 4ac - b^2 > 0,$$

$$K = \frac{4}{4H(H + m) + (2H + m)^2},$$

ინტეგრირებით მივიღებთ:

$$L = \frac{2}{m} \left[\frac{(2Z + b)\sqrt{Z^2 + bZ + C}}{4} + \frac{4H(H + m) - (2H + m)^2}{8} \right] + Arsh \frac{2Z + b}{\sqrt{4H(H + m) - (2H + m)^2}} + G. \quad (4.1.15)$$

თუ, შემოვიღებთ აღნიშვნას:

$$N = 4H(H + m) - (2H + m)^2$$

და მხედველობაში მივიღებთ, რომ:

$$Arsh L = \ln(L + \sqrt{1 + L^2}),$$

გვექნება:

$$L = \frac{(2Z+b)\sqrt{Z^2+bZ+C}}{2m} + \frac{N}{4m} \ln \left(\frac{2Z+b+\sqrt{(2Z+b^2)+N}}{\sqrt{N}} \right) + G. \quad (4.1.16)$$

ინტეგრირების G მუდმივას განსაზღვრა ხდება პირობიდან $Z = 0, z = 0$, ე.ო.:

$$G = -\frac{b\sqrt{C}}{2m} - \frac{N}{4m} \ln \frac{\sqrt{b^2 + N}}{\sqrt{N}}. \quad (4.1.17)$$

4.1.17-ის გათვალისწინებით 4.1.16-ში ძვრის ზედაპირის წირის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$L = \frac{(2Z+b)\sqrt{Z^2+bZ+C} - b\sqrt{C}}{2m} + \frac{N}{4m} \ln \left(\frac{2Z+b+\sqrt{(2Z+b^2)+N}}{b+\sqrt{b^2+N}} \right). \quad (4.1.18)$$

ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის წონასწორობის რღვევის გავრცელების ზონები მისი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით, მოცემულია ცხრილებში 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 და 4.1.4, ხოლო თვალსაჩინოების მიზნით, როცა ღვარცოფწარმომქმნელი ჭანის სიმაღლე $H = 15$ მ-ს, $\alpha = 0^\circ$, ბმულობა $G = 4$ ტ/მ² და $\gamma = 2$ ტ/მ², ნახაზზე 4.1.2. მოყვანილია ზღვრული წონასწორობის ზედაპირის მრუდები შინაგანი ხახუნის კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს. ცურვის ზედაპირის სიმრუდე დამძვრელი ძაბვის ეფექტის განმსაზღვრული მჩვენებელია და, როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ფუძისკენ იგი თითქმის წრფის მიმართულებით მიისწრაფვის, ხოლო ღვარცოფწარმომქმნელი მასივის ზედაპირზე თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს.

**ბმული ღვარცოფის წონასწორობის რღვევის შესაძლო
ფორმები**

ცხრილი 4.1.1.

საწყისი მონაცემები	$\gamma = 2 \frac{\dot{\theta}}{\theta^3}, C = 4 \frac{\dot{\theta}}{\theta^2}, H = 15 \text{ } \delta, \varphi = 5^\circ, m = 6.13 \text{ } \delta,$ $h_0 = 4.35 \text{ } \delta.$			
$b = -2(H + m)$	-36,3			
$C = H(H + m)$	319,95			
$N = 4H(H + m) - (2H + m)^2$	-37,6			
Z				
$K_1 = 2Z + b$				
Z^2				
bZ				
$K_2 = \sqrt{Z^2 + bZ + C}$	17,80	0	0	-36,13
$K_3 = b\sqrt{C}$	11,0	15,76	-72,26	4
$L_1 = (K_1 K_2 - K_3)/2m$	21,0	13,72	-144,5	16
$K_4 = (4C - b^2)/4m$	29,5	11,66	-216,8	36
$K_5 = \sqrt{CK_1^2 + N} + N$	86,7	9,58	-289,0	64
$K_6 = b + \sqrt{b^2 + N}$	-0,95	-0,95	-1,53	-643,22
$L_2 = K_4 \ln(K_5/K_6)$	-0,91	-0,91	-0,52	
$X = L_1 + L_2$	0,0	0,0	-0,52	
	10,98	-0,18	-0,59	
	20,61	-0,37	-0,67	
	28,89	-0,62	-0,79	
	35,82	-0,91	-0,95	
	41,41	-1,25	-1,21	
	45,39	-1,89	-1,66	
	48,70	-3,76	-6,13	
			0,00	-542,0
				225
				-6,13
				15

**ბმული ღვარცოფის წონასწორობის რღვევის შესაძლო
ფორმები**

ცხრილი 4.1.2.

საწყისი მონაცემები	$\gamma = 2 \frac{\Phi}{\partial^3}, C = 4 \frac{\Phi}{\partial^2}, H = 15 \text{ } \partial, \varphi = 15^\circ, m = 7.97 \text{ } \partial,$ $h_0 = 5.2 \text{ } \partial.$									
$b = -2(H + m)$	-37,97									
$C = H(H + m)$	-344,55									
$N = 4H(H + m) - (2H + m)^2$	-63,5									
Z										
$K_1 = 2Z + b$	18,56	0	0	-37,97	0					
Z^2	16,51	-75,94	4	-33,97	2					
bZ	14,44	-151,9	16	-29,97	4					
$K_2 = \sqrt{Z^2 + bZ + C}$	12,36	-227,8	36	-25,97	6					
$K_3 = b\sqrt{C}$	-704,8									
$L_1 = (K_1 K_2 - K_3)/2m$	17,1	10,23	-303,8	64	-21,97	8				
$K_4 = (4C - b^2)/4m$	24,1	30,1	-303,8	64	-21,97	8				
$K_5 = \sqrt{CK_1^2 + N} + N$	16,57	-1,07	-1,25	-1,49	35,1	8,05	-307,97	100	-17,97	10
$K_6 = b + \sqrt{b^2 + N}$	-0,84									
$L_2 = K_4 \ln(K_5/K_6)$	23,27	-0,80	-1,17	-1,49	39,2	5,74	-455,6	144	-13,97	12
$X = L_1 + L_2$	28,94	-1,62	-1,86	-1,86	42,2	0,00	-569,6	225	-7,97	15

**ბმული ღვარცოფის წონასწორობის რღვევის შესაძლო
ფორმები**

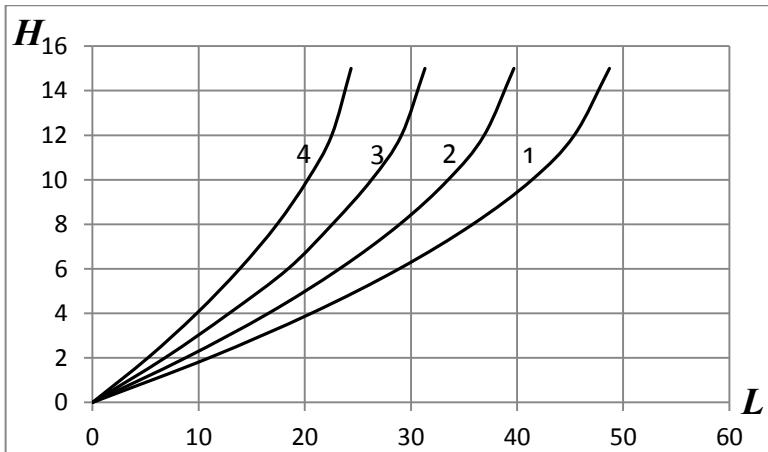
ცხრილი 4.1.3.

საწყისი მონაცემები	$\gamma = 2 \frac{\Phi}{\partial^3}, C = 4 \frac{\Phi}{\partial^2}, H = 15 \text{ ბ}, \varphi = 25^\circ, m = 11 \text{ ბ},$ $h_0 = 6,35 \text{ ბ}.$					
$b = -2(H + m)$	-41,0					
$C = H(H + m)$	390,0					
$N = 4H(H + m) - (2H + m)^2$	-121,0					
Z						
$K_1 = 2Z + b$	0,0	19,74	0	-41,0	0	
Z^2						
bZ						
$K_2 = \sqrt{Z^2 + bZ + C}$	7,10	17,66	-82	4	-37,0	2
$K_3 = b\sqrt{C}$	13,4 8	15,55	-164	16	-33,0	4
$L_1 = (K_1 K_2 - K_3)/2m$	19,4 1	13,42	-246	36	-29,0	6
$K_4 = (4C - b^2)/4m$	-809,7					
$K_5 = \sqrt{CK_1^2 + N} + N$	24,0 5	11,22	-328	64	-25,0	8
$K_6 = b + \sqrt{b^2 + N}$	-1,50					
$L_2 = K_4 \ln(K_5/K_6)$	28,2 7	8,94	-410	100	-21,0	10
$X = L_1 + L_2$	-3,11 -4,03	31,8 0	6,48	-492	144	-17,0
	22,59 -1,45	36,8 0	0,00	-615	225	-11,0
	26,29 -2,69	36,8 0				15
	29,11 31,32					

**ბმული ღვარცოფის წონასწორობის რღვევის შესაძლო
ფორმები**

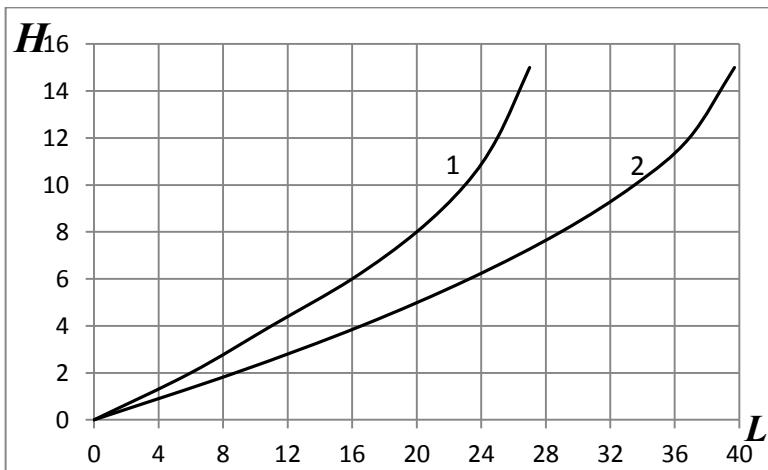
ცხრილი 4.1.4.

საწყისი მონაცემები		$\gamma = 2 \frac{\dot{\theta}}{\theta^3}, C = 4 \frac{\dot{\theta}}{\theta^2}, H = 15 \text{ გ}, \varphi = 35^\circ, m = 15 \text{ გ}, h_0 = 7,7 \text{ გ}.$					
$b = -2(H + m)$		-45,8					
$C = H(H + m)$		462,0					
$N = 4H(H + m) - (2H + m)^2$		-249,6					
Z							
$K_1 = 2Z + b$		0,0	21,49	0	-45,8	0	
Z^2		5,56	19,34	-91,6	4	-41,8	2
bZ		10,61	17,17	-183,2	16	-37,8	4
$K_2 = \sqrt{Z^2 + bZ + C}$		14,93	14,93	-274,8	36	-33,8	6
$K_3 = b\sqrt{C}$		12,63	12,63	-366,4	64	-29,8	8
$L_1 = (K_1 K_2 - K_3)/2m$		19,24	19,24	-984,4			
$K_4 = (4C - b^2)/4m$		22,83	22,83	10,19	-458,0	100	-25,8
$K_5 = \sqrt{CK_1^2 + N + N}$		25,97	25,97	7,51	-549,6	144	-21,8
$K_6 = b + \sqrt{b^2 + N}$		31,15	31,15	0,00	-687,0	225	-15,8
$L_2 = K_4 \ln(K_5/K_6)$		20,27	20,27	-2,56			
$X = L_1 + L_2$		22,54	22,54	-3,43			
		23,36	23,36	-6,79			



ნახ. 4.1.2. $L = f(H_16, \varphi)$ დამოკიდებულების გრაფიკი:

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



ნახ. 4.1.3. $H = f(L)$ დამოკიდებულების გრაფიკი, როცა:

$$\gamma = 2\partial/\partial^3, C^* = 4\partial/\partial^2, \varphi = 15^\circ, h_0 = 5.2\partial$$

- 1.6. მასლოვის ფორმულის მიხედვით;
2. (4.1.18) ფორმულის მიხედვით.

ანალოგიური ამოცანები გადაწყვეტილი იქნა ნ. მასლოვის მიერ [35]. (4.1.18) საანგარიშო დამოკიდებულებით მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა ნ. მასლოვის ფორმულით გაანგარიშებულ შედეგებს, რომლის გრაფიკული ილუსტრაცია მოყვანილია ნახაზზე 4.1.3.

(4.1.18) და ნ. მასლოვის ფორმულით მიღებულ შედეგებს შორის განსხვავება მოთავსებულია ნორმატივებით გათვალისწინებულ საზღვრებში.

4.2. ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის წონასწორობის რღვევის განსაზღვრა ხარისხობრივი ფუნქციების გამოყენებით

ღვარცოფსაცავების პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერების დადგენა და გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფა ისეთ ოპერატიულ საშუალებებს მოითხოვს, რომლის გამოყენებით სრულყოფილად აღწერილი იქნება მასში განთავსებული ღვარცოფული მასის მდგრადობის ღვევისა და დაძვრის პროცესის მექანიზმი.

ამასთან ერთად, კერიდან ღვარცოფის დაგრა მრავალი ურთიერთმართვადი ფაქტორის ფუნქციას წარმოადგენს და პროცესის მექანიზმის სრულად წარმოდგენა გარკვეული კატეგორიის შუალედური ამოცანების გადაწყვეტის აუცილებლობას საჭიროებს.

შუალედურ ამოცანათა შორის განსაკუთრებული ადგილი წონასწორობის რღვევის კვლევას და მათი მათემატიკური მოდელირების საკითხების დაზუსტებას უკავია. ღვარცოფული ტანის წონასწორობის რღვევის შეფასების დროს პირველი მიახლოებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ხარისხობრივი

ფუნქციები. კვლევის ძირითად მიზანს ღვარცოფსაცავში დაგროვილი ღვარცოფწარმოქმნელი მასის მოძრაობის დაწყების სიჩქარის, სიმაღლის და ხარჯის დროსთან კავშირში ცვლილების კანონზომიერების დაზუსტება წარმოადგენს.

როგორც ბუნებაში ჩატარებული კვლევის მასალები ადასტურებს, კერებში ჩამოყალიბებული ღვარცოფწარმოქმნელი მასის ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის შესაძლო დარღვევის დროს ჩამომეწყრილ და ნარჩენ მასას შორის გამავალი ზედაპირების წირი არის არაწრფივი და მისი მრუდწირულობა ფიზიკურ-მექანიკურ და რეოლოგიურ მახასიათებლებთან არის დაკავშირებული.

ზემოთ აღნიშნულთან ერთად კვლევის არსებული მასალები, სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით, ადასტურებს, რომ ღვარცოფის მასის დაძვრა, მისი მახასიათებლების ცვლილების პროგნოზირების შესწავლის დონე, მიუხედავად პრობლემისადმი მიძღვნილი უამრავი სამეცნიერო შრომებისა, იმდენად დაბალია, რომ საპროექტო დაწესებულებები და სამშენებლო ორგანიზაციები დღესაც განიცდის სამედი რეკომენდაციების დეფიციტს ღვარცოფსაწინააღმდეგო პროექტების გადაწყვეტის დროს.

ღვარცოფულ კერებში, ეროზიულ ღრანტეებში, გამოტანის კონუსებზე განთავსებული ღვარცოფული მასის ბმული მდგომარეობის შესწავლის სურათიდან გამოვლინდა ზღვრულ წონასწორობაში მყოფი ღვარცოფის ზედაპირზე გამავალი წირის მრუდის ფორმა. აღმოჩნდა, რომ ღვარცოფწარმოქმნელი მასის სიღრმესა და გავრცელების ზონის სიგრძეს შორის კავშირი მრუდწირულია და მისი ფორმის ნათლად წარმოჩენის მიზნით ამ კავშირის აღწერა შეიძლება ხარისხობრივი დამოკიდებულებით, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$Y = ax^b, \quad (4.2.1)$$

სადაც a და b არის კოეფიციენტი და ხარისხის მაჩვენებელი, რომელთა სიღიდე ღვარ-

- ცოფთა რეოლოგიურ და ფიზიკურ-
მექანიკურ მახასიათებლებთანაა
უშუალოდ დაკავშირებული;
- | | | |
|-----|---|--|
| Y | - | ჩამომეწყვრის სიღრმის ცვლილების
კოორდინატი; |
| x | - | წონასწორული ზედაპირის გავრ-
ცელების ზონის სიგრძე. |

ჩამომეწყვრილი ფართობის სიდიდე, როცა $a > 0, b > 0$
და $x = L$, შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$S = LaL^b - \int_0^L ax^b dx = aL^{1+b} - \frac{aL^{1+b}}{1+b}. \quad (4.2.2)$$

როცა დამოკიდებულებაში (4.2.1), $Y = H, x = L$ და $H = aL^b$, ამიტომ (4.2.2)-ში L -ის სიდიდეს თუ გამოვსახავთ ღვარცოფწარმომქმნელი მასის H სიღრმით, გვექნება:

$$S = \frac{ab}{1+b} \left(\frac{H}{a} \right)^{\frac{1+b}{b}} = \frac{b}{(1+b)a^{\frac{1}{b}}} H^{\frac{1+b}{b}}. \quad (4.2.3)$$

როცა კერის სიგანე 1-ის ტოლია, W ჩამომეწყვრის მოცულობა შეიძლება გაანგარიშებულ იქნას ფორმულით:

$$W = \frac{b}{(1+b)a^{\frac{1}{b}}} H^{\frac{1+b}{b}}. \quad (4.2.4)$$

თეორიული კვლევებით მიღებულია, რომ ღვარცოფული კერიდან დამრული მასის საანგარიშო დამოკიდებულებას ბრტყელი ნაკადის შემთხვევაში, როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა:

$$q = H^{\frac{3}{2}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \varphi g}. \quad (4.2.5)$$

შესაბამისად, დაძრული მასის მოცულობის სიდიდეს t დროის გათვალისწინებით:

$$W = t H^{\frac{3}{2}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \varphi g}. \quad (4.2.6)$$

თუ (4.2.6)-ს გავუტოლებთ (4.2.4)-ს, გვექნება:

$$\frac{b}{(1+b)a^{\frac{1}{b}}} H^{\frac{1+b}{b}} = t H^{\frac{3}{2}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \varphi g}. \quad (4.2.7)$$

(4.2.7) ტოლობაში, როცა $t = t_0$, შეიძლება განსაზღვრულ იქნას დაძვრის t_0 სიდიდე:

$$t_0 = \frac{b}{(1+b)a^{\frac{1}{b}\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)\varphi g}}}. \quad (4.2.8)$$

დამოკიდებულებაში (4.2.8) t_0 დროის განსაზღვრა სპეციალური კვლევების ან ექსპერიმენტების ჩატარებას საჭიროებს.

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში მასის წონასწორობის მდგომარეობის განმსაზღვრელი ფაქტორები განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს მოძრაობის დაწყებაზე და დაძრული მასის მახასიათებლების დროში ცვლილების კანონზომიერებებზე.

კვლევის არსებული სტატისტიკური მასალების საფუძველზე ღვარცოფსაცავებში ჩამოყალიბებული ღვარცოფის მასის გარღვევის შემთხვევაში მისი მახასიათებლების ცვლილება, კერძოდ, მოცულობის დროსთან კავშირი შეიძლება აღწერილ იქნას დიფერენციალური განტოლებით, ე.ი., მოცულობის ცვლილების პროგნოზირების დროს სასაზღვრო პირო-

ბების გათვალისწინებით აღნიშნული პროცესის საანგარიშოდ შერჩეულ მოდელს აქვთ სახე:

$$\frac{dW}{dt} = -q, \quad (4.2.9)$$

სადაც q არის ღვარცოფსაცავიდან დაძრული ნაკადის ხარჯი;

t - ღვარცოფსაცავის დაცლის დრო.

რადგან ღვარცოფსაცავიდან დაძრული მასის მოცულობა დროისა და ხარჯის ნამრავლის ფუქნციას წარმოადგენს, ე.ი.:

$$dw = d(qt) = qdt + t dq, \quad (4.2.10)$$

(4.2.10) დამოკიდებულების ინტეგრირების საფუძველზე გვექნება:

$$-2 \ln t = \ln q + c. \quad (4.2.11)$$

განტოლებაში (4.2.11), როცა $t = t_0, W = W_0, q = q_0$, $c = 2 \ln t_0 + \ln q$ მივიღებთ:

$$\left(\frac{t}{t_0} \right)^2 = \frac{q}{q_0}. \quad (4.2.12)$$

როგორც განტოლება (4.2.4) გვიჩვენებს, ღვარცოფსაცავიდან ჩამომეწყრილი მყარი მასის მოცულობას სილრმეს-თან ხარისხობრივი დამოკიდებულება გააჩნია. თუ შემოვიღებთ

აღნიშვნას $\frac{b}{(1+b)a^{\frac{1}{b}}} = A$ და $\frac{1+b}{b} = K - 1$, მივიღებთ:

$$W = AH^K. \quad (4.2.13)$$

განტოლებაში (4.2.13), როცა $t = t_0$, მაშინ $W = W_0$, $H = H_0$ და $q = q_0$; როცა დრო t -ს ტოლია, მაშინ $W = W_t$, $H = H_t$ და $q = q_t$. დაშვების შესაბამისად, ღვარცოფფარმომ-ქმნელი მასის მოცულობის ცვლილება სილრმეს-თან კავშირში მიიღებს სახეს:

$$W_0 = AH_0^K, \quad (4.2.14)$$

$$W_t = AH_t^K. \quad (4.2.15)$$

შესაბამისად, დაძრული მასის ხარჯების საანგარიშო დამოკიდებულებებს ექნება სახე:

$$q_0 = \frac{AH_0^K}{t_0}, \quad (4.2.16)$$

$$q_t = \frac{AH_t^K}{t_t}. \quad (4.2.17)$$

(4.2.16)-ის და (4.2.17)-ის გათვალისწინებით (4.2.12)-ში, გვექნება:

$$t = t_0 \left(\frac{H_0}{H_t} \right)^K. \quad (4.2.18)$$

დვარცოფულ მასაში წნევის სიღრმეზე განაწილების თავისებურებიდან გამომდინარე მიღებულია, რომ:

$$P = \frac{\gamma H_0^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{H_0} \right)^2 \varphi. \quad (4.2.19)$$

(4.2.19)-ე განტოლების ორივე მხარეს თუ გავყოფთ γ -ზე, მივიღებთ ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის შესაბამის დვარცოფის მოცულობას:

$$W = \frac{H_0^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{H_0} \right)^2 \varphi. \quad (4.2.20)$$

საწყის მომენტში, როცა $t = t_0$, დვარცოფის დაძრული მასის შესაბამისი ხარჯის სიდიდეს ექნება სახე:

$$q_0 = \frac{H_0^2}{2t_0} \left(1 - \frac{h_0}{H_0} \right)^2 \varphi, \quad (4.2.21)$$

ხოლო t მომენტისათვის უწყვეტობის საფუძველზე, ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$q_t = \frac{H_t^2}{2t} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^2 \varphi. \quad (4.2.22)$$

განტოლებას (4.2.21) თუ გავუტოლებთ (4.2.5)-ს, მივიღებთ:

$$H_0^{\frac{3}{2}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right) \varphi g} = \frac{H_0^2}{2t_0} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^2 \varphi. \quad (4.2.23)$$

განტოლებიდან (4.2.23) t_0 დრო, რომელიც დაძვრის საწყის მომენტს შეესაბამება, ტოლი იქნება:

$$t_0 = \frac{1}{2} H_0^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right) \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right) \frac{\varphi}{g}}. \quad (4.2.24)$$

განტოლებიდან (4.2.18) t დროის შესაბამისი H_t ღვარცოფის სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$H_t = H_0 \left(\frac{t_0}{t}\right)^{\frac{1}{K}}. \quad (4.2.25)$$

(4.2.24)-ის გათვალისწინებით (4.2.25)-ში, გვექნება:

$$H_t = \left(\frac{1}{2t}\right)^{\frac{1}{K}} H_0^{\frac{1+2K}{2K}} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^{\frac{3}{2K}} \left(\frac{\varphi}{g}\right) 2^{\frac{1}{K}}. \quad (4.2.26)$$

დაძრული მასის ხარჯის დროსთან კავშირი გამოისახება ფორმულით:

$$q_t = \left(\frac{1}{t}\right)^2 \frac{\varphi}{2} H_0^{\frac{1+2K}{2}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^7 \frac{\varphi}{g}}. \quad (4.2.27)$$

ხოლო დაძრული მასის სიჩქარის დროსთან კავშირს ექნება სახე:

$$V_t = \left(\frac{1}{2t}\right)^{\frac{2K-1}{K}} \varphi H_0^{\frac{2K^2-K-1}{2K}} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^{\frac{7K-3}{2K}} \left(\frac{\varphi}{g}\right)^{\frac{K-1}{K}}. \quad (4.2.28)$$

$$\text{თეორიულად } A\text{-ს } \text{მნიშვნელობაა: } A = \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^2 \varphi,$$

ხოლო $K = 2$ -ს. თეორიულად მიღებული A -სა და K -ს მნიშვნელობების სიზუსტის შემოწმების მიზნით მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ გვესარებებლა საველე ექსპერიმენტული კვლევის მასალებით. ექსპერიმენტული კვლევის მასალად გამოყენებულია მდინარე არაგვის ღვარცოფული ხასიათის შენაკადებზე ნაკადის გავლის შედეგად გამოტანილი მყარი მასალის მონაცემები, რადგან ეს შენაკადები ღვარცოფების შესწავლის თვალსაზრისით კლასიკურ ხასიათს ატარებს. მათ მიერ ღვარცოფული გამოტანის მასის ფორმები, ანუ ჩამომეწყრილი ფართობების კავშირის სახე მის შინაგანი ხახუნის კუთხესთან გრაფიკის სახით მოცემულია ნახაზზე 4.2.1.

უმცირეს კვადრატთა ბეთოდის გამოყენებით β შინაგანი ხახუნის კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ჩამომეწყვერვის ფართობის სიმაღლესთან კავშირი გამოისახება დამოკიდებულით:

$$S_1 = 1.68H^{1.82}, \quad \text{როცა } \beta = 35^\circ; \quad (4.2.29)$$

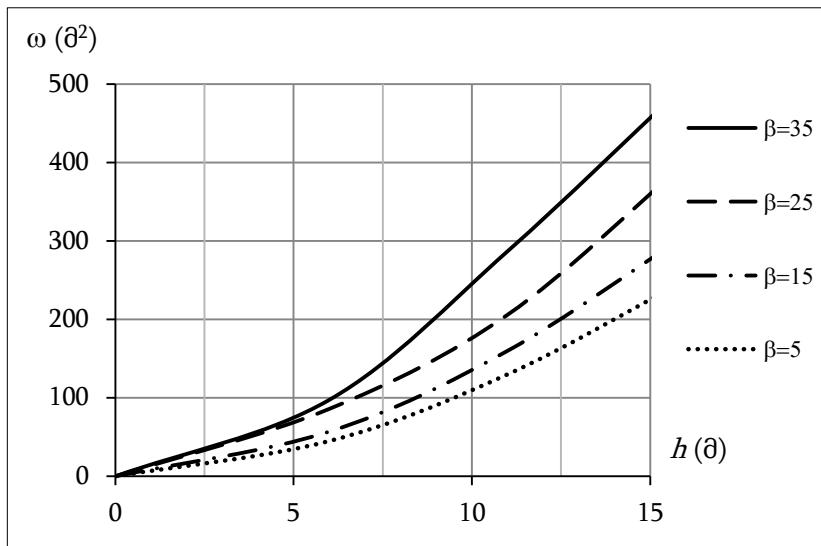
$$S_1 = 2.04H^{1.82}, \quad \text{როცა } \beta = 25^\circ; \quad (4.2.30)$$

$$S_1 = 2.61H^{1.82}, \quad \text{როცა } \beta = 15^\circ; \quad (4.2.31)$$

$$S_1 = 3.37H^{1.82}, \quad \text{როცა } \beta = 5^\circ. \quad (4.2.32)$$

მიღებული განტოლებების საფუძველზე, შესაბამისად, K -ს მნიშვნელობა $K = 1.81$, ხოლო A -ს საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 0.625 \tan \beta}{0.08 + 0.55 \tan \beta} \right)^{0.64}. \quad (4.2.33)$$



ნახ. 4.2.1. $\omega = f(h)$ დამოკიდებულების გრაფიკი,
როცა $\gamma = 2$ ($\text{გ}/\text{მ}^3$).

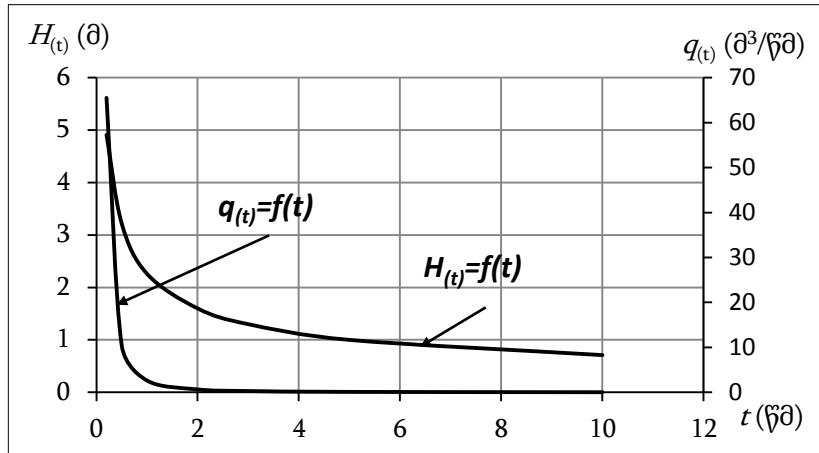
თუ თეორიულად მიღებულ A -სა და K -ს მნიშვნელობებს გავითვალისწინებთ (4.2.26), (4.2.27) და (4.2.28) განტოლებებში, მივიღებთ:

$$H_t = \sqrt{\frac{1}{2t}} H_0^{1.25} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^{0.75} \left(\frac{\varphi}{g}\right)^{0.25}, \quad (4.2.34)$$

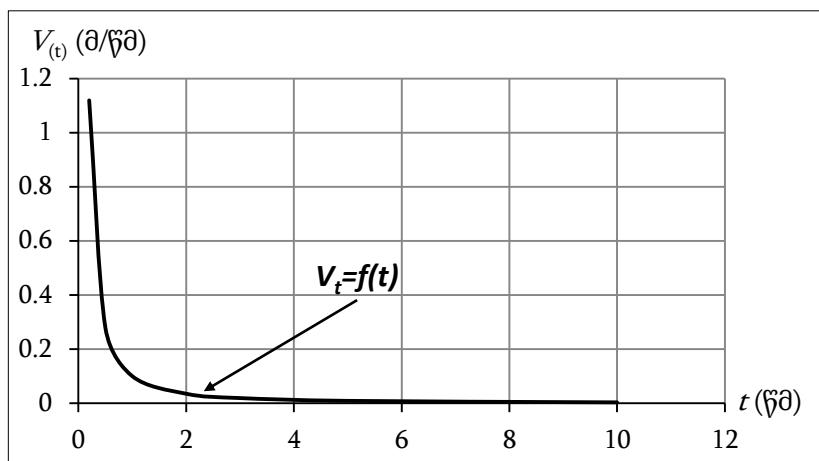
$$q_t = \left(\frac{1}{2t}\right)^2 H_0^{2.5} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^{3.5} \sqrt{\frac{\varphi}{g}}, \quad (4.2.35)$$

$$V_t = \frac{\varphi}{(2t)^{1.5}} H_0^{0.25} \left(1 - \frac{h_0}{H_0}\right)^{2.75} \left(\frac{\varphi}{g}\right)^{0.25}. \quad (4.2.36)$$

თვალსაჩინოების მიზნით, ქვემოთ მოცემულია (ნახაზი 4.2.2. და ნახაზი 4.2.3.) $H_t = f(t)$, $q_t = f(t)$ და $V_t = f(t)$ გრაფიკული დამოკიდებულებები.



ნახა. 4.2.2. $H_t = f(t)$ და $q_t = f(t)$ დამოკიდებულებულებების გრაფიკები, როცა $H_0 = 5$ გ., $\rho = 15^\circ$ და $h_0 = 0.5$ გ.



ნახ. 4.2.3. $V_t = f(t)$ დამოკიდებულებულებების გრაფიკი,
როცა $H_0 = 5$ გ., $\rho = 15^\circ$ და $h_0 = 0.5$ გ.

კვლევის შედეგებმა [8] დაადასტურა, რომ თეორიულად და ექსპერიმენტული მასალის საფუძველზე მიღებულ K -ს მნი-შვნელობებს შორის განსხვავება არ აღემატება 10%-ს.

4.3. ბმული ღვარცოფის დაძვრის ფარდობითი სიღრმის განსაზღვრა

უფერტური ძაბვებით ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვილი მასის გარემოში თუ შინაგანი კავშირები არ ირღვევა, მაშინ იგი ინარჩუნებს უწყვეტი გარემოს მქონე სხეულის თვისებებს.

ღვარცოფული პროცესების კრიტიკული მახასიათებლების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები ძირითადად ზღვრული წონასწორობის და შვედოვ-ბინგამის თეორიულ მოდელებს ეყრდნობა.

ძვრის წინააღმდეგობის მაჩვენებლები ძირითადად განსაზღვრავს ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდაგრადობის პირობებს და გარე ძალების წინააღმდეგობის განმსაზღვრელ მაჩვენებელს წარმოადგენს.

წონასწორული მახასიათებლების ზუსტი შეფასებით შესაძლებელია ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მზიდუნარიანობის შეფასება, ფენებად განლაგებული მასივების მდგრადობისა და ნაგებობებზე ურთიერთქმედების პროგნოზირება.

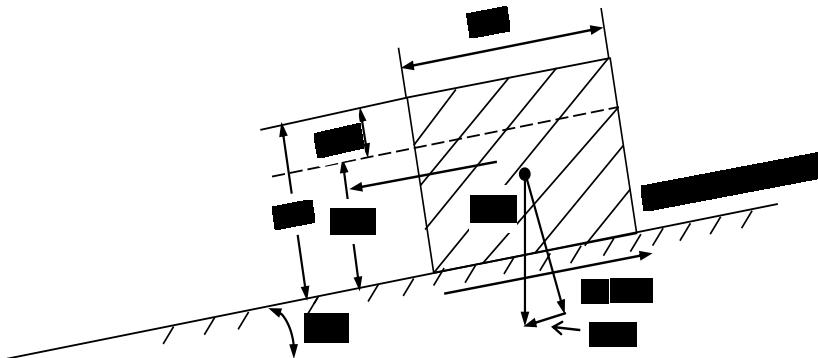
უმეტეს შემთხვევაში ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ან მათი სადინარების გამოტანის კონუსების აკვატორიაზე საინჟინრო ღონისძიებათა სრულყოფილი სქემის შერჩევის დროს აუცილებელია ღვარცოფთა კრიტიკული მახასიათებლების, კერძოდ, დაძვრის, გაჩერების სიღრმეებისა და ქანობის ცოდნა, აქვე უნდა აღნიშნოს, რომ კერებში დაგროვილი ღვარცოფწარ-

მომქმნელი მასის სიღრმეში და მათი გავრცელების ზონებში ძვრისადმი წინააღმდევობის მახასიათებლების და გარე ძალების ეფექტები ერთმანეთს არ შეესაბამება.

ძირითადად დასმული ამოცანის გადაწყვეტის დროს გამოიყენება ზღვრული წონასწორობის თეორია [17] და აქედან გამომდინარე, ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრადობის შეფასება და მოძრაობის დაწყების კანონზომიერების გამოვლენა მათი განმსაზღვრული პარამეტრების პროგნოზირებით ხდება, რაც პრაქტიკის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს.

ბუნებაში ფიქსირებული მოვლენის სტატისტიკიდან გამომდინარე, ღვარცოფული პროცესები ძირითადად ნატან-დატვირთული, ტალახიანი და ქვა-ტალახიანი ნაკადების ფორმების სახით და გავლის სპექტრით არის წარმოდგენილი.

ღვარცოფწარმომქმნელი მასის კერებში ძვრისადმი ჩამოყალიბებული წინაღობის ძალის ცვლილების კანონზომიერება შეიძლება დადგენილ იქნეს ნახ. 4.3.1-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.



ნახ. 4.3.1. ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ჩამოყალიბებული ბმული ღვარცოფის ზღვრული წონასწორობის საანგარიშო სქემა.

ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით წინააღმდეგობის ძაბვა იქნება:

$$\tau = \sigma_n \tan \varphi + C, \quad (4.3.1)$$

საღაც	τ	არის	ძვრის ზედაპირზე წარმოქმნილი მხები ძაბვა;
	σ_n	-	ნორმალური ძაბვა;
	φ	-	ღვარცოფურმოქმნელი გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხე:
	C	-	ღვარცოფურმოქმნელი გრუნტის წინააღმდეგობის ძალა.

ასეთი მიღებომით ზღვრული წონასწორობის პირობებში წინასწარ ნაგულისხმებია ღვარცოფის ტანის სიმკვრივისა და ტენიანობის ეკვივალენტურობა მოქმედი ძალის სიდიდესთან. ეს დაშვება გაცილებით პროდუქტიულია და შეესაბამება მოვლენის არსს, როცა ძვრის პარამეტრები მისი ბუნებრივი სიმკვრივისა და ტენიანობის იდენტურია.

ღვარცოფურმოქმნელი ტანის პორიზონტან α კუთხით დახრის შემთხვევაში:

$$\sigma_n = \frac{P}{l} \cos \alpha. \quad (4.3.2)$$

კერებში განლაგებული ღვარცოფურმოქმნელი გრუნტის ფენებად დაძვრის შემთხვევაში წონასწორობის რღვევის განსაზღვრა გრუნტების მექანიკის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს. წონასწორობის რღვევა ძირითადად გარე მოქმედი ძალის და ღვარცოფის ტანში შინაგანი კავშირების რღვევის ეფექტით ხდება.

წონასწორობა შეიძლება დაირღვეს როგორც ღვარცოფურმოქმნელი გრუნტის ფენის ზრდის შემთხვევაში, ასევე მისი ფორების წყლით სრული შევსებით, კაპილარული ტენის, ეფექტური ხახუნისა და ბმულობის ძალების შემცირებით. წარმოდგენილ ფაქტორთა ეფექტები განსხვავებულია ღვარ-

ცოფწარმომქმნელი გრუნტის დაძაბული მდგომარეობის პირობებში.

ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის H სისქის წარმოდგენა შეიძლება, როგორც მისი ბმულობის და შინაგანი ხახუნის ძალების ეკვივალენტურ სიღრმეთა ინტეგრალური მახასიათებელი.

აქედან გამომდინარე, დაძაბული მდგომარეობის ცვლილების სურათი შეიძლება წარმოჩინდეს შემდეგნაირად: როცა კერებში ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ფენის სიღრმე ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმის შესაბამისია, მაშინ იგი ინარჩუნებს ისეთი სხეულის თვისებებს, რომლის შიდა კავშირები უწყვეტია და ღვარცოფი არ იძვრის, ხოლო ეს პირობა მაშინ ირღვევა, როცა ღვარცოფული ნარევის ერთი ფენა იწყებს მეორის მიმართ გადაადგილებას. ე.ი. პირობითად ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ორი შრის სიმძლავრეთა ჯამით: პირველი, სადაც შენარჩუნებულია უწყვეტი ტანების სხეულების თვისებები, და მეორე, საიდანაც იწყება ძვრის ზედაპირების წარმოქმნა.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება მივიღოთ, რომ:

$$\tau = \gamma(H - h_0) \tan^2\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right). \quad (4.3.3)$$

მხები და ნორმალური ძაბვების გათვალისწინებით განტოლებაში მივიღებთ:

$$\gamma(H - h_0) \tan^2\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) = \frac{P}{l} \cos \alpha + C. \quad (4.3.4)$$

ღვარცოფის ბმულობის საანგარიშო დამოკიდებულებას შემდეგი სახე აქვს:

$$C = \frac{\gamma \cdot h_0}{2} \tan^2\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right), \quad (4.3.5)$$

(4.3.5)-ს გათვალისწინებით (4.3.4)-ში, ზოგიერთი გარდაქმნით და გამარტივებით გვექნება:

$$\gamma \cdot l(H - h_0) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) = P \cos \alpha + C \cdot l, \quad (4.3.6)$$

სადაც	γ	არის	ღვარცოფის მოცულობითი წონა;
	H	-	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ფენის სიღრმე;
	h_0	-	ბძულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიღრმე;
	l	-	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის კერაში განლაგების სიგრძე;
	P	-	ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის ბლოკის წონა, $P = \gamma \cdot H \cdot l$.

ღვარცოფწარმომქმნელი ბლოკის წონა, თუ (4.3.5)-ს გათვალისწინებით (4.3.6)-ში გვექნება:

$$l(H - h_0) \left[2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) + \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right] = H \left[\cos \alpha \tan \varphi + \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right]. \quad (4.3.7)$$

რადგან $\tan \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) = \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \varphi$ და $H - h_0$

ძვრის სიმაღლის h -ის ტოლია, მივიღებთ:

$$h \left[2 \left(\sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \varphi \right)^2 - \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \varphi \right] = H \left[\cos \alpha \tan \varphi + \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \varphi \right]. \quad (4.3.8)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $a = \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \varphi$ და (4.3.8)-ს ამოვხსნით h -ის მიმართ, მივიღებთ:

$$\frac{h}{H} = \frac{\tan \varphi (2 \cos \alpha - 1) + a + \tan \varphi}{2a^2 + a}. \quad (4.3.9)$$

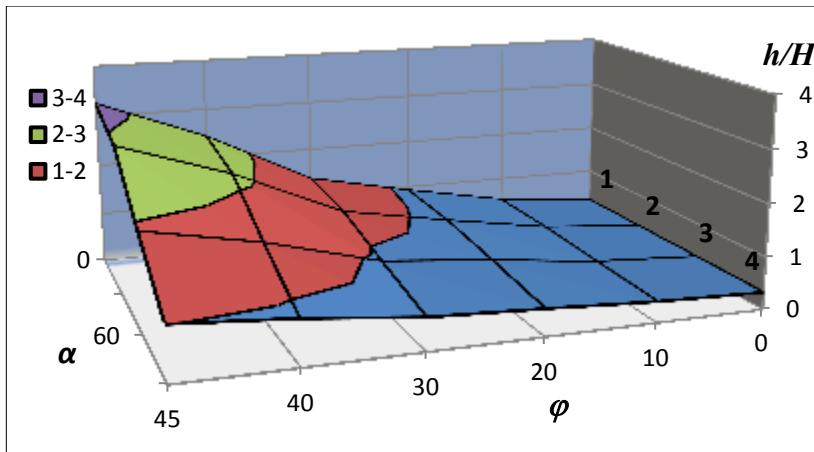
ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში დაგროვილი მასის შინაგანი ხახუნის კუთხის და მასის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს ძვრის სიმაღლისა და ფენის H სიდიდის თანაფარდობების სიდიდეები მოცემულია ცხრილში 4.3.1.

ღვარცოფის მასის, ძვრის და სრული სიღრმის თანაფარდობა
 α -სა და φ -ს სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს

ცხრილი 4.3.1.

α	$\tan \varphi$	$\alpha = 0^\circ$ $\cos \alpha = 0$	$\alpha = 30^\circ$ $\cos \alpha = 0.73$	$\alpha = 60^\circ$ $\cos \alpha = 0.5$	$\alpha = 80^\circ$ $\cos \alpha = 0.65$
1	2	3	4	5	6
0	0	0.33	0.33	0.33	0.33
10	0.176	0.52	0.51	0.45	0.40
20	0.364	0.92	0.86	0.70	0.52
30	0.570	1.36	1.24	0.91	0.62
40	0.840	2.43	2.18	1.48	0.86
45	1.000	3.25	2.89	1.90	1.02

თვალსაჩინოების მიზნით ნახაზე 4.3.2 მოცემულია
 გრაფიკული დამოკიდებულება $h/H = f(\varphi, \alpha)$.



ნახ. 4.3.2. $h/H = f(\alpha, \varphi)$ დამოკიდებულების გრაფიკი:
 1. $\alpha = 0^\circ$; 2. $\alpha = 30^\circ$;
 3. $\alpha = 60^\circ$; 4. $\alpha = 80^\circ$.

**ბმული ღვარცოფის ბუნებრივი გაჩერების სიმაღლის
ფიქსირებული მნიშვნელობები მეტრებში**

ცხრილი 4.3.2

ღვარცოფის გაფართოების წლები	ღვარცოფისადნარი	გაჩერების ქანობის კაჩერების გაფართოების ზომი	$P_{\text{შ}}$	ღვარცოფის მასაში შემადგენელი კოშ-პონნოტების მიზნი. წონით ნაწილებში			შინაგანი ხახუნის კუთხის ფ	გაჩერების სიღრმე (გ)	
				$P_{\text{შ}}$	$P_{\text{გ}}$	$P_{\text{გვ}}$		ბუნებაში	(4.3.9.) ფორმულით
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1949	მდინარე დურუჯი	0,021	1,4	0,151	0,25	0,60	16,9	2,5	1,925
1959	თარმინის-ხევი	0,09	5,2	0,1	0,26	0,64	17,27	2,0	1,60
1967	მდინარე ბიდარა	0,075	4,5	0,12	0,34	0,54	15,14	1,5	1,05
1975	მდინარე დურუჯი	0,524	27,5	0,15	0,36	0,49	30,96	2,0	2,0

(4.3.9) საანგარიშო დამოკიდებულების პრაქტიკული გამოყენება საჭიროებს ღვარცოფის მასის შინაგანი ხახუნის კუთხის ცვლილების კანონზომიერების ცოდნას, რადგან ღვარცოფის წარმოშობის და მოძრაობის გაჩერების შემთხვევებს ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების უცვლელობა შეესაბამება, ვსარგებლობთ გამოტანის კონუსებზე აღებული ღვარცოფის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური და გეომეტრიული მახასიათებლების მნიშვნელობებით, რომელიც მოცემულია ცხრილში 4.3.2.

გამოყენებული მოდელის სიზუსტის შემოწმების მიზნით (4.3.9) ფორმულით გაანგარიშებული მნიშვნელობები შედარებულია სხვადასხვა დროს ღვარცოფსადინარში ფიქსირებული ბმული ღვარცოფის გაჩერების სიღრმეებთან. შედარების დროს საშუალო კვადრატულმა გადახრამ ნატურასთან 16,34% შეადგინა.

4.4. ღვარცოფსაცავში ბმული ღვარცოფის წონასწორობის რღვევის შესწავლა და მოსალოდნელი ხარჯის პროგნოზი

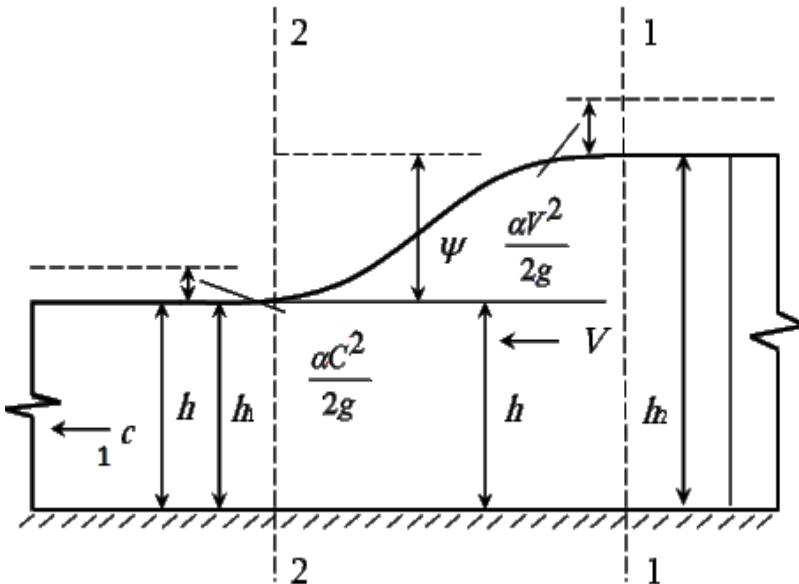
უკანასკნელ პერიოდში ღვარცოფები და მეწყრები გახშირდა და ჩვეულებრივ მოვლენად გადაიქცა. ასეთი ნაკადების ფორმირების კლასიკურ რეგიონად კავკასიაში საქართველოს მთიანეთია მიჩნეული, კერძოდ კი ის ადგილები, რომელთა წყალშემკრები აუზების მნიშვნელოვანი ნაწილი ღვარცოფ-სადენთა ქსელით, მშრალი ხევებით და ინტენსიური ეროზიული პროცესების განვითარების დიდი პოტენციალით არის წარმოდგენილი.

კვლევის არსებული მასალები და სტატისტიკური მონაცემები აღასტურებს, რომ ბმულ ღვარცოფთა ფორმირება ხდება ღვარცოფულ კერებში (ღვარცოფსაცავი). სწორედ აქედან სხვადასხვა ფაქტორთა ზემოქმედებით ფორმირებული ნაკადის პარამეტრების ცვლილების მათემატიკური მოდელების და თვით ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების კერძოდ, სიღრმის, სიჩქარის, ხარჯის ცვალებადობის პროგნოზი, დაცვითი ღონისძიებების, კატასტროფისაგან აცილების ერთ-ერთ განმსაზღვრელ პირობას წარმოადგენს.

აქედან გამომდინარე, კერაში ჩამოყალიბებული ღვარცოფის დაძვრის პროცესი დამძრაობის დაწყების აღწერა

შეიძლება დაუმყარებელი არათანაბარი მოძრაობის, მოძრაობის რაოდენობის და ბერნულის განტოლებების გამოყენებით, ხოლო კერიდან ბმული ღვარცოფის დაძვრა შეიძლება წარმოდგენილ იქნას როგორც ერთჯერადი გრძივი ტალღის, ისე ერთჯერადი ჰიდროგრაფის მოდელით.

კერიდან ღვარცოფის დაძვრის ერთჯერადი გრძივი ტალღით წარმოდგენის შემთხვევაში (საანგარიშო სქემა ნახაზი 4.4.1), როდესაც ღვარცოფული მასის სიმაღლე კერაში არის H , ნაკადის გადაადგილება თავისუფალ ზედაპირზე C სიჩქარით შეიძლება იყოს წარმოდგენილი. ნაკადის ტალღის სიმაღლე აღნიშნულია ψ ასოთი, ხოლო ნაკადის მოძრაობა ტალღის ქვემოთ – V სიჩქარით.



ნახ. 4.4.1. კერიდან ღვარცოფული მასის დაძვრის საანგარიშო სქემა.

აღნიშნული სქემის მიხედვით, როდესაც ტალღის სიჩქარე ნაკადის სიჩქარის ტოლია, ტალღის ჭრილში ცოცხალი კვეთის ფართობი იზრდება, ხოლო თვით ტალღა უძრავია. ცოცხალი კვეთის ფართობის გაზრდა კვეთში იწვევს ნაკადის სიჩქარის შემცირებას $V < C$ სიდიდემდე. წარმოდგენილი სურათი შეიძლება განხილულ იქნას გადაადგილების გაჩერებულ ტალღად, ხოლო პროცესი – ნახტომის მოვლენად.

გარდა შემოთავაზებული მოდელისა, ღვარცოფის ჩამოყალიბებისა და მოძრაობის დაწყების პროცესის აღწერის ოპტიმალურ საშუალებად და ამომწურავ გრაფიკულ შესაბამისობად შეიძლება მიჩნეულ იქნას ჰიდროგრაფი, რომელიც ზუსტად აღწერს როგორც მოძრაობის დაწყების სურათს, ისე მისი წარმოქმნის უეცრობისა და არასტაციონარულობის ბუნებას.

ღვარცოფისა და განსაკუთრებით ბმული ღვარცოფის ჰიდროგრაფი განსხვავებულია წყალდიდობის შემთხვევაში. საკითხი ეხება ერთეულოვან ჰიდროგრაფს, რომელიც ღვარცოფსადენში გავლას შეესაბამება. რაც შეეხება გადაადგილების მოდელს, იგი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას როგორც მოძრაობა ცვლადი მასით. ღვარცოფთა ტალღებად გადაადგილების შემთხვევაში და მათი ცალკეული ჰიდროგრაფების არსებობის დროს, მოცემული ნაკადის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება სირთულეს წარმოადგენს.

კერის გარღვევის შემთხვევაში, ღვარცოფის ჰიდროგრაფის ფორმა შეიძლება შემდეგნაირად დახასიათდეს – მისი აწევის ფერდი ხასიათდება მდორედ ცვლადი მონაკვეთით, ხოლო დაცემის ფერდს ციცაბო სახე აქვს. ასეთი სახის ჰიდროგრაფის დასახასიათებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას კაშხლის გარღვევის მოდელი, ხოლო ხარჯის ცვლილების დინამიკის შესაფასებლად – ჰიდროგრაფის დამრეცი ფერდის მოხაზულობა. მათემატიკური მოდელი ხარჯსა და დროს

შორის ჰიპერბოლური ფუნქციით შეიძლება იქნას შეფასებული.

დაუმყარებელი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით დაძვრის პროცესის ახსნას მიეძღვნა ცალკეული ექსპერიმენტები, რომელთა შედეგების საფუძველზე აღწერილ იქნა ბმული ღვარცოფის მოძრაობის დაწყების მოვლენა. ექსპერიმენტების შედეგად დადასტურდა, რომ დაძვრის დროს ზედაპირს ტალღის ფორმა გააჩნია, ე.ი. კერიდან (ღვარცოფ-საცავიდან) ღვარცოფის მოძრაობის დაწყება და კალაპოტში დინება მიმდინარეობს არასტაციონარულად. ჩამოყალიბებული ღვარცოფი კერიდან მოძრაობის გზაზე იცვლის თავის დინამიკურ მახასიათებლებს. აქედან გამომდინარე, გასაგებია თუ რა დიდი ცდომილება შეიძლება ახლდეს არასტაციონარულობის იგნორირების შემთხვევას ღვარცოფთა ჰიდრავლიკური ამოცანების გადაწყვეტის დროს.

საანგარიშო სქემის მიხედვით შერჩეულ 1-1 და 2-2 კვეთში სიჩქარეთა თანაბარი განაწილებისა და ენერგიის დანაკარგის უგულებელყოფის შემთხვევაში, ბერნულის განტოლების გამოყენებით გვექნება:

$$h + \frac{\alpha C^2}{2g} = h + \psi + \frac{\alpha V^2}{2g}. \quad (4.4.1)$$

წარმოდგენილი სურათისათვის უწყვეტობის განტოლებას ექნება სახე:

$$hC = (h + \psi)V. \quad (4.4.2)$$

(4.4.2) განტოლებიდან ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე იქნება:

$$V = \frac{hC}{h+\psi}. \quad (4.4.3)$$

როცა $\alpha = 1$, (4.4.3) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (4.4.1)-ში, შესაბამისი გარდაქმნებითა და გამარტივებით, მივიღებთ ტალღის გაგრცელების სიჩქარეს, რომელიც სენ-ვენანის ფორმულის სახელწოდებით არის ცნობილი:

$$C = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3\psi}{4h} \right). \quad (4.4.4)$$

როცა ტალღის სიმაღლე ψ მცირე სიდიდისაა, (4.4.4) ფორმულა იღებს სახეს, რომელიც ლაგრანჟის სახელწოდებითაა ცნობილი:

$$C = \sqrt{gh}. \quad (4.4.5)$$

ბუნებაში რეალურად არსებული ნაკადები, კერძოდ, ბმული ღვარცოფი ამა თუ იმ ხარისხის შინაგანი ბმულობით ხასიათდება, რომლის გამო ის გარკვეულ წინააღმდეგობას ახდებს მხებ ძაბვებზე. მისი მნიშვნელობა შეიძლება გახდეს მნიშვნელოვანი სიჩქარის გაზრდით. ასეთ ნაკადებზე ბერნულის განტოლების განზოგადოება ადასტურებს, რომ წყნარი ნაკადის ნებისმიერ კვეთში, კუთრი ენერგიის მარაგის უცვლელობა რეალური ნაკადისათვის, წნევის გადანაწილების კანონზომიერების დადგენას საჭიროებს.

მრავალკომპონენტიანი ღვარცოფული ტანის დაძაბული მდგომარეობის ცვლილების შეფასება და მათემატიკური კანონზომიერებით აღწერა კლიმატური და ფიზიკურ-გეოგრაფიულ-გეოლოგიური პროცესების ზემოქმედების გამო, დინამიკურ ხასიათს ატარებს და ძალზე რთულია. აქედან გამომდინარე, სტატიკაში ღვარცოფული ტანის განვითარების დატვირთვების შეფასების დროს შესწავლილი უნდა იქნეს თვით მასის ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური მახასიათებლების ცვლილება და ღვარცოფული ტანის დაძაბულობასთან დაკავშირებული საკითხები.

რადგან მაღალი სიმკვრივის მასა ხასიათდება ბმულობით და შინაგანი ხახუნის მახასიათებლებით, მის მიერ აქტიური პოტენციური დაწნევის სიდიდის განსაზღვრის ამოცანა შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოყალიბდეს: ღვარცოფული ტანის წნევის ძალის განსაზღვრის დროს შეიძლება გამოვიყენოთ მეთოდი, რომელიც ბრტყელი ზედაპირების ცოცვადობას ეფუძნება,

ხოლო შეჭიდულობის ძალა და შინაგანი ხახუნის კუთხე ეფექტური აქტიური წნევის ძალის საწინააღმდეგოდაა მიმართული.

გრუნტების მექანიკაში დასმული ამოცანის ანალოგიურად, ბმული ღვარცოფის აქტიური განივი წნევისათვის შეიძლება ჩაიწეროს დამოკიდებულება:

$$P = \rho g(H + h) \tan^2\left(45^\circ - \frac{\beta}{2}\right) - Pe, \quad (4.4.6)$$

სადაც	P	არის აქტიური განივი წნევა;
	ρ	ღვარცოფის მასის სიმკვრივე;
	g	სიმძიმის ძალის აჩქარება;
	β	ღვარცოფის ტანის შინაგანი ხახუნის კუთხე;
	Pe	შეჭიდულობის წნევა;
	h	შეჭიდულობის წნევის ეკვივალენტური სიღრმე;
	H	ღვარცოფის მასის სიმაღლე.

$$\text{რადგან } Pe = \gamma h = \rho g h \text{ და } h = C/\gamma \tan \beta = \frac{C}{\rho g \tan \beta},$$

ამიტომ აქტიური წნევის P საანგარიშო ფორმულა (4.4.6) ტოლი იქნება:

$$P = \gamma \left(H + \frac{C}{\gamma \tan \beta} \right) \tan^2\left(45^\circ - \frac{\beta}{2}\right) - \frac{C}{\tan \beta}. \quad (4.4.7)$$

(4.4.7) დამოკიდებულების შესაბამისი გარდაქმნებითა და გამარტივებით მივიღებთ:

$$P = \gamma H \tan^2\left(45^\circ - \frac{\beta}{2}\right) - 2C \tan\left(45^\circ - \frac{\beta}{2}\right). \quad (4.4.8)$$

იმ შემთხვევაში, როცა განივი წნევის მნიშვნელობა ნულის ტოლია, შესაბამისად, ღვარცოფული ტანის H სიღრმე h_0 -ის ტოლი იქნება და მის მნიშვნელობას შეძლევი საანგარიშო ფორმულის სახე ექნება:

$$h_0 = \frac{2C}{\gamma \tan\left(45^\circ - \frac{\beta}{2}\right)}. \quad (4.4.9)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $\varphi = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\beta}{2}\right)$ და (4.4.9)-ის გათვალისწინებით (4.4.8)-ში, მივიღებთ:

$$P = \gamma H \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \varphi. \quad (4.4.10)$$

შესაბამისად, ღვარცოფის ტანის მიერ განხორციელდა დაწევა, სადაც ღვარცოფის ტანის სიმაღლე H_C ტოლი იქნება:

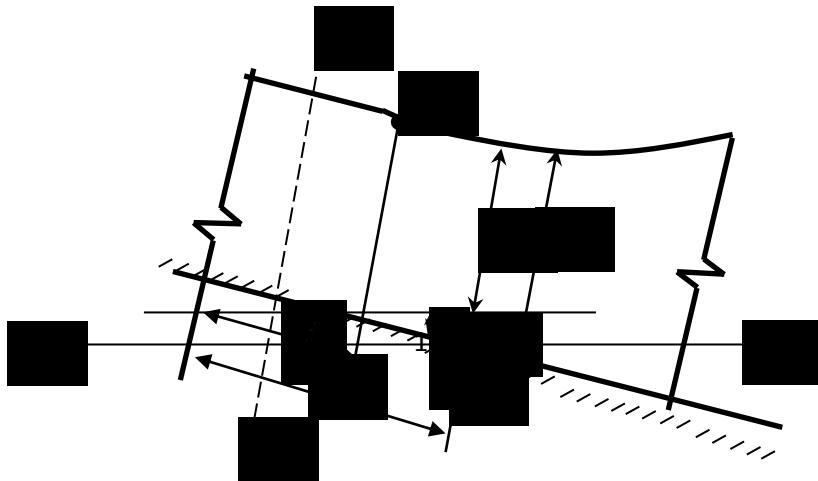
$$H_C = \frac{P}{\gamma} = H \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \varphi. \quad (4.4.11)$$

რეალურად, ბმული ღვარცოფის მოძრაობისას ნების-მიერი შემხვედრი წინააღმდეგობის კვეთში და სიგრძეზე კა-ლაპოტის გაფართოება, შევიწროება და ქანობის ცვლილება იწვევს ცოცხალი კვეთის ცვლილებას [4, 6, 12]. აქედან გამომდინარე, ნახაზზე (4.4.2) მოცემული საანგარიშო სქემის მიხედვით, ნაკადის მოძრაობა შეიძლება აღწერილ იქნეს დიუე-რენციალური განტოლებით.

სქემის მიხედვით, მოძრავი ნაკადის თავისუფალი ზედა-პირის ნებისმიერი აღებული B წერტილისათვის, რომელიც $A - A$ კვეთიდან l მანძილით არის დაცილებული და გადის C წერტილში, L მანძილით არის დაცილებული საწყისი კვეთიდან და საფარდი სიბრტყიდან, კოორდინატი კი არის Z , მაშინ ბერნულის განტოლებას ექნება სახე:

$$\frac{dh}{d\ell} = - \frac{d \left(Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} \right)}{dL} + I, \quad (4.4.12)$$

სადაც I არის ჰიდრავლიკური ქანობი და მის მნიშვნელობას ვანგარიშობთ ღვარცოფის სიჩქარის საანგარიშო ფორმული-დან.



ნახ. 4.4.2. ბმული ღვარცოფის მოძრაობის სქემა.

ბმული ღვარცოფის მოძრაობის საანგარიში სქემიდან Z - ის სიდიდეს ექნება სახე:

$$Z = H_c + h' = H_c + (L + l)i, \quad (4.4.13)$$

სადაც H_c არის ღვარცოფის სიმაღლე და i მისი სიდიდე (4.4.11) განტოლებითა წარმოდგენილი ან შეიძლება იგი შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$H_c = H - H(1 - \varphi) - h_0\varphi, \quad (4.4.14)$$

ხოლო

$$h_0 = H_c \frac{\sqrt{\varphi} - 1}{\sqrt{\varphi}}. \quad (4.4.15)$$

(4.4.12)-ის დიფერენცირებით მივიღებთ:

$$\frac{dZ}{dl} = \frac{dH}{dl} - (1 - \varphi) \frac{dH}{dl} - \varphi \frac{\sqrt{\varphi} - 1}{\sqrt{\varphi}} \frac{dH}{dl} - i, \quad (4.4.16)$$

$$\frac{d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)}{dl} = \frac{d\left(\frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}\right)}{dl} = -\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} \frac{dH}{dl} - \frac{Q^2}{g\omega^3} \frac{\partial\omega}{\partial l}; \quad (4.4.17)$$

(4.4.17)-ისა და (4.4.16) დამოკიდებულებების გათვალისწინებით (4.4.12)-ში შესაბამისი გარდაქმნებით მივიღებთ:

$$\frac{dH}{dl} = \frac{i - l_{ba.b.} - \frac{Q^2}{g\omega^2} \frac{\partial\omega}{\partial l}}{\varphi \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} B}, \quad (4.4.18)$$

მიღებული (4.4.18) განტოლება წარმოადგენს ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის საერთო ერთგანზომილებიან დიფერენციალურ განტოლებას არაპრიზმატული კალაპოტებისთვის, რომლის შესაბამისი ტრანსფორმაციის საფუძველზე შესაძლებელია ღვარცოფთა ჰიდრავლიკის ცალკეული პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტა.

მიღებული (4.4.18) საანგარიშო დამოკიდებულება ნაკადის თავისუფალ ზედაპირზე ტალღის გავრცელების დიფერენციალურ განტოლებად შეიძლება იქნას მიჩნეული. აქედან გამომდინარე, ტალღასა და მის მახსინათებლებს ნაკადის კრიტიკული მდგომარეობით ვაფასებთ. ე.ო. როცა $\frac{dH}{dl} = \infty$, ასეთ შემთხვევას შესაბამება პირობა $\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} B = 1$. შესაბამისად, (4.4.18) დამოკიდებულების მნიშვნელის მარცხენა წევრისათვის გვექნება:

$$\varphi \left(1 - \frac{h_0}{h_{\text{კრ.}}}\right) = 1. \quad (4.4.19)$$

(4.4.19) დამოკიდებულების გამარტივებითა და გარდაქმნით გვექნება:

$$h_{\beta\gamma} = -h_0 \frac{\varphi}{1-\varphi}. \quad (4.4.20)$$

კრიტიკული მდგომარეობის შემთხვევაში დამოკიდებულებიდან (4.4.20) გვექნება:

$$\varphi \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) = \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} B = \frac{\alpha V^2}{gh}. \quad (4.4.21)$$

(4.4.21) დამოკიდებულებაში, როცა $h_0 = 0$, $\varphi = 1$, ტალღის სიმაღლე ძალზე მცირეა. ლაგრანჟის ფორმულის შესაბამისად მისი გავრცელების სიჩქარე $C = \sqrt{gh}$, შესაბამისად ჩვენს შემთხვევაში მივიღებთ:

$$\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) Q = \frac{V^2}{C^2}, \quad (4.4.22)$$

ან ნაკადის მოძრაობის კრიტიკული სიჩქარე:

$$V = C \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi} = \sqrt{gh} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi}. \quad (4.4.23)$$

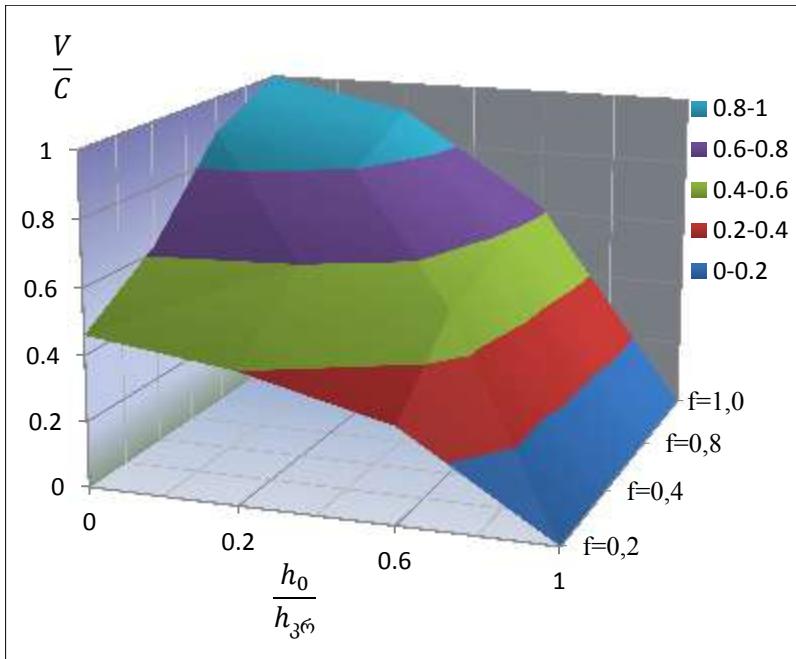
რადგან ნაკადის კრიტიკული მდგომარეობის დროს მოძრაობის სიჩქარე ტალღის გავრცელების სიჩქარის ტოლია, ანუ $V = C$, ბმული ღვარცოფისათვის ტალღის მოძრაობის სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$C = \sqrt{gh} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi}, \quad (4.4.24)$$

ხოლო ფარდობა:

$$\frac{V}{C} = \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi}. \quad (4.4.25)$$

თვალსაჩინოების მიზნით მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება ნაკადის კრიტიკულ სიჩქარესა და მის ზედაპირზე ტალღის გავრცელების მახასიათებლებს შორის (ნახ. 4.4.3).



$$\text{ნახ. 4.4.3. } \frac{V}{C} = f \left(\frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \text{ გრაფიკული დამოკიდებულება.}$$

დვარცოფსაცავის რღვევის შემთხვევაში წარმოქმნილი ტალღის შედეგად მყარდება კრიტიკული მდგომარეობა, რომლის შესაბამისი სიჩქარის საანგარიშოდ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დამოკიდებულება (4.4.23). დარღვეული ნაწილის ხარჯის შესაფასებლად, რომელიც დონის უეცარი დაწევითაა გამოწვეული ანუ ტალღა წარმოშობის შედეგად დინების ზემოთ ვრცელდება, შესაბამისად, თუ სიღრმის უეცარი ვარდნა

(ნახ. 4.4.1) საწყისთან ფარდობაში $H = h_{\beta\gamma}$, მაშინ კავშირი სიჩქარესთან ტოლი იქნება [34]:

$$V = \pm 2 \sqrt{gh_{\beta\gamma}} \mp 2\sqrt{gH} + V_0, \quad (4.4.26)$$

ხოლო ხარჯი იანგარიშება ფორმულით:

$$q = VH_{\beta\gamma} = h_{\beta\gamma} \left(\pm 2 \sqrt{gh_{\beta\gamma}} \mp 2\sqrt{gH} \right) + V_0, \quad (4.4.27)$$

სადაც	$h_{\beta\gamma}$	არის	სწორკუთხა კვეთის შემთხვევაში ნაკადის კრიტიკული სიღრმე;
$H = h_0$	-		ღვარცოფსაცავში ღვარცოფის მასის სიმაღლე;
V_0	-		დარღვეული მასის მოძრაობის საწყისი სიჩქარე;
g	-		სიმძიმის ძალის აჩქარება.

რადგან, ტალღის გავრცელება ამოცანაში ნაკადის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ ხდება, (4.4.24) დამოკიდებულების საფუძველზე, ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$q = VH_{\beta\gamma} = h_{\beta\gamma} \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi}. \quad (4.4.28)$$

როცა ტალღის სიმაღლე არის მნიშვნელოვანი, მაშინ კრიტიკული სიჩქარის მნიშვნელობას -

$$V = \sqrt{gh_{\beta\gamma} \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi} \left(1 + \frac{3\psi}{4h_{\beta\gamma}} \right)$$

და ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$q = h_{\beta\gamma} \left(1 + \frac{3\psi}{4h_{\beta\gamma}} \right) \sqrt{gh_{\beta\gamma} \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi}. \quad (4.4.29)$$

თუ (4.4.28)-ს გავუტოლებთ (4.4.27)-ს, როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა, მივიღებთ:

$$h_{\beta\gamma} \left(-2\sqrt{gh_{\beta\gamma}} + 2\sqrt{gH} \right) = h_{\beta\gamma} \sqrt{gh_{\beta\gamma} \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi}. \quad (4.4.30)$$

როცა ტალღის სიმაღლე ყ არის მნიშვნელოვანი, მაშინ (4.4.27) და (4.4.29) განტოლებების გატოლებით გვექნება:

$$h_{\beta\gamma} \left(-2\sqrt{gh_{\beta\gamma}} + 2\sqrt{gH} \right) = h_{\beta\gamma} \sqrt{gh_{\beta\gamma} \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi} + \left(1 + \frac{3\psi}{4h_{\beta\gamma}} \right). \quad (4.4.31)$$

(4.4.30) დამოკიდებულების გარდაქმნით გვექნება:

$$h = h_{\beta\gamma} \frac{4h}{\left(2 + \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi} \right)^2}, \quad (4.4.32)$$

ხოლო (4.4.31) დამოკიდებულების გარდაქმნით გვექნება:

$$h = h_{\beta\gamma} \frac{4h}{\left(2 + \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right) \varphi \left(1 + \frac{3\psi}{4h_{\beta\gamma}} \right)} \right)^2}. \quad (4.4.33)$$

(4.4.32) და (4.4.33) დამოკიდებულებებით შეიძლება განისაზღვროს ბმული ღვარცოფის სიმაღლე ღვარცოფსაცავის რღვევის წინ.

თვალსაჩინოებისა და შერჩეული მოდელის დასაბუთების მიზნით, როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა, როგორც (4.4.32) დამოკიდებულებიდან ჩანს, იგი საწყისი სიღრმის H -ის

$$4 \left(2 + \sqrt{1 - \frac{h_0}{h_{\text{ср}}} \varphi} \right)^{-2} \quad \text{ნაწილს შეადგენს, ე.ო., როცა } h_0 = 0$$

და $\varphi = 1$, ე.ო. წარმოდგენილი დამოკიდებულება ემთხვევა წყლის საანგარიშო დამოკიდებულებას და ტოლია:

$$h_{\text{ср}} = \frac{4}{9} H. \quad (4.4.34)$$

მიღებული დამოკიდებულებებით ნაკადის H სიღრმე მანამ რჩება მუდმივი, სანამ ზედა ბიეფის დამუშავების ტალღა არ მივა მის ბოლომდე და გამოხატულად არ დაბრუნდება უკან ღვარცოფსაცავის კვეთამდე.

როგორც განხილული ამოცანებიდან ჩანს, სააანგარიშო დამოკიდებულებებში ფაქტორთა შორის განსაკუთრებულ ადგილს კრიტიკული სიღრმე იკავებს, ამიტომ მისი გაანგარიშებისათვის, როცა ღვარცოფული ნაკადის რეალური სიღრმე h -ის ტოლია, ვსარგებლობთ კვეთის ენერგიის საანგარიშო დამოკიდებულებით:

$$\varepsilon = h \left(1 - \frac{h_0}{h} \right) \varphi + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (4.4.35)$$

ან

$$\varepsilon = h + \frac{\alpha V^2}{2g} - h(1 - \varphi) - h_0 \varphi. \quad (4.4.36)$$

(4.4.36)-ე დამოკიდებულებაში h_0 სიღიდის განსაზღვრა ბრტყელი ზედაპირების ცოცვადობის მეთოდიდან გამომდინარეობს, ე.ო. ძვრის ძალის საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$P = \frac{\gamma h^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h} \right)^2 \varphi. \quad (4.4.37)$$

რადგან, წნევის ძალის სიდიდე $P = \gamma h_{\text{b.c.}} \omega$ და შესაბამისად $h_{\text{b.c.}} = h/2$. ამ შემთხვევაში, როცა $B = 1$, $\omega = h$, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{\gamma h^2}{2} = \frac{\gamma h^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^2 \varphi. \quad (4.4.38)$$

(4.4.38) განტოლების გამარტივებითა და h_0 -ის მიმართ გვადრატული განტოლების ამოხსნით გვექნება:

$$h_0 = h \frac{\sqrt{\varphi} - 1}{\sqrt{\varphi}}. \quad (4.4.39)$$

h_0 -ის მნიშვნელობას თუ გავითვალისწინებთ (4.4.36)-ში, მივიღებთ:

$$\varepsilon = h - h(1 - \varphi) - h\varphi \frac{\sqrt{\varphi} - 1}{\sqrt{\varphi}} + \frac{\alpha V^2}{\varphi}. \quad (4.4.40)$$

(4.4.40) დამოკიდებულების დიფერენცირებით გვექნება:

$$\frac{d\varepsilon}{dh} = d \left(h + \frac{\alpha V^2}{2g} \right) - \frac{1 - \varphi}{\varphi} \frac{dh}{dh} - \frac{\sqrt{\varphi - 1}}{\sqrt{\varphi}} \frac{dh}{dl}. \quad (4.4.41)$$

და ბოლოს მივიღებთ:

$$\frac{d\varepsilon}{dh} = -\frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} B + \varphi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right). \quad (4.4.42)$$

როცა კვეთის ენერგია არის მინიმალური ანუ $\frac{d\varepsilon}{dh} = 0$, მაშინ:

$$\frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} B = \varphi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right). \quad (4.4.43)$$

(4.4.43) საანგარიშო დამოკიდებულება ემთხვევა წყლის ნაკადის საანგარიშო დამოკიდებულებას.

(4.4.43) დამოკიდებულების გარდაქმნებითა და გამარტივებით მივიღებთ კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო განტოლებას:

$$h_{\varphi}^3 - h_0 h_{\varphi}^2 - \frac{\alpha q^2}{g\varphi} = 0. \quad (4.4.44)$$

კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო განტოლება წარმოდგენილი სახით შეიძლება მივიღოთ მოძრაობის რაოდენობის განტოლებით, რაც მოდელის გამოყენების სიზუსტეზე მიუთითებს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, როცა ტალღის სიჩქარე ნაკადის გადაადგილების სიჩქარის ტოლია პროცესი შეიძლება განიხილოს როგორც ნახტომის მოვლენა. მძაფრი მოძრაობის გადასვლა წყნარ რეჟიმში ან, პირიქით, მიმდინარეობს ჰიდრავლიკური ნახტომით. ღვარცოფთა ღია სადინარებში მოძრაობის დროს, როგორც სუფთა ჰიდრავლიკაში, ისე აქაც ვხვდებით ნაკადის სხვადასხვა მდგომარეობას: მძაფრი, წყნარი და კრიტიკული.

ანალოგიური მოვლენა შეიძლება მოხდეს ბმულ ღვარცოფულ პროცესებში. ასეთი დაყოფა არ ატარებს ფორმალურ ხასიათს და გარკვეული სიზუსტით განსაზღვრავს სასაზღვრო პირობების დანიშნის შესაძლებლობას. ასეთი ამოცანების გადაწყვეტის დროს, აუცილებელი არის ნაკადის მოძრაობის თავისუფალი ზედაპირის აგება და ანალიზი, ენერგიის ჩამქრბი ნაგებობის გაანგარიშება, ნაკადის მოძრაობის რეჟიმების შეფასება, ღვარცოფსაცავის ან მეწყრით შექმნილი კაშხლების გარღვევის შედეგად წარმოქმნილი ნაკადის მახასიათებლების დადგენა, კრიტიკული სიმაღლის, სიჩქარის, ხარჯისა და სხვა პარამეტრების განსაზღვრა.

ბმული ღვარცოფის მოძრაობის შემთხვევაში ნაკადის მდგომარეობა შეიძლება განიხილოს უტოლობით:

$$\frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} B \gtrless T. \quad (4.4.45)$$

სადაც T არის უგანზომილებო პარამეტრი და \tilde{M} -ის
შემთხვევაში იგი 1-ის ჭოლია.

ჩვენს შემთხვევაში T -ს აქვს ქვემოთ მოყვანილი სახე:

$$T = \varphi \left(1 - \frac{h_0}{h} \right). \quad (4.4.46)$$

სადაც	φ	არის კოეფიციენტი და ღვარცოფის შინაგანი ხახუნის კუთხეზეა დამოკიდებული;
	h_0	- ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმე;
	α	- კორიოლისის კოეფიციენტი;
	Q	- ბმული ღვარცოფის ხარჯი;
	B, ω	- სიგანე თავისუფალ ზედაპირზე და ცოცხალი კვეთის ფართობი;
	g	- სიმძიმის ძალის აჩქარება.

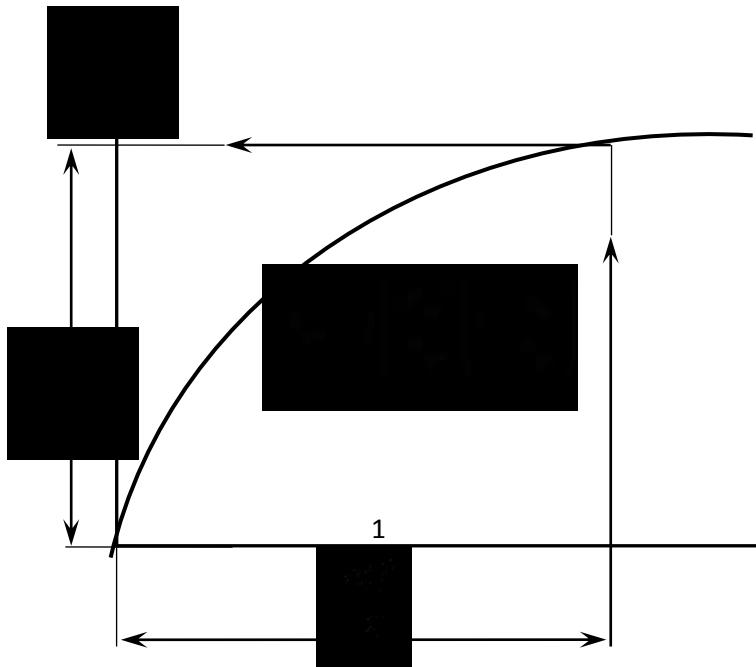
ქვემოთ მოყვანილია ბმული ღვარცოფის კრიტიკული
მახასიათებლების განსაზღვრა.

ბმული ღვარცოფის ერთგანზომილებიანი დაუმყარებელი
მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება განიცდის წყვეტას
იმ შემთხვევაში, როცა $\frac{dh}{dt} = \infty$ და მნიშვნელი 0-ის
ტოლია. ამ შემთხვევაში ნაკადის წყვეტადობას შეესაბამება
დამოკიდებულება:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\omega_{\beta\gamma}^3}{B} \varphi \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\gamma}} \right). \quad (4.4.47)$$

ნიუტონური სითხეების პიდრავლიკის ანალოგიურად,
კრიტიკული მდგომარეობის შემთხვევაში კრიტიკული სიღ-
რმის განსაზღვრის პირობა წარმოდგენილია (4.4.47) განტო-

ლებით, რომელიც ასევე შეიძლება წარმოვადგინოთ გრაფიკულად (ნახაზი 4.4.4. $h_{\beta\sigma} = f \left[\frac{\omega_{\beta\sigma}^3}{B_{\beta\sigma}} \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\sigma}} \right) \varphi \right]$).



$$\text{ნაზ. 4.4.4. } h_{\beta\sigma} = f \left[\frac{\omega_{\beta\sigma}^3}{B_{\beta\sigma}} \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\sigma}} \right) \varphi \right]$$

დამოკიდებულების გრაფიკი.

(4.4.47) განტოლებაში, როცა $h = h_{\beta\sigma}$. და მარჯვენა ნაწილი 1-ის ტოლია, ე.ი.:

$$\varphi \left(1 - \frac{h_0}{h_{\beta\sigma}} \right) = 1, \quad (4.4.48)$$

ხოლო ამონაზსნის h_0 სიღრმის მიმართ ექნება შემდეგი სახე:

$$h_0 = -h_{\beta\sigma} \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (4.4.49)$$

(4.4.49) განტოლებიდან ნათლად ჩანს, რომ ბმულობის ეპვივალენტურ სიღრმეს აქვს მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება. მისი სიღიდე რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს, რადგან ბმულ ღვარცოფში როცა შეჭიდულობა არის c , შინაგანი ხახუნის კუთხე φ და მოცულობითი წონა γ , მაშინ კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო ფორმულას ექნება სახე:

$$h_{\text{კრ.}} = -\frac{2c}{\gamma} \frac{\sqrt{\varphi}}{1-\varphi}. \quad (4.4.50)$$

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, (4.4.47) განტოლებაში, როცა მარცხენა ნაწილი 1-ის ტოლია, კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$h_{\text{კრ.}} = \sqrt{\frac{\alpha q^2}{g}}. \quad (4.4.51)$$

(4.4.51) განტოლების გათვალისწინებით (4.4.49)-ში, ნაკადის გავლის სიმაღლის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$h_0 = -\sqrt{\frac{\alpha q^2}{g}} \frac{1-\varphi}{\varphi}. \quad (4.4.52)$$

სატრანზიტო უბნებზე ღვარცოფის მოძრაობის პირობების შეფასების დროს, მისი კრიტიკული მახასიათებლები იძენენ განსაკუთრებულ მნიშვნელობას. კრიტიკული მახასიათებლების შეფასების მიზნით, კერძოდ, კრიტიკული სიღრმის განსაზღვრის დროს შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნაკადის კვეთის ენერგიის განტოლება, რომლის საანგარიშო დამოკიდებულებას (4.4.44) განტოლების სახე აქვს. კარდანოს ფორმულების გამოყენებით (4.4.44) განტოლების მიახლოებით ამონაზსნს შემდეგი სახე აქვს:

$$h_{\beta\varphi} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{2g\varphi} \left[1 + \frac{2g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3 + \sqrt{1 + \frac{4g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3} \right]} \left(1 + \sqrt[3]{\frac{1 + \frac{2g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3 - \sqrt{1 + \frac{4g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3}}{1 + \frac{2g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3 + \sqrt{1 + \frac{4g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3}}} \right). \quad (4.4.53)$$

(4.4.53) განტოლებაში, როდესაც $\psi = 1$, $\beta = 0$ და $h_0 = 0$, იგი ემთხვევა წყლის კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებას:

$$h_{\beta\varphi} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}. \quad (4.4.54)$$

წყლისა და ლვარცოფის თანაბარი ხარჯების შემთხვევაში, როცა $q_\varphi = q_\beta$, განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{h_{\beta\varphi\varphi}}{h_{\beta\varphi\beta}} = \sqrt[3]{\frac{1}{2\varphi} \left[1 + \frac{2}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3 + \sqrt{1 + \frac{4\varphi}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3} \right]} \left(1 + \sqrt[3]{\frac{1 + \frac{2}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3 - \sqrt{1 + \frac{4\varphi}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3}}{1 + \frac{2}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3 + \sqrt{1 + \frac{4\varphi}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3}}} \right). \quad (4.4.55)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას:

$$K = \frac{2}{27} \left(\frac{h_0}{h_{\beta\varphi\beta}} \right)^3 \quad (4.4.56)$$

კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$h_{\beta\varphi\varphi} = h_{\beta\varphi\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{2\varphi} (1 + K + \sqrt{1 + 2K})} \left(+ \sqrt[3]{\frac{(1 + K - \sqrt{1 + 2K})}{(1 + K + \sqrt{1 + 2K})}} \right). \quad (4.4.57)$$

$$\text{წარმოდგენილ განტოლებაში წევრი } \left(1 + \sqrt[3]{\frac{(1+K-\sqrt{1+2K})}{(1+K+\sqrt{1+2K})}} \right)$$

მცირე სიდიდეა და მისი უგულებელყოფის შემთხვევაში კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$h_{\text{კრ.ლ.}} = K \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}, \quad (4.4.58)$$

სადაც

$$K = \sqrt[3]{\frac{1}{2\varphi} \left[1 + \frac{2g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3 \right] + \sqrt{1 + \frac{4g\varphi}{\alpha q^2} \left(\frac{h_0}{3} \right)^3}}. \quad (4.4.59)$$

ბმული ღვარცოფის თავისუფალი ზედაპირის მკვეთრი ნახტომისებრი ცვლილებები ხდება არა მხოლოდ ღვარ-ცოფსაცავებისა და ღვარცოფის მასის მიერ წარმოქმნილი კაშხლების გარღვევის შემთხვევაში, არამედ ყოველთვის, როდესაც ნაკადი მძაფრიდან წყნარ რეჟიმში გადადის.

ნახტომის მთელი მოვლენა როგორი დინამიკური პროცესია. მძაფრი და წყნარი რეჟიმების შეუღლების მახასიათებელი პარამეტრების შეფასებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება შემაუღლებელ ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების დაზუსტების დროს.

ბმული ღვარცოფის პიდრავლიკური ნახტომის ამოცანების გადაწყვეტის დროს პროცესის აღწერის საბაზისო ოპერატორულ საშუალებად მოძრაობის რაოდენობის განტოლება შეიძლება იქნას მიჩნეული, რომელსაც აქვს სახე:

$$\alpha\rho Q(V_2 - V_1) = P_1 - P_2. \quad (4.4.60)$$

სადაც ρ არის ბმული ღვარცოფის სიმკვრივე;

α – მოძრაობის რაოდენობის კოეფიციენტი;

- | | | |
|------------|---|--|
| Q | - | ბმული ღვარცოფის ზარჯი; |
| V_1, V_2 | - | ნაკადის სიჩქარეები ნახტომის საწყისს
და ბოლო კვეთებში; |
| P_1, P_2 | - | წნევის ძალები ნახტომის წინა და ნახ-
ტომის ბოლოს. |

ნახტომის წინ და ბოლოს წნევის ძალების მნიშვნელობე-
ბისათვის, რეოლოგიური პარამეტრების გათვალისწინებით,
შეიძლება დაგწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{\gamma h_1^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h_1} \right)^2 \varphi \\ P_2 &= \frac{\gamma h_2^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h_2} \right)^2 \varphi \end{aligned} \right\}. \quad (4.4.61)$$

შესაბამისად, (4.4.60) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega_1} + \frac{h_1^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h_1} \right)^2 \varphi = \frac{\alpha Q^2}{g\omega_2} + \frac{h_2^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h_2} \right)^2 \varphi. \quad (4.4.62)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $Q = qB$, (4.4.57)
განტოლების ზოგიერთი გამარტივებითა და გარდაქმნით
მივიღებთ:

$$\frac{\alpha q^2}{g\varphi} = h_1^2 h_2 + h_2^2 h_1 - 2h_0 h_1 h_2. \quad (4.4.63)$$

(4.4.63) განტოლებას თუ ამოვნსნით შეუღლებული
სიღრმეების მიმართ, გვექნება:

$$h_1 = 0,5h_2 \left(1 - \frac{2h_0}{h_2}\right) \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_2^2 \left(1 - \frac{2h_0}{h_2}\right)^2} \varphi} - 1 \right), \quad (4.4.64)$$

$$h_2 = 0,5h_1 \left(1 - \frac{2h_0}{h_1}\right) \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_1^2 \left(1 - \frac{2h_0}{h_1}\right)^2} \varphi} - 1 \right). \quad (4.4.65)$$

იმ შემთხვევაში, როცა $\varphi = 1$ და $h_0 = 0$, (4.4.59) და (4.4.60) განტოლებები ემთხვევა წყლის შეუღლებული სიღრმეების საანგარიშო დამოკიდებულებებს. რაც შეეხება შეუღლებულ სიღრმეთა თანაფარდობის ცვლილებას, ამისათვის გამოიყენება კინეტიკურობის მახასიათუბელი პარამეტრი Πk , რომლის მნიშვნელობა დგარცოფის q კუთრი ხარჯისა და h საშუალო სიღრმის შემთხვევაში ტოლი იქნება:

$$\Pi k = \frac{\alpha q^2}{gh^3}. \quad (4.4.66)$$

ნახტომის ზონაში ან გაჩერებული ტალღის კუთრი ენერგიის შესაფასებლად შერჩეული კვეთებისათვის ვსარგებლობთ ბერნულის განტოლებით:

$$h_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{\text{დან}}. \quad (4.4.67)$$

შერჩეულ კვეთებში სიჩქარეთა მნიშვნელობები თუ შეცვლილია კუთრი ხარჯებით, მივიღებთ:

$$\frac{\alpha V_1^2}{2g} = \frac{\alpha q^2}{2gh_1^2}. \quad (4.4.68)$$

$$\frac{\alpha V_2^2}{2g} = \frac{\alpha q^2}{2gh_2^2}. \quad (4.4.69)$$

შესაბამისად,

$$\begin{aligned} h_1 - h_2 &= \varphi h_1 - \varphi h_0 + \varphi h_2 - \varphi h_0 = \\ &= \varphi(h_1 - h_2). \end{aligned} \quad (4.4.70)$$

მიღებულ მნიშვნელობებს თუ შევიტანთ ბერნულის განტოლებაში, მივიღებთ:

$$h_{\text{დან}} = \varphi \frac{(h_1 h_2 + h_2 h_1 - 2h_0 h_1 h_2)(h_2^2 - h_1^2) - \varphi h_1^2 h_2^2 (h_2 - h_1)}{4h_1^2 h_2^2}. \quad (4.4.71)$$

(4.4.71)-ის გარდაქმნებით და გამარტივებით, ენერგიის დანაკარგს ექნება სახე:

$$h_{\text{დან}} = \varphi \frac{(h_2 - h_1)^3 - 2h_0(h_2^2 - h_1^2)}{4h_1 h_2}. \quad (4.4.72)$$

როცა $h_0 = 0$ და $\varphi = 1$, მივიღებთ:

$$h_{\text{დან}} = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2}. \quad (4.4.73)$$

მიღებულიდან ჩანს, რომ დანაკარგის საანგარიშო დამოკიდებულება ემთხვევა წყლის ნაკადის მიერ ნახტომში ენერგიის დანაკარგის საანგარიშო დამოკიდებულებას.

4.5. არასტაციონარულობის საფუძველზე ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების განსაზღვრა

ღვარცოფული ხასიათის წყალსადინართა სათავის ზემო ნაწილში განლაგებულია ღვარცოფწარმომქმნელი კერები, რომლებიც ეროვნული ღრანტების ჩადაბლებულ ადგილს წარმოადგენს. მათ ციცაბო ფერდობზე მიმდინარე გამოფიტვის მოვლენებისა და ეროვნული პროცესების შედეგად, ტალღური

პროცესებით ერთმანეთზე უენების დადებით, გროვდება კერებში ღვარცოფის მასა.

ბმული ღვარცოფის ტალღური სახით მოძრაობის მოდელი შეიძლება შემდეგნაირად დახასიათდეს: ტალღის ფრონტი უძრავია, თუ მისი გავრცელების სიჩქარე მეტია ან ნაკლებია ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ტალღის გავრცელების სიჩქარის მიხედვით შეიძლება შეფასდეს ღვარცოფული მასის კრიტიკული მძაფრი და წყნარი მდგომარეობა.

ღვარცოფებთან ბრძოლის კვლევის სადღეისო მონაცემები და არსებული სტატისტიკური მასალების ანალიზი ადასტურებს, რომ ღვარცოფწარმომქმნელი კერებიდან (ღვარცოფ-საცავებიდან) ფორმირებული მაღალი სიმკვრივის ნაკადების და თვით კერის მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერება, კერძოდ, კერის სიღრმის, დაძრული მასის ხარჯის და სიჩქარის დროში ცვლილების პროგნოზი, დაცვითი ღონისძიებების შერჩევასა და კატასტროფებისაგან გაუვნებელყოფის ერთ-ერთ განმსაზღვრელ პირობას წარმოადგენს.

ღვარცოფსაცავის ტალღურად გარღვევის შემთხვევაში, ქვედა ბიეფში ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის კანონზომიერების შეფასების დროს, შეიძლება გამოყენებული იქნეს სენ-ვენანის ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლებები, რომელთა ამოხსნის დროს უნდა დაკმაყოფილდეს შემდეგი პირობები:

1. სიჩქარის გრძივ მდგენელთან შედარებით ვერტიკალურის უნიშვნელობის გამო მათი პროცესებზე გავლენა მხედველობაში არ მიიღება;
2. ღვარცოფის სიღრმის გრძივ ტალღასთან შედარებით არცთუ ისე დიდი მნიშვნელობის გამო წნევის ცვლილება ემორჩილება ჰიდროსტატიკის კანონებს;
3. სადაწნეო ფრონტის გარღვევის შემთხვევაში ენერგიის დანაკარგი წინააღმდეგობების გათვალისწინებით თანა-

ბარი მოძრაობის აღეკვატურად შეიძლება იქნას მიღებული.

ღვარცოფსაცავის უეცარი გარღვევის შემთხვევაში, გადმოდინებული ხარჯის განგარიშების დროს მართებულია შემდეგი სახის განტოლების გამოყენება:

$$\frac{dW}{dt} = -q, \quad (4.5.1)$$

სადაც	q	არის ღვარცოფსაცავიდან გადმოდინებული ხარჯის სიდიდე;
	W	- ღვარცოფსაცავის მოცულობა;
	t	- ღვარცოფსაცავის დონის დაწევის ხანგრძლივობა.

ღვარცოფსაცავის უეცარი გარღვევის მომენტში პროცესი შემდეგნაირად შეიძლება დახსაიათდეს: როცა $t = 0$, დაძრული მოცულობა W_0 -ის, ხოლო გარღვევის შემდეგ მისი მნიშვნელობა $W_{(t)}$ -ს ტოლია.

გარღვეულ კვეთში ღვარცოფსაცავიდან გადმოდინებას თუ წარმოვიდგენთ, როგორც ანალოგს ფართო ზღურბლიან წყალსაშვზე წყლის გადადინებისა, მაშინ დაძვრის პროცესის დროის მცირე dt მონაკვეთში ღვარცოფსაცავის სიღრმე მცირდება dH სიდიდით. ასეთ პირობებში გარღვეულ კვეთში გადმოდინებული ღვარცოფის მოცულობა ΩdH -ის, ხოლო ღვარსაშვზე H_0 -ის ტოლი იქნება. სტაციონარული პროცესის შესაბამისად, ღვარცოფის ხარჯის საანგარიშოდ შეიძლება შემდეგი ფორმულის გამოყენება:

$$q = mb\sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (4.5.2)$$

სადაც	b	არის ღვარცოფის გარღვეული ნაწილის სიგანე;
-------	-----	--

- m - ხარჯის კოეფიციენტი;
- H_0 - ჩამოყალიბებული ღვარცოფის მასის სიმაღლე კერის დასაწყისში;
- g - სიმძიმის ძალის აჩქარება.

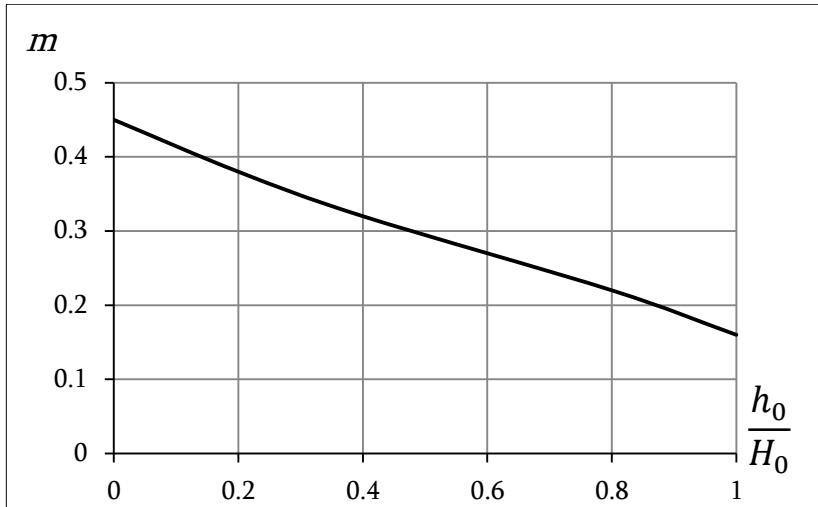
ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, ღვარცოფის ხარჯის კოეფიციენტის საანგარიშოდ სიჩქარის Ψ კოეფიციენტის ბმულობის ეკვივალენტური h_0 სიღრმისა და შინაგანი ხახუნის β კუთხესთან კავშირში, მიღებულია შემდეგი სახის დამოკიდებულება:

$$m = \Psi \frac{2\Psi^2 - \varphi \frac{h_0}{H_0}}{2\Psi^2 + \varphi} \sqrt{\frac{1 - \varphi \frac{h_0}{H_0}}{2\Psi^2 + \varphi}}. \quad (4.5.3)$$

არასტაციონარული პროცესების დროს ტალღის გავრცელების ხარჯის საანგარიშო ფორმულის მიხედვით, ხარჯის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებებს, როდესაც კერის დახრის კუთხე არის 0, შემდეგი სახე აქვს:

$$m = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_0}{H_0} \right) \varphi \cos \theta}. \quad (4.5.4)$$

რადგან m წარმოდგენილია როტული ფუნქციის სახით, სტაციონარული პროცესის შემთხვევაში, მის საანგარიშოდ მოცემულია ნომოგრამა, რომლის ცვლილება, როცა $\varphi = 1$ φ -სა და $\frac{h_0}{H_0}$ -თან სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს, მოცემულია (4.5.1) გრაფიკის სახით.



ნახ. 4.5.1. $m = f\left(\varphi \frac{h_0}{H_0}\right)$ გრაფიკული დამოკიდებულება.

იმ შემთხვევაში, როცა ღვარცოფწარმომქმნელი კერა ოთვუთხა პრიზმის სახით არის წარმოდგენილი, განტოლება (4.5.1) შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვადგინოთ:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dH} \frac{dH}{dt} = \Omega \frac{dH}{dt}, \quad (4.5.5)$$

სადაც Ω არის ღვარცოფსაცავის ხარჯის ზედაპირის ფართობი და $\omega(H) = \Omega$.

გაანგარიშების გაადვილების მიზნით, თუ ვაწარმოებთ აპროქსიმაციას ღვარცოფსაცავისას გეომეტრიულად ოთხკუთხა პარალელუპიპედთან, როცა $\Omega = \text{const}$, შეიძლება დავწეროთ შემდეგი სახის დამოკიდებულება:

$$W(H) = \Omega H. \quad (4.5.6)$$

გამომდინარე (4.5.6) დამოკიდებულებიდან, (4.5.1) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\Omega \frac{dH}{dt} = -q. \quad (4.5.7)$$

დგარცოფსაცავიდან ჩამომეწყრილი დგარცოფული მასის ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულება, როცა ტალღის სიმაღლე H -ის ტოლია:

$$q = bH \sqrt{H \left(1 - \frac{h_0}{H} \right) \varphi g \cos \theta}, \quad (4.5.8)$$

სადაც	b	არის დგარცოფის გარღვეული ნაწილის სიგანე:
	H	- დგარცოფსაცავიდან წარმოქმნილი ნაკადის სიმაღლე;
	h_0	- ბმულობის შინაგანი ხახუნის კუთხე;
	φ	- კოეფიციენტი, რომელიც შინაგანი ხახუნის კუთხის ფუნქციას წარმოადგენს;
	g	- სიმძიმის ძალის აჩქარება;
	$\cos \theta$	- დგარცოფსაცავის ფუძესთან დახრის კუთხე.

თუ შემოვიდებთ აღნიშვნას $K = \frac{h_0}{H}$ და გავამარტივებთ და გარდავქმნით (4.5.8) განტოლებას, მივიღებთ:

$$q = \sqrt{\frac{1-K}{2}} \varphi \cos \theta b \sqrt{2gH^{\frac{3}{2}}}. \quad (4.5.9)$$

(4.5.9)-ის გათვალისწინებით (4.5.7)-ში გვექნება:

$$\Omega \frac{dH}{dt} = -\sqrt{\frac{(1-K)}{2}} \varphi \cos \theta b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}. \quad (4.5.10)$$

ცვლადთა განცალებით და გარდაქმნებით (4.5.10)
განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{dH}{H^{\frac{3}{2}}} = -\frac{\sqrt{\frac{(1-K)}{2}} \varphi \cos \theta b \sqrt{g} dt}{\Omega}. \quad (4.5.11)$$

(4.5.11) განტოლების ინტეგრირების საფუძველზე გვექნება:

$$H = \left(\frac{\sqrt{(1-K)\varphi g} bt}{2\Omega} + c \right)^2. \quad (4.5.12)$$

ინტეგრირების მუდმივა განისაზღვრება განტოლებით:

$$\frac{1}{\sqrt{H}} = \left(\frac{\sqrt{(1-K)\varphi g} bt}{2\Omega} + c \right). \quad (4.5.13)$$

$$\text{როცა } t = 0, W = W_0, H = H_0 \text{ და } c = \frac{1}{\sqrt{H_0}}.$$

ინტეგრირების მუდმივას განსაზღვრის შემდეგ (4.5.13)
განტოლება, სიღრმის ცვლილების კანონზომიერება
 $H = f[H(t)]$ დვარცოფსაცავის დაცლისა დროში, მიიღებს
შემდეგ სახეს:

$$H_{(t)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{H_0}} + \frac{\sqrt{(1-K)\varphi g} \cos \theta b t}{2\Omega} \right)^2}. \quad (4.5.14)$$

შესაბამისად, დვარცოფის ხარჯი იქნება:

$$q_{(t)} = \sqrt{(1-K)\varphi g \cos \theta} b \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{H_0}} + \frac{\sqrt{(1-K)\varphi g \cos \theta} bt}{2\Omega} \right)^3}. \quad (4.5.15)$$

ხოლო საშუალო სიჩქარის დროში ცვლილებას ექნება შემდეგი სახე:

$$V_{(t)} = \frac{q_{(t)}}{H_{(t)}} = \frac{\sqrt{(1-K)\varphi g \cos \theta}}{b \left(\frac{1}{\sqrt{H_0}} + \frac{\sqrt{(1-K)\varphi g \cos \theta} bt}{2\Omega} \right)}. \quad (4.5.16)$$

მიღებული (4.5.14), (4.5.15) და (4.5.16) დამოკიდებულებები წარმოადგენენ ღვარცოფსაცავის შესაძლო გარღვევის შემთხვევაში მისი მახასიათებლების დროში ცვლილების პარამეტრებს.

პარამეტრების $H_{(t)} = f(t)$, $q_{(t)} = f(t)$ და $V_{(t)} = f(t)$ ცვლილების კანონზომიერების სურათი, როცა ღვარცოფ-საცავში დაგროვილი მასის სიმაღლე $H=3.0$ მ-ს, $b=100.0$ მ-ს, სარკის ზედაპირის ფართობი $\Omega=6000.0$ მ²-ს, კერის სიგრძე $L=60.0$ მ-ს, $\theta=0^0$ -ს, $K=0.5$, $\beta=30^0$, $\varphi=\operatorname{tg}^2\left(45^0 - \frac{3}{2}\right)=0.33$,

ღვარცოფსაცავის მოცულობა $W=18000$ მ³-ს, ღვარცოფის ფუძის დახრის კუთხე $\theta=0^0$ -ს და $\cos \theta=1.1$, შინაგანი ხახუნის

კუთხე $\varphi=30^0$ -ს, შესაბამისად $\varphi=\operatorname{tg}^2\left(45^0 - \frac{3}{2}\right)=0.33$ და

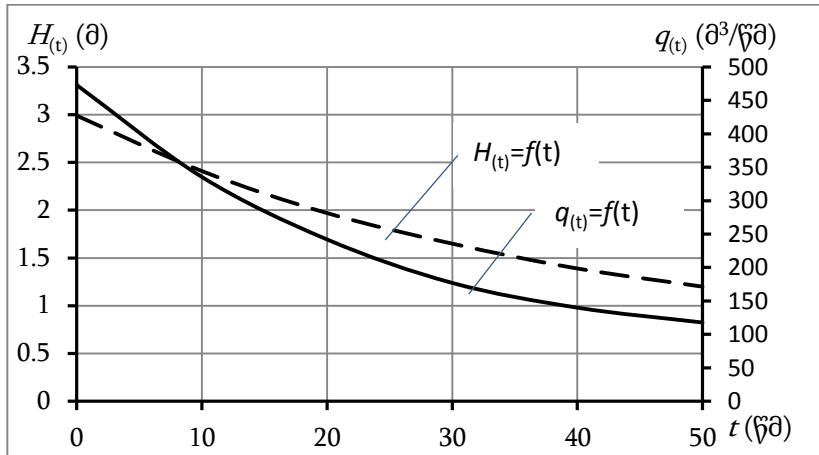
$$K = \frac{\sqrt{\varphi}-1}{\sqrt{\varphi}+0.75}.$$

მოცემული მნიშვნელობების შეტანით (4.5.14), (4.5.15) და (4.5.16) ფორმულებში, პარამეტრების ცვლილების სურათი წარმოდგენილია ქვემოთ მოყვანილ განტოლებებში, რომელთა გრაფიკული ილუსტრაცია მოცემულია ნახაზზე 4.5.2.

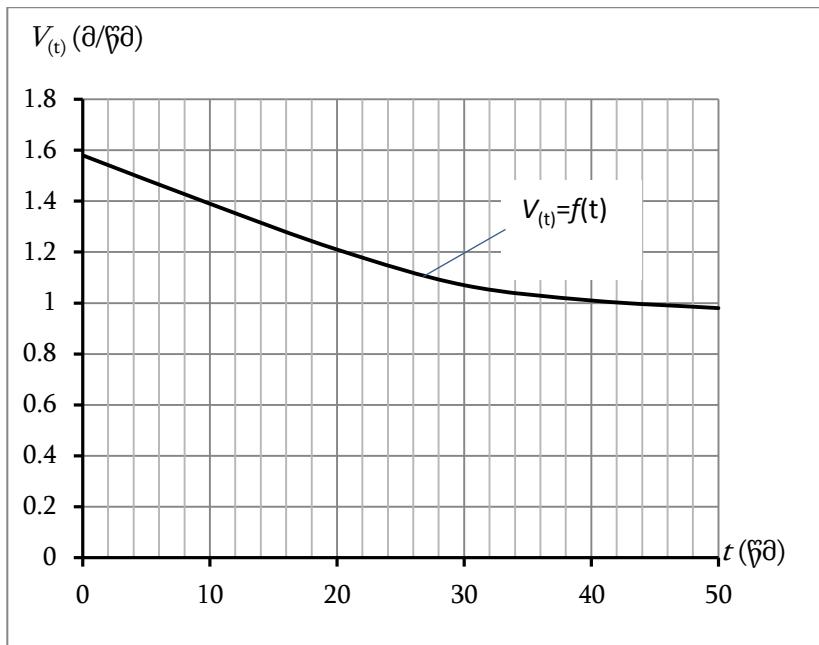
$$H_{(t)} = \frac{1}{(0.578 + 0.0067t)^2}. \quad (4.5.17)$$

$$q_{(t)} = 89.9 \left(\frac{1}{0.578 + 0.0067t} \right)^3. \quad (4.5.18)$$

$$V_{(t)} = \frac{q_{(t)}}{H_{(t)}} \quad (4.5.19)$$



ნაზ. 4.5.2. $H_{(t)} = f(t)$ და $q_{(t)} = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები.



ნახ. 4.5.3. $V_{(t)} = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.

მიღებული (4.5.17), (4.5.18) და (4.5.19) დამოკიდებულებების საფუძველზე, ზემოთ მოცემული პარამეტრების შემთხვევაში, ნახაზებზე 4.5.2 და 4.5.3-ზე დროში მოცემული ცვლილების კანონზომიერება ტალღის გავრცელების ზონაში [9], საშუალებას იძლევა შეირჩეს ლგარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა.

4.6. ბმული ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა დინამიკური წონასწორობის განტოლების საფუძველზე

ბმულ ღვარცოფთა მასა, რომელიც ბლანტ-პლასტიკური ტანითაა წარმოდგენილი, ძირითადად წყლის, წვრილფრაქ-ციული მყარი მასის და ქვის ჩანართის პროცენტული შემცველობით ხასიათდება. აქედან გამომდინარე, ღვარცოფის როგორც ფიზიკური ტანის, სტატიკური, დინამიკური მაჩვენებლების შეფასება კალაპოტური ნაკადებისა და საინჟინრო გრუნტმცოდნეობის თეორიების ბაზაზე ან ექსპერიმენტით მიღებული ემპირიული საანგარიშო დამოკიდებულებებით ხდება.

მაღალი სიმკვრივის ნაკადების ცალკეული საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტა ძირითადად მათი რეოლოგიური თვისებების განშსაზღვრელ პარამეტრებთანაა უშუალო კავშირში. ამ პრობლემის გადასაჭრელად სპეციალისტთა და მეცნიერთა მიერ გამოყენებული მოდელების ძირითად განშსაზღვრელ პარამეტრებს ძვრის საწყისი წინაღობა და სიბლანტის კოეფიციენტი წარმოადგენს. რეოლოგიური თვისებების განშსაზღვრელი პარამეტრი, კერძოდ, საწყისი წინაღობა ძვრაზე, ღვარცოფის ტანის მოძრაობის დაწყების განშსაზღვრელი მაჩვენებელია. სტატიკური მდგომარეობიდან დინამიკურში გადასვლის დროს ძვრის წინაღობის ცვლილების სურათის შესწავლა ერთ-ერთ აქტუალურ საკითხად რჩება და იგი რეოლოგიურ პარამეტრთა ინტეგრალურ მახასიათებელს წარმოადგენს.

ნიუტონური და არანიუტონური სითხეების მოძრაობის წინააღმდეგობის მახასიათებლების განშსაზღვრის პრობლემას მიეძღვნა თეორიული და ექსპერიმენტული ხასიათის შრომები, რომელთა შედეგებს საკონტროლო შემოწმებითი ხასიათი

გააჩნია კვაზი-მყარი ტანების მახასიათებლების შეფასების დროს [2, 5, 11, 13, 14, 32, 37, 38, 39, 46, 49, 50].

როგორც არსებული კვლევების ანალიზით დასტურდება, ღვარცოფთა დინამიკის განმსაზღვრელი მახასიათებლების შეფასება ძირითადად ტრადიციულად მიღებული ფაქტორების გათვალისწინებით ხდება და ხშირად მეორეხარისხოვნად ან სავსებით უგულებელყოფილია მოძრაობის წინაღობის განმსაზღვრელი პარამეტრი - კალაპოტის ხორკლიანობა.

ღვარცოფის ტანში მყარი ჩანართის დიდ დიაპაზონში ცვლილება იწვევს მათი დინამიკური მახასიათებლების დიდ საზღვრებში პულსაციას, რაც ართულებს მათ ექსპერიმენტულ კვლევას. უკანასკნელ პერიოდში როგორც ერთგვაროვანი, ისე არაერთგვაროვანი ტანების ფიზიკურ-მექანიკური და დინამიკური მახასიათებლების კვლევის დროს ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სახისა და მოდიფიკაციის საექსპერიმენტო დანადგარები [16, 19, 23, 28, 29, 30, 42, 43, 47, 49, 60].

ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების განხილვის დროს მუდმივი ქანობის მქონე სატრანზიტო უბნებზე მისი დინამიკის ერთ-ერთ განმსაზღვრელ ინტეგრალურ პარამეტრს საშუალო სიჩქარე წარმოადგენს.

ღვარცოფის გავლის მონაცემების საფუძველზე და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღვარცოფის მოძრაობის განხილვა შეიძლება კვაზი-მყარი სხეულის მოძრაობის ანალოგიურად. აქედან გამომდინარე შეიძლება დავუშვათ, რომ მუდმივი ქანობის მქონე სწორხაზოვან სატრანზიტო უბნებში ნაკადის სიღრმე ითვლება უცვლელად. ასეთ შემთხვევაში ნაკადის მთელი მასა შეიძლება მოძრაობდეს აჩქარებულად ან პირიქით. ამას გარდა, შერჩეული სქემის საფუძველზე მოძრაობის სიჩქარე ნაკადის მთელ ცოცხალ კვეთში, გარდა სასაზღვრო შრისა, მიღებულია მუდმივად.

რამდენადაც ერთადერთ დამამუხრუჭებელ ძალად აღებულია ხახუნის ძალა, ეს უკანასკნელი საგრადიენტო შრის გარეთ, ნაკადის გულში, მასის ყველა ნაწილაკზე, რომელიც ამავე დროს გადის მოცემულ კვეთზე, არ იცვლება.

შერჩეული კვეთის მიმართ დინამიკური წონასწორობის განტოლებას ყველა ძალის მოძრაობის მიმართულების დაგეგმარების დროს აქვს სახე:

$$P_1 - P_2 + y \cdot h \cdot \ell \sin \alpha - \tau \cdot \ell - \frac{\gamma}{g} h \cdot \ell \frac{dV}{dt} = 0. \quad (4.6.1)$$

ზემოთ მიღებული დაშვების შესაბამისად, (4.6.1) განტოლების პირველ და მეორე წევრებს შორის სხვაობა შეიძლება 0-ის ტოლად ჩაითვალოს. მესამე წევრი შერჩეული კვეთის სიმძიმის ძალის მდგრელს წარმოადგენს, მეოთხე - დამამუხრუჭებელ ძალას, ხოლო უკანასკნელი - ინერციის ძალას ახასიათებს.

(4.6.1)-ში ზოგიერთი გარდაქმნების შედეგად მიიღება:

$$idx - \frac{\tau}{\gamma \cdot h} dx - \frac{V dV}{g} = 0. \quad (4.6.2)$$

(4.6.2) განტოლების ინტეგრირების მიზნით პირველ რიგში აუცილებელია დამყარდეს კავშირი მხებ ძაბვასა და სიჩქარეს შორის.

თანაბარი მოძრაობის შემთხვევაში (4.6.2) განტოლება იღებს სახეს:

$$\tau = \gamma \cdot h \cdot i. \quad (4.6.3)$$

რადგან (4.6.2) და (4.6.3) განტოლებები გამოყვანილია სატრანზიტო უბნის კალაპოტის შევიწროებულ მონაკვეთზე, ნაკადის სიღრმის h -ის ნაცვლად აუცილებელია „დვარცოფის“ ჰიდრავლიკური რადიუსის ჩასმა.

თანაბარი მოძრაობის წონასწორობის დინამიკური განტოლების გატოლებით მიღებულ ემპირიულ საანგარიშო დამოკიდებულებასთან და შესაბამისი გარდაქმნებით თანაბარი

მოძრაობის სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$V = \frac{C}{\gamma^{0.197} K^{1.126}} \frac{(0,03 + 0,00224(\Delta/d)^{3.226})(h \cdot i)^{0.303}}{\left[1 - \frac{2,4C5.08(1,1+0,08(\Delta/d)^{3.226})}{10^7 \gamma \cdot K^{5.72}} (L \cdot h)^{1.54} \right]^{0.197}} \quad (4.6.4)$$

სადაც i არის კალაპოტის ქანობი;

C – სიჩქარის კოეფიციენტი.

არსებულისაგან განსხვავებით (4.6.4) ნახევრად ემპირიული ფორმულა წარმოდგენილია კავშირით ნაკადის სიჩქარესა და მოძრაობის წინააღმდეგობის მახასიათებლებს შორის.

(4.6.4) საანგარიშო დამოკიდებულება მიღებულია მუდმივი ქანობის მქონე ღვარცოვადინარის სწორხაზოვანი უბნებისათვის, ამიტომ სიჩქარის სიდიდეები, როცა $\Delta/d = 1$, შედარებულია ნატურულ მონაცემებთან და შედეგები მოცემულია ცხრილში 4.6.1.

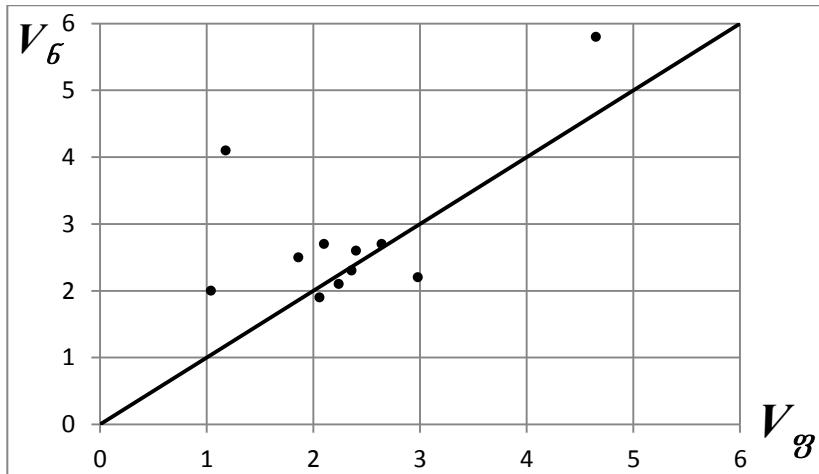
შემოთავაზებული (4.6.4) საშუალო სიჩქარის საანგარიშო ფორმულის გამოყენება შეიძლება ბმული ღვარცოვის საშუალო სიჩქარის საანგარიშოდ, რომელთა მოცულობითი წონა 1,8-2,3 ტ/მ³-ის ფარგლებში მერყეობს.

ცხრილში 4.6.1 მოყვანილი შედეგების მიხედვით აიგო გრაფიკული დამოკიდებულება ნატურაში ფიქსირებული ღვარცოვის სიჩქარესა და ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებს შორის (ნახაზი 4.6.1).

(4.6.4) ფორმულით გაანგარიშებული საშუალო სიჩქარის
მნიშვნელობების შედარება ბუნებაში ფიქსირებული
ღვარცოფების საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობებთან

ცხრილი 4.6.1

ღვარცოფის საღინარის კალაპოტის ქანით, i ღვარცოფის სიმკერვე $P_{\text{კგ/მ}}^{\text{მ}}$	ღვარცოფის ჰიდრავლიკური მაჩვენებლები			ღვარცოფის საშუალო სიჩ- ქარე		
	ღვარ- ცოფის სიღრმე, $h \text{ (მ)}$	ცოცხა- ლი კვეთის ფართობი, $\omega \text{ (მ}^2)$	ჰიდრავლი- კური რადი- უსი, $R \text{ (მ)}$	ნატურაში, $V \text{ (მ}^3\text{მ)}$	ფორ- მულა (4.6.4) -ით, V (მ/წმ)	
0,035	2000	1,2	43	1,2	1,9	2,06
0,035	2000	1,7	115	1,7	2,5	1,86
0,035	2000	2,6	75	2,6	2,0	1,04
0,035	2000	1,8	97	1,8	2,7	2,64
0,035	2000	1,3	34	1,3	2,3	2,36
0,035	2000	2,2	154	2,2	2,6	2,40
0,035	2000	1,6	98	1,6	2,1	2,24
0,077	2000	3,0	220	1,3	2,7	2,10
0,077	2000	7,4	71	3,2	5,8	4,65
0,077	2000	5,6	42	2,5	4,1	1,18
0,077	2000	1,7	45	0,7	2,2	2,98



ნახ. 4.6.1. $V_\beta = f(V_n)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.

გრაფიკული ანალიზით დადგენილ იქნა, რომ (4.6.4) ფორმულით გაანგარიშებული შედეგების მაქსიმალური გადახრა ნატურასთან შეადგენს 16%-ს, ხოლო მინიმალური – 0,04%-ს.

4.7. ბმული ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა შვედოვ-ბინგამის განზოგადებული მოდელის საფუძველზე

ბმული ღვარცოფის მასა წარმოადგენს ბლანტ-პლასტიკურ ტანს, რომელიც შედგება სამი ძირითადი კომპონენტისაგან: წვრილფრაქციული ქვის ჩანართი და წყალი, რომელთა პროცენტული რაოდენობა განსაზღვრავს ღვარცოფული ნაკადის რიგ სპეციფიკურ თავისებურებებს. ამ კომპონენტთა შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ღვარცოფულ

ტანში წყლის პროცენტულ შემცველობას. მ. გაგოშიძის [24] მონაცემებით, ბმულ ღვარცოფებში წყლის პროცენტული შემცველობა იცვლება 10-დან 20%-ის ფარგლებში.

სპეციალური ლიტერატურული წყაროების [1, 20, 26, 36, 34, 48] ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ღვარცოფის, როგორც ფიზიკური სხეულის, სტატიკური და დინამიკური მაჩვენებლების შესწავლა ხდება მომიჯნავე დისციპლინების კალაპოტური ნაკადების პიდრავლი კისა და საინჟინრო გრუნტმცილეობის ბაზაზე. ამის გამო, ღვარცოფის სპეციფიკური თვისებების გათვალისწინებით, ამა თუ იმ პარამეტრის დასადგენად, ლაბორატორიული და საგელე ნატურული კვლევები ხორციელდება აღნიშნულ სფეროებში გამოყენებული ხელსაწყოებითა და აპარატურით [15, 18, 24, 30, 49].

ნატანმზიდი ნაკადებისგან განსხვავებით, ბმული ღვარცოფული ნაკადებისათვის დამახასიათებელია კონცენტრაციის მცირე და რეოლოგიური მაჩვენებლების დიდ დიაპაზონში ცვალებადობა [24, 30, 49, 56, 57, 58].

ზღვრული წონასწორობის დარღვევის ან ბმული და არაბმული ღვარცოფების კანონზომიერებათა შესწავლის მიზნით, ნატურულ კვლევებთან ერთად [21, 24, 27, 44, 45, 52], იყო საკითხის თეორიული [17, 25, 30,] და ექსპერიმენტული [31, 43, 51] გზით შესწავლის მცდელობაც.

სხვა დისპერიული სისტემების რეოლოგიის სფეროში არსებული კვლევების მონაცემეთა საფუძველზე სამეცნიერო შრომებში [17, 22, 24, 30, 44, 52] შემოთავაზებულია კონცენტრაციის ზღვრული მნიშვნელობა ღვარცოფის ყველა შესაძლო სტრუქტურულ-რეოლოგიური ტიპების კლასიფიკაციისათვის.

სტრუქტურული კავშირებისა და სიმტკიცის მახასიათებლების მიხედვით ღვარცოფულ მასას უკავია შუალედური მდგომარეობა თხიერ და ბლანტ-პლასტიკურ ტანებს შორის. აღნიშნულის გათვალისწინებით, შრომებში [33, 41, 49]

საგრადიენტო შრეზე შვედოვ-ბინგამის მოდელის გავრცელების მიხედვით, შემოთავაზებულია ღვარცოფული ნაკადების დინამიკური მახასიათებლების საანგარიშო დამოკიდებულებები.

დღეისათვის ღვარცოფული ნაკადის ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის კავშირი აისახება ხარისხოვანი ფუნქციით [33, 53], მაგრამ სიბლანტის კოეფიციენტისა და დინების ინდექსის განსაზღვრის საკითხი გადაუჭრელი რჩება.

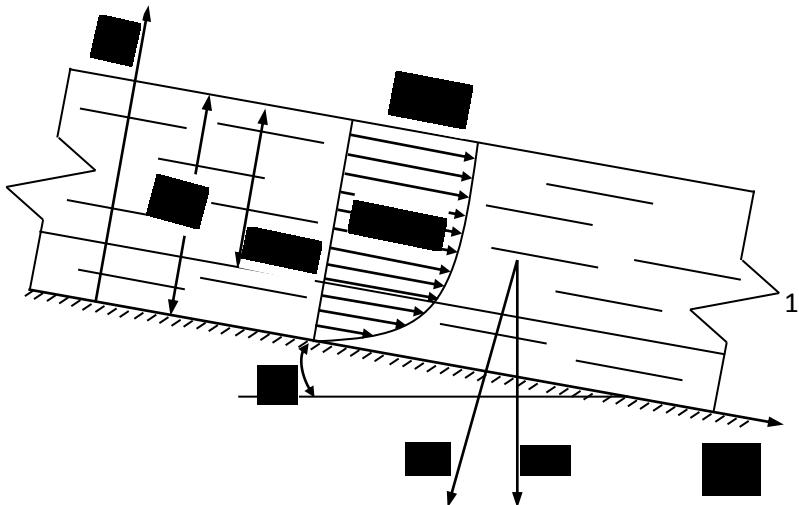
ღვარცოფული პროცესების დინამიკის ცალკეული ამოცანების გადაწყვეტა უშუალოდ დაკავშირებულია მისი რეოლოგიური მახასიათებლების დადგენასთან. ასეთი ნაკადების დახასიათება ხდება არაწრფივი რეოგრამების საშუალებით.

ჩატარებული ექსპერიმენტის პირობებში ფსკერული შრის „სისქე“ ღვარცოფული ტანის ბმული მდგომარეობის ზღვრებში, ნაკადის სიღრმესთან შედარებით მცირე სიდიდეა და შეიძლება მისი უგულებელყოფა როგორც საშუალო სიჩქარის, ასევე ხარჯის განსაზღვრის დროს.

ღვარცოფული ნაკადების დინამიკურ პროცესებში ძირითად როლს ასრულებს მისი რეოლოგიური მაჩვენებლები. ამ მახასიათებლების გათვალისწინებით, ბმული ღვარცოფული ნაკადის მოძრაობის მათემატიკური ფორმულირება ხორციელდება ნახაზზე (4.7.1) წარმოდგენილი საანგარიშო სქემის მიხდვით [5].

შვედოვ-ბინგამის განზოგადებულ მოდელს აქვს შემდეგი სახე:

$$\tau = \tau_0 + \mu_0 \left(\frac{dv}{dy} \right)^n. \quad (4.7.1)$$



ნახ. 4.7.1. ბმული ღვარცოფის მოძრაობის საანგარიშო სქემა.

ცვლადთა განცალებისა და (4.7.1) ფორმულის ინტეგრების შედეგად მივიღებთ ვერტიკალზე სიჩქარის განაწილების კანონს:

$$V = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\gamma i}{\mu_0} a_0 \right)^{\frac{1}{n}} \left[\left(h - \frac{c}{\gamma i a_0} \right)^{\frac{n+1}{n}} - \left(h - \frac{c}{\gamma i a_0} - y \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (4.7.2)$$

- სადაც h არის ღვარცოფული ნაკადის სიღრმე;
 i - კალაპოტის ქანობი;
 μ_0 - სტრუქტურული სიბლანტის კოეფიციენტი;
 V - ადგილობრივი სიჩქარე წერტილში;
 γ - ღვარცოფული მასის მოცულობითი წონა;
 φ - ღვარცოფული მასის შინაგანი ხასუნის კუთხე;

c - ბმულობის ხვედრითი ძალა;

$$a_0 = 1 - \frac{tg\varphi}{tg\alpha}.$$

$$\text{თუ } \text{შემოგიტანთ } \text{აღნიშვნებს: } h_0' = \frac{c}{\gamma a_0}, \quad \mu_1 = \frac{\mu_0}{tg\left(45^0 - \frac{L}{2}\right)},$$

სიჩქარეთა განაწილება კერტიკალზე მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$V = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\gamma^i}{\mu_1} a_0 \right)^{\frac{1}{n}} \left[\left(h - h_0' \right)^{\frac{n+1}{n}} - \left(h - h_0' - y \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (4.7.3)$$

სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა:

$$V_{\text{აღ.}} = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\gamma^i}{\mu_1} \right)^{\frac{1}{n}} \left(h - h_0' \right)^{\frac{n+1}{n}}. \quad (4.7.4)$$

ნაკადის ზედაპირული სიჩქარე:

$$V_0 = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\gamma^i}{\mu_1} a_0 \right)^{\frac{1}{n}} \left(h - h_0' \right)^{\frac{n+1}{n}} + h_0^{\frac{n+1}{n}}. \quad (4.7.5)$$

სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობა განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\bar{V} = \frac{q_1 + q_2}{h}. \quad (4.7.6)$$

სადაც q_1 არის საგრადიენტო შრის ხარჯი;

q_2 - ნაკადის გულის ხარჯი.

q_1 -სა და q_2 -ის განსაზღვრის შედეგად აღვილად გავიანგარიშებთ ღვარცოფის საშუალო სიჩქარეს:

$$\bar{V} = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\gamma^i}{\mu_1} a_0 \right)^{\frac{1}{n}} \left(h - h_0' \right)^{\frac{n+1}{n}} + \left(1 + \frac{n}{n+1} \frac{h_0'}{h} \right). \quad (4.7.7)$$

ადგილობრივ სიჩქარეთა ფარდობა მაქსიმალურთან:

$$V = V_{\text{აბი}} \left[1 - \left(1 - \frac{y}{h - h_0} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (4.7.8)$$

ადგილობრივი სიჩქარის შეფარდება ზედაპირულთან:

$$V = V_0 \left[h^{\frac{n+1}{n}} \left(1 - \frac{h_0'}{h} - \frac{y}{h} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (4.7.9)$$

ბმული ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე სასურველია გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{V} = V_{\text{აბი}} \left[1 - \frac{n}{n+1} \left(1 - \frac{h_0'}{h} \right) \right]. \quad (4.7.10)$$

საშუალო სიჩქარის განსაზღვრისას გარკვეული სირთულე მდგომარეობს მოძრაობის ინდექსის დადგენაში, რაც მოითხოვს სპეციალური ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარებას.

თუ პირველი მიახლოებით დავუშვებთ, რომ სიჩქარის განაწილება ზოგადად ემორჩილება პარაბოლურ კანონს, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$y = PV^2. \quad (4.7.11)$$

გრადიენტული შრის მთლიანი სიღრმისათვის გვექნება:

$$P = \frac{h}{V_{\text{აბი}}^2}. \quad (4.7.12)$$

შესაბამისად, საშუალო სიჩქარე იქნება:

$$\bar{V} = V_{\text{авл}} \left(1 - \frac{h_1}{3h} \right). \quad (4.7.13)$$

ელემენტარული გარდაქმნების შედეგად, როცა $n = 1$:

$$\frac{\bar{V}}{V_{\text{авл}}} = 0,67 + 0,33 \frac{h'_0}{h}, \quad (4.7.14)$$

ხოლო ნაკადში გულის არსებობის შემთხვევაში მივიღებთ

$$\frac{\bar{V}}{V_{\text{авл}}} = 0,67, \text{ რაც შეესატყვისება სუფთა წყლის ნაკადს.}$$

გრადიენტულ შრეში სიჩქარის პარაბოლური განაწილების დროს (4.7.7) დამოკიდებულება საბოლოოდ მიიღებს სახეს:

$$\bar{V} = \frac{\gamma h^2}{2\mu} \alpha a_0 \left(1 - \frac{h'_0}{h} \right) \left(0,67 + 0,33 \frac{h'_0}{h} \right), \quad (4.7.15)$$

$$\text{სადაც } \varepsilon = \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}.$$

ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი:

$$\lambda = 8 \left(\frac{V_*}{V} \right)^2 = \frac{1}{\left(1 - \frac{h'_0}{h} \right) a_0 \varepsilon \left(0,67 + 0,33 \frac{h'_0}{h} \right)}. \quad (4.7.16)$$

რეინოლდსის რიცხვი განზოგადებული სახით:

$$\operatorname{Re} = \frac{4a_0 \bar{V} h}{2} \left(1 - \frac{h'_0}{h} \right) \left(0,67 + 0,33 \frac{h'_0}{h} \right). \quad (4.7.17)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ენერგიის დანაკარგი მოძრაობის მიმართულებით არის ნაკადის გეომეტრიული და ჰიდრავლიკური მაჩვენებლების ფუნქცია, საშუალო სიჩქარის

საანგარიშო დამოკიდებულება საბოლოო სახით, შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$V = c\sqrt{Hi} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) a_0 \varepsilon \left(2,68 + 1,32 \frac{h_0}{h}\right)}. \quad (4.7.18)$$

რეოლოგიური მახსიათებლების უგულებელყოფის შემთხვევაში (4.7.14) დამოკიდებულება გადადის წყლის ნაკადის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო ფორმულაში.

4.8. ბმული ღვარცოფის არათანაბარი მოძრაობის მათემატიკური მოდელი

ღვარცოფების მოძრაობის პირობებისა და სხვა მოვლენებისაგან განსხვავებულობის გამო, საანგარიშო მოდელების შერჩევა-ადაპტირება განსაკუთრებულ მიდგომებს საჭიროებს [10]. მოქმედ მრავალრიცხვან სტატისტიკურ ფაქტორთა გათვალისწინებით ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების აღწერა და ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლებების გამოყვანა შესაძლებლობას მოგვცემს, გადავწყვიტოთ რიგი პრაქტიკული ამოცანა. იგი იქნება ის ოპერატიული საშუალება, რომლის საფუძველზე შესაძლებელი გახდება ღვარცოფ-საწინააღმდეგო ნაგებობების კონსტრუირება, დაგეგმარება და გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფა.

ღვარცოფთა მრავალწლიური შესწავლის ისტორია სადღეისო მონაცემებით საშუალებას იძლევა საინჟინრო პრაქტიკისათვის დასაშვები სიზუსტით გამოყვანილი იქნას მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება, რომლის ინტეგრირებით შესაძლებელი გახდება როგორც ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით სიღრმის ცვალებადობის, ასევე კალაპოტის ნებისმიერ უბანზე ნაკადის მოძრაობის რეჟიმის პროგრამირება. ნაშრომში [7] მიმდინარეობს მცდელობა, რათა ღვარცოფის დამყარებული

არათანაბარი მოძრაობა აღწერილი იქნას დიფერენციალური განტოლებით. კვლევის მიზანს ჰიპერკონცენტრირებული მაღალი სიმკვრივის ნაკადები წარმოადგენს.

როგორც ცნობილია, რეალურად ნაკადის მოძრაობის პირობების შეცვლა, მაგალითად, ნებისმიერი წინააღმდეგობის გადალახვა, კალაპოტის შევიწროება ან გაფართოება და კალაპოტის ფუძის ქანობის ცვლილება იწვევს ცოცხალი კვეთის ცვლილებას და ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ფორმის შეცვლას.

განიხილება ისეთი შემთხვევა, როდესაც თავისუფალი ზედაპირის სიმრუდის ცვალებადობა ისეთი დონით ხდება, რომ ნაწილაკთა სიჩქარე ცოცხალი კვეთის მართობულია. აღნიშნული შემთხვევა შემადგენელ სიჩქარეთა უგულებელყოფის საშუალებას იძლევა, როცა ცოცხალი კვეთის ფართობი სიგანისა და სიღრმის ფუნქციას წარმოადგენს.

როგორც ცნობილია, ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით სრული ენერგიის ცვლილება როგორც ნაკადის, ისე რეოლოგიური მახასიათებლების ცვლილებების ფუნქციას წარმოადგენს. მისი სიდიდე დინების მიმართულებით ყოველთვის ნაკადის მოძრაობის ხარჯზე ხდება. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება დავწეროთ:

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g}. \quad (4.8.1)$$

პირველი განტოლების დიფერენცირებით მივიღებთ:

$$\frac{dE}{dl} = \frac{dZ}{dl} + \frac{d\left(\frac{P}{\gamma}\right)}{dl} + \frac{d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)}{dl}, \quad (4.8.2)$$

სადაც E არის ნაკადის სრული ენერგია;

Z - ღვარცოფის ფუძის დაცილება საფარდ სიბრტყესთან;

$$\begin{aligned}\frac{P}{\gamma} & - \quad \text{პიეზომეტრული დაწნევა}; \\ \frac{\alpha V^2}{2g} & - \quad \text{სიჩქარითი დაწნევა}; \\ \frac{P}{\gamma} = h_{\sigma}. &\end{aligned}$$

რადგან მეორე განტოლებაში $\frac{dE}{dl}$ წარმოადგენს ნაკადის მოძრაობის წინააღმდეგობის i_f ქანობს, ხოლო $\frac{dZ}{dl}$ კალაპოტის ფუძის i ქანობს, ზემოთ აღნიშნულიდან შეგვიძლია დავწეროთ:

$$-i_f = -i + \frac{dh_{\sigma}}{dl} + \frac{d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)}{dl}. \quad (4.8.3)$$

რადგან ბმულ ლვარცოფში დაწნევასა და ნაკადის სიღრმეს შორის არსებობს დამოკიდებულება:

$$\frac{dh_{\sigma}}{dl} = \psi \left(1 - \frac{h_0}{h} \right) \frac{dh}{dl}. \quad (4.8.4)$$

ხოლო, როცა $\alpha = 1$, შესაბამისად $\frac{\alpha V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g}$ და სიჩქარის დაწნევის დიფერენცირებით გვექნება:

$$\frac{d\left(\frac{V^2}{2g}\right)}{dl} = -\frac{Q^2}{g\omega^3} B \frac{dh}{dl} - \frac{Q^2}{g\omega^3} \frac{\partial \omega}{\partial l}. \quad (4.8.5)$$

(4.8.4) და (4.8.5) განტოლებების გათვალისწინებით (4.8.3)-ში მივიღებთ:

$$-i_f = -i + \psi \left(1 - \frac{h_0}{h} \right) \frac{dh}{dl} - \frac{Q^2}{g\omega^3} B \frac{dh}{dl} - \frac{Q^2}{g\omega^3} \frac{\partial \omega}{\partial l}. \quad (4.8.6)$$

განტოლება (4.8.6)-ის გარდაქმნით და გამარტივებით, როცა $\omega_{\sigma} = K\omega$, მივიღებთ:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i - i_f - \frac{Q^2}{g\omega^3} \frac{\partial\omega}{\partial l}}{\psi\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) - \frac{Q^2}{g\omega^3} B}. \quad (4.8.7)$$

რადგან წინააღმდეგობის ქანობი $i_f = \frac{Q^2}{K^2\omega^2 C^2 R}$, განტოლება (4.8.7) მიიღებს სახეს:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2\omega^2 C^2 R} \left(1 - \frac{K^2 C^2 R}{g\omega^3} \frac{\partial\omega}{\partial l}\right)}{\psi\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) - \frac{Q^2}{g\omega^3} B}. \quad (4.8.8)$$

მიღებული განტოლება (4.8.8) წარმოადგენს ნებისმიერი სწორკუთხა ფორმის კალაპოტში მოძრავი ბმული ღვარცოფის დამყარებული არათანაბარი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას. ანალოგიური სახის ამოცანის გადაწყვეტა მოცემულია შრომებში [5, 6, 40, 55, 59].

როგორც განტოლების ანალიზი გვიჩვენებს, განტოლების მნიშვნელის 0-თან ტოლობა მიუთითებს კრიტიკული მდგომარეობის რეჟიმზე და ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის პარალელურობაზე ღვარცოფული კალაპოტის ფუძესთან. როცა მრიცხველი 0-ის ტოლია, ე.ი. როცა $\frac{dh}{dl} = 0$, ადგილი აქვს ნაკადის თანაბარი მოძრაობის რეჟიმს. ჩვენს შემთხვევაში, როცა $\frac{dh}{dl} = 0$:

$$i = \frac{Q^2}{K^2\omega^2 C^2 R}. \quad (4.8.9)$$

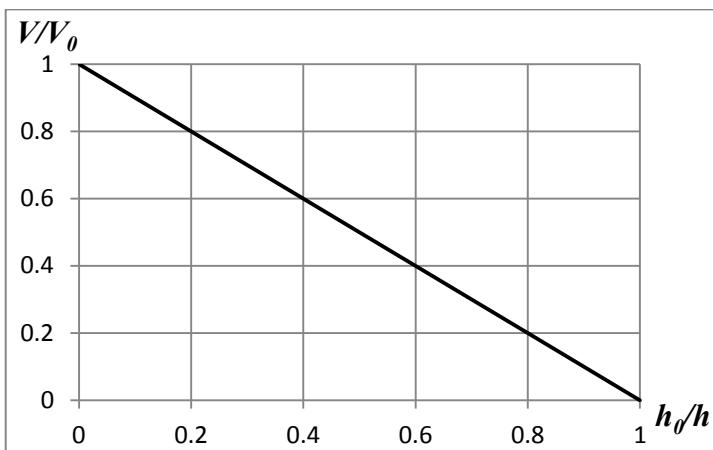
თუ შევიტანთ ხარჯის მნიშვნელობას $Q = \omega V$ განტოლებაში (4.8.9), მოძრაობის სიჩქარის გამოსახულება ბრტყელი ნაკადის შემთხვევაში, ე.ი. როცა $h = R$, იქნება:

$$V = KC\sqrt{hi} = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi C\sqrt{hi}. \quad (4.8.10)$$

როდესაც ნაკადის V სიჩქარე ნიუტონური სითხეების სიჩქარის ტოლია, მაშინ:

$$\frac{V}{V_0} = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi. \quad (4.8.11)$$

(4.8.11) განტოლების გრაფიკული ილუსტრაცია, როცა $\psi = 1$, ე.ო. $\varphi = 0$, მოცემულია ნახ. 4.8.1.-ზე.



ნახ. 4.8.1. გრაფიკული დამოკიდებულება

$$\frac{V}{V_0} = f\left(\frac{h_0}{h}\right), \text{ როცა } \psi = 1.$$

როგორც რეოლოგიური მახასიათებლების ცვლილება გვიჩვენებს, როდესაც ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმე ნაკადის სიღრმის ტოლია, ნაკადი წყვეტს მოძრაობას, ხოლო შინაგანი ხახუნის კუთხის ცვლილებით, ე.ო. მისი გაზრდით, ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე მცირდება.

ლიტერატურა

1. ბასილაშვილი ც., სალუქვაძე მ., ცომაია ვ., ხერხეულიძე გ., კატასტროფული წყალდიდობები, ღვარცოფები და თოვლის ზვავები საქართველოში და მათი უსაფრთხოება. სტუ-ის გამომცემლობა, თბილისი, 2012, 248 გვ.
2. გაგარდაშვილი გ., ბმული ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით. საქ. მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, თბილისი, 1995, ტ. 151, 3, გვ. 444-447.
3. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., ხუცურაული ბ., ღვარცოფწარმოქმნელი გრუნტის მდგრადიობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმები. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 145-151.
4. ყრუაშვილი ი., პრაქტიკული მოხაზულობის წყალსაშვზე გადადინებული ღვარცოფული ნაკადების შეუდლებული სიღრმეების გაანგარიშება. სასოფლო-სამეურნეო წარმოების, მექანიზაციისა და ელექტრიფიკაციის ტექნიკური საშუალებების სრულყოფის საკითხები. ნაწილი 2, 1993, გვ. 87-91.
5. ყრუაშვილი ი. კუხალაშვილი ე., ღვარცოფული ნაკადების დინამიკის ზოგიერთი საკითხები. საუს სამეცნიერო შრომები, “საინჟინრო ეკოლოგიის საკითხები ჰიდროტექნიკურ მელიორაციაში”. 1996, გვ. 55-63.
6. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ბზიავა კ., კირტავა ვ., ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადების ჰიდრავლიკური მახსიათებლების გაანგარიშება ღვარსაშვზე გადადინების შემთხვევაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “კლიმატის ცვლილება და მისი გავლენა სოფლის მეურნეობის მდგრად და უსაფრთხო განვითარებაზე”. თბილისი, 2014, გვ. 345-348.
7. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ბზიავა კ., კლიმატიშვილი ი., ბმული ღვარცოფის არათანაბარი მოძრაობის მათემატიკური მოდელი. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი

"ჰიდროინჟინერია", სტუ, საქართველოს საინჟინრო აკადემია. № 1-2 (17-18), 2014.

8. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., კლიმიაშვილი ი., ღვარცოფულ კერებში დაგროვილი მასის წონასწორობის ოდვევის განსაზღვრა ხარისხობრივი ფუნქციების გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური უკრნალი "ჰიდროინჟინერია", სტუ, საქართველოს საინჟინრო აკადემია. № 1-2 (17-18), 2014.
9. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., კლიმიაშვილი ი., არასტაციონარულობის საფუძველზე ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების განსაზღვრა. სამეცნიერო-ტექნიკური უკრნალი "ჰიდროინჟინერია", სტუ, საქართველოს საინჟინრო აკადემია. № 1-2 (17-18), 2014.
10. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., სიჭინავა ნ., ღვარცოფული ნაკადების დამყარებული არათანაბარი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება. სასოფლო-სამეურნეო წარმოების, მექანიზაციისა და ელექტრიფიკაციის ტექნიკური საშუალებების სრულყოფის საკითხები. ნაწილი 2, 1993, გვ. 75-87.
11. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი ტიპის კონსტრუქციები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ნაწილი II, თბილისი. 1998, გვ. 180-186.
12. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., ხუცურაული ბ., ღვარცოფების რეგულირება განივი ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ნაწილი II, 1997, გვ. 229-235.
13. **Ахмедов Б.М., Джартаев Д.К., Квасов Л.Н.**, Исследование сбросных сооружений селезадерживающих плотин. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата: изд-во Казахстан, 1979, с. 144-152.
14. **Бегишвили К.Р.**, Новые данные о движении грязекаменных потоков. Материалы IV Всесоюзной конференции по селевым потокам, Алма-Ата: 1959, с. 122-123.

15. **Белкин И.М. Виноградов Г.В. Леонов Л.И.**, Ротационные приборы. Измерение физико-механических характеристик материалов. Машиностроение. М., 1968, 272 с.
16. **Беляев Н.Н.**, Сопротивление материалов. М.: Гостехиздат, 1954, 828 с.
17. **Беручашвили Г.М. Кокоришвили В.И.**, Некоторые результаты исследования селевых потоков. Труды КазНИГМИ, вып.33, 1969, с.42-62.
18. **Боярский И.Я., Власов А.Ю., Коляда М.С.**, О приборе для измерения поверхностной скорости водокаменных селевых потоков. Вестник МГУ, сер. геогр., N 3, 1970, с.82-87.
19. **Бурдули Н.С., Кизирия Г.В., Херхеулидзе Г.И.**, Некоторые результаты опыта постройки и эксплуатации экспериментального сквозного селеуловителя системы ЗакНИИ на р. Дуруджи. Труды ЗакРНИИ, 1984, вып.83(90), с.112-124.
20. **Виноградов Ю.Б.** Этюды о селевых потоках. Л., Гидрометеоиздат, 1980, 144 с.
21. **Виноградов Г.В., Малкин Л.Я.**, Реология полимеров. М., Химия, 1977, 438 с.
22. **Вялов С.С.**, Реологические основы механики грунтов. М., Высшая школа. 1978, 280 с.
23. **Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г.**, Экспериментальная установка по изучению селевых потоков и паводков. Тр. ГрузНИИГиМ, Тбилиси, вып. 23, 1965с. 175-184.
24. **Гагошидзе М.С.**, Селевые явления и борьба с ними. Издво: Сабчота Сакартвело, Тбилиси, 1970, 386 с.
25. **Гвелесиани Т.Л. и др.**, О некоторых математических моделях для исследования волнообразования в водохранилищах при обвально-оползневых процессах. АН СССР, Журнал

- математического моделирования. Том III, № 5, 1991, с. 3-11.
26. Григорьян С.С., Об общих уравнениях динамики грунтов. ДАН СССР, том 124, № 2, 1959, с. 285-287.
 27. Думитрашко Н.В., Совещание по селям оползневого происхождения. Геоморфология, N 2, 1978, с.110-112.
 28. Заликашвили О.Г., Исследования некоторых свойств селевой массы в лабораторных условиях. Тр. ГПИ, № 3 (69), 1960, с. 61-79.
 29. Зедгенидзе И.Г., Ведение и планирование эксперимента. Изд-во ГПИ, Тбилиси, 1975, 179 с
 30. Иорданишвили З.С., Лабораторные исследования физико-механических свойств в процессе движения. Материалы V всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ним. Баку, 1962, с.195-200.
 31. Кавецкий С.П., Об искусственном воспроизведстве селей в природных условиях и меры борьбы с ними. Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 200-205.
 32. Кузьмин К.К., Катастрофический сель 1973 г. и плотина Медео. Гидротехническое строительство, N 3, 1974, с.10-12.
 33. Кухалашвили Э.Г., Об адаптации законов механики неньютоновских систем для описания динамики трехлинейной модели структурных (грязекаменных) селевых потоков. Сообщения АН Груз. ССР, т. 112, Тбилиси, 1983, с. 113-116.
 34. Макавеев В.М., Коновалов И.М., Гидравлика. М.Л.: Региздат. 1940, 643 с.
 35. Маслов Н.Н., Условия устойчивости склонов и откосов в гидротехническом строительстве. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955, 468 с.

36. **Мирзаджанзаде А.Х., Мирзоян А.Л., Гевинян Г.Н., Сейдра М.К.**, Гидравлика цементных растворов. М.: 1966, с. 298.
37. **Мирцхулава Ц.Е.**, Оценка риска появления селей катастрофического характера. Доклады Россельхозакадемии, 1997, № 6, с. 24-26.
38. **Мостков М.А.**, Очерки теории руслового потока. Изд-во АН СССР, М.: с. 18-54.
39. **Натишвили О.Г.**, Гидравлика безнапорных взвесенесущих потоков. Методическая разработка для слушателей ФПК, аспирантов и студентов гидромелиоративных профессий. Груз. СХИ, Тбилиси, 1988, 63 с.
40. **Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И.**, Основы динамики селей. Национальная Академия Наук Грузии Институт водного хозяйства, Издательство: Мецинереба, Тбилиси, 2007, 214 с.
41. **Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И., Иорданишвили З.С.**, К установлению скорости структурного селевого потока на прямолинейных участках русла. Тр. ГрузНИИГиМ, вып. 22, Тбилиси, 1963, с. 243-248.
42. **Прудзде Д.К.**, Определение уклона остановки селевых потоков. В кн. №6, М.: 1978, с. 118-121.
43. **Смирнов И.П.**, Опыт изучения селей путем искусственного их воспроизведения. Труды Каз. НИИГиМ, 1953, вып. 4, с. 39-54.
44. **Степанов Б.С.**, О периоде полураспада селевой массы. Селевые потоки. Сб.2. М.: Гидрометеоиздат, 1977, с.51-53.
45. **Сулаквелидзе Л.А.**, К вопросу формирования структурных селевых потоков. Труды ГрузНИИГиМ, Тбилиси, вып. 20, 1959, с. 145-154.

46. Сулаквелидзе Л.А. и др., Прохождение селевых потоков по руслу горного потока Шави Дуруджи 29.07.1956 г. Труды ГрузНИИГиМ, Тбилиси, вып. 18-19. 1957, с. 123-156.
47. Тевзадзе В.И., К вопросу установления предельного напряжения сдвига модели структурной селевой массы. Труды ГрузНИИГиМ, Тбилиси, вып. 29, 1972, с. 136-145.
48. Тевзадзе В.И., Определение средней скорости движения структурного селевого потока с учетом наличия нормальных напряжений в среде. – В сб.: Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. Вып.3. М.: 1974, с.166-170.
49. Флейшман С.М., Сели. Л., Гидрометеоиздат, 1978, 312 с.
50. Херхеулидзе И.И., Овражные и селевые выносы. М.: Дориздат, 1947, 97 с.
51. Херхеулидзе И.И., Эмпирические формулы для приближенного определения расчетных параметров структурных селевых потоков. Материалы V Всесоюзной конференции - совещание по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку, 1962, с. 178-185.
52. Цукерман И.Г., О минимальных углах сдвига рыхлообломочных пород. Селевые потоки. Сб.6. М.: Гидрометеоиздат, 1982, с. 25-29.
53. Яно К., Даидо А., Фундаментальные исследования грязекаменных потоков содержащих обломки горных пород. Сообщения 3, М., 1966, 32 с.
54. Cannon S. & Gartner J., Runoff and erosion generated debris flows from recently burned basins. Geological Society of America Annual Meeting, Salt Lake City, UT. 2005.
55. Coussot P., Mudflow Rheology and Dynamics, IAHR Monograph Series, A.A. Balkema: Rotterdam, 1997.

56. **Gartner J.**, Relations between debris-flow volumes generated from recently burned basins and basin morphology, triggering storm rainfall and material properties. M.S. thesis, University of Colorado, Boulder, CO. 2005. 73 p.
57. **Revellino, P., Hungr, O., Guadagno, F.M. & Evans, S.G.**, Velocity and runout prediction of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania region, Italy. Environmental Geology, 45, 2004, pp. 295-311.
58. **Scotto di Santolo A. & Evangelista A.**, Some observations on the prediction of the dynamic parameters of debris flows in pyroclastic deposits in the Campania region of Italy. Int. Journal of Natural Hazards 50, 2009, pp. 605-622.
59. **Takahashi T.**, Debris flow. Taylor & Francis Group, London, UK. 2007. 465 p.
60. **Fletcher A.G., Hamilton W.S.**, Flood Routing in an Irregular Channel. J. Eng., Mechanics Div. PASSCE, vol. 93, EM3, Paper 5282, June, 1967, p. 45-62.

თავი 5. ლვარცოფებთან ბრძოლის მეთოდები

5.1. ლვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები

საქართველოს ტერიტორიის მთავრობინი ნაწილი გეოგრაფიული კონტრასტულობით ხასიათდება, რასაც განსაკუთრებული რელიეფური პირობები და ბუნებრივი ფაქტორების მრავალფეროვნება განაპირობებს. აღნიშნულ ფაქტორთა ინტენსივობა იწვევს ისეთი საშიში მოვლენის გავრცელებას, როგორიცაა ლვარცოფი.

მიუხედავად იმისა, რომ ლვარცოფთა პრობლემას როგორც ჩენთან, ისე საზღვარგარეთ მრავალი სამეცნიერო ნაშრომი მიეძღვნა, დღეისათვის მათთან ბრძოლის ღონისძიებების მრავალი საკითხი და დეტალი საჭიროებს დაზუსტებას.

თითქოს ყოველი ლვარცოფსადინარის გამოტანის კონუსზე და მთის შენაკადთა სანაპირო ზოლში განლაგებულია ნაყოფიერი მიწები, სატრანსპორტო და რკინიგზის მაგისტრალები, საირიგაციო და სადერივაციო არხები, დასახლებული პუნქტები, რომელთა დამოუკიდებელი ან კომპლექსში ლვარცოფებისაგან დაცვისათვის სხვადასხვა სახის საინჟინრო ღონისძიებებს იყენებენ.

აღნიშნული სტიქიის განმეორებადობა, ბუნების სხვა სახის კატასტროფებიდან განსხვავებით, გამოწვეულია ჰიდროგრაფიული ქსელის პირობების თავისებურებებით. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოს მთიანეთი, რომლის ტერიტორიის მნიშვნელოვან ნაწილზე ხდება ლვარცოფთა ინტენსიური ზემოქმედება, შეიძლება მათი კვლევის სავალე ლაბორატორიად ჩაითვალოს.

აღნიშნულთან ერთად საყურადღებოა ის ფაქტი, რომლის მიხედვითაც ლვარცოფსაში შროებით მიყენებულ ზარალს ბოლო დროს ზრდის ტენდენცია აქვს.

ღვარცოფული პროცესების რეგულირების და მათი გაუვნებლობის ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის მიზნით აუცილებელია მეცნიერული კვლევის სწორი მიმართულების შერჩევა, ცალკეული ფაქტორების გამოვლენა და მათი როლი მოვლენის წარმოშობასა და მოძრაობის მექანიზმის ფორმირებაში. ღვარცოფებთან ბრძოლის ამოცანის გადაწყვეტის დროს ხშირად მიმართავენ ღვარცოფსადინართა აუზების ბუნებრივი მდგომარეობის კომპლექსური ღონისძიებების გაუმჯობესების ან სატრანზიტო უბნებზე სხვადასხვა სახის ნაგებობათა სისტემის ჩამოყალიბებული ღვარცოფების რეგულირებას.

საინჟინრო თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ჭურადღებას იპყრობს საკითხები ღვარცოფსადინარში გამოყენებული ბრძოლის ღონისძიებათა მუშაობის შედეგების შესახებ, მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტა, გეგმაში განლაგებული და საპროექტო პარამეტრების შერჩევა [7, 12, 17, 19, 21, 23, 24, 26, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 38]. ანომალიურობის გამო მოვლენის სხვადასხვა ტიპისთვის საინჟინრო ღონისძიებათა დამუშავება ძალზე რთულია და ძირითადად მათი წარმოშობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი საანგარიშო დამოკიდებულებებით მიღებული შედეგების ფუნქციას წარმოადგენს. ღვარცოფ-სადინართა აუზებში, სადაც ფიქსირებულია გეოლოგიურად ადგილად შლადი ქანები და ხელშემწყობი გეოგრაფიულ-კლიმატური პირობები, წარმოიქმნება სხვადასხვა სიმბლავრის ღვარცოფები [11, 14, 16, 18, 20], რომლებიც ერთმანეთისაგან განმეორებადობის სიხშირით, რეოლოგიური მაჩვენებლების დიდ დიაპაზონში ცვლილებით და მოძრაობის რეჟიმების განსხვავებულობით ხასიათდება. ამით აიხსნება მათ წინააღმდეგ გამოყენებული საინჟინრო კონსტრუქციების მრავალფეროვნება მათი განმსაზღვრელი პარამეტრების იდენტურობის შემთხვევაში.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ღვარცოფთა დარეგულირების პროცესში წარმოქმნილმა სირთულეებმა და საინ-

უინრო გადაწყვეტების ოპტიმალური ვარიანტების შერჩევამ ვერ მიიღო დასრულებული სახე.

იმისდა მიხედვით, თუ რა მიზნით ხდება ამა თუ იმ სახის ობიექტების ღვარცოფებისაგან დაცვა, ნაგებობათა გეგმაში განლაგება შეიძლება სხვადასხვა სქემით განხორციელდეს: 1) ნაგებობანი, რომელიც გარს ერტყმის დასაცავ ობიექტს ან სანაპირო გამრეცხ მონაკვეთს; 2) ნაგებობანი, რომელიც გარს უვლის დასაცავ ობიექტს დეზების ან ბარაჟების სახით და ნაკადის მიმართულებასთან სხვადასხვა დახრის კუთხით არის წარმოდგენილი.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა კომპლექსში უპირატესობა დაცვის მეორე სისტემას გააჩნია, რომელთა ეფექტურობა მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტით, ნაგებობათა სისტემის გეგმაში სწორედ განლაგებით გამოიხატება. ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების შერჩევა ხშირად ღვარცოფსაღინარში მიმდინარე პროცესების ცვლილების და სხვა უფრო სახითათო საშიშროების გამომწვევი მიზეზი იყოს.

ღვარცოფული პროცესების საინინრო ღონისძიებების რეგულირების არსებული მიღეომების ანალიზმა გარკვეული წარმოდგენა შექმნა მათი მუშაობის უფექტზე, რაც საფუძვლად დაედო ახალი განივი ნაგებობების შექმნას, რომელთა უპირატესობა არსებულთან შედარებით მათი ელასტიკურობით, მუშაობის ხანგრძლივობის სამიედობით, ეკონომიურობით, გარემოსთან შერწყმითა და ქვედა ბიეფში მოსალოდნელი გართულებების თავიდან აცილებით გამოიხატება.

ღვარცოფული ნაკადების წარმოშობის, ფორმირების, მოძრაობისა და მათთან ბრძოლის საკითხების კვლევის მრავალმხრივი ასპექტები დეტალურადა განხილული სპეციალურ ლიტერატურაში [8, 9, 10, 13, 15, 16, 19, 22, 25, 27, 31, 37].

ღვარცოფული ნაკადების უარყოფითი დამანგრეველი ზემოქმედება და მასთან ბრძოლის ღონისძიებების მნიშვნელობა ფართოდაა ცნობილი და ამიტომ მათ განხილვას აქ არ შევუდ-

გებით. აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ ღვარცოფული ნაკადების წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები და მათი დამანგრეველი ზემოქმედების თავიდან ასაცილებელი შესაბამისი ნაგებობები საკმაოდ მრავალფეროვანია.

საერთოდ, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დანიშნულებაა გადაწყვიტოს ქვემოთ ჩამოთვლილი ერთ-ერთი ამოცანათაგანი:

- გარეცხვის პროცესის პოზიციებიდან გამომდინარე, კალაპოტის სტაბილიზაციის გზით, წინააღმდეგობა გაუწიოს ღვარცოფის კერაში ღვარცოფული ნაკადის წარმოშობას;
- დასაცავი ტერიტორიიდან ღვარცოფული ნაკადის თავიდან აცილება;
- ღვარცოფული ნაკადის შეჩერება დასაცავი ტერიტორიის ზემოთ.

ყოველი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტა ამ მიმართულებით დამოკიდებულია ფაქტორთა მთელ კომპლექსზე, რაც, თავის მხრივ, განსაზღვრავს ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ამა თუ იმ ტიპის გამოყენებას.

წარმოდგენილი ნაგებობა შედგება ცალკეული ელემენტებისაგან ღრუტანიანი პირამიდების სახით და წარმოადგენს ღვარცოფული ნაკადის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ ჩამაგრებულ სახსრულდეროვან სისტემას. ჩვენ ვიხილავთ კალაპოტურ ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობებს, რომლებიც, თავის მხრივ, კვალიფიცირებულია, როგორც ღვარცოფდამჭერი, ღვარცოფმიმმართველი და ღვარცოფის ჩამქრობი ნაგებობა. ასეთი კონსტრუქციები დეტალურადაა გაშუქებული ლიტერატურში [16, 19], სადაც აღწერილია სხვადასხვა სახის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები; მითო-თებულია მათი მუშაობის დადებით და უარყოფით მხარეებზე, უნდა აღინიშნოს, რომ ყველაზე დიდი ეფექტი, როგორც წესი,

მიიღწევა ლვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა მთელი კომპლექსის გატარებით. ასეთი პროზიციებზე დაყრდნობით ჩვენ მიერ რეკომენდებულ იქნა ახალი ლვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია [3], რომლის სქემატური სურათი მოცემულია 5.1.1 ნახაზზე.

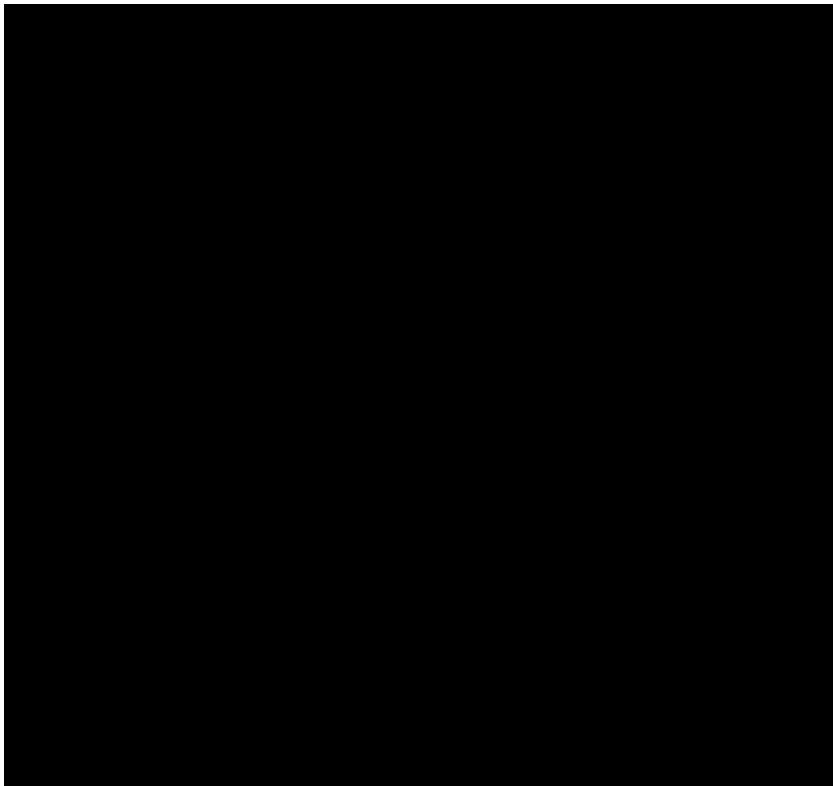
ნაგებობის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: ლვარცოფული ნაკადი ნაგებობასთან მისვლისას იყოფა ორ ნაწილად. ლვარცოფული მასის წვრილი ნაწილაკები წყალთან ერთად ვარდება და ავსებს პირამიდების გამჭოლ სივრცეს, მსხვილი ნაწილაკები კი „ცურავებ“ ზედა კოჭების წახნაგებსა და შუალედურ დამატებით ღეროზე.

რეკომენდებული ლვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის უპირატესობა არსებულ ნაგებობასთან შედარებით იმით გამოიხატება, რომ პირამიდის სახსრული ფუძე გარკვეული ხარისხით ამცირებს ლვარცოფის ზემოქმედებას ნაგებობის ზედაპირზე, ხდება ნაგებობის სიმაღლის თანდათანობითი ტრანსფორმაცია დარტყმითი ძალის მიხედვით, რაც ზრდის მის საიმედოობას. ნაგებობის კონკრეტული გაბარიტები აიღება მოსალოდნელი ლვარცოფის სიმძლავრის მიხედვით, რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ლვარცოფის რეოლოგიურ მაჩვენებლებსა და კალაპოტის გეომორფოლოგიურ პარამეტრებზე.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მეორე ნაგებობა [2] (ნახ. 5.1.2), წარმოადგენს ღარულ ტრამპლინს, რომლის ზედაპირზე ამოჭრილია ხვრეტები. აღნიშნული კონსტრუქცია ეყრდნობა გრძივ კედლებს.

ნაგებობის ცენტრალური საყრდენები დარცოფულ მასას ყოფს ორ ნაწილად. ნაგებობის მუშაობის პრინციპი ასეთია: ლვარცოფული მასის ნაგებობასთან მისვლისას მისი შედარებით წვრილი ფრაქციები წყალთან ერთად იწყებს ვარდნას ხვრეტებში, ხოლო მსხვილი ფრაქციები წყალთან ერთად იწყებს ვარდნას ხვრეტებში და აღწევს ტრამპლინის ბოლომდე. ტრამპლინზე მოძრაობისას ხდება ლვარცოფული ნაკადის ენერგიის

ნაწილობრივ ჩაქრობა, ტრამპლინის დარიდან ვარდნილი და ნაგებობის ქვემოდან გამოდინებული ღვარცოფის მასების ურ-თიერთდარტყმა განაპირობებს ენერგიის მთლიან ჩაქრობას.

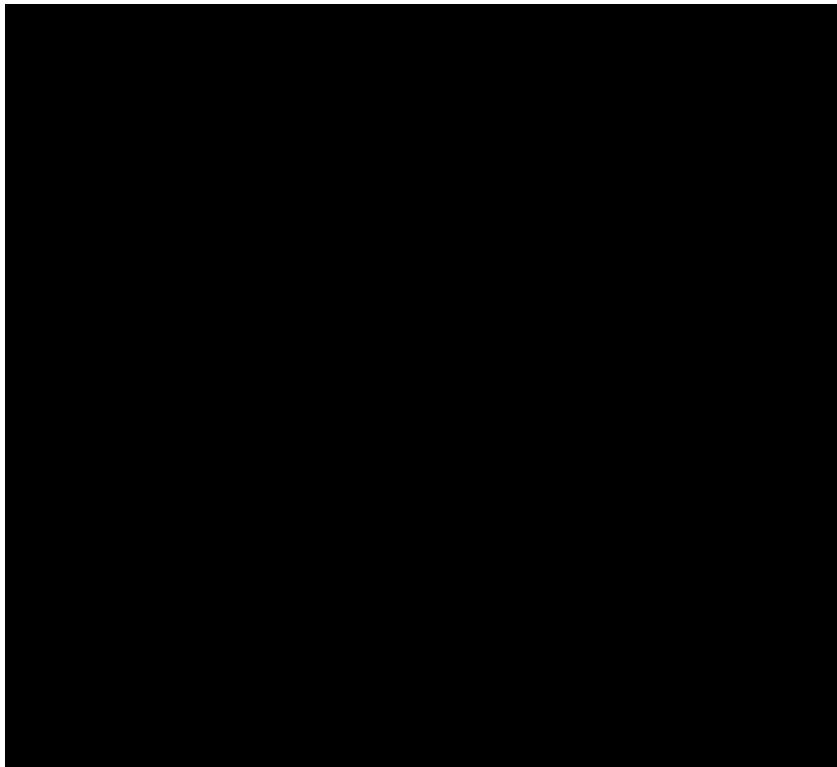


ნახ. 5.1.1. ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის სქემა: 1. სახსარი; 2. კოჭი; 3. შუალედური ღერო.

აღნიშნული კონსტრუქციის უპირატესობას წარმოადგენს მისი მაღალი საიმედოობა, ცალკეული კონსტრუქციული ელე-მენტებით მისი აგების სიმარტივე, ნაგებობის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის სრული მექანიზაცია.

ჩვენ მიერ რეკომენდებულ შემდეგ კონსტრუქციას (ნახ. 5.1.2) წარმოადგენს ღვარცოფული მოძრაობის საწინააღ-

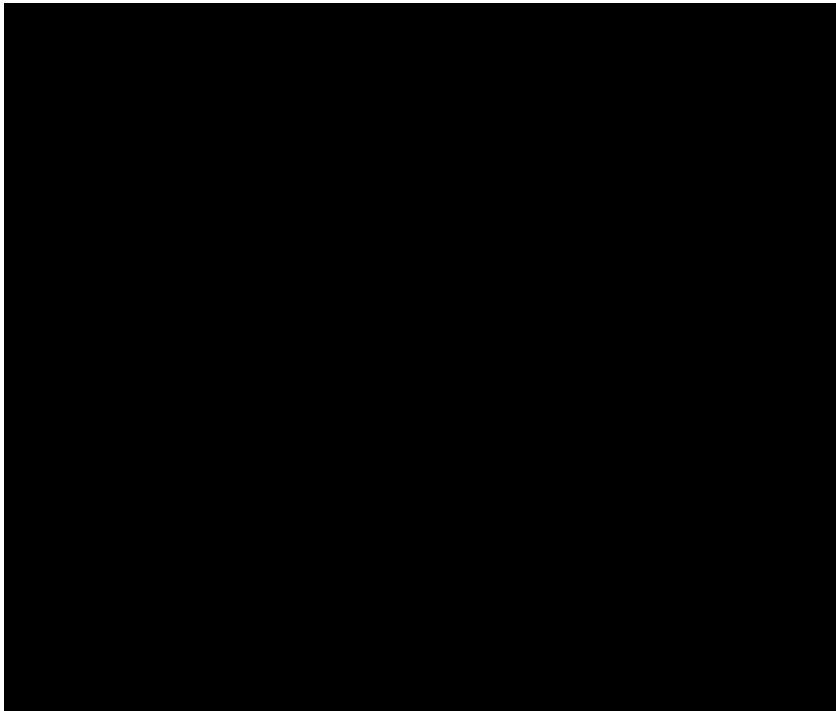
მდეგოდ კალაპოტში წვეროთი გრძივ-სივრცულად მოთავსებული ტრამპლინის ტიპის ნაგებობა [4]. ნაგებობის გვერდები ღვარცოფმიმართველი გამჭოლი კედლების მიმართ პარაბოლურადაა შეზნექილი. კონსტრუქციის ცენტრალურ ნაწილს აქვს პირამიდის ფორმა, რომლის წვერო ემთხვევა მრავალიარუსიანი ნაგებობის ყრუ წვეროს.



ნაზ. 5.1.2. ღარული ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა: 1. ღარი; 2. ხვრეტები; 3. დგარი.

ნაგებობა მუშაობს შემდეგი პრინციპით: ღვარცოფული ნაკადის მიახლოებისას, პირამიდის წვერო ნაკადს ყოფს ორ ნაწილად და გაყოფილი ნაკადი მოედინება ნაკადგამყოფი

კედლების გასწვრივ ნაგებობის სხვადასხვა მხარეს, სადაც ხდება ნაკადის ძირითადი ენერგიის ჩაქრობა. ნაკადის დარჩენილი მოცულობა მოძრაობს ტრამპლინურ გამჭოლ ზედაპირზე, სადაც გრძელდება ენერგიის ჩაქრობა. წვრილი ფრაქციები წყლის ნაკადთან ერთად უონავს კონსტრუქციაში, ხოლო მსხვილი ფრაქციები რჩება ზედაპირზე ან ნაგებობის ზედა ბიეფში.



ნახ. 5.1.3. ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა:

1. ტრამპლინის წვერო; 2. გვერდითი გამჭოლი კედელი; 3. ცენტრალური გამჭოლწანაგებიანი პირამიდა.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის თავისებურებები განაპირობებს მისი ექსპლუატაციის ვადის გაზრდას, დინამიკური დამრტყმელი ზემოქმედების შემცირებას, რაც უზრუნველყოფს

ნაგებობის საიმედოობას და ზრდის ენერგიის ჩაქრობის ეფექტს. ეფექტური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის დაპროექტების და მათი მუშაობის საიმედოობის უზრუნველსაყოფად, აუცილებელია ღვარცოფული ნაკადისა და მისი საწინააღმდეგო ნაგებობის ურთიერთმოქმედების ცოდნა და აღიცხვა.

მიუხედავად იმისა, რომ ამ მიმართულებით გარკვეული მეცნიერული კვლევებია ჩატარებული, აღნიშნული თემა საქართველოს რეალური და დღემდე არასაკმარისად შესწავლილ საკითხს წარმოადგენს.

მრავალ ფაქტორთა გათვალისწინებით, მდინარეთა ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობებზე ღვარცოფული ნაკადის დინამიკური ზემოქმედების სიდიდის გაანგარიშების მცდელობათაგან უნდა აღინიშნოს შრომები [16, 21, 29].

გამომდინარე ზემოაღნიშნულიდან, ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია ღვარცოფული ნაკადის კალაპოტის განვითარების გადამდობის ნაგებობებზე ნაკადის დინამიკური ზემოქმდების განსაზღვრის მეთოდიკა.

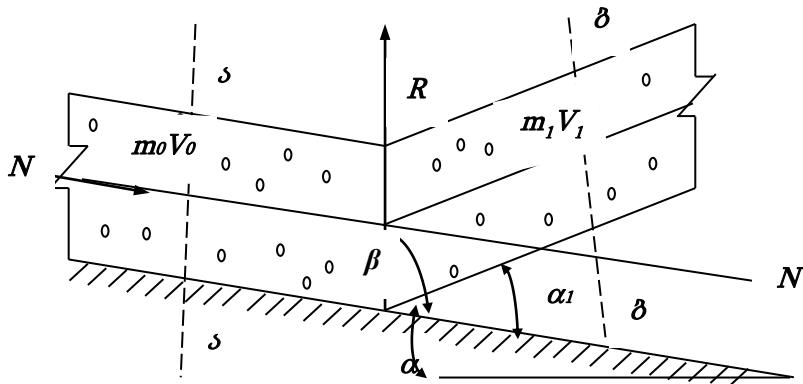
5.2. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშება

ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი დინამიკური ძალის ზემოქმედების ხასიათი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობებზე ნაგებობის ტიპის, ღვარცოფული ნაკადის მიმართ მათი ორიენტაციისა და მოძრაობის რეჟიმის მიხედვით სხვადასხვანაირად ვლინდება.

ნაგებობაზე ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალის მიახლოებითი განსაზღვრისათვის ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია საანგარიშო სქემა (ნახ. 5.2.4) [7].

ა-ა და ბ-ბ კვეთებში ღვარცოფული ნაკადის მოძრაობის

რაოდენობა შესაბამისად იქნება - $m_0 V_0$ და $m_1 V_1$.



ნახ. 5.2.4. ნაგებობებზე ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალის განსაზღვრის საანგარიშო სქემა.

რეაქციის ძალა R განისაზღვრება მოძრაობის რაოდენობის განტოლების $N - N$ ღერძზე პროექციიდან. აქედან გამომდინარე, შეიძლება დაიწეროს:

$$m_0 V_0 - m_1 V_1 - R \cos \beta = 0. \quad (5.2.1)$$

თუ, $-\cos \beta = \sin \alpha_1$, მივიღეთ:

$$m_0 V_0 - m_1 V_1 + R \sin \alpha_1 = 0, \quad (5.2.2)$$

სადაც α_1 არის ნაგებობის დახრის კუთხე კალაპოტში ღვარცოფული ნაკადის მოძრაობის მიმართულებასთან;

α - კალაპოტის დახრის კუთხე პორიზონტალურ სიბრტყესთან;

β - კუთხე რეაქციის ძალის მიმართულებასა და ნაკადის დინამიკურ ღერძს შორის.

იმის გამო, რომ $\alpha < \frac{\pi}{2}$, ღვარცოფული ნაკადის ქანობის ცვლილებისას მისი აწევის სიჩქარე ნაგებობაზე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$V_1 = V_0 \cos \alpha_1 \quad (5.2.3)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარე მცირდება მისი სიღრმის შესაბამისად და $m_0 = m$, შეიძლება დაიწეროს:

$$R = \frac{m_0 V_0 (1 - \cos \alpha_1)}{\sin \alpha_1}. \quad (5.2.4)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $m_0 = \rho \omega V_0$,

$$R = K \rho V_0^2 \sin \alpha, \quad (5.2.5)$$

სადაც K არის ცდებით დადგენილი კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ნაგებობებზე ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელ ზემოქმედებას, საშუალოდ $K = 4,5$.

ღვარცოფული ნაკადის ვერტიკალზე სიჩქარის განაწილების პარაბოლური კანონის მართვულობის შემთხვევაში, მივიღებთ გამოსახულებას ნაკადის საშუალო სიჩქარისათვის:

$$V_{\text{საშ}} = \left(60.4 \frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h} \right) a_0 \epsilon \left(2.68 + 1.32 \frac{h_0}{h} \right)} \sqrt{hi}, \quad (5.2.6)$$

სადაც d არის კალაპოტის ხორკლიანობის შვერილების სიმაღლე.

თუ ჩავსვამთ (5.2.6)-ის მნიშვნელობას (5.2.5)-ში, მივიღებთ ნაგებობებზე ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო ფორმულას:

$$R = 4.5 \rho h \sin \alpha \left[60.4 \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h} \right) a_0 \varepsilon \left(2.68 + 1.32 \frac{h_0}{h} \right)} \right]^2, \quad (5.2.7)$$

სადაც	ρ	არის	ღვარცოფის სიმკვრივე;
	h	-	ღვარცოფის სიღრმე;
	$\sin \alpha$	-	ღვარცოფსატარი კალაპოტის ქანობი;
	d	-	ღვარცოფულ კალაპოტში შვერილების დიამეტრი;
	h_0'	-	შეჭიდულობის კოეფიციენტის ეკვივალენტური სისქე;
	a_0, ε	-	კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ ღვარცოფის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს.

მოყვანილი დამოკიდებულებები საშუალებას გვაძლევენ გამოვიანგარიშოთ დინამიკურ დატვირთვაზე მომუშავე ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიული ზომები და განვსაზღვროთ სიმტკიცე-დეფორმაციის მახსიათებელი პარამეტრების მნიშვნელობები.

ზემოთ განხილული ძირითადი დებულებების გამოყენება ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებასა და მშენებლობაში უზრუნველყოფს დასაცავი ობიექტების უსაფრთხოებას, მათ ნორმალურ ფუნქციონირებას, ცალკეული ნაგებობების მუშაობის საიმედოობას და მთლიანად ღვარცოფსაწინააღმდეგო სისტემების ხანგრძლივ ექსპლუატაციას.

5.3. ბმულ ღვარცოფში შეშფოთებული ზონის წარმოშობა

ღვარცოფი წარმოადგენს კალაპოტური ნაკადების ერთ-ერთ განსაკუთრებულ ნაირსახეობას, რომელთა წყალსა-დინარებში გავლის აღწერის შედეგების მიხედვით ისინი ხასიათებიან მძაფრი მოძრაობის რეჟიმით, ბმულობის ხვედრითი ძალისა და შინაგანი ხახუნის კუთხის განსაზღვრული მნიშვნელობებით, შეშფოთებული ზონის გავრცელების თავისებურებებით და ა.შ.

კალაპოტური ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ხშირად განიცდიან ასეთი სახის ნაკადების უეცარ ზემოქმედებას, დინამიკურ დარტყმებს. იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაგებობის სიმტკიცე მეტია მასზე მოქმედი ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შესაბამისი დეფორმაციის სიდიდეზე, მის ტანში მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ვრცელდება ტალღა და მისი მოძრავი ტანის გარკვეულ ნაწილზე მყისიერად იცვლება დაძაბული მდგომარეობა.

ღვარცოფის შეშფოთებული ზონის მახასიათებლების დადგენა ხორციელდება ნატურასთან მიახლოებული განზოგადებული საანგარიშო მოდელის საფუძველზე, რაც საშუალებას იძლევა საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით გადავწყვიტოთ დასმული ამოცანა. ღვარცოფის შეშფოთებული ზონის გარემოში დრეკადი დეფორმაციების გავრცელების არის დასადგნად ვიზილავთ ცილინდრული ფორმის მქონე ღვარცოფის მასას [5].

ვერტიკალურ კედელზე ასეთი ტანის მქონე ღვარცოფის დაჯახებისას მისი მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით წარმოიშობა შეშფოთებული ზონა სიგრძით ΔL . თუ შეშფოთების გავრცელების სიჩქარეს აღვნიშნავთ C -თი, ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეს V_0 -ით, მაშინ ნაკადის მოქმედი წნევა შეშფო-

თებულ ნაწილზე გამოიწვევს მის კუმშვას ΔL_1 სიგრძით, ხოლო შემფოთებული ნაწილის განივი კვეთის ცვლილებას – $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ სიდიდით.

შემფოთებულ ზონაში შემოსული ღვარცოფის მასის მოცულობა იანგარიშება დამოკიდებულებით:

$$\Delta W = Q\Delta t = \omega_0 V_0 \Delta t. \quad (5.3.1)$$

სხეულთა ღრეკად-ღეფორმაციული ზაზოვანი კანონის საფუძველზე პროპორციულობის საზღვრებში ღვარცოფის ტანის შეფარდებითი კუმშვის სიდიდე დინამიკური დარტყმის დროს გამოითვლება ფორმულით:

$$\frac{\Delta L_1}{\Delta L} = \frac{\Delta P}{E}. \quad (5.3.2)$$

ღვარცოფის ტანის კუმშვის სიგრძის განსაზღვრის შემდეგ შეიძლება განისაზღვროს შემფოთებული ზონის შეკუმშული ნაწილის მოცულობა:

$$\Delta W_1 = \frac{\Delta P}{E} \Delta L \omega_0, \quad (5.3.3)$$

სადაც ΔW_1 არის ღვარცოფით დაკავებული მოცულობა შემფოთებული ზონის კუმშვის ხარჯზე;

ω_0 – ღვარცოფის ცოცხალი კვეთის ფართობი;

V_0 – ღვარცოფის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;

Δt – ღვარცოფის ტანში ტალღის გავრცელების დრო;

ΔP – ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის შესაბამისი წნევა;

E – ღვარცოფის დეფორმაციის მოდული.

(5.3.3) დამოკიდებულების მარჯვენა მხარის გამრავ-ლებით ΔPE_0 -ზე მივიღებთ:

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \frac{E_0}{E} = 1. \quad (5.3.4)$$

ღვარცოფის სიღრმეზე წნევის განაწილების განსაკუთ-რებულობის გათვალისწინებით:

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_0} = \varepsilon_1. \quad (5.3.5)$$

თუ (5.3.5)-ის მნიშვნელობას შევიტანთ (5.3.4)-ში, მივიღებთ:

$$E = E_0 \varepsilon_1, \quad (5.3.6)$$

სადაც E_0 არის წყლის დრეკადობის მოდული: $E_0 = 2,03 \cdot 10^8 \text{ პ.}$

რადგანაც ღვარცოფის დრეკადობის მოდულის განსაზ-ღვრა რთულ ამოცანას წარმოადგენს, ამიტომ (5.3.6)-ის გათ-ვალისწინებით (5.3.2)-ში მივიღებთ:

$$\frac{\Delta L_1}{\Delta L} = \frac{\Delta P}{E_0 \varepsilon_1}. \quad (5.3.7)$$

ტალღის გავრცელების ზონაში გამჭიმი ძალა ცდილობს ღვარცოფის ტანის შეშფოთებული ნაწილის გარღვევას მისი დინამიკური ღერძის მართობულად, რასაც წინააღმდეგობას უწევს პროპორციულობის საზღვრებში სტრუქტურული კავშირების ხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების ინტეგრა-ლური სიდიდის ეკვივალენტური სისქე.

დარტყმის მომენტში ღვარცოფის ტანის შეშფოთებული ზონის გაჭიმვით ხდება მისი განივი კვეთის ზომების შემცირება. თუ ფარდობით წაგრძელებას გაჭიმვის დროს აღვნიშნავთ $e = \Delta \omega / \omega_0$, მაშინ შეფარდებითი გვერდითი კუმშვა წარმოადგენს მის ნაწილს და ტოლია:

$$\frac{\Delta L_1}{\Delta L} = e\sigma = \sigma \frac{\Delta \omega}{\omega_0}, \quad (5.3.8)$$

სადაც σ არის გვერდითი კუმშვის, პუასონის კოეფიციენტი.

შეშფოთებული ზონის გაჭიმვით მისი განივი კვეთის ცვლილება იქნება:

$$\omega_0 + \Delta\omega = \omega_0(1 + e). \quad (5.3.9)$$

გაჭიმვით ცოცხალი კვეთის ცვლილება შესაბამისად იწვევს მისი ტანის სიგრძის ცვლილებას სიდიდით:

$$\Delta L - \Delta L_1 = \Delta L(1 - \sigma e). \quad (5.3.10)$$

ღვარცოფის შეშფოთების ზონის მოცულობაა:

$$W_2 = \omega_0 \Delta L [1 + e(1 - 2\sigma) + e^2 \sigma^2 - 2e^2 \sigma] - e^3 \sigma. \quad (5.3.11)$$

პროპორციულობის საზღვრებში ფარდობითი წაგრძელების სიდიდე მცირე სიდიდეს წარმოადგენს, ამიტომ განტოლება (5.3.11)-ში წარმოდგენილი e -ს კვადრატული და კუბური სიდიდეების მნიშვნელობების უგულებელყოფით ღვარცოფის შეშფოთებით მიღებული მოცულობა იქნება:

$$W_2 = \omega_0 \Delta L [1 + e(1 - 2\sigma)]. \quad (5.3.12)$$

გაჭიმვით მიღებული მოცულობის ნაზრდი მის საწყის მოცულობასთან:

$$\Delta W_2 = \frac{\Delta P}{E_0 \varepsilon_0} \frac{1 - 2\sigma}{\sigma} \omega_0 \Delta L. \quad (5.3.13)$$

შეშფოთებული ზონის მოცულობის ნაზრდის გატოლებით შეშფოთებულ ზონაში შემოსული ღვარცოფის მასასთან მივიღებთ:

$$\frac{V_0}{C} = \frac{\Delta P}{E_0 \varepsilon_1} \frac{1 - 2\sigma}{\sigma}. \quad (5.3.14)$$

შეშფოთებული ზონის მიმართ გარე ძალების იმპულსი:

$$\Delta P = \rho C V_0 + \rho V_0^2. \quad (5.3.15)$$

რადგან $C >> V_0$ -ზე, მაშინ (5.3.15) განტოლების
მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი შეიძლება უგულებელვყოთ,
ე.ო.:

$$V_0 = \frac{\Delta P}{\rho C}. \quad (5.3.16)$$

(5.3.16)-ის შეტანით (5.3.14)-ში ტალღის გავრცელების
სიჩქარის სრული მნიშვნელობა იქნება:

$$C = \sqrt{\varepsilon_1 \frac{E_0 \rho_0}{\rho_0 \rho} \frac{\sigma}{1 - 2\sigma}}. \quad (5.3.17)$$

რადგან $\sqrt{E_0/\rho_0}$ წარმოადგენს ტალღის გავრცელების
სიჩქარეს წყალში, მივიღებთ:

$$C = C_0 \sqrt{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho} \frac{\sigma}{1 - 2\sigma}}. \quad (5.3.18)$$

ჩატარებული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით
ღვარცოფის გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტი:

$$\sigma = \frac{\rho}{\rho_0 + 2\rho}. \quad (5.3.19)$$

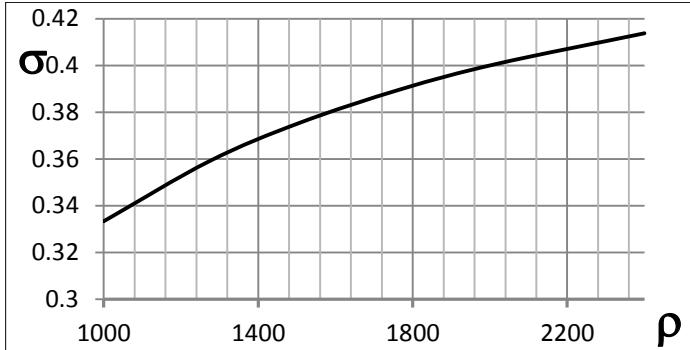
თვალსაჩინოების მიზნით ღვარცოფის გვერდითი კუმშვის
კოეფიციენტის გრაფიკული ილუსტრაცია მოცემულია ნახაზ-
ზე 5.3.1.

(5.3.19)-ის გათვალისწინებით (5.3.18)-ში, ღვარცოფში
ტალღის გავრცელების სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდე-
ბულება საბოლოოდ მიიღებს სახეს:

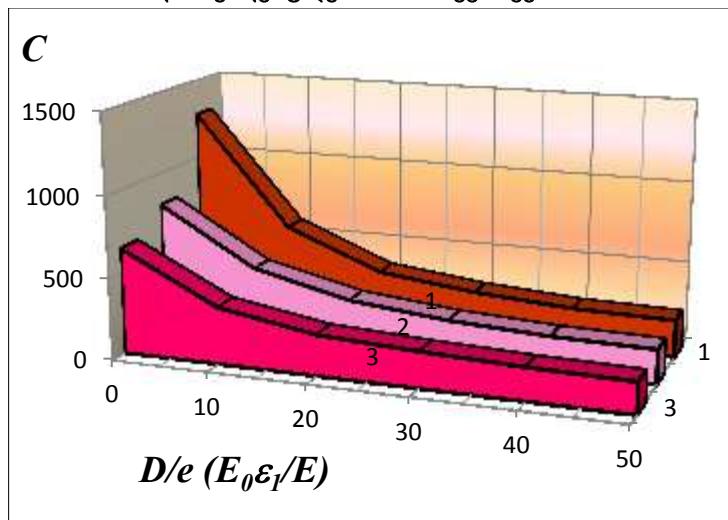
$$C = \sqrt{\frac{\frac{E_0}{\rho_0} \varepsilon_1}{1 + \frac{D}{e} \frac{E_0 \varepsilon_1}{E_1}}}. \quad (5.3.20)$$

(5.3.20)-ის გრაფიკული დამოკიდებულება, როცა $\frac{h_0}{h} = 0$,
სხვადასხვა $\frac{D}{e} \frac{E_0}{E_1}$ მნიშვნელობების დროს მოცემულია ნახაზზე

5.3.2.



ნახ. 5.3.1. ღვარცოფის გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტის
დამოკიდებულება მის სიმკვრივესთან.



ნახ. 5.3.2. ღვარცოფში ტალღის გავრცელების
სიჩქარის გრაფიკები:

- 1. $\varphi = 0^0$; 2. $\varphi = 30^0$; 3. $\varphi = 40^0$.

როგორც ცნობილია, სხვადასხვა მასალების გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტი σ იცვლება მათი მდგომარეობის მიხედვით [30] და (5.3.19) დამოკიდებულებით მიღებული შედეგები კარგად ემთხვევა პლასტიკური დენადი თიხების პუასონის კოეფიციენტის ცვლილების საზღვრებს.

ღვარცოფის ტალღის გავრცელების სიჩქარე წყლის ნაკადში ტალღის გავრცელების სიჩქარესთან შედარებით მცირდება და დამოკიდებულია მის ფიზიკურ-მექანიკურ და რეოლოგიური პარამეტრების ცვლილებასთან [1]. სტრუქტურული კავშირების ხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების კოეფიციენტის გაზრდით მისი მნიშვნელობა ეცემა 600-დან 200 მ/წმ-მდე, ხოლო როცა ეს პარამეტრები უტოლდება 0-ს, საანგარიშო დამოკიდებულება ემთხვევა წყლის ნაკადის ტალღის გავრცელების სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას.

5.4. ღვარცოფსადინარებზე გადასასვლელი ნაგებობების ღიობის საანგარიშო გეომეტრიული ზომები

მთისა და მთისწინა უბნებზე ღვარცოფული ხასიათის მდინარეთა კალაპოტები ხშირად იკვეთება რკინიგზის მაგისტრალებით, საავტომობილო გზებით, ენერგეტიკული თუ საირიგაციო დანიშნულების წყალსატარებით და სხვა. საპროექტო გადასასვლელი ნაგებობების საყრდენები და ბურჯები იწვევენ წყალსადინარის განვითარების შემცირებას, რაც ცვლის ნაკადის ჰიდროგლიკურ რეჟიმს და იწვევს კალაპოტის დეფორმაციას.

გადასასვლელი ნაგებობების ზედა ბიეფში ნაკადი ნაწილობრივ იტბორება, რომლის შესაბამისად იცვლება მისი ჰიდრავლიკური რეჟიმი და დაწნევა. ნაკადის გვერდითი შევიწ-როება წარმოშობს ზედა ბიეფში ხერგილს, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს კალაპოტის დეფორმაცია, ნაგებობების ნორმა-ლური ფუნქციონირების შეწყვეტა და ზოგჯერ ავარიული შედეგებიც კი.

ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით კალაპოტური ჰიდრო-ტექნიკური ნაგებობების ღიობი შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ფართოზღურბლიანი წყალსაშვი [6].

ღიობში წყლის გავლის შემთხვევაში ხარჯი განისაზ-ღვრება ფორმულით:

$$Q = \lambda_0 b_0 h \sqrt{2g(H_0 - h)} = \lambda_0 b_0 h \sqrt{2gZ}, \quad (5.4.1)$$

სადაც λ_0 არის წყლის ნაკადის სიჩქარის კოეფიციენტი;

b_0 – ღიობის სიგანე;

h – წყლის ნაკადის სიღრმე ღიობში;

H_0 – ღიობის სრული დაწნევა:

$$\lambda_0 = \sqrt{(1 + \sum \xi) \alpha} \quad \text{დამოკიდებულებაში} \quad \alpha \quad \text{და} \quad \xi \\ \text{შესაბამისად კორეოლისისა და ადგილობ-} \\ \text{რიგი დანაკარგების კოეფიციენტია.}$$

კვლევაში [1] აღნიშნულია წყალსაშვზე ღვარცოფის გავლის შემთხვევაში კრიტიკული მოძრაობის ფორმირება. ღიობში ღვარცოფის გავლის დროს მისი კრიტიკული მდგომარეობა აისახება დამოკიდებულებით:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} = 0,5 + 0,5\xi \left[1 - \left(\frac{h_0}{h} \right)^2 \right], \quad (5.4.2)$$

სადაც Q არის ღვარცოფის ხარჯი;

ω – ნაკადის ცოცხალი გეოთის ფართობის კრიტიკული მნიშვნელობა;

- B - ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის სიგანე;
 φ - ნაკადის შინაგანი ხახუნის კუთხე;
 h_0 - ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტურობის სიღრმე;
 h_{β} - ღვარცოფის კრიტიკული სიღრმე.

წყლის ნაკადის კრიტიკული მდგომარეობა ასახება ცნობილი დამოკიდებულებით:

$$1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B_0}{\omega_0^3} = 0. \quad (5.4.3)$$

ამ ფორმულის გათვალისწინებით (5.3.2)-ში მივიღებთ:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B_0}{\omega_0^3} = \frac{1}{0,5 + 0,5 \xi \left[1 - \left(\frac{h_0}{h} \right)^2 \right]}. \quad (5.4.4)$$

თუ (5.4.4) დამოკიდებულების მარჯვენა მხარეს აღვნიშნავთ K_* , მაშინ სწორკუთხა კვეთის მქონე კალაპოტისათვის ნაკადის ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$Q_0 = b_0 \sqrt{\frac{g}{\alpha}} K_* h_{\beta}^3. \quad (5.4.5)$$

თუ (5.4.1) დამოკიდებულებაში ნაკადის სიღრმეს შევცვლით მისი შესაბამისი კრიტიკული სიღრმით, ე.ო. $h = h_{\beta}$, და გავუტოლებთ გატოლებით (5.4.5)-ს, მივიღებთ კრიტიკული სიღრმის მიმართ კუბურ განტოლებას:

$$h_{\beta}^3 - h_{\beta}^2 \frac{\alpha \lambda^2 H_0 (1 + \xi)}{1 + \alpha \lambda^2 H_0 (1 + \xi)} - h_{\beta} \frac{h^2 \alpha \lambda^2 \xi}{1 + \alpha \lambda^2 (1 + \xi)} + \frac{\alpha H_0 h^2 \lambda^2 \xi}{1 + \alpha \lambda^2 (1 + \xi)} = 0. \quad (5.4.6)$$

(5.4.6) დამოკიდებულებაში შესაბამისი აღნიშვნის შემოტანით $a_1 = \frac{\alpha \lambda^2}{1 + \alpha \lambda^2 (1 + \xi)}$, და კარდანოს ფორმულის გამოყენებით, ღვარ-

ცოფის კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$h_3 = \frac{2}{3} H_0 a_1 (1 + \xi) \left[0,5 + \sqrt[3]{1 + \frac{9}{2} \left(\frac{h_0}{H_0} \right)^2 \frac{\xi}{a_1(1+\xi)} \left(\frac{3}{a_1(1+\xi)} - 1 \right)} \right]. \quad (5.4.7)$$

თუ აღნიშნავთ $K' = h_3/H_0$, შესაბამისად მივიღებთ:

$$K' = \frac{2}{3} a_1 (1 + \xi) \left[0,5 + \sqrt{1 + \frac{9}{2} \left(\frac{h_k}{H_0} \right)^2 \frac{\xi}{a_1(1+\xi)} \left(\frac{3}{a_1(1+\xi)} - 1 \right)} \right]. \quad (5.4.8)$$

ამ უკანასკნელის მიხედვით, როცა $\varphi = 0$, $h_0 = 0$,
მაშინ $\xi = 1$, $a_1 = \frac{\alpha \lambda^2}{1 + \alpha \lambda^2}$ და, შესაბამისად, (5.4.8) დამოკიდებულება ემთხვევა წყლის ნაკადის K კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებას:

$$K' = \frac{2\alpha\lambda^2}{1 + 2\alpha\lambda^2}. \quad (5.4.9)$$

სწორკუთხა კვეთის მქონე კალაპოტის ხარჯი:

$$Q^2 = \varepsilon_0 b_0 h_3 V_3, \quad (5.4.10)$$

სადაც b_0 არის ღიობის სიგანე;

ε_0 – გვერდითი კუმულის კოეფიციენტი.
(5.4.10) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$Q_0 = \frac{\alpha}{g} b_0 \varepsilon_0 \frac{V_0^3}{1 + \xi} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\xi g (1 + \xi) h}{\alpha^2 V_3^4}} \right). \quad (5.4.11)$$

დამოკიდებულებიდან (5.4.11) ღიობის სიგანე:

$$b_0 = \frac{g Q_0 (1 + \xi)}{\alpha \varepsilon_0} \frac{1}{V_3^3 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\xi (1 + \xi)}{\alpha^2 V_3^4}} \right)}. \quad (5.4.12)$$

ღიობის საორიენტაციო სიგანის განსაზღვრის შემდეგ გადგენთ შეტბორვის სიდიდეს:

$$Z = h_3 \left(\frac{1 - K'}{K'} \right) - \frac{\alpha V^2}{2g}. \quad (5.4.13)$$

მიღებულ (5.4.13) საანგარიშო დამოკიდებულებაში, როდესაც რეოლოგიური თვისებების განშაზღვრელი პარამეტრების მნიშვნელობები ნულის ტოლი ხდება, შეტბორვის სიდიდე ემთხვევა სუფთა წყლის შეტბორვის სიდიდეს.

ლიტერატურა

1. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., დაუბირავი ფართო-ზღურბლიანი წყალსაშვის ანგარიში ნატანშემცველი ნაკადების გატარების შემთხვევაში. საუ-ის სამეცნიერო შრომები, „საინ-ჟინრო ეკოლოგიის საკითხები პიდროტექნიკურ მელიო-რაციაში”. 1996, გვ. 40-48.
2. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი გ., ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობა. საქ. მეცნიერებისა და ტექნიკის კომიტეტი (საქართველო), 1994, ს.ს. №001349.
3. ყრუაშვილი ი., ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. საქ. მეც-ნიერებისა და ტექნიკის კომიტეტი (საქართველო), 1995, ს.ს. №002094.
4. ყრუაშვილი ი., ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. საქ. მეც-ნიერებისა და ტექნიკის კომიტეტი (საქართველო), 1995, ს.ს. №002095.
5. ყრუაშვილი ი. ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., ღვარცოფების შეშფოთებული ზონის საანგარიშო მასასიათებლები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. №1. თბილისი. 1997, გვ. 229-235.
6. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., კალაპოტურ პიდროტექნიკურ ნაგებობათა ღიობების ძირითადი გაბარიტების შერჩევა. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული №1. თბილისი, 1997, გვ. 235-239.
7. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე., ღვარ-ცოფსაწინააღმდეგო ახალი ტიპის კონსტრუქციები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული II, თბილისი. 1997, გვ. 180-186.
8. Алексеев Г.А., Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: Гидрометиздат, 1971, 363 с.

9. **Бахметов Б.А.**, Гидравлика открытых русел. М.: Гострансиздат, 1934, 248 с.
10. **Беручашвили Г.М., Кокоришвили В.И.**, Некоторые результаты исследования селевых потоков. Труды КазНИГМИ, вып.33, 1969, с.42-62.
11. **Боярский И.Я., Власов А.Ю., Коляда М.С.**, О приборе для измерения поверхностной скорости водокаменных селевых потоков. Вестник МГУ, сер. геогр., N 3, 1970, с.82-87.
12. **Бурдули Н.С., Кизирия Г.В., Херхеулидзе Г.И.**, Некоторые результаты опыта постройки и эксплуатации экспериментального сквозного селеуловителя системы ЗакНИИ на р. Дуруджи. Труды ЗакРНИИ, вып.83(90), 1984, с.112-124.
13. **Великанов М.А.**, Изучение селей в СССР. Селевые потоки и меры борьбы с ними. М.: Изд. АН СССР. 1957, с. 7-13.
14. **Виноградов Г.В., Малкин Л.Я.**, Реология полимеров. М.: Химия, 1977, 438 с.
15. **Виноградов Ю.Б.**, Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеоиздат, 1980, 144 с.
16. **Гагошидзе М.С.**, Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси, Сабчота Сакартвело, 1970, 386 с.
17. **Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г., Сулаквелидзе Л.А., Иорданишвили З.С., Тевзадзе В.И.**, Некоторые инженерные задачи расчета селевых потоков. – Труды ГрузНИИГиМ, вып.25, 1967, с.26-37.
18. **Гольштейн М.Н.**, К вопросу возникновения селевых потоков. В кн.: Защита железных дорог от селевых потоков. М.: Трансжелдориздат, 1962, с. 176-180.
19. **Ибад-заде Ю.А.**, Инженерные методы борьбы с селевыми потоками в Азербайджане. Материалы V всесоюзного сове-

- щания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ним. Баку, 1962, с. 265-269.
20. **Иорданишвили З.С.**, Лабораторные исследования физико-механических свойств в процессе движения. Материалы V всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ним. Баку, 1962, с. 195-200.
 21. **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. вып. 3, М.: 1974, с. 48-54.
 22. **Кавецкий С.П.**, Об искусственном воспроизведении селей в природных условиях и меры борьбы с ними. Вып 3, 1974, с. 60-63.
 23. **Квасов А.И.**, Селевые потоки и их воздействие на сооружения. Алма-Ата, Наука, 1987, 131 с.
 24. **Мирцхулава Ц.Е.**, Оценка риска повреждения противоэрозионных и противоселевых сооружений. – В сб.: Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. Вып.4. М.: 1975, с.48-62.
 25. **Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И., Иорданишвили З.С.**, К установлению скорости структурного селевого потока на прямолинейных участках русла. Тр. ГрузНИИГиМ, вып. 22, Тбилиси, 1963, с. 243-248.
 26. **Сохадзе Л.Д.**, Об ударном воздействии структурных селевых потоков Материалы конференции молодых научных работников по гидроэнергетическому строительству и гидромелиорации, Изд-во. Мецинереба, Тбилиси, 1971 г., с. 77-80.
 27. **Херхеулидзе И.И.**, Эмпирические формулы для приближенного определения расчетных параметров структурных

- селевых потоков. Материалы V всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и меры борьбы с ним. Баку, 1962, с. 178-183.
28. **Херхеулидзе И.И.**, Селевые нагрузки и способы их определения. Тр. ЗакНИИгМ, вып. 83(90), Л.: Гидрометеоиздат, 1984, с. 77-111.
 29. **Херхеулидзе Г.И.**, Проблема систематизации расчетных схем воздействия селевых потоков на преграды. – Труды ЗакРНИИ, вып.83(90), 1984, с. 67-77.
 30. **Цитович Н.А.**, Механика грунтов. М. Высшая школа, 1983, с. 288.
 31. **Яно К., Даидо А.**, Фундаментальные изучения грязекаменных потоков. Труды института защиты от стихийных бедствий, т. 14, часть 2, Киото. 1985, с. 69-93.
 32. **Brighenti R., Segalini A., Ferrero A.M.**, Debris flow hazard mitigation: A simplified analytical model for the design of flexible barriers. Computers and Geotechnics, Volume 54, October 2013, pp.1–15.
 33. **Duffy J. & Denatale J.**, Debris flow mitigation using flexible barriers. Proceedings of the 47th Annual Highway Geology Symposium, 1996, pp. 243-252.
 34. **GOVERNMENT OF JAPAN**. Basics of planning the measures against debris flows and planning countermeasure facilities against debris flow. Ministry of Construction. 1984, 39 p.
 35. **Heierlli W. & Merk A.**, Barriers for erosion control of mountain torrents. Proceedings of the International Symposium on Erosion, debris flow and disaster prevention. Tsukuba, Japan, 1985, pp. 375-380.

36. **Okubo S., Ikeya H., Ishikawa Y. & Yamada T.**, Development of new methods for countermeasures against debris flows. In Armani, A. and Michiue, M. (Eds) Recent developments on debris flows, lecture notes in earth sciences Volume 64. Springer-Verlag, New York, NY, 1997, pp. 166-185.
37. **Takahashi T.**, Debris flow. Taylor & Francis Group, London, UK. 2007, 465 p.
38. **Whittaker J., Schaelchli U. & Jaeggi M.**, Design problems with torrent check dams in Switzerland. Proceedings of the International Symposium: Erosion, debris flow and disaster prevention, Tsukuba. Japan, 1985, pp. 387-394.

ტერმინლოგიური ლექსიკონი²

ასონოამგენური ლვარცოფი (ANTHROPOGENIC MUDFLOW; АНТРОПОГЕННЫЙ СЕЛЬ) – ღვარცოფების ერთ-ერთი გენეტიკური ტიპი, რომლის წარმოქმნაც პირდაპირ კავშირშია სამეურნეო ზემოქმედების შედეგებთან. წარმოქმნის კერას ხშირად მიწის ყრილი და წყალსაცავი წარმოადგენს. მიწის ყრილი უზრუნველყოფს ღვარცოფის შემადგენლობას მყარი მასით, ხოლო წყალსაცავი – თხიერით. ანთროპოგენური ღვარცოფების განმეორებადობა აჭარბებს ბუნებრივი გენეზისის ღვარცოფებს. იშვიათად ატარებს ეპიზოდურ ხასიათს. ვრცელდება ლოკალურად და მოიცავს ვაკის ტერიტორიებს.

Антропогенный сель – один из генетических типов селей, образование которых прямо связано с последствиями хозяйственной деятельности. Очагами зарождения а.с. чаще всего служат отвалы и водохранилища; первые обеспечивают твердую составляющую селей, вторые – жидкую составляющую при прорыве. *Повторяемость* а.с. повышена по сравнению с повторяемостью селей природного генезиса, реже носит эпизодический характер; распространение локальное, включает и равнинные территории.

არაბეჭული ლვარცოფი (FLUID STREAM; НЕСВЯЗНЫЙ СЕЛЬ) – მოძრაობის სტრუქტურულ-რეოლოგიური მოდელის მიხედვით ღვარცოფული ნაკადების ორი ტიპიდან წარმოადგენს ერთ-ერთს, რომლის მყარ შედგენლობაში დომინირებს

² ინფორმაციის წყარო:

Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. Изд.-во Московского Университета, 1996, 34 с.

უხეშ-მონატეხი მასალა, ხოლო მტვრიან-თიხნარი ფრაქციები უმნიშვნელოდ არის წარმოდგენილი. არაბმული ღვარცოფის ძირითადი თავისებურებებია: 1) წყლის ძირითადი მასა იმ-ყოფება თავისუფალ მდგომარეობაში და წარმოადგენს ღვარცოფის მყარი შემადგენლის მატრანსპორტირებელ საშუალებას; 2) ღვარცოფული მასა წარმოდგენილია კომპონენტების მექანიკური ნარევით $1100-1600 \text{ кг/м}^3$ სიმკვრივით; 3) ღვარცოფის დაგროვების შემთხვევაში ხდება მისი ნაწილობრივი დახარისხება სიმსხოს მიხედვით. ღვარცოფული მასის შედგენილობის მიხედვით არაბმული ღვარცოფი, უპირატესად, ქვაწყლიანია.

Несвязный сель - один из двух типов *селевых потоков* по структурно-реологической модели движения, в твердой составляющей которого господствует грубообломочный материал, а участие пылевато-глинистых фракций незначительно. Основные особенности н.с.: 1) основная масса воды находится в свободном состоянии и является транспортирующей средой для твердой составляющей селя; 2) *селевая масса* представлена механической смесью компонентов плотностью $1100-1600 \text{ кг/ м}^3$; 3) при отложении селя происходит частичная сортировка по крупности. По составу селевой массы н.с. являются преимущественно водокаменными.

ბმული ღვარცოფი (VISCOUS STREAM; СВЯЗНЫЙ СЕЛЬ) - მოძრაობის სტრუქტურულ-რეოლოგიური მოდელის მიხედვით განეკუთვნება ღვარცოფული ნაკადების ორი ტიპიდან ერთ-ერთს, რომლის მყარ შემადგენლობაში მნიშვნელოვან ნაწილს ($>12\%$) იკავებს მტვრისებრ-თიხნარი ფრაქციები. ბმული ღვარცოფის ძირითადი თავისებურებებია: 1) თავისუფალი წყლის არსებობა პრაქტიკულად გამორიცხულია; 2) მყარი მასა და წყალი ერთობლივად, გრავიტაციულად მოძრაობს და

ქმნის ერთიან ბლანტ-პლასტიკურ სხეულს 1700–2400 კგ/მ³ სიმკვრივით; 3) ღვარცოფის გამოტანის შემდეგ მასა სიმსხოს მიხედვით არ ხარისხდება. ბმული ღვარცოფული მასა შემადგენლობის მიხედვით არის ტალახიანი და ქვატალახიანი.

Связный сель - один из двух типов *селеевых потоков* по структурно-реологической модели движения, в твердой составляющей которого значительную долю (>12%) занимают пылевато-глинистые фракции. Основные особенности с.с.: 1) свободной воды практически нет; 2) твердая составляющая и вода находятся в состоянии совместного гравитационного движения, образуя единое вязко-пластичное тело плотностью 1700–2400 кг/м³; 3) при отложении селя сортировки по крупности не происходит. По составу *селеевой массы* с.с. являются *грязевыми* и *грязекаменными*.

ბუნებრივ-ანთროპოგენური ღვარცოფი (NATURAL-ANTHROPOGENIC MUDFLOW; ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЙ СЕЛЬ) - ღვარცოფების ერთ-ერთი გენეტიკური ტიპია. მისი ფორმირების პირობები დამოკიდებულია სიტუაციაზე, რომლის დროსაც სამეურნეო საქმიანობის შედეგად იცვლება ბუნებრივი პროცესების მიმდინარეობა და ვითარდება ღვარცოფული მოვლენები. როგორც წესი, ბუნებრივ-ანთროპოგენური ღვარცოფების ფორმირების მიზეზს წარმოადგენს ტყეების გაჩეხვა, გადაძოვების შედეგად მთებში მდელოს მცენარეული საფრის დეგრადაცია, ციცაბო ფერდობების ხვნა, რის შედეგადაც ძლიერდება ეროზიული პროცესები, მატულობს მყარი ნატანის ჩამოტანა და ვითარდება ღვარცოფული პროცესები. ბუნებრივ-ანთროპოგენური ღვარცოფი ხასიათდება ხშირი განმეორებადობით, დაბალი სიმკვრივითა (ხშირად დომინირებს ღვარცოფული მეწყერი) და ფერდობებზე ღვარცოფული აუზების სიმრავლით. ბუნებრივ-ანთროპოგენური ღვარცოფის გავრცელება რეგიონალური ხასიათისაა.

Природно-антропогенный сель - один из генетических типов селей, условия формирования которых связаны с ситуацией, при которой последствия хозяйственной деятельности служат толчком для изменения хода природных процессов и последующего развития *селевых явлений*. Как правило, причиной формирования п.-а.с. служат сведение лесов, деградация луговой растительности в горах вследствие перевыпаса, распашка крутых склонов; это приводит к усилению эрозии, возрастанию стока наносов, а затем к развитию *селевых процессов*. П-а.с. характеризуются высокой *повторяемостью* и низкой плотностью (часто господствуют *селевые паводки*), обилием *склоновых селевых бассейнов*. Распространение п.-а.с. носит региональный характер.

გამოტანის პონუსი (FAN; КОНУС ВЫНОСА) - რელејозის აკუმულაციური ფორმა ხეობების სათავეებთან, ხევებში, ხეობებში, ძინარის მიმდებარე ველებზე, მისი მახასიათებელია დახრილი კონუსის ფორმა. შეღვება წვრილი და მსხვილი გაფხვიერებული ნატეხების გროვისაგან - წყლის დინების ღროებითა და მუდმივი გამონატანით (პროლუვიუმი). დანალექის კონცენტრაცია სივრცეში გამოწვეულია კალაპოტის მკეთრი გაფართოებითა და ნაკადის ტრანსპორტუნარის მინიჭების შემცირებით. მთიან რაიონებში გამოტანის კონუსი ფართოდ არის გავრცელებული ძინარის ძირითადი ველების ფსკერზე, შუამთიანეთის ქვაბულებში და წინამთიანეთის მდელოებზე. მცირე და საშუალო წყალშემკრებებზე გამოტანის კონუსების ფორმირებაში მნიშვნელოვან და ზოგჯერ გადამწყვეტ როლს ღვარცოფული ნაკადები თამაშობს.

Конус выноса – аккумулятивная форма рельефа в устьях оврагов, балок, *речных долин*, имеющая характерную форму

сегмента пологого конуса; сложена скоплением рыхлобломочного материала – продуктов выноса временных и постоянных водотоков (*пролювием*). Концентрация в пространстве отложений наносов вызывается резким расширением русла, уменьшением транспортирующей силы потока. В горных районах к.в. широко распространены на днищах главных речных долин, в межгорных котловинах, на предгорных равнинах. В формировании к.в. на мелких и средних водосборах значительную, иногда решающую роль играют *селевые потоки*.

გაფრთხილება ღვარცოფული საშიშროების შესახებ (MUDFLOW WARNING; ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ О СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ) – შეტყობინება რომელიმე რაიონში ღვარცოფის შესაძლო ჩამოწოლის შესახებ, რაც ეფუძნება პროგნოზს ან ექსპერტთა დასკვნას პროგნოზულ ნიშანთვისებებზე დაყრდნობით. გაფრთხილება ღვარცოფული საშიშროების შესახებ ხორციელდება ღვარცოფსაწინააღმდეგო სამსახურის მიერ, ხოლო მისი არ არსებობის შემთხვევაში – დროებითი სტრუქტურული ერთეულის მიერ, რომელიც განლაგებულია ღვარცოფის მაღალი ათვისებისა და აქტივობის რაიონებში. უკანასკნელ პერიოდში ღვარცოფული საშიშროების შესახებ პრაქტიკაში მკვიდრდება შეტყობინების გადაცემა რადიოთი და ტელევიზიით ამნიდის პროგნოზთან ერთად. სიგნალი მოძრავი ღვარცოფული ნაკადის შესახებ გადაიცემა რადიოშეტყობინების დახმარებით.

Предупреждение о селевой опасности – оповещение о возможности схода селей в каком–либо районе, основанное на прогнозе или экспертном заключении с использованием прогнозистических признаков. Составляется противоселевой службой, а при ее отсутствии – временным структурным подразделением, организуемым в районах с высокой степенью

освоенности и селевой активности. В последние годы п.с.о. входит в практику путем передач по радио и телевидению вместе с прогнозом погоды. Сигнал о движущемся селевом потоке передается с помощью радиооповестителя села.

თოვლის დვარცოფი (SNOW MUDFLOW; СНЕГОВОЙ СЕЛЬ)

СЕЛЬ - დვარცოფების ერთ-ერთი გენეტიკური ტიპია, რომლის წარმოშობა განპირობებულია თოვლის საფრისა და თოვლის გროვების დნობის შედეგად. გამოყოფენ თოვლის დვარცოფის ორ ტიპს – წყალთოვლიანი ნაკადები და თოვლის ჩამოზგავება. პირველი წარმოადგენს სუბარქტიკული ზონის მცირე მთიანეთისათვის დამახასიათებელ დვარცოფების ძირითად ტიპს. თოვლის გროვების დვარცოფები გავრცელებულია როგორც სუბარქტიკაში, ასევე ზომიერი ზონის ალპური და სუბნივალური მაღალმთიანეთის სარტყელში. მათი წარმოშობის ყველაზე ხშირი მექანიზმია დროებითი საგუბრების გარღვევა. ასეთი გარღვევა, როგორც წესი, წარმოქმნის ქვაწყლიან ნაკადებს ან დვარცოფულ წყალმოვარდნებს, რაც განსაკუთრებით დამახასიათებელია სუბარქტიკისათვის. მეორე, თოვლის გროვების დვარცოფების წარმოშობის შედარებით იშვიათი მექანიზმი დაკავშირებულია დენუდაციური ჭრილებისა და კალაპოტის გრძივი პროფილის საფეხურებზე ფხვიერი მონატეხი მასის დაგროვებასთან, რომელსაც გადატენიანების შემთხვევაში გააჩნია თვითღრადობის უნარი; ამასთან, ფორმირდება ქვა-ტალახოვანი ნაკადები. ამ ტიპის დვარცოფები გვხვდება ზომიერი ზონის მაღალმთიანეთში. თოვლის დვარცოფის ჩამოწოლის ძირითად მიზეზს წარმოადგენს თოვლის ინტენსიური დნობა, ზოგჯერ თანმხლები წვიმებით. სუბარქტიკულ ზონაში თოვლის დვარცოფის ჩამოწოლა ძირითადად ხდება გაზაფხულზე, ზომიერი ზონის მაღალმთიანეთში კი – ზაფხულზე. გამონატანის მოცულობით თოვლის დვარცოფი განეკუთვნება საშუალოთა ჯგუფს.

Снеговой сель – один из генетических типов селей, возникновение которого обусловлено процессами накопления и

таяния снежного покрова и снежников. Выделяются два вида с.с. – *водоснежные потоки* и снежниковые сели. Первый служит главным типом селевых явлений среднегорий субарктической зоны. Снежниковые сели распространены как в Субарктике, так и в альпийском и субнивальном поясах высокогорий умеренной зоны. Наиболее частый *механизм их зарождения* – прорыв временных запруд. Такие прорывы формируют, как правило, *водокаменные потоки* или *селевые паводки*; наиболее характерные для Субарктики. Второй, более редкий механизм зарождения снежниковых селей связан с накоплением (преимущественно путем лавинного сноса и выветривания) на уступах продольного профиля денудационных врезов и русел рыхлообломочной массы, которая при переувлажнении способна к самоистечению; при этом формируются *грязекаменные потоки*. Этот тип селей встречается в высокогорьях умеренной зоны. Главным импульсом, обеспечивающим сход с.с., служит интенсивное снеготаяние, иногда с участием дождей. Период схода с.с. в субарктической зоне приходится на весну, в высокогорьях умеренной зоны – на лето. По объему *селевых выносов* с.с. относятся к группе средних.

ՔԱՖԱՏԹՈՐՅԱԼՈ ԾՎԱՐՅՄՅՈ (DISASTROUS MUD-FLOW; КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ СЕЛЬ) – մեծվելուանո թարառուս და ადამიანთა մსხვერპლու զաმომწვევո ԾՎԱՐՅՄՅՈ. Իշეულებრივად ეს արև մծლաვրո ԾՎԱՐՅՄՅՈ նայած օშვո- ատո განմշտებადობით ან մოცემულ უბანზე პირշეլաდ ფორմირებული, მაგალითად, მიწისძვრის, վաղշաբური ამოფ- რქვევის ან წყალსაცავის გარღვევის შედეგად.

Катастрофический сель – сель, вызвавший значительный материальный ущерб и человеческие жертвы. Обычно это мощ-

ный селевой поток редкой повторяемости или сформировавшийся на данном участке впервые, например, в результате землетрясения, извержения вулкана, прорыва водохранилища.

კვაზილვარცოფული ნაკაღები (QUASI-MUDFLOWS; КВАЗИСЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ) – დედამიწის ღვარცოფული და ღვარცოფმაგვარი ნაკაღების ერთ-ერთი ჯგუფი ზღვის ფსკერზე და ოკეანებში. კვაზილვარცოფული ნაკაღების პარამეტრები აღემატება ხმელეთის მძლავრ ულტრალვარცოფული ნაკაღების პარამეტრებს. მათი სისქე აღწევს 100-200 მ, გავლის სიგრძე – ასეული კოლომეტრია, ნაკაღის სიგანე შეადგენს რამდენიმე ათეულ კილომეტრს. ყველაზე მსხვილი კვაზილვარცოფული ნაკაღები წარმოიქმნება რვა და რვაზე მეტ-ბალიანი მიწისძვრის შედეგად.

Квазиселевые потоки – образуют одну из групп селевых и селеподобных потоков Земли на дне морей и океанов. Параметры к.п. превосходят параметры наиболее мощных *ультраселевых потоков* на суше: толщина их достигает 100-200 м, длина пути – сотен километров; ширина потока составляет от нескольких до десятков километров. Наиболее крупные к.п. возникают при землетрясениях силой 8 баллов и более.

ლაჟარი (LAHAR; ЛАХАР) – ღვარცოფული ნაკაღის აღვილობრივი დასახელება (ინდონეზია), წარმოიქმნება მოქმედი ვულკანების რაიონებში. ასხვავებენ ცხელ ლაჟარებს, რომლებიც დაკავშირებულია ვულკანის ამოფრქვევასთან, და ცივ ლაჟარებს, რომლებიც არ არიან დაკავშირებული ვულკანის ამოფრქვევასთან. ასეთი ტიპის ლაჟარების წარმოქმნის მიზეზი არის კოკისპირული წვიმები ან კრატერული ტბების გარღვევა. თანამედროვე ვულკანიზმის რაიონებში აქტიური

ღვარცოფული მოვლენების მთავარ მიზეზს ფხვიერნატეხიანი მასალის გარეცხვადი ფენების სიუხვე წარმოადგენს.

Лахар – местное название (Индонезия) селевых потоков, формирующихся в районах действующих вулканов. Различают горячие л., связанные с извержением вулканов и холодные л., с ними непосредственно не связанные. Причиной возникновения последних служат ливни, прорывы кратерных озер (вне связи с извержением). Одна из главных причин активных селевых процессов в районах современного вулканизма – обилие размываемых толщ рыхлообломочного материала.

ლიმნოგენური ღვარცოფი (LIMNOGENIC MUDFLOW; ЛИМНОГЕННЫЙ СЕЛЬ) – ღვარცოფის ერთ-ერთი გენეტიკური ტიპი, რომელიც დაკავშირებულია ტბის ბუნებრივი კაშხლების გარღვევასთან და მთის ტბის სრულ ან ნაწილობრივ დაცლასთან. გარღვევადსაშიში ტბები შეტბორილი ტიპისაა. ისინი წარმოიქმნება მდინარის შეტბორვის, მეწყერის ჩამოწოლის, ვულკანური ლავის დინების, ძველი მყინვარების მორენების გარღვევის და გვერდითი შენაკადების გამოტანის კონუსის წარმოქმნის ხარჯზე.

Лимногенный сель – один из генетических типов селей, возникновение которого связано с размывом естественных озерных плотин и спуском части или всего объема воды горного озера. Прорываоопасные озера относятся к подпрудному (завальному) типу; они образуются в результате подпруживания реки обвалами, оползнями, потоками лавы, древними моренами ледников, конусами выноса боковых притоков.

მდინარეთა ხეობები (ველები) (RIVER VALLEY; РЕЧНЫЕ ДОЛИНЫ) – უარყოფითი სწორხაზოვნად გაჭიმული რელიეფის ფორმები, რომელსაც გააჩნია საერთო ქანობი მდინარის სათავიდან დაბლობისაკენ და ფორმირდება, უმეტესად, მდინარეების ეროზიული მოქმედების შედეგად. მთიან რეგიონებში შეიძლება გამოიყოს მდინარეთა ხეობების რამდენიმე ძირითადი მორფოლოგიური ტიპი. 1. ვიწრობის, ხეობისა და კანინოს ტიპის: გვერდები თითქმის ვერტიკალურია ან საფეხურისებრი, კალაპოტს მთლიანად უკავია ფსკერი, გრძივი პროფილი საფეხურისებრი ფორმისაა. 2. V-სებრი ხეობა: კალაპოტს მთლიანად უკავია ფსკერი, მაგრამ ფერდობები ზევითკენ ფართოდ იმლება. 3. ყუთისებრი ფორმის ხეობა: გააჩნია ბრტყელი ფსკერი, რომელშიც შეჭრილია კალაპოტი და ჭალა. 4. დატერასებული ხეობა: გააჩნია ბრტყელი ფსკერი, ჭალა და ტერასები. მიუხედავად იმისა, რომ მდინარეების ხეობების ტიპების ჩამონათვალში გამოყენებულია მათი განივი პროფილის ფორმები, აღნიშნული რიგი გამოხატავს ევოლუციის საერთო ეტაპებს. მდინარეთა მიმდებარე ველების პირველი ორი ტიპი წარმოადგენს ახალგზარდა დაუმუშავებულ ეროზიულ ხეობებს, მეორე ორი ტიპი - დამუშავებულ, შედარებით მდგრად წარმონაქმნეს, რომელშიც წარმოჩენილია მდინარის მუშაობის მთავარი ატრიბუტები - ალუვიონი, ჭალა, ტერასები. ღვარცოფული პროცესები უპირატესად განეკუთვნება მდინარეების ხეობების ახალგაზრდა დაუმუშავებელ ტიპებს, განსაკუთრებით V-ტიპის ხეობებს.

Речные долины – отрицательные линейно вытянутые формы рельефа, имеющие общий уклон от верховьев к низовым, образованные преимущественно эрозионной деятельностью рек. В горах можно выделить несколько основных морфологических типов речных долин. 1.Долина типа теснинь, ущелья, каньона: борта близки к вертикальным или ступен-

чатые, дно целиком занято руслом, продольный профиль ступенчатый. 2. V – образные: дно целиком занято руслом, но склоны широко раскрыты кверху. 3. Ящикообразные: имеют плоское дно, в которое врезаны русло и пойма. 4. Террасированные: имеют плоское дно, пойму и террасы. Хотя в названиях типов р.д. использована форма их поперечного профиля, ряд этот отражает общие этапы эволюции. Первые два типа р.д. – это молодые неразработанные эрозионные долины, вторые два – разработанные, более устойчивые образования, в которых представлены главные атрибуты работы реки – аллювий, пойма, террасы. *Селевые процессы* в наибольшей мере свойственны молодым неразработанным типам р.д., особенно V–образным.

მდინარის ღვარცოფული მდგომარეობა (MUDFLOW CONDITION OF RIVER; СЕЛЕВОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ) – მდგომარეობა, როდესაც მდინარე დინების მცირე მონაკვეთზე იძენს ღვარცოფული ნაკადის თვისებებს. ძირითადად, დამახასიათებელია (ღვარცოფაქტიური) მთის მდინარეების იმ უბნებისათვის, რომლებიც განლაგებულია უშუალოდ ღვარცოფული ნაკადების ჩადინების ქვემოთ, სადაც გამოტანილია ჩამონამტვრევი მასალის მნიშვნელოვანი ნაწილი.

Селевое состояние реки – приобретение рекой на коротком отрезке течения свойств селевого потока. Характерно для значительных (не селеактивных) горных рек, на участках, расположенных непосредственно ниже впадения селевых притоков со значительным выносом обломочного материала.

მეფერი (LANDSLIDE; ОПОЛЗЕНЬ) – მიწის მასების ან ქანების ფენის მოწყვეტა და გადაადგილება მთის კალთაზე ან ფერდობზე სიმძიმის ძალის გავლენით. წარმოიქმნება მთის ქანების სიმტკიცის წონასწორობის დარღვევის ან მთის ქანების

სიმტკიცის შესუსტების შედეგად, რაც გამოწვეულია როგორც
ბუნებრივი მიზეზით (გრუნტის ჭარბტენიანობით, ფერდობის
ძირის გამორეცხვით, სეისმური ძვრებით და სხვ.), ასევე
ადამიანის ზემოქმედებით (სამშენებლო და საგზაო სამუშაოები,
ტყეების გაჩეხვა, არასწორი აგროტექნიკა და სხვ.). მეწყერი
ხშირად ვითარდება მდინარის ხეობის ფერდობებზე, ზღვების,
ტბების, წყალსაცავების სანაპიროზე. მეწყერი აქტიურად
მონაწილეობს ღვარცოფების ფორმირების პროცესში. სიღრმუ-
ლი მეწყერი ხერგავს მდინარის ხეობას, ხელს უწყობს ტბების
შემდგომ გარღვევას და ღვარცოფების წარმოქმნას. ზედაპირუ-
ლი მეწყერი უზრუნველყოფს ღვარცოფების მყარ შემადგე-
ნელს, ხოლო დიდი სიჩქარეების შემთხვევაში, შესაძლებელია
მისი ღვარცოფულ ნაკადად გადაქცევა.

ОПОЛЗЕНЬ – отрыв и скользящее смещение массы горных пород вниз по склону под действием силы тяжести. Образуются при нарушении равновесия или ослаблении прочности горных пород, вызванных как естественными причинами (переувлажнение грунтов, подмыв основания склона, сейсмические толчки и др.), так и вмешательством человека (строительные и дорожные работы, сведение лесов, неправильная агротехника и др.). О. наиболее часто возникают на склонах речных долин, берегах морей, озер, водохранилищ. О. активно участвуют в процессе селеформирования. Глубинные о., перегораживая речные долины, создают условия последующего прорыва подпрудных озер и зарождения селей. Поверхностные о. обеспечивают твердую составляющую селей, а при высоких скоростях смещения (оплывины) могут непосредственно трансформироваться в селевой поток.

პროლუვიუმი (PROLUVİUM; ПРОЛОВИЙ) - ფლუვიალური ჯგუფის კონტინეტური დანალექი ქანების ერთ-ერთი გენეტიკური ტიპი, რომელიც ხასიათდება მონატეხი მასალის ცუდი დახარისხებითა და მცირე სიძრგვალით. ფორმირდება დროებითი და ნათლად გამოხატული ცვალებადი რეჟიმის მქონე ნაკადების ზემოქმედებით, ღვარცოფული ნაკადების ჩათვლით. პროლუვიუმი მონაწილეობს მდინარის ტერასების ჩამოყალიბების პროცესში, ქმნის გამოტანის კონუსებსა და პროლუვიალურ შლეიფებს. პროლუვიალური გამოტანის კონუსებში, მათი წვეროდან ძირის მიმართულებით, მონატეხი მასალის გრანულომეტრული შემადგენლობა იცვლება წვრილ-მარცვლოვანი შევსების მქონე ღორღიდან მტკრისებრ-თიხნარ ნარიყამდე.

Проливий – один из генетических типов континентальных осадочных отложений флювиальной группы, характеризующийся плохой сортированностью и слабой окатанностью обломочного материала. Формируется потоками с временным или ярко выраженным переменным режимом, включая селевые. П. участвует в строении речных террас, слагает *конусы выноса* и проливиальные шлейфы. В проливиальных конусах выноса, от их вершины к подножию, гранулометрический состав обломочного материала изменяется от щебня с мелкоземистым заполнителем до пылевато–глинистого выноса.

რთული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენები (MUDFLOWS OF COMPLEX GENESIS; СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ СЛОЖНОГО ГЕНЕЗИСА) – წარმოადგენს ღვარცოფული მოვლენების გარდამავალ ან პოლიგენეტიკურ ტიპებს, რომელთა ფორმირების პროცესში ერთდროულად მონაწილეობს წარმოშობის ერთი და რამდენიმე მიზეზი, და შესაბამისად, მათი წარმოშობის მექანიზმი გართულებულია.

მოვლენის აშახველი მაგალითები: თანამედროვე მყინვარების მორენების მიდამოებსა და მრავალწლიანი ყინვების პირობებში, წვიმის ღვარცოფების ფორმირების დროს, გარდა ნალექების ინტენსიურობისა და რაოდენობისა, ღვარცოფების წარმოქმნა განპირობებულია გრუნტის ძინარი ფენის სისქით. წყალთოვლიანი ნაკადის დინება, უმეტეს შემთხვევებში, განპირობებულია გაზაფხულზე თოვლის ინტენსიური დნობით, მაგრამ მატერიკების დასავლეთ სანაპიროების კლიმატის პირობებში (სკანდინავიის მთები) იგი განპირობებულია ზამთრის თავსხმა წვიმებით დათბობის პერიოდში. ულტრალგარცოფების ფორმირების დროს, უასკარანის მთის (პერუ) მიდამოებში, მოხდა მოწყვეტილი მყინვარის თანმიმდევრული ტრანსფორმაცია თოვლქვიან ზვავად, ტალახის მასის ჩამოშლა გამოიწვია მიწისძვრამ.

Селевые явления сложного генезиса – переходные или полигенетические типы *селевых явлений*, при формировании которых одновременно действуют две или более причин зарождения, и соответственно *механизм их зарождения* усложнен. Приведем примеры таких явлений. При формировании *дождевых селей* в областях морен современных ледников и сплошной многолетней мерзлоты помимо интенсивности и количества осадков зарождение селя определяется также толщиной талого слоя грунта. Сход *водоснежных потоков* в подавляющем большинстве случаев определяется интенсивным снеготаянием весной, но в условиях климата западных побережий материков (Скандинавские горы) это бывает связано с зимними ливнями в период глубоких оттепелей. При формировании *ультраселевых потоков* в районе горы Уаскаран (Перу) обвал ледника последовательно трансформировался в снежно–каменную лавину, и грязевой обвал был вызван землетрясением.

საყრდენი დამპები (DEBRIS DAM; ПОДПОРНЫЕ ЗАПРУДЫ) - ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი, წარმოადგენს საშუალო სიმაღლის (2-10 მ) მასიურ (ბეტონის ან ქვის) ან გამჭოლ (რკინაბეტონის ან ლითონის კონსტრუქციები) კაშხლებს. საყრდენი დამპები ღვარცოფ-საწინააღმდეგო ნაგებობათა ყველაზე გავრცელებულ ტიპს წარმოადგენს. ცალკეულ საყრდენ დამპებს ზოგჯერ აშენებენ ღვარცოფგამტარი ნაგებობის წინ ღვარცოფის მყარი შემადგენლობის მასის ნაწილობრივი შეკავების მიზნით; ამ ნაგებობათა მცირე ჯგუფებს აწყობენ სუსტ- და საშუალოდაქტიურ ღვარცოფულ აუზებში, როგორც ტერასირებისა და ტყის გაშენების დამატებით ღონისძიებას. ხშირ შემთხვევებში, საყრდენი დამპების სისტემა ეწყობა ათეულობით ცალკეული ნაგებობის სახით ღვარცოფული კალაპოტის მთელ სიგრძეზე – სათავიდან გამოტანის კონუსამდე. დამპები, რომლებიც განთავსებულია ერთმანეთისაგან 40-120 მ-ის დაშორებით, გარდაქმნიან კალაპოტის გრძივ პროფილს საფეხურისებრ პროფილად. დამპებს შორის მანძილი იანგარიშება იმის გათვალისწინებით, რომ საფეხურის ქანობი მიახლოებული იყოს გამათანაბრებელთან, ანუ ქანობთან, რომლის დროსაც წყდება მდინარის კალაპოტის გარეცხვა. ამდენად, დამპების სისტემა, ცალკეული ნაგებობისგან განსხვავებით, ზემოქმედებას ახდენს ღვარცოფული პროცესის მიმდინარეობაზე – მნიშვნელოვნად ამცირებს ან სრულად აღმოფხვრის აუზის ღვარცოფულ აქტივობას.

Подпорные запруды – один из типов *противоселевых сооружений*, представляющих собой невысокие (2–10 м) плотины – массивные (выполнены из бетона или каменной кладки) или сквозные (собраны из железобетонных или стальных конструкций). П.з. – самый массовый тип противоселевых сооружений. Одиночные п.з. строят иногда в целях ча-

стичной задержки твердой составляющей селя перед селепропускным сооружением, небольшие по количеству группы их - в слабо - и среднеактивных селевых бассейнах в дополнение к террасированию и облесению склонов. В подавляющем большинстве случаев возводится система подпорных запруд, включающая десятки отдельных сооружений, располагающихся по всему селевому руслу, от верховьев до конуса выноса. Запруды, располагаясь на расстоянии 40–120 м одна от другой, преобразуют продольный профиль русла в ступенчатый. Расстояния между запрудами рассчитываются таким образом, чтобы уклон выложенной ступени был близок к уравнительному, при котором прекращается размыв русла. Таким образом, система запруд, в отличие от одиночных сооружений, воздействует на ход селевого процесса, значительно снижая или целиком ликвидируя селевую активность бассейна.

სეისმოგენური ლვანოფოზი (SEISMOGENIC MUDFLOW; СЕЙСМОГЕННЫЙ СЕЛЬ) - წარმოადგენს ღვარცოფების ერთ-ერთ გენეტიკურ ტიპს, რომელიც წარმოქმნება რვა და მეტი ბალის მქონე მიწისძვრის შედეგად. სეისმოგენური ღვარცოფი წარმოქმნება ფერდობებიდან გრუნტის მასების მოწყვეტისა და, ზოგჯერ, მთის ტბებიდან წყლის გადმოდინების შედეგად. მიწისძვრით გამოწვეული ჩამონაშალი შეიძლება გარდაიქმნას ღვარცოფულ ნაკადად, მეწყერი და ჩამოზვავება ქმნის დროებით კაშხლებს, რომლის გარღვევა ღვარცოფების წარმოქმნის საწინდარია. სეისმოგენური ღვარცოფი ამგვარი მოვლენების იშვიათი ტიპია და დამახასიათებელია მაღალი სეისმური აქტივობის ზონებისათვის.

Сейсмогенный сель – один из генетических типов селей, который вызывается землетрясением силой 8 баллов и выше. Зарождение с.с. связано со срывом грунтовых масс со склонов,

иногда - с выбросом воды из горных озер. Вызванные землетрясением оплывины могут трансформироваться в селевой поток непосредственно, оползни и обвалы создают временные плотины, прорыв которых служит толчком для возникновения селя. С.с. - редкий тип селевых явлений, свойственный областям с высокой сейсмической активностью.

ՆԳՈՅՈՒԹՈ ՇԱՀԾՈՒԹՅԱՅԻ (NATURAL DISASTER; СТИХИЙНЫЕ БЕДСТВИЯ) - յաջաւորությունու եաևօտու շահծուրեա, րոմըլսաց տաբ աթլաց աճամուանտա մեծվերձլու դա մեօժշելուանո ზարալո, գամովշահուա դամանցրեզելո ծայերուց դա ծայերուց-անորուացենուրո ձրույելուա. անտ ձրույելու գանցուացեա: Ծպալուացուածու, Ծայունեածու, մովիս-ծարեածու, Վալկանեածու մովրէշեզա, Վալվա, Վանամո, Մելլուրեածու, Ըարաւորությունու նայացեածու, տուալու թազեածու դա ևեշ. Սկանաենցլ ծերուութի, Բարմույծուածու դա մուսաելուածու ևոմքուուրուածու թրդաւտան յրտագ, Տիոյուրու շահծուրեածու գամովշահությունու աճա-մուանցուածու մեծվերձլուա ռաուցենուածու դա յանուածու գանցուացեածու գանցուացեածու օթրուածու.

Стихийные бедствия - бедствия катастрофического характера с человеческими жертвами и значительным ущербом, которые вызываются разрушительными природными и природно-антропогенными процессами. К таким процессам относятся наводнения, тайфуны, землетрясения, извержения вулканов, засуха, цунами, оползни, селевые потоки, снежные лавины и др. Число жертв и экономический ущерб от с.б. за последние времена непрерывно возрастают, вместе с ростом производства и плотности населения.

ტალახის ნაკადი (MUDFLOW; ГРЯЗЕВОЙ ПОТОК) - ღვარცოფული ნაკადის ერთ-ერთი ტიპი მასალის შემადგენლობის მიხედვით, რომლის მკვრივი შემადგენლობა წარმოდგენილია უპირატესად მტვრიან-თიხოვანი და ქვიშის ნაწილაკებით, შესხვილი ნატეხების ჩათვლით. ტალახის ნაკადი მიეკუთვნება მაღალი სიმკვრივის ნაკადებს, დამახასიათებელია თიხოვანი ფიქლებითა ან ლიოსისებრი ქანებით შედგენილი ღვარცოფული აუზებისთვის. მოძრაობის ხასიათით უმრავლესობა მიეკუთვნება ბმული ღვარცოფული ნაკადების კლასს.

Грязевой поток - один из видов селевых потоков по вещественному составу, твердая составляющая которого представлена преимущественно пылевато-глинистыми и песчаными частицами с включением более крупных обломков. Г.п. относятся к потокам высокой плотности; характерны для селевых бассейнов, сложенных глинистыми сланцами или лёссовидными породами. По характеру движения многие г.п. относятся к классу связных селей.

ტბების პროფილაქტიკური დაცვა (PREVENTIVE EMPTYING OF LAKES; ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЙ СПУСК ОЗЕР) - გარღვევსაშიში ტბების ხელოვნური დაცვა, კატასტროფული ღვარცოფებისა და წყალმოვარდნების თავიდან აცილების მიზნით. წარმოებს ნაგუბარი ტებებისა და ხშირად მყინვარულ-ნაგუბარი ტიპის ტბების პროფილაქტიკური დაცვა, რომლებიც მყინვარული ღვარცოფების წარმოქმნის კერებს წარმოადგენს. მყინვარული კაშხლების წყლის კონტროლირებადი დაცვა ხორციელდება გვირაბების გაყვანის ანდა ფხვიერ-მონატეზი მასალის საფრის გაწმების გზით.

Профилактический спуск озер - искусственное опорожнение прорываопасных озер в целях предотвращения катастрофических селей и паводков. П.с.о. организуется на озерах

подпрудного (завального) генезиса, чаще всего на ледниково-подпрудных, которые служат очагами возникновения ледниковых селей. Контролируемый сброс воды в ледяных плотинах осуществляется путем проходки туннелей или расчистки плаща рыхлообломочного материала.

ულტრალვარცოფული ნაკადები (ULTRAMUDFLOWS; УЛЬТРАСЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ) – წარმოდგენს დედამიწაზე გავრცელებული ღვარცოფული და ღვარცოფების მსგავსი ნაკადების ერთ-ერთ ჯგუფს და ხასიათდება პროცესის გრან-დიოზული მასშტაბებით. როდესაც მოძრაობაში მოსული მასის სისქე ათეულობით მეტრს აღწევს, ერთი რიგით იზრდება მისი სიჩქარე და გადაადგილების მანძილი, ხოლო ორი რიგით – გამოტანილი მასის მოცულობა. ნაკადის მოძრაობა სცდება კალაპოტური პროცესების საზღვრებს და იძენს გეოლოგიური კატასტროფის ხასიათს: რამდენიმე ასეული კილომეტრის მანძილზე ხდება ფერდობებისა და მდინარის ხეობების რელიეფის სახეცვლილება. ულტრალვარცოფული ნაკადების წარმოშობის გამომწვევი მიზეზებია ვულკანების ფეთქებადი ამოფრქვევა და მთების ციცაბო მაღალი ფერდობებიდან ყინულოვანი ფირნის მასების მოწყვეტა. შესაბამისად, ულტრალვარცოფული ნაკადების მყარი ჩანართი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას როგორც მთის ქანების, ასევე ყინულის მონატეხით. ულტრალვრაცოფული ნაკადების თითოეული ტიპის წარმოშობის მექანიზმი სპეციფიკურია. ვულკანების ფეთქებადი ამოფრქვევის დროს ის დაკავშირებულია კრატერული ტბის ამოშხეფვასთან (იავანური ტიპი), რომელსაც თან ახლავს ვულკანის კედლის ნგრევა და გრუნტის ლავის ტრანსფორმაცია ღვარცოფულ ნაკადში (კასკადური ტიპი), თოვლის სწრაფი დნობის შედეგად პიროპლასტიკური ნაკადის გარდაქმნით ღვარცოფულში. ყაზბეგის ტიპის ღვარცოფული ნაკადები

წარმოიქმნება წყლით გაჯერებული ფირნისა (შევილმარცვლოვანი, შემკვრივებული თოვლი) და ყინულოვანი მასის მოწყვეტის შედეგად; უასკარანული ტიპი წარმოიქმნება მყინვარის მოწყვეტისა და მისი თოვლიან-ქვიბი ზვავისა და ტალახოვანი ნაკადის თანმიდევრული გარდაქმნის შედეგად. ულტრაღვარცოფული ნაკადები უნიკალური ღვარცოფების კატეგორიას განეკუთვნება; ხშირ შემთხვევებში, ისინი არ მეორდება იმავე ადგილას და იმავე მასშტაბით, რომლითაც იწყება ვულკანისა და მყინვარის განვითარების ეტაპები.

Ультраселевые потоки – одна из групп селевых и селеподобных потоков Земли, характеризующаяся грандиозным масштабом процесса. Когда толщина пришедших в движение масс достигает десятков метров, на порядок возрастают их скорость и дальность пути и на два порядка – объемы выноса. Движение потока выходит за рамки руслового процесса, приобретая характер геологической катастрофы: на протяжении десятков–первых сотен километров преобразуется рельеф склонов и речных долин. Причинами возникновения у.п. служат взрывные извержения вулканов и срыв фирмово–ледяных масс с крутых высоких склонов гор. Соответственно твердая составляющая у.п. может быть представлена обломками как горных пород, так и льда. *Механизм зарождения* каждого типа у.п. специфичен. При взрывных извержениях вулканов он связан с выплеском кратерного озера (Яванский тип), с разрушением стени вулкана и трансформацией грунтовой лавины в селевой поток (Каскадный тип), с преобразованием пирокластического потока в селевой вследствие бурного снеготаяния (Ключевской тип). Казбекский тип потоков образуется вследствие срыва фирмово–ледяных масс, насыщенных водой, Уаскаранский – вследствие обвала ледника и последовательной трансформации его в снежно–каменную лавину и грязевой поток. У.п. относятся к ка-

тегории уникальных; в большинстве случаев они не повторяются в том же месте и масштабе, фиксируя этапы в развитии вулкана или ледника.

ვერდობების დატერასება (TERRACING OF SLOPES; ТЕРРАСИРОВАНИЕ СКЛОНОВ) – гულისხმობს ფერდობებზე საფეხურების მოწყობას (ხელოვნური ტერასები) მათზე სასოფლო-სამურნეო და ტყის კულტურების გასაშენებლად, ასევე წყლისმიერ ეროზიასთან ბრძოლის მიზნით. ღვარცოფულ აუზებში ფერდობების დატერასება, ხეებისა და ბუჩქნარის გაშენებასთან ერთად, ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირებისა და ღვარცოფული აქტიურობის შეცირების ერთ-ერთ ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს. ტერასების გაჭრა ხდება 35°-მდე ქანობის ფერდობებზე; მათი სიგანე არანაკლებ 3 მეტრისაა. ტერასებს შორის მანძილი დამოკიდებულია ფერდობების ქანობსა და მისი ზედაპირის მდგომარეობაზე; როგორც წესი, ის შეადგენს ათეულ მეტრს. დატერასებული ფერდობი პრაქტიკულად გამორიცხავს ზედაპირულ ჩამონადენს და თავსხმა წვიმების დროს მცირემიწანი უბნების სიბრტყით ჩამორეცხვას. ამის შედეგად, ხდება მაქსიმალური ხარჯის მრავალჯერადი შემცირება, ხოლო კალაპოტში შეტივნარებული ნატანის მოცულობა ათვერ და ასვერ მცირდება.

Террасирование склонов – создание на склонах ступеней (искусственных террас) для лучшего использования их под сельскохозяйственные и лесные культуры, а также для борьбы с водной эрозией. Т.с. в селевых бассейнах в сочетании с древесно-кустарниковыми насаждениями – один из эффективных способов регулирования поверхностного стока и снижения селевой активности. Террасы нарезают на склонах крутизной до 35°; ширина их не менее 3 м. Расстояние между террасами зависит от крутизны склона и состояния его поверхности; как правило,

оно составляет десятки метров. Затеррасированный склон практически не дает поверхностного стока и поглощает плоскостной смыв мелкозема во время ливней. В результате многократно падает максимальный расход, а объем взвешенных наносов в русле уменьшается в десятки и сотни раз.

ՋՎԱՇՎԼՈԱՅՈ ԵԱԿԱՋՈ (WATER-ROCK-FLOW; ВОДОКАМЕННЫЙ ПОТОК) - ՋՎԱՇՎԼՈՅՈ ԵԱԿԱՋՈ ՆԱԿԱՋԵՑՈՒՅՈ ՏԱԿԵՐԸՆԻ ԲՈՎԹՈՒՐԵՑԱՏԱ ՇԵՄԱԾԳԵԲԼՈՒՅՈՆ ՄՈԽԵՋՎՈՒԹ, ՐՈԹԵԼՌՈՅԾ ՔԱՐԵԾՈՅՑ ՇԵԽԵՌՈ ԵԱԺԵԿԻ ՄԱՏԱԼԱ (ՋՎՈՇԱ-ԵՐԵՌՈ, ԾՈՐԸՆ, ԸՆԴՋԵՑՈ) ՇՄԵՑԵՍՄԻՈԼՈՎ ԳԱՋԱՋԱՋՈԼՈՎ ՇԵՖՈՎԵՐԵՑՈՅՈՒԼ ԴԱ ԾԱՑԱԿԵՑՈՒԼՈ ԵԱԺԵԿԱՆՈՒՅՆ ՏԱԿԵՐԸՆԻ ԵԱԿԱՋՈ ԵԱՎԵՐԵՑՈ ԵԱՄԱԿԱՏԵՐԵՑՈ ԿՐՈՅԵՑՎԱԼՈՅՈՒՐՈ ՄՈՒՅԻ ՋԱԵՐԵՑՈ ԱԳԵՑՈՅՈՒԼՈ ՐԵԳՈՄԵՋԵՑՈՍԱԹՎՈՅԻ.

Водокаменный поток – один из видов селевых потоков по вещественному составу, в *селеевой массе* которого преобладает грубообломочный материал (песчано-гравийный; галечно-валунный), который перемещается преимущественно в виде *взвешенных и влекомых наносов*. В.п. характерны для районов, сложенных кристаллическими горными породами.

ԵՎԱՖԱՀԱՅՈԱՅՈ ԵԱԿԱՋՈ (DEBRIS FLOW; ГРЯЗЕКАМЕННЫЙ ПОТОК) - ԵՎԱՖԱՀԱՅՈԱՅՈ ԵԱԿԱՋՈ ՆԱԿԱՋԵՑՈՒՅՈ ՏԱԿԵՐԸՆԻ ԲՈՎԹՈՒՐԵՑԱՏԱ ՇԵՄԱԾԳԵԲԼՈՒՅՈՆ ՄՈԽԵՋՎՈՒԹ, ՐՈԹԵԼՈՅԾ ՄՊԱՐՈ ՄԱՏԱ ԾԱՐԹՈՋԵԲՈԼՈՎ ՇԵԽԵՌՈ ԵԱԺԵԿԻ ԾԱՅՐՈԼՈՎ ՏԵՐԵՐԸՆՈՅՈՒԼՈ ՄԱՏԱԼՈՅԻ ԵԱՐԵՎՈՒԹ, ԵՎ ՇԵԽԵՌԱՆԿԵՐԵԼՈ ՋԹԵՆՈՅ ՋՎԱՇՎԼՈՅՈ ՄԱՏԱԼՈՅԻ ԾԱԼԱԿԵԱՆ ՋԵԲԱՆ (ՋՎԱՇՎԼՈՅՈ ՆՇԵՏԵՐԵՑԻԱ), ՄԵԽՈԼՈ ՋՎՈՅ ԵԱԺԵԿԵՑՈՅ ԾՐԵՔԵՐԵՑՈՅ ՇԵՄԱՎԵՐԵՑԵԼԸ. ՋՎԱՑԱԼԱԿԵԱՆՈ ԵԱԿԱՋՈ ՄՈԵՐՄԱԴԵՑԵՑՈ ԵԱԼԱՎՈՐՈՎՈՅ ԵԱԿԱՋԵՑԸ.

Грязекаменный поток – один из видов селевых потоков по вещественному составу, твердая составляющая которого представлена смесью грубообломочного и тонкодисперсного

материала; последний образует грязевую часть *селевой массы* (селевую суспензию), заполняющую промежутки между крупными обломками. Г.п. относятся к потокам высокой плотности.

ღვარცოფაქტიური ჰერიტორიების დარაიონება (ZONING OF MUDFLOW HAZARD; РАЙОНИРОВАНИЕ СЕЛЕАКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ) - ღვარცოფაქტიური ტერიტორიების დაყოფა ღვარცოფული პროცესების მეტნაკლებად ერთგვაროვანი მახასიათებლების მიხედვით. ღვარცოფაქტიური ტერიტორიების დარაიონების წვრილმასშტაბიანი ტაქსონომური კატეგორიები (ჩრდილო-აღმოსავლეთ ევრაზის მაგალითზე) წარმოდგენილია ღვარცოფულ ზონებად, რომლებიც განსხვავდებიან ღვარცოფების სხვადასხვა გენეტიკური ტიპების დომინირებით; ღვარცოფული რეგიონებით, რომლებიც განსხვავდებიან, ძირითადად, ღვარცოფული რეჟიმით; ღვარცოფული რაიონებით, რომლებიც განსხვავდებიან აქტივობის ხარისხითა და ღვარცოფწარმოქმნის სპეციფიკით. ღვარცოფაქტიური ტერიტორიების დარაიონების შედეგად რეგიონალურ დონეზე დამცავი ღონისძიებების დასაბუთებისა და პროგნოზის შემუშავების მიზნით იქმნება მონაცემთა ბაზა.

Районирование селеактивных территорий - разделение селеактивных территорий на районы с более или менее однородными характеристиками *селевых явлений*. Таксономические категории мелкомасштабного р.с.т. (на примере северо-востока Евразии) представлены селевыми зонами, которые различаются господством разных генетических типов селей, селевым регионами, различающимися главным образом *селевым режимом*, селевыми областями, различающимися по степени активности и специфике селеформирования. Р.с.т. создает базу для обоснования мер защиты и разработки прогноза на регио-

нальном уровне.

ლვარცოფგამტარი არხი (MUDFLOW CHECK CANAL; СЕЛЕПРОПУСКНОЙ КАНАЛ) - ლვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი, მიეკუთვნება ლვარცოფგამტარ ნაგებობათა ჯგუფს. ლვარცოფგამტარი არხი, თავის მხრივ, წარმოადგენს რკინაბეტონის ფილტრისაგან ან ქვის წყობისაგან შემდგარ არხის ტიპის კალაპოტს. მისი დანიშნულებაა, გაატაროს ლვარცოფული ნაკადი დასახლებული პუნქტებისა და საწარმოო ობიექტების გავლით. ლვარცოფგამტარი არხების კედლის სიმაღლე უნდა აღემატებოდეს ნაკადის მაქსიმალურ სიღრმეს 0,2-ით.

Селепропускной канал – один из типов *противоселевых сооружений*, входящий в группу селепропускных. С.к. представляет собой канализованное русло с искусственными бортами из железобетона, железобетонных плит или каменной кладки. Служит для пропуска селевых потоков через населенные пункты или промышленные предприятия. Высота стен с.к. должна превышать на 0,2 максимальную глубину потока.

ლვარცოფებით გამოჭვეული იღიბი ზარალი (INDIRECT DAMAGE FROM MUDFLOWS; КОСВЕННЫЙ УЩЕРБ ОТ СЕЛЕЙ) – დანაკარგები, რომლებიც გამოწვეულია საწარმოს ნორმალური ფუნქციონირებისა და ნორმალური საცხოვრებელი პირობების დარღვევით ლვარცოფული ნაკადის მოვარდნის შედეგად მისი გამანადგურებელი, პირდაპირი ზემოქმედების არეალის გარეთ. ლვარცოფებით გამოწვეული ირიბი ზარალია: საწარმოოს გაჩერება, პროდუქციის მიწოდების შეჩერება, სამუშაო გრაფიკის დარღვევა, მუშა-მოსამსახურეთა მოცდენა, ზარალის შედეგების ლიკვიდაცია და სხვ.

Косвенный ущерб от селей - потери, возникающие вследствие нарушения нормального функционирования предприятий и нормальных условий жизни населения после схода селей; это последствия схода селей вне сферы их прямого разрушительного воздействия. К.у.с. складывается из убытков от простоя предприятий, нарушения графика поставок, отвлечения работников на ликвидацию последствий бедствия и др.

ლვარცოვებით გამოვლეული პირდაპირი ზარალი (DIRECT DAMAGE FROM MUDFLOWS; ПРЯМОЙ УЩЕРБ ОТ СЕЛЕЙ) - даანაკარგი, რომელიც გამოწვეულია ნაკადის ფიზიკური ზემოქმედებით სახალხო მუშრნეობის ობიექტებზე და ექვემდებარება ზუსტ აღრიცხვას. ასეთი დაანაკარგების დამახასიათებელ სახეობებს განეკუთვნება სხვადასხვა სახის ნგრევა, სამეურნეო მოედნებისა და ნაყოფიერი მიწების დალამა, მოსავლისა და საქონლის განადგურება; ამავე კატეგორიას განეკუთვნება ავარიულ-აღდგენით სამუშაოებზე, ადამიანების ევაკუაციაზე და დროებითი საცხოვრებლების მშენებლობაზე გაწეული ხარჯები.

Прямой ущерб от селей - потери, возникающие вследствие физического воздействия потока на объекты народного хозяйства, поддающиеся точному учету. К характерным видам таких потерь относятся разного рода разрушения, занос промплощадок и плодородных земель, гибель урожая и скота; сюда же относятся и затраты на аварийно-восстановительный работы, эвакуацию людей, строительство временного жилья.

ლვარცოვებისაგან დაცვის მონიტორინგი (MUDFLOW CONTROL MEASURES; МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ СЕЛЕЙ) - ლვარცოვული საშიშროების შემცირების ან ლიკვიდაციის მეთოდები და ხერხები. ზოგადად, ლვარცოვებისაგან დაცვის ღონისძიებები მოიცავს ლვარცოფული პროცე-

სების რეგულირებას (მართვას). რეგულირების უშუალო ობიექტებს წარმოადგენს ღვარცოფული ნაკადი, ღვარცოფული აუზი, ანუ ღვარცოფწარმომქმნელი ფაქტორები და ადამიანის საქმიანობა ღვარცოფსაშიშ რაიონებში. ამ პოზიციების გათვალისწინებით, დარეგულირების ობიექტებიდან გამომდინარე, ღვარცოფებისაგან დაცვის ღონისძიებები იყოფა სამძირითად ჯგუფად: 1. ტექნიკური ღონისძიება - ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების მშენებლობა. რეგულირების ობიექტებს წარმოადგენს თვით ღვარცოფული ნაკადი, ხოლო ნაგებობების მშენებლობის მიზანია მოძრაობის გზის (მიმართულების) ღოკალიზაცია ან შეცვლა, ნაკადის გაჩერება დამბების, არხების, კაშხლების საშუალებით და სხვ.; 2. მელიორაციული ღონისძიება - ღვარცოფული აუზების მელიორაცია, რაც ითვალისწინებს ღვარცოფული პროცესის უმნიშვნელოვანესი ელემენტის - ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირებას. ჰიდროლა ფიტომელიორაციული ღონისძიებები გულისხმობს ღვარცოფულ აუზებში ტყის მსივების გაშენებას და ფერდობების დატერასებას, ტბების პროფილაქტიკურ დაცლას და სხვ.; 3. ორგანიზაციულ-სამეურნეო ღონისძიებები ითვალისწინებს ადამიანთა შსხვერპლის პრევენციის, შესაძლო ზარალის შემცირებისა და ღვარცოფული პროცესების შერბილების მიზნით ღვარცოფსაშიშ რაიონებში სამეურნეო საქმიანობის რეგულირებას. ეს ჯგუფი აერთიანებს ღონისძიებებს (კანონები, ადგილობრივი ხელისუფლების გადაწყვეტილებები), რომლებიც მიმართულია მთის ფერდობებზე ტყის საფრის მაქსიმალურ შენარჩუნებაზე, მთის საძოვრებზე დატვირთვების შეზღუდვასა და რეკრეაციაზე და სხვ. საუკეთესო შედეგს იძლევა დაცვის ღონისძიებების სამივე ჯგუფის შეთანაწყობა, განსაკუთრებით - მელიორაციული და ტექნიკური ღონისძიებებისა. ღვარცოფებისაგან დაცვის ღონისძიებების მთელი კომპლექსი ხორციელდება ღვარცოფსაწინააღმდეგო სამსახურის მიერ.

Меры защиты от селей - способы и средства, направленные на уменьшение или ликвидацию *селевой опасности*. В общем смысле м.з.с. направлены на регулирование (управление) селевым процессом. Непосредственными объектами регулирования служат *селевой поток, селевой бассейн*, т.е. факторы селезформирования и, наконец, деятельность человека в селевоопасных районах. С этих позиций - в зависимости от объектов регулирования - м.з.с. подразделяются на три основные группы:

1. Техническая - строительство *противоселевых сооружений*. Объектом регулирования служат собственно селевой поток, а целью возводимых сооружений - локализация или изменение пути схода, остановка потока с помощью дамб, каналов, плотин и др.
2. Мелиоративная - *мелиорация селевых бассейнов* в целях регулирования поверхностного стока как важнейшего элемента селевого процесса. Способами гидро- и фито – мелиорации в селевых бассейнах служат облесение и террасирование склонов, профилактический спуск озер и др.
3. Организационно-хозяйственная - регулирование хозяйственной деятельности в селевоопасных районах в целях предотвращения человеческих жертв, уменьшения возможного ущерба и ослабления селевых процессов. Сюда входят мероприятия (законы, решения местных властей), направленные на максимальное сохранение лесного покрова на склонах гор, ограничение нагрузки на горные пастбища, контроль и оповещение в районах пионерного освоения и рекреации и др. Наилучшие результаты дает сочетание всех групп мер защиты, в особенности - мелиоративной и технической. Весь комплекс м.з.с. осуществляется *противоселевой службой*.

ლვარცოფების განვითარებადობა (RECURRANCE INTERVAL OF MUDFLOWS; ПОВТОРЯЕМОСТЬ СЕЛЕЙ)

- წლების რაოდენობა, რომელთა განმავლობაშიც არსებულ ლვარცოფულ აუზში ხდება ლვარცოფების ჩამოწოლა საშუალოდ ერთხელ. ლვარცოფების განმეორებადობა ფასდება როგორც ცალკეული აუზებისათვის, ასევე რომელიმე ტერიტორიისთვის ან ლვარცოფის გენეტიკური ტიპისათვის. ლვარცოფების განმეორებადობა წარმოადგენს ლვარცოფული რეჟიმის ერთ-ერთ ელემენტს და ლვარცოფული აქტიურობის ერთ-ერთ მახასიათებელს. სტატისტიკური მონაცემების განხოგადების საფუძველზე ჩრდილოეთ ევრაზიისათვის მიღებულია ლვარცოფების განმეორებადობის შემდეგი გრადაცია: 1) ხშირი განმეორებადობა – 3-5 წელი და უფრო ხშირად; 2) საშუალო – 6-15 წელი; 3) იშვიათი – 16 წელი და უფრო იშვიათად. განსაკუთრებულ ხელსაყრელ პირობებში ლვარცოფული ნაკადის ჩამოწოლა ხდება ყოველწლიურად და ასევე რამდენჯერმეც კი წელიწადში.

Повторяемость селей - число лет, в течение которых сход селей в данном *селевом бассейне* происходит в среднем один раз. П.с. оценивается как для отдельных бассейнов, так и для какой-либо территории или генетического типа селей. П.с. – один из элементов *селевого режима* и показателей *селевой активности*. На основании обобщения статистических данных по северу Евразии принятая следующая градация п.с.: 1) частая повторяемость – 3–5 лет и чаще; 2) средняя – 6–15 лет; 3) редкая – 16 лет и реже. В особо благоприятных условиях *селевые потоки* сходят ежегодно и даже несколько раз в год.

ლვანცოვების გრძელვადიანი პროგნოზი (LONG-TERM FORECAST OF MUDFLOWS; ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СЕЛЕЙ) – ლვარცოფული მოვლენების აქტივიზაციის პერიოდის წინასწარი პროგნოზირება, ლვარცოფის რეჟიმის ცვლილების შეფასება და ლვარცოფის წარმოქმნის გენეტიკური ტიპების სამომავლო ურთიერთქმედების დადგენა. ღრმული პროგნოზირება – რამდენიმე წლისა და ათწლეულის ფარგლებში. ლვარცოფული მოვლენების აქტივიზაციის პერიოდის დადგენა ხდება მზის ციკლის აქტივობის ბაზაზე ერთიდან რამდენიმე წლის ხანგრძლივობით.

Долгосрочный прогноз селей – предсказание периода активизации селевых явлений или оценка изменений *селевого режима* и соотношения генетических типов селей на определенный момент будущего времени. Заблаговременность прогноза – от нескольких лет до нескольких десятков лет. Прогноз периодов активизации селевых явлений, продолжительностью от одного года до нескольких лет строится на базе циклов солнечной активности.

ლვანცოვების დენდროძროლოგია (DENDROCHRONOLOGY OF MUDFLOWS; ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯ СЕЛЕЙ) – გავლილი ლვარცოფების აბსოლუტური ასაკის განსაზღვრის მეთოდი, კალაპოტში და გამოტანის კონუსზე გაზრდილი ტყისა და ბუჩქნარის წლიური რგოლების დათვლით. ყველაზე ხშირად გამოიყენება დენდროქრონოლოგიური დათარიღების ორი მეთოდი – კალაპოტში არსებული ტყისა და ბუჩქნარის, ფოთლებისა და ყლორტების ნაზარდის ასაკის განსაზღვრა.

Дендрохронология селей – метод определения абсолютного возраста прошедших селей путем подсчета годичных колец деревьев и кустарников, произрастающих в прирусовой зоне и

на конусе выноса. Наиболее широко используются два способа дендрохронологического датирования – по возрасту поросли лиственных пород и по возрасту сбитостей на стволах деревьев и кустарников.

ლვარცოფების კადასტრი (CADASTRE OF MUDFLOWS;

КАДАСТР СЕЛЕЙ) – სისტემატიზებული მონაცემები გავლილ ღვარცოფებსა და ღვარცოფის აუზებზე. ინფორმაცია ღვარცოფების აუზების შესახებ მოიცავს მეტეოგანლაგებისა და მორფომეტრის მონაცემებს ნაკადის წარმოქმნის აპსოლუტურ სიმაღლეზე, მის სიგრძესა და საშუალო ქანობზე და წყალშეკრების ფართზე. ინფორმაცია გავლილ ღვარცოფებზე მოიცავს მონაცემებს ღვარცოფის გავლის თარიღზე, წარმოქმნის მიზეზებზე, ღვარცოფის სახეებზე, მოცულობაზე, მის შემადგენლობასა და გამონატაზე, სიჩქარის საანგარიშო მახასიათებლებზე, ხარჯზე, სიმკვრივეზე. ღვარცოფების კადასტრი საველე კვლევის შედეგებთან ერთად ქმნის პირველად მონაცემთა საინფორმაციო ბლოკს ღვარცოფული მოვლენების შესახებ.

Кадастр селей – систематизированные сведения о прошедших селях и селевых бассейнах. Сведения о селевых бассейнах включают данные о местоположении и морфометрии – абсолютной высоте устья и истока водотока, его длине и среднем уклоне, площади водосбора. Сведения о прошедших селях содержат данные о датах схода, причине возникновения, типе селя по составу, объеме селевых выносов, расчетных характеристиках скорости, расхода, плотности. К.с. вместе с результатами полевых исследований составляет блок исходной (первичной) информации о селевых явлениях.

ლვარცოფების მოდელირება (MODEL STUDY OF MUDFLOWS; МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЕЙ) - ლვარცოფების შესწავლის ერთ-ერთი მეთოდი. ლვარცოფმცოდნეობაში გამოიყენება ფიზიკური და მათემატიკური მოდელირება. ფიზიკური მოდელირება ხორციელდება ლვარცოფულ ღარებზე, რომელიც ხელოვნური ლვარცოფული მასის თვისებებშია და დარის პარამეტრების მართვის საშუალებას იძლევა მსგავსების კრიტერიუმის დაცვის გათვალისწინებით. მათემატიკური (დეტერმინისტული) მოდელები აგებულია ლვარცოფწარმომქმნელი პროცესების ძირითადი ტიპებისათვის. ლვარცოფების მოდელირების ძირითადი მიზანია ხარისხობრივი და რაოდენობრივი დამოკიდებულებების მიღება, რაც აუცილებელია ლვარცოფული ნაკადების დინამიკისა და დამცავ ნაგებობებთან მათი ურთიერთმოქმედების საანგარიშოდ.

Моделирование селей - один из методов изучения селей. В *селеvedении* используется физическое и математическое моделирование. Физическое моделирование осуществляется на *селеевых лотках*, которые дают возможность управления свойствами искусственной селевой массы и параметрами лотка, при соблюдении критерия подобия. Математические (детерминированные) модели построены для основных типов процессов селеформирования. Главная цель м.с. - получение качественных и количественных зависимостей, необходимых для расчета динамики *селеевых потоков* и их взаимодействия с защитными сооружениями.

ლვარცოფების მოპლევაციანი პროგნოზი (SHORT-TERM FORECAST OF MUDFLOWS; КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СЕЛЕЙ) - ლვარცოფის ჩამოწოლის დროის პროგнზირება გარკვეული საათისა და დღე-დამის პერიოდში.

Краткосрочный прогноз селей - предсказание времени схода селей с заблаговременностью от нескольких часов до нескольких суток.

ლვარცოფების მოძრაობა (MOTION OF MUDFLOW; ДВИЖЕНИЕ СЕЛЕЙ) - ლვარცოფების მოძრაობის მახასიათებელია მისი ტალღური ხასიათი. ლვარცოფების მოძრაობის რეჟიმი დამოკიდებულია ლვარცოფული ნაკადის სახესა და მის პარამეტრებზე. ბმულ ლვარცოფულ ნაკადებში დაბალი სიჩქარისა და სიღრმის დროს მოძრაობის რეჟიმი ლამინალურია ან სტრუქტურული, რომლის დროსაც ლვარცოფული მასის შერევა პრაქტიკულად არ ხდება. არაბმულ ლვარცოფულ ნაკადებში მნიშვნელოვანი სიჩქარისა და სიღრმის დროს მოძრაობის რეჟიმი ტურბულენტურია, რომლის დროსაც ინტენსიურად ხდება ლვარცოფული მასის შერევა. ლვარცოფული მოძრაობისას მსხვილი ნატეხების უწყვეტი გადანაწილება იწვევს ნაკადის სიმძაფრეს თანმდევი ხმაურითა და ვიბრაციით: მოძრავი ნაკადის ზედაპირი წარმოადგენს ე.წ. მდუღარე ფენას. მთიანი ქვეყნებისათვის დამახასიათებელი ძირითადი ლვარცოფების საშუალო სიჩქარე მერყეობს 2-დან 15 მ/წმ-მდე. გიგანტურ ულტრალვარცოფულ ნაკადებში ის იზრდება 50–150 მ/წმ-მდე. ლვარცოფული ნაკადების მაქსიმალური ხარჯი წვრილ ლვარცოფულ აუზებში მერყეობს $20-40 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ის ფარგლებში, მსხვილ ლვარცოფულ აუზებში – $200-800 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ის ფარგლებში, ზოგჯერ კი იზრდება $5-10$ ათას $\text{მ}^3/\text{წმ}$ -მდე.

Движение селей. Характерное свойство д.с. – его волновой характер. Режим д.с. зависит от типа селевого потока и его параметров. В связных селях, при малых скоростях и глубинах потока режим движения ламинарный или структурный, при котором перемешивания селевой массы практически не происходит. В несвязных селях, особенно при прорывном меха-

низме зарождения и значительной глубине и скорости, режим движения турбулентный, при котором идет интенсивное перемешивание селевой массы. Непрерывная переупаковка крупных обломков создает исключительную бурность потока, сопровождающуюся гулом и вибрацией поверхности земли; поверхность потока представляет собой как бы кипящий слой, с облаком пыли над ним. Средняя скорость подавляющей части селей горных стран лежит в диапазоне 2–15 м/с; в гигантских ультраселевых потоках она возрастает до 50–150 м/с. Максимальный расход селевых потоков составляет: в мелких селевых бассейнах 20–40 м³/с, в крупных - 200–800 м³/с, возрастающая иногда до 5–10 тыс. м³/с.

ლვარცოფების პროგნოზი (MUDFLOWS FORECAST; ПРОГНОЗ СЕЛЕЙ) – ლვარცოფების ჩამოწოლის დროისა და ლვარცოფული აქტივობის ზრდის პერიოდის პროგნოზი. ლვარცოფების პროგნოზის შემუშავება გართულებულია მოვლენის მრავალფაქტორიანობით და წამყვან ფაქტორებზე მჭიდრო დამოკიდებულებით (მაგ., ძლიერ წვიმებზე), რომელთა პროგნოზი, თავის მხრივ, ჯერ არ არის შემუშავებული. შესაბამისად, ლვარცოფების პროგნოზის არსებული მეთოდების მნიშვნელოვანი ნაწილი ექსპერიმენტული გადამოწმებისა და დანერგვის სტადიაში იმყოფება. წინასწარი პროგნოზის, ტერიტორიული განვრცობისა და გენეზისის მიხედვით ასხვავებენ ლვარცოფების პროგნოზის რამდენიმე ტიპს. წინასწარ კეთდება ლვარცოფების მოკლევადიანი (რამდენიმე საათიდან რამდენიმე დღე-დამედე) და გრძელვადიანი (რამდენიმდეათ პირველ ათეულ წლამდე) პროგნოზი. ტერიტორიული გავრცელების მიხედვით განარჩევენ ლვარცოფების ლოკალურ პროგნოზს (ერთი ლვარცოფული აუზის ფარგლებში) და ფონურს (მთის ქედის ან მსხვილი მდინარის

აუზის ნაწილს). სხვადასხვა გენეტიკური ტიპის ღვარცოფები-სათვის მუშავდება პროგნოზის შესაბამისი მეთოდები. ღვარ-ცოფების პროგნოზის შემუშავების დროს იყენებენ: ღვარცოფე-ბის ჩაწოლის პროგნოზულ მახასიათებლებს, სტატისტიკურ მონაცემებს ღვარცოფების რეჟიმის შესახებ, პიდრომეტერო-ლოგიურ ინფორმაციას, ღვარცოფული პროცესების განვითა-რების დადგენილ კანონზომიერებებს.

Прогноз селей – предсказание времени схода селей или периода возрастания *селевой активности*. Разработка п.с. затруднена многофакторностью явления и тесной зависимостью от ведущих факторов (например, ливней), прогноз которых, в свою очередь, не разработан. Поэтому большая часть существующих методов п.с. находится в стадии экспериментальной проверки и внедрения. Различают несколько типов п.с., в зависимости от заблаговременности, территориального охвата, генезиса. По заблаговременности п.с. разделяется на краткосрочный (от нескольких часов до нескольких суток) и долгосрочный (от нескольких до первых десятков лет). По территориальному охвату выделяют локальный п.с. (в пределах одного *селевого бассейна*) и фоновый (часть горного хребта или крупного речного бассейна). Для разных генетических типов селей разрабатываются свои методы прогноза. При разработке п.с. используют *прогностические признаки схода селей*, статистические данные о *селевом режиме*, гидрометеорологическую информацию, установленные закономерности развития *селевого процесса*.

ღვარცოფების ფიტოინდიკაცია (PHYTOINDICATION OF MUDFLOWS; ФИТОИНДИКАЦИЯ СЕЛЕЙ) – მცენა-რეული ჯგუფის ან ცალკეულ მცენარეთა თავისებურებების გამოყენება გავლილი ღვარცოფების ფარდობითი და აბსოლუ-ტური ასაკის დადგენის მიზნით. სხვადასხვა კონტურის გამო-

ყოფის მიზნით, რომელიც შეიცავს სხვადასხვა ასაკის მქონე ღვარცოფულ დანალექს, გამოიყენება ასაკობრივი შემადგენლობითი მცენარეული ჯგუფების სტრუქტურების განსხვავება, რომელთა გამოვლენა ადგილზე ანდა აეროფოტოსურათების მეშვეობით ხდება. აქტიური ღვარცოფული აუზების კარგად განვითარებულ გამოტანის კონუსებზე, როგორც წესი, ადგილად გამოიყოფა რამდენიმე ასეთი კონტური. გასული ღვარცოფების სხვადასხვა ასაკობრივი გენერაციის დათარიღების მიზნით იყენებენ დენდროქრონოლოგიისა და ლიქებომეტრიის მეთოდებს.

Фитоиндикация селей - использование особенностей растительных сообществ или отдельных растений в качестве показателей относительного и абсолютного возраста прошедших селей. В целях выделения контуров, занятых разновозрастными селевыми отложениями, используются различия в возрасте, составе, структуре растительных сообществ, выявленные на местности или на аэрофотоснимках. На хорошо развитых конусах выноса активных селевых бассейнов, как правило, легко выделяется несколько таких контуров. Для датирования разновозрастных генераций прошедших селей используют методы дендрохронологии и лихенометрии.

ღვარცოფების ჰასტავლის ლიქემომატიკული მეთოდი (LICHENOMETRY OF MUDFLOWS; ЛИХЕНОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД В СЕЛЕВЕДЕНИИ) - ღვარცოფული დანალექის აბსოლუტური ასაკის განსაზღვრის მეთოდი ზოგიერთი სახეობის ლიქენების მაქსიმალური დიამეტრის მონაცემებზე დაყრდნობით. ეფუძნება იმ გარემოებას, რომ ლიქენების რადიაციური ზრდა-გამრავლება, მთლიანობაში, მიმდინარეობს თანაბრად, დაჩქარებული ზრდის საწყისი ეტაპის (სტადიის) მხედველობაში მიუღებლად. ღვარცოფების

შესწავლის ლიქენომეტრული მეთოდი ბოლო ათასწლეულების განმავლობაში ღვარცოფული პროცესების აქტივიზაციის ეტაპების გამოვლენის საშუალებას იძლევა.

Лихенометрический метод в селеведении – метод определения абсолютного возраста селевых отложений по данным о максимальных диаметрах некоторых видов накипных лишайников. Основан на том факте, что радиальный прирост лишайников в целом происходит равномерно, не считая начальный этап ускоренного роста. Л.м.с. позволяет выявить этапы активизации селевых процессов последних тысячелетий.

ღვარცოფების შესწავლის მეთოდები (METHODS OF MUDFLOWS STUDY; МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕЙ) – ღვარცოფების შესწავლის მეთოდები შეიძლება დაჯგუფდეს სამ ძირითად ბლოკად: პირველადი ინფორმაციის, შეფასებისა და საანგარიშო. პირველი ბლოკი აერთიანებს სამარშრუტო კვლევებს, კვლევებს ღვარცოფულ სტაციონარებზე, ნახევრად სტაციონარულ დაკვირვებებს, კადასტრების შედგენას, რაც უზრუნველყოფს პირველადი ინფორმაციის მიღებას ღვარცოფული პროცესებისა და აუზების შესახებ. შეფასების ბლოკი, ძირითადად, აერთიანებს ღვარცოფების კარტოგრაფიულებისა და სურათების გაშიგვრის მეთოდებს, უზრუნველყოფს ღვარცოფების აქტივობისა და დარაიონების შეფასებას. საანგარიშო ბლოკი მოდელირებით, ექსპერიმენტითა და თეორიული კვლევით უზრუნველყოფს პარამეტრების, ფორმირების პროცესისა და ღვარცოფების მოძრაობის გაანგარიშებას. ღვარცოფების შესწავლის მეთოდებით მიღებული შედეგები გათვლილია გამოყენებითი მიზნებისათვის – პროგნოზირების შემუშავებისათვის, დამცავი ღონისძიებების დასაბუთებისა და შერჩევისათვის.

Методы изучения селей – м.и.с. можно сгруппировать в

три основных блока - исходной информации, оценочный и расчетный. Первый путем маршрутных обследований, исследований на *селевых стационарах*, полустационарных наблюдений, составления *кадастров* обеспечивает получение первичных сведений о селевых процессах и бассейнах. Оценочный блок, преимущественно методами *картографирования селей и дешифрирования снимков*, обеспечивает оценку *селевой активности и районирование*. Расчетный блок с помощью *моделирования*, эксперимента, теоретических разработок обеспечивает расчет параметров и процесса формирования и движения селей. Результаты всех м.и.с. используются в прикладных целях - для разработки прогноза, обоснования и выбора *мер защиты*.

ლვარცოფების წარმოქმნის მექანიზმი (ORIGINATION OF MUDFLOWS; МЕХАНИЗМ ЗАРОЖДЕНИЯ СЕЛЕЙ) - ლვარცოფების წარმოქმნის მექანიზმის მრავალფეროვნება შეიძლება დაყვანილ იქნას სამ ძირითად ტიპამდე: ეროზიული, გარღვევითი, მეწყრული. ეროზიული მექანიზმის შემთხვევაში თავდაპირველად ლვარცოფული აუზის ზედაპირის ჩამორეცხვისა და გამორეცხვის ხარჯზე მიმდინარეობს წყლის ნაკადის გაჯერება ნატეხი მასალით, ხოლო შემდეგ - კალაპოტში ლვარცოფული ტალღის ფორმირება. ამიტომ, ლვარცოფული ნაკადის გაჯერება, ხშირად, მინიმუმს უახლოვდება, ხოლო ნაკადის მოძრაობას აკონტროლებს კალაპოტი. გარღვევის მექანიზმის შემთხვევაში, ინტენსიური გამორეცხვისა და ნატეხი მასალის მოძრაობაში ჩართვის ხარჯზე, წყლის ტალღა გარდაიქმნება ლვარცოფულ ტალღად. ასეთი ნაკადის გაჯერების ხარისხი მაღალია, მაგრამ ცვალებადი, ახასიათებს მაღალი ტურბულენტობა და შედეგად - კალაპოტის მნიშვნელოვანი დამუშავება. მეწყრული მექანიზმის შემთხვევაში, როდესაც წყდება წყლით გაჯერებული მთის ქანების მასივი (თოვლისა

და ყინულის ჩათვლით), ნაკადის გაჯერება და ღვარცოფული ტალღის წარმოქმნა ერთდროულად ხდება. ამ შემთხვევაში, ნაკადის გაჯერება მაქსიმალურს უახლოვდება, ხოლო ტრანზიტულ ზონაში სიღრმული ეროზია აკუმულაციით იცვლება. ღვარცოფების წარმოქმნის ეროზიული ტიპი დამახასიათებელია წვიმისა და ანთროპოგენული ღვარცოფებისათვის, გარღვევის ტიპი – ლიმბოგენური და მყინვარული ღვარცოფებისათვის, ხოლო მეწყრული ტიპი – სეისმოგენურისათვის და სხვ.

Механизм зарождения селей – многообразие м.з.с. можно свести к трем основным типам – эрозионному, прорывному, обвально–оползневому. При эрозионном механизме зарождения вначале идет насыщение водного потока обломочным материалом за счет смыва и размыва поверхности селевого бассейна и затем – формирование селевой волны в русле. Поэтому насыщенность селевого потока здесь часто близка к минимальной, а движение потока контролируется руслом. При прорывном механизме зарождения водная волна за счет интенсивного размыва и вовлечения в движение обломочных масс превращается в селевую волну. Насыщенность такого потока высока, но изменчива, турбулентность максимальна и, как следствие, – наиболее значительная переработка русла. При обвально–оползневом механизме зарождения, когда происходит срыв массива водонасыщенных горных пород (включая снег и лед), насыщенность потока и селевая волна формируются одновременно; насыщенность потока в этом случае близка к максимальной, а глубинная эрозия в зоне транзита сменяется аккумуляцией. Эрозионный тип зарождения селей характерен для *дождевых* и *антропогенных селей*, прорывной – для *лимногенных* и *ледниковых*, обвально–оползневой – для *сейсмогенных* и других типов.

ლვარცოფის გამონატანის მოცულობა (VOLUME OF MASS TRANSPORT OF MUDFLOW; ОБЪЕМ СЕЛЕВЫХ ВЫНОСОВ) – წარმოადგენს მონატეხი მასალის რაოდენობას (m^3), რომელიც ერთჯერადად გამოიტანება ლვარცოფული ნაკადის მიერ. ლვარცოფის გამოტანის მოცულობა განისაზღვრება ლვარცოფის ტიპისა და გენეზისის, ლვარცოფული აუზის ფართობისა და სტრუქტურის მიხედვით და მოიცავს მნიშვნელობების ფართო დიაპაზონს. ლვარცოფის გამოტანის მოცულობის მიხედვით ლვარცოფული ნაკადები შეიძლება დაიყოს ექვს ჯგუფად: 1) 1 ათას m^3 -ზე ნაკლები – ძალიან მცირე; 2) 1-10 ათასი m^3 – მცირე; 3) 10-100 ათასი m^3 – საშუალო; 4) 100 ათასი – 1 მლნ m^3 – მსხვილი; 5) 1-10 მლნ m^3 – ძალიან მსხვილი; 6) 10 მლნ m^3 -ზე მეტი – გიგანტური. ლვრაცოფის გამოტანის მოცულობა საშუალომთიანი რეგიონებისათვის შეადგენს – 500 ათას m^3 -ს, მაღალმთიანი რეგიონებისთვის – 5 მლნ m^3 -ს; იშვიათი ულტრა-ლვარცოფული ნაკადებისათვის – 500 მლნ m^3 -ს აღწევს. ლვარცოფის გამოტანის მოცულობა ლვარცოფის აქტივობის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს.

Объем селевых выносов – количество обломочного материала (в m^3), которое выносится селевым потоком за один раз. О.с.в. определяется типом и генезисом селя, площадью и строением селевого бассейна и лежит в широком диапазоне значений. По о.с.в. селевые потоки можно подразделить на шесть групп: 1) мене 1 тыс. m^3 – очень мелкие; 2) 1–10 тыс. m^3 – мелкие; 3) 10–100 тыс. m^3 – средние; 4) 100 тыс.–1 млн. m^3 – крупные; 5) 1–10 млн. m^3 – очень крупные; 6) более 10 млн. m^3 – гигантские. Максимальные значения о.с.в. составляют для среднегорий – 500 тыс. m^3 , для высокогорий – 5 млн. m^3 ; для редких ультраселевых потоков они возрастают до 500 млн. m^3 . О.с.в. –

одна из основных характеристик селевой активности.

ლვარცოვის გამოტანის პონუსი (MUDFLOW FAN; СЕЛЕВОЙ КОНУС ВЫНОСА) – ლვარცოფული ნაკადის საბოლოო აკუმულაციის ტიპური ფორმა; აქვს დამრეცი კონუსის სეგმენტის ფორმა. ლვარცოფის გამოტანის კონუსი შედგება ლვარცოფული დანალექისაგან, სიგანის სიგრძესთან დამახასიათებელი შეფარდება შეადგენს 1:10. ლვარცოფული გამოტანის კონუსის ზედაპირის მიკრორელიეფს წყლისა და ქვატალახიანი ლვარცოფის ჩამოწოლის დროს ბორცვიან-კვლისებრი ფორმა აქვს, ხოლო ტალახოვანი ლვარცოფის ჩამოწოლის შემთხვევაში – ბრტყლად ამოზნექილი. ლვარცოფის გამოტანის კონუსი განლაგებულია ლვარცოფული აუზის ქვედა ნაწილში – ნაკადის შედარებით ფართო ხეობაში და ქედის ძირთან გამოსვლის ადგილას; ხშირ შემთხვევაში, ის შეადგენს გამოტანის პროლუვიური კონუსის ფართო ნაწილს.

Селевой конус выноса – типичная форма конечной аккумуляции селевого потока в форме сегмента пологого конуса. С.к.в. сложен селевыми отложениями; характерное отношение ширины к длине 1:10. Микрорельеф поверхности с.к.в. при сходе водно- и грязекаменных селей бугристо - грядовый, при сходе грязевых селей - плосковыпуклый. С.к.в. располагаются в низовьях селевых бассейнов – на месте выхода потока в более крупную долину или к подножию хребта; нередко составляют часть более обширного пролювиального конуса выноса.

ლვარცოვის ეროზიაუნარიანობა (EROSIVE CAPACITY OF MUDFLOWS; ЭРОЗИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕЛЯ) – ლვარცოფული ნაკადების მიზრეკილება (უნარი)

კალაპოტის სიღრმული და ფერდობების ეროზიის მიმართ. ძირითადად, დამახასიათებელია ტურბულენტური ხასიათის არაბმული ღვარცოფებისათვის, როდესაც ღვარცოფული მასის სიმკვრივე 1200–1700 კგ/მ³-ს შეადგენს. ღვარცოფული მასის სიმკვრივის გაზრდასთან ერთად, იზრდება მისი სიბლანტე, ხოლო ღვარცოფების ეროზიაუნარიანობა – მცირდება. მაღალი სიმკვრივის მქონე ბმულ ღვარცოფებში, სადაც ნაკადის მოძრაობა ლამინარულს უახლოვდება, ღვარცოფების ეროზიაუნარიანობა პრაქტიკულად გამორიცხულია.

Эрозионная способность селя – способность селевого потока к глубинной и боковой эрозии русла. В наибольшей мере свойственна *несвязным селям*, с турбулентным характером движения, при плотности *селевой массы* около 1200–1700 кг/м³. С возрастанием плотности селевой массы возрастает ее вязкость и э.с.с. уменьшается. В *связных селях* высокой плотности, где движение потока близко к ламинарному, э.с.с. практически не проявляется.

ღვარცოფის „თავი“ (HEAD OF MUDFLOW; “ГОЛОВА СЕЛЯ”) – ღვარცოფული ნაკადის წინა მხარე ან ღვარცოფული ნაკადის შუბლი. წყლისა და ქვალორდიანი ტალაბის (არა-ბმულ) ნაკადში, ძირითადად შედგება მსხვილი ქვებისა და ლოდებისაგან.

“Голова” селя – передний фронт селевого потока или лоб селевой волны. В *водо- и грязекаменных* (несвязных) потоках состоит преимущественно из крупных каменных глыб и валунов.

ღვარცოფის მოვარდის რადიომაუზენალი (MUD-FLOW RADIO-WARNING SYSTEM; РАДИООПОВЕСТИТЕЛЬ СЕЛЯ /РОС/) – ავტომატური დანადგარი, რომელიც

ღვარცოფის გავლის შემთხვევაში გადასცემს სიგნალს. ღვარცოფის მოვარდნის რადიომაუწყებლის მუშაობა ეფუძნება სენსორების ამოქმედებას წყალსადინარის დონის მნიშვნელოვანი აწევის შემთხვევაში, რითაც ხასიათდება ღვარცოფული ნაკადის ჩამოწოლა. ღვარცოფის მოვარდნის რადიომაუწყებლი ღვარცოფული საშიშროების შესახებ შეტყობინების სისტემის ერთ-ერთ ელემენტს წარმოადგენს, რომელიც მოქმედებს ღვარცოფსაშიში პერიოდის განმავლობაში. ის ეწყობა ისეთ მანძილზე, რომ სიგნალის მიღების შემდეგ იყოს საკმარისი დრო საშიშროების ზონიდან ადამიანების ევაკუაციისათვის.

Радиоповеститель селя /РОС/ - автоматическая установка, передающая сигнал при прохождении селя. Действие р.с. основано на срабатывании датчиков при значительном подъеме уровня водотока, которым характеризуется сход селевого потока. Р.с. - один элементов системы *предупреждения о селевой опасности*, действующей в течение селеопасного периода. Он устанавливается на расстоянии, достаточном для того, чтобы после получения сигнала хватило времени на эвакуацию населения из опасной зоны.

ღვარცოფის პოტენციური აქტივობა (POTENTIAL MUDFLOW ACTIVITY; ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СЕЛЕВАЯ АКТИВНОСТЬ) - ღვარცოფული პროცესების განვითარების შესაძლებლობა იმ ტერიტორიაზე, სადაც ამჟამად (მიმდინარე პერიოდში) ღვარცოფწარმოქმნა არ ხდება. როგორც წესი, ეს არის მთის რაიონები სრულფასოვანი ტყის საფრით. მისი დეგრადაციისა და ტყის საფრის გაქრობის უბნებზე ხელოვნური ან ბუნებრივი მიზეზების შედეგად ვითარდება ეროზიული და ღვარცოფული პროცესები. ბუნებრივ-ანთროპოგენური ღვარცოფების მნიშვნელოვანი ნაწილი განვითარე-

ბულია რაიონებში, რომელიც ხასიათდება ღვარცოფის პოტენციური აქტივობით.

Потенциальная селевая активность - возможность развития *селевых процессов* на территории, где селепроявления в настоящее время отсутствуют. Как правило, это горные районы с полноценным лесным покровом. На участках его деградации или исчезновения - вследствие сведения или по естественным причинам - развиваются эрозионные или селевые процессы. Значительная часть *природно-антропогенных селей* сформировалась в районах, которые характеризовались п.с.а.

ღვარცოფის ფორმირების ფაქტორები (FACTORS OF MUDFLOWS FORMATION; ФАКТОРЫ СЕЛЕФОРМИРОВАНИЯ) - ბუნებრივი გარემოსა და ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის ელემენტები, რომლებიც განსაზღვრავენ ღვარცოფის აქტიურობისა და ფორმირების ხარისხს. შეიძლება გამოვყოთ ღვარცოფის ფორმირების ხუთი მთავარი ფაქტორი ან ჯგუფი: 1) ფაქტორების კლიმატურ-ლანდშაფტური ჯგუფი (კლიმატი, ნიადაგური და მცენარეული საფარი, თანამედროვე გამყინვარება, მრავალწლიური გაყინულობა), რომელიც განსაზღვრავს ღვარცოფული მოვლენების ზონალობას, ღვარცოფის რეჟიმს, ღვარცოფების განმეორადობას; 2) რელიეფი - განსაზღვრავს ღვარცოფული გამოტანის მასის მოცულობას; 3) მთის ქანების შედგენილობა - განსაზღვრავს ღვარცოფების ტიპებს, გრანულომეტრული შედგენილობასა და ღვარცოფების განმეორადობას; 4) სეისმურობა და ვულკანიზმი - განსაზღვრავს ღვარცოფული მოვლენების განსაკუთრებული გენეტიკური ტიპების (სეისმოგენური და ვულკანოგენური) წარმოშობას; 5) სამეურნეო საქმიანობა - განსაზღვრავს ღვარცოფულმოშობის პროცესების გავრცელების, რეჟიმისა და თავისეურებების ხასიათის ცვლილებებს.

Факторы селеформирования - элементы природной среды и хозяйственной деятельности человека, определяющие степень активности и особенности формирования селей. Можно выделить пять главных ф.с. или групп: 1) климато–ландшафтная группа факторов (климат, почвенно – растительный покров, современное оледенение, многолетняя мерзлота) – определяет зональность *селевых явлений, селевой режим, повторяемость селей*; 2) рельеф – определяет *объем селевых выносов*; 3) состав горных пород – определяет типы селей по гранулометрическому составу и повторяемость селей; 4) сейсмичность и вулканизм – определяют возникновение особых генетических типов селевых явлений (*сейсмогенного и вулканогенного*); 5) хозяйственная деятельность – определяет изменения в характере распространения, режима и особенностей процесса селеформирования.

ლვარცოვის პიდრობრაზი (MUDFLOW HYDROGRAPH; ГИДРОГРАФ СЕЛЯ) – ტრანზიტულ ზონაში მოხვედრილი ღვარცოფის ნაკადისთვის დამახასიათებელი ხარჯის ცვლილების გრაფიკი. მთლიანობაში წარმოადგენს ხერხისებრ მრუდს მკვეთრად ასიმეტრიული პიკებით, რომელიც აფიქსირებს მორიგი ღვარცოფის ნაკადის გავლას. იშვიათად წარმოდგენილია ცალკეული პიკის სახით. წყალმოვარდნის პიდრობრაზისგან ძირითადი განსხვავებებია: 1. მაქსიმალური ხარჯი ათვერ აღემატება წყალმოვარდნის შესაბამის მაჩვენებელს მოცემულ კალაპოტში. 2. საერთო ხანგრძლივობა საშუალოდ ერთი რიგით მოკლეა; 3. ასიმეტრულობის კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად მეტია წყალმოვარდნის შესაბამის მნიშვნელობაზე.

Гидрограф селя - график, характеризующий изменения расхода селевого потока за время его прохождения в зоне транзита; в общем виде представляет собой пилообразную кривую с резко асимметричными пиками, фиксирующими

прохождение очередной *селевой волны*, реже – единичный пик. Основные отличия от гидрографа паводка: 1) максимальные расходы в десятки раз превышают соответствующие значения водных паводков в данном русле; 2) общая продолжительность в среднем на порядок короче; 3) коэффициент асимметричности значительно больше соответствующего значения паводков.

ლვარცოფოდნება (MUDFLOW STUDIES; СЕЛЕВЕДЕНИЕ) – მეცნიერული მიმართულება, რომლის კვლევის ობიექტებს წარმოადგენს ღვარცოფული ნაკადები და ღვარცოფული აუზები, დედამიწის ზედაპირის ის უბნები, სადაც მიმდინარეობს ღვარცოფის წარმოქმნის პროცესი. ღვარცოფმცოდნება მოიცავს ღვარცოფული ნაკადების შესწავლასთან დაკავშირებულ საკითხთა მთელ სპექტრს – ღვარცოფების ფორმირების პირობებსა და მექანიზმებადან დაწყებული მათგან დაცვის ღონისძიებების შემუშავების ჩათვლით. ღვარცოფმცოდნების ძირითადი, შედარებით დამოუკიდებელ (გამოკვეთილი) საკითხთა ნუსხაში გაერთიანებულია: 1) ღვარცოფების ფორმირების მიზეზები და მექანიზმი; 2) ღვარცოფული ნაკადების დინამიკა; 3) ღვარცოფული აუზების გეოლოგია და გეომორფოლოგია; 4) სტაციონარული და კვირვებები და ექსპერიმენტები; 5) ფიზიკური და მათემატიკური მოდელირება; 6) ღვარცოფების განგარიშების მეთოდები; 7) კადასტრებისა და მონაცემთა ბაზის შედგენა; 8) ღვარცოფული მოვლენების გეოგრაფია, კარტოგრაფირების გათვალისწინებით; 9) ღვრაცოფების პროგნოზი; 10) ღვარცოფებისაგან დაცვის პრინციპებისა და მეთოდების შემუშავება. ღვარცოფმცოდნება, როგორც სამეცნიერო მიმართულება, ინტერდისციპლინარულ ხასიათს ატარებს, რაც წინასწარ განსაზღვრულია მოვლენის ბუნებით. ფერდობებზე (გრავიტაციული) და კალაპოტებში (ფლუვიალური) მიმდინარე პროცესებს შორის მას შუალედური (შემაკავშირებელი) პოზიცია

უკავია. ღვარცოფმცოდნეობა იყენებს გეოლოგიური, გეოგრაფიული, ფიზიკურ-მათემატიკური და ტექნიკური ციკლების მეცნიერებათა მეთოდებს.

Селеведение - научное направление, объектами исследования которого служат *селевые потоки и селевые бассейны* - участки земной поверхности, где развертывается процесс селеформирования. С. включает весь круг вопросов, связанных с селевыми потоками, - от условий и *механизма зарождения* до способов защиты от, селей. Основные относительно самостоятельные разделы с.: 1) причина и механизм формирования селей; 2) динамика селевых потоков; 3) геология и геоморфология селевых бассейнов; 4) стационарные наблюдения и эксперименты; 5) физическое и математическое моделирование; 6) методы расчета селей; 7) составление кадастров и банков данных; 8) география селевых явлений, включая картографирование; 9) прогнозирование селей; 10) разработка принципов и методов защиты от селей. С., как научное направление, носит междисциплинарный характер. Это предопределено природой явления, занимающего промежуточное (связующее) положение между склоновыми (гравитационными) и русловыми (флювиальными) процессами. С. использует методы наук геологического, географического, физико-математического, технического циклов.

**ღვარცოფვა მემბაზის გაშივრვა
(PHOTO-INTERPRETATION FOR MUDFLOWS; ДЕШИФРИРОВАНИЕ СНИМКОВ В СЕЛЕВЕДЕНИИ)** - ღვარცოფული ნაკადის შესწავლის ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული მეთოდია. გამოიყენება კარტოგრაფირების დროს ღვარცოფული აუზების ადგილმდებარეობის, რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მაჩვენებლების დასადგენად აეროფოტო და

კოსმოსური სურათების მეშვეობით. აეროფოტო და კოსმოსური საშუალომასშტაბიანი სურათების დეშიფრირების შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია ღვარცოფების გავრცელების სქემის დაზუსტება-შედგენა და ღვარცოფული კალაპოტების ქსელის ფარდობითი სიხშირის შეფასება.

Дешифрование снимков в селеведении - один из методов изучения селей, особенно широко используемый при их картографировании. Заключается в распознавании селевых бассейнов на аэрофото - и космических снимках и определении их качественных и количественных характеристик. Результаты дешифрирования аэрофотоснимков и космических среднемасштабных снимков позволяют: уточнить или составить схему распространения селей, оценить относительную густоту сети селевых русел.

ღვარცოფსაჰვი (MUDFLOW CHUTE; СЕЛЕСПУСК) - ღვარცოფსაჰვინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი, მიეკუთვნება ღვარცოფგამტარ ნაგებობათა ჯგუფს. ღვარცოფ-საშვი, თავის მხრივ, წარმოადგენს რკინაბეჭონის ღარს და ღვარცოფული კალაპოტის გაგრძელებას დასაცავი ხაზოვანი ობიექტის (რკინიგზის ან გზატკეცილის ვაკისი, არხი) ზემოდან; გამოიყენება ღვარცოფის მცირე ხარჯების გასატარებლად. ტრანზიტული მოძრაობის უზრუნველსაყოფად ღარის ქანობი უნდა იყოს თანაბარი ან აღემატებოდეს ბუნებრივი კალაპოტის ქანობს მისასვლელ უბანზე. ღარის სიგანე უნდა შეესაბამებოდეს ღვარცოფული ნაკადის საშუალო სიგანეს, ხოლო კედლების სიმაღლე უნდა აღემატებოდეს ნაკადის მაქსიმალურ სიღრმეს 0,2-ით.

Селеспуск - один из типов противоселевых сооружений, входящий в группу селепропускных. С. представляет собой железобетонный лоток, продолжающий селевое русло над за-

щищаемым линейным объектом - полотном железной или шоссейной дороги, каналом; служит для пропуска небольших по расходам селей. Для обеспечения транзитного движения уклон лотка должен быть равным или превышать уклон естественного русла на подходном участке, ширина его должна соответствовать средней ширине селевого потока, а высота стенок - превышать на 0,2 максимальную глубину потока.

ლვარცოფსაშიში პერიოდი (MUDFLOW DANGER PERIOD; СЕЛЕОПАСНЫЙ ПЕРИОД) - კალენდარული წლის ნაწილი (თვეებში), რომელის განმავლობაშიც ფიქსირდება ღვარცოფის (შესაძლო) მოვარდნა. ღვარცოფსაშიში პერიოდის შეფასება ხორციელდება ცალკეული ღვარცოფული აუზების, რომელიმე ტერიტორიის ან ღვარცოფების ცალკეული გენეტიკური ტიპების მიმართ. ღვარცოფსაშიშ პერიოდში გამოყოფენ ყველაზე საშიშ პერიოდს, რომელზეც მოდის ღვარცოფის მოვარდნის 50%-ზე მეტი შემთხვევა. ღვარცოფული პერიოდის ხანგრძლივობა, სხვადასხვა პირობებში, 3-4-დან 12 თვემდე შეადგენს; ყველაზე საშიში პერიოდის ხანგრძლივობა 2 თვეა, მეტ-ნაკლებად - 3-4 თვე. ღვარცოფსაშიში პერიოდის მაჩვენებლები, როგორც ღვარცოფული რეჟიმის ელემენტი, გამოიყენება ღვარცოფული მოვლენების რეგიონალურ მახასიათებლებში და ასევე, ღვარცოფ-აქტიური ტერიტორიების დარაიონების სქემების შედგენისას.

Селеопасный период - часть календарного года (в месяцах), в течение которой наблюдается (возможен) сход селей. С.п. может оцениваться в отношении отдельных селевых бассейнов, какой-либо территории или отдельных генетических типов селей. Внутри с.п. выделяется период наибольшей опасности, на который приходится более 50% случаев схода селей. Продолжительность с.п. в разных условиях составляет от 3-4 до

12 месяцев, периода наибольшей опасности – 2, реже 3–4 месяца. Показатели с.п., как элемента *селевого режима*, используются в региональных характеристиках *селевых явлений* и при разработке схем *районирования селеактивных территорий*.

ლვარცოფსაშიში სიტუაცია (MUDFLOW RISK SITUATION; СЕЛЕОПАСНАЯ СИТУАЦИЯ) – ღვარცოფების მოვარდნის უმუალო ალბათობა, რომელიც გამოწვეულია მეტეოროლოგიური პირობებით ან წარმოქმნის კერებში გარემოს ცვლილებით. მაგალითად, ღვარცოფსაშიში სიტუაცია იქმნება მოსალოდნელი თავსხმა წვიმების დროს, როდესაც ნალექების ჯამი კრიტიკულზე მაღალია, ასევე ყინულოვანი ტბების გადავსებისას მდგრადი ცხელი ამინდის ფონზე და სხვ.

Селеопасная ситуация – непосредственная вероятность схода селя, вызванная метеорологическими условиями или изменением обстановки в очагах зарождения. Возникает, например, при ожидаемых ливнях с суммой осадков выше критической, переполнении ледниково–подпрудных озер на фоне устойчивой жаркой погоды и др.

ლვარცოფსაშიშროება (MUDFLOW HAZARD; СЕЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ) – ღვარცოფის ჩამოწოლის შედეგად ადამიანთა სიცოცხლისა და მატერიალური ღირებულებების დაკარგვის საფრთხე. მიზანშეწონილია, ღვარცოფსაშიშროების ხარისხის შეფასება წარიმართოს ორი მაჩვენებლის საფუძველზე – ღვარცოფული აქტივობის ხარისხისა და იმ ტერიტორიების ათვისების ან ობიექტების მნიშვნელობის

ხარისხის მიხედვით, რომელიც განლაგებულია მოსალოდნელი ღვარცოფული საშიშროების ზონაში და შესაძლებელია მისი ფულადი შეფასება. ღვარცოფსაშიშროების შეფასების შედეგები გამოიყენება ტერიტორიების ათვისების გეგმების შემუშავების ან დამკავი ღონისძიებების ჩატარების დადგენის დროს. აუთვისებელი რაიონების შემთხვევაში შეიძლება განხილულიყოს ღვარცოფის მხოლოდ პოტენციური საშიშროება, რომლის ხარისხი, ამ შემთხვევაში, მთლიანად განისაზღვრება ღვარცოფული აქტივობის ხარისხით.

Селевая опасность - угроза потерь жизни людей и материальных ценностей вследствие схода селя. Оценку степени с.о. целесообразно производить на основе двух показателей - степени *селевой активности* и степени освоенности территории или значимости объектов, расположенных в зоне возможной селевой угрозы в стоимостном выражении. Результаты оценки с.о. используются при разработке планов освоения территории или для установления очередности *мер защиты*. В неосвоенных районах можно говорить лишь о потенциальной с.о., степень, которой в данном случае полностью определяется степенью *селевой активности*.

ღვარცოფსაცავი (MUDFLOW-STORAGE RESERVOIR; СЕЛЕХРАНИЛИЩЕ) - ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლის ზედა ბიეფთან ღვარცოფულ აუზში განლაგებული ხეობის უბანი, სადაც კონცენტრირდება ღვარცოფული გამონატანის მყარი მასალა. ღვარცოფსაცავის ტევადობის შენარჩუნების მიზნით საჭიროა მისი პერიოდული გაწმენდა; ამ ტევადობის გაზრდისათვის, ღვარცოფსაცავის ადგილას ზოგჯერ თხრიან თხრილს. ზოგიერთ გვალვიან რაიონში ღვარცოფსაცავს

იყენებენ წყალსაცავის დანიშნულებით, მათი ფუნქციების კომბინირებით.

Селехранилище – участок долины в селевом бассейне у верхнего бьефа *селезадерживающей плотины*, на котором концентрируется обломочный материал селевых выносов. Для сохранения емкости с. требуется его периодическая очистка; для увеличения этой емкости на месте с. иногда роют котлован. В некоторых засушливых районах с. используют и в качестве водохранилищ, совмещая их функции.

ლვარცოფსაჭირებალებები (MUDFLOW-PROTECTION STRUCTURES; ПРОТИВОСЕЛЕВЫЕ СООРУЖЕНИЯ) – ერთ-ერთი (ტექნიკური) კატეგორია ლვარცოფებისაგან დაცვის ღონისძიებათა სისტემაში. ლვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დანიშნულებაა – უშუალო ზემოქმედება მოძრავ ლვარცოფულ ნაკადზე, მისი გაჩერების ან მავნე ზემოქმედების ზონის შეზღუდვის მიზნით. კალაპოტის გარეცხვისაგან დაცვის მიზნით ლვარცოფული და არალვარცოფული მთის წყალსადინარების კალაპოტებში ეწყობა მარტივი ნაგებობები – ნაპირსამაგრი კედლები, შემონაკირწყლი, ფსკერული საგუბრები. ფაქტობრივად, ლვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები ძირითადი დანიშნულების მიხედვით იყოფა სამ კლასად: სარეგულაციო, შემკავებელი, მასტაბილიზებელი. სარეგულაციო ნაგებობებია დამბები, ლვარცოფსაშვები, ლვარცოფგამტარი არხები და სხვ. ემსახურება ნაკადის გაყვანას, ნაკადის მიმართულების შეცვლას, ლოკალიზაციას და გაშვებას დასაცავი ობიექტის ზემოდან ან ქვემოდან. შემკავებელი ნაგებობები – ლვარცოფშემკავებელი კაშხლები და ლვარცოფსაცავები – გათვალისწინებულია მთლიანი ლვარცოფული მასის ან მისი ნაკადის შემცველი მყარი შემადგენლობის უდიდესი ნაწილის შესაჩერებლად. მასტაბი-

ლიზებელი ნაგებობები – საშუალო სიმაღლის საყრდენი დამბების სისტემა, რომელიც ეწყობა ღვარცოფული კალაპოტის გასწვრივ – გარდაქმნის მის გრძივ პროფილს საფეხურისებრ პროფილად მცირე ქანობებით, რაც აფერხებს ღვარცოფის ფორმირებას. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები გაცილებით ეფექტურია ღვარცოფული აუზების მელიორაციასთან შეთანაწყობაში.

Противоселевые сооружения – одна из категорий (техническая) в системе мер защиты от селей. Назначение п.с. – прямое воздействие на движущийся селевой поток в целях ограничения зоны его вредного воздействия или остановки. В руслах селевых и не селевых горных водотоков строят простейшие сооружения для предотвращения глубинного и бокового размыва русла – берегоукрепительные стенки, отмостки, донные запруды. Собственно п.с. по основному назначению подразделяются на три класса – регулирующие, задерживающие, стабилизирующие. Регулирующие сооружения – дамбы, *селеспуски*, *селепропускные каналы* и др. – служат для отвода, изменения направления движения, локализации или пропуска потока над или под защищаемым объектом. Задерживающие сооружения – *селезадерживающие плотины и селехранилища* – рассчитаны на остановку всей селевой массы или большей части твердой составляющей потока. Стабилизирующие – система невысоких подпорных запруд вдоль селевого русла – преобразуют его продольный профиль в ступенчатый, с меньшими уклонами, что препятствует формированию селей. П.с. наиболее эффективны в сочетании с мелиорацией селевых бассейнов.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო სამსახური (MUDFLOW PREVENTION SERVICE; ПРОТИВОСЕЛЕВАЯ СЛУЖБА)

- სპეციალიზებული ორგანიზაცია, რომელიც იქმნება ღვარ-ცოფული საშიშროების შეზღუდვისა და ლიკვიდაციის მიზნით. ღვარცოფსაწინააღმდეგო სამსახური ახორციელებს ღვარ-ცოფებისგან დაცვითი ღონისძიებების მთელ კომპლექსს: დაპროექტება, დამცავი ნაგებობების მშენებლობა და ექს-პლატაცია, ღვარცოფული აუზების მელიორაცია, ტერიტო-რიის გამოყენების კონტროლი, ღვარცოფსაშიშროების შეტყო-ბინება. სამსახური იქმნება იმ ქვეყნებში ან რაიონებში, სადაც ღვარცოფებისაგან დაცვა (ხშირად, სხვა თანმხლებ სტიქიურ და დამანგრეველ პროცესებთან ერთად) იძებს სასიცოცხლო მნიშვნელობას. XIX საუკუნის 80-იან წლებში ავსტრიაში შეიქმნა ღვარცოფული ნაკადებისა და თოვლის ზვავებისაგან დაცვის სამსახური, ხოლო 1970 წელს – ყაზახეთში.

Противоселевая служба – специализированная организа-ция, создаваемая в целях ограничения или ликвидации *селевой опасности*. П.с. осуществляет весь комплекс мер *защиты от селей* – проектирование, строительство и эксплуатацию защит-ных сооружений, *мелиорацию селевых бассейнов*, контроль за использованием территории, *предупреждение о селевой опасно-сти*. Создается в странах или районах, где проблема защиты от селей (часто, вместе с другими стихийно–разрушительными процессами) приобретает жизненно важное значение. Служба защиты от селевых потоков и снежных лавин организована в 1880–х годах в Австрии и в 1970–х годах в Казахстане.

ღვარცოფული აუზების მელიორაცია (MELIORATION OF MUDFLOW BASINS; МЕЛИОРАЦИЯ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ) – ერთ-ერთი ღონისძიება ღვარცოფებისაგან დაცვის ღონისძიებათა სამი ძირითადი ჯგუფიდან; გულისხმობს ღვარცოფწარმოქმნის პირობების შეცვლას ღვარცოფული აქ-ტიურობის შემცირების მიზნით. რეგულირების ობიექტს წარ-მოადგენს ზედაპირული ჩამონადენი – ღვარცოფის წარმოქმნის უმნიშვნელოვანესი ფაქტორი. ღვარცოფული აუზების მელი-

ორაციის ყველაზე გავრცელებული მეთოდებია: 1) ზედაპირული ჩამონადენის შემცირებისა და მისი გარკვეული ნაწილის გრუნტში ჩაჟონვის მიზნით ტყეების გაშენება და ფერდობების გაბალახიანება; 2) ფერდობების დატერასება; 3) წყალდიდობების პიკის შემცირების მიზნით (მდინარეში მაქსიმალური ხარჯების შემცირება) ღვარცოფული აუზების ზედა ნაწილში წალსაცავების მოწყობა; 4) ზედაპირული ჩამონადენის დაჭერისა და მისი ღვარცოფების ფორმირების ზონის ქვემოთ კალაპოტურ ქსელში უსაფრთხო გადაგდების მიზნით სამორანებისა და ღვარცოფსადინარების მშენებლობა; 5) ტბების პროფილაქტიკური დაცლა. ღვარცოფული აუზების მელიორაცია განსაკუთრებით ეფექტურია კალაპოტში მოწყობილ ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობებთან შეთანაწყობის პირობებში.

Мелиорация селевых бассейнов. Одна из трех основных групп мер защиты от селей; направлена на изменение условий селеформирования в целях снижения селевой активности. Объектом регулирования служит поверхностный сток как важнейший фактор образования селей. Наиболее распространенными способами м.с.б. являются: 1) облесение и залужение склонов в целях снижения поверхностного стока и перевода его части в грунтовый; 2) террасирование склонов; 3) создание водохранилищ в верховьях селевых бассейнов в целях срезания пика паводков (уменьшения максимальных расходов воды в реке); 4) строительство нагорных каналов и ливнеотводов в целях перехвата поверхностного стока и безопасного сброса его в русло-вую сеть ниже зоны формирования селей; 5) профилактический спуск озер. М.с.б. наиболее эффективна в сочетании с противоселевыми сооружениями в русле.

ღვარცოფული აუზი (MUDFLOW BASIN; СЕЛЕВОЙ

БАССЕЙН - წყალშემკრები აუზი, რომლის საზღვრებში ხდება ღვარცოფული ნაკადების ფორმირება, ხოლო მათი მოძრაობა - მთავარ კალაპოტში. ღვარცოფული აუზი, პირობითად, იყოფა სამ მორფოლინამიკურ ზონად. ესენია: ღვარცოფების ფორმირების, ტრანზიტის და აკუმულაციის ზონები. ღვარცოფების ფორმირების ზონას ღვარცოფული აუზის ზედა ნაწილი უკავია; ამ უბნებზე შეიმჩნევა ღვარცოფის მოქმედების კვალი და თვით უბნები ღვარცოფწარმოქმნის პოტენციურ კერებს წარმოადგენს. ტრანზიტული ზონისათვის, რომელიც განლაგებულია აუზის შუაწელში, დამახასიათებელია ღვარცოფული ნაკადების მოძრაობის ნიშნები - ღვარცოფული კვლებისა და ტერასების ფრაგმენტები. აუზის მორფოლოგიდან და გეოლოგიური აგებულებიდან გამომდინარე, ტრანზიტულ ზონაში ეროზიის ხარჯზე ღვარცოფული ნაკადის სიმძლავრედ შეიძლება მნიშვნელოვნად მოიმატოს ან შემცირდეს - აკუმულაციის შუალედური ფორმების ფორმირების დროს. აკუმულაციის ზონაში (აუზის შესართავის მიმდებარე ნაწილი) ხდება გამოტანილი მასის დალექვა, ხშირად, ღვარცოფის გამოტანის კონუსის სახით.

Селевой бассейн - водосборный бассейн, в пределах которого формируются селевые потоки, а движение их происходит по главному руслу. С.б. условно делятся на три морфодинамические зоны - зарождения, транзита, аккумуляции селей. Зона зарождения занимает верхнюю часть с.б. и несет следы сработавших и потенциальных *селевых очагов*. Для зоны транзита, расположенной в средней части бассейна, характерны признаки движения селевых потоков - фрагменты *селевых гряд и террас*. В зависимости от морфологии и геологического строения бассейна селевой поток в зоне транзита может значительно наращивать свою мощность за счет глубинной и боковой эрозии или терять ее, за счет образования промежуточных форм акку-

муляции – галечно–валунных полей в расширении дна долины или полос вдоль русла. В зоне аккумуляции (приустьевая часть бассейна) перенос обломочных масс сменяется их отложением, чаще всего в форме *селевого конуса выноса*.

ლვარცოფული აქტივობა (ლვარცოფაჟაქტივობა)

(MUDFLOW ACTIVITY; СЕЛЕВАЯ АКТИВНОСТЬ) –

ლვარცოფული პროცესის განვითარების ინტენსივობა დროსა და სივრცეში. ლვარცოფული აქტივობის შესაფასებლად დროში, ერთი ლვარცოფული აუზის ფარგლებში, იყენებენ განმეორებადობისა და ლვარცოფული გამოტანის მოცულობის მაჩვენებლებს. ხდება ამ მაჩვენებლების რანჟირება და შეფასება პირობით ერთეულებში ლვარცოფული აქტივობის ინტეგრალური შეფასებისთვის. შეფასების სხვა ხერხი – ლვარცოფული აქტივობის დაყვანა წარმოადგენს განაკოფის, რომელიც მიიღება 50-100 წლის განმავლობაში ლვარცოფული გამოტანის ჯამური მოცულობის გაყოფით წლების რაოდენობაზე მოცემული დროის მონაკვეთში. ლვარცოფული აქტივობის შესაფასებლად სივრცეში, გამოიყენება ლვარცოფული კალაბოტების ქსელის ფარდობითი სიხშირისა და ლვარცოფული გამოტანის მოცულობის მაჩვენებლები. ლვარცოფული კალაბოტების ფარდობითი სიხშირის მახასიათებლებს წარმოადგენს ლვარცოფული აუზების ფართობიდან, ანდა ლვარცოფული სადინარების რაოდენობის წილი მათი საერთო რაოდენობიდან გამოხატული პროცენტებში. ორი მახასიათებლის კომბინაცია მატრიცული ფორმით (ბალობრივი შეფასების სისტემის გამოყენებით) იძლევა ლვარცოფული აქტივობის ტერიტორიის ინტეგრალური შეფასების საშუალებას.

Селевая активность – интенсивность развития *селевого процесса* во времени и в пространстве. Для оценки с.а. во времени в пределах одного селевого бассейна используют пока-

затели повторяемости и объема селевых выносов. Эти показатели ранжируются и оцениваются в условных единицах, давая интегральную оценку с.а. Другой способ оценки – получение приведенной с.а., которая представляет собой частное от деления суммарного объема селевых выносов за 50–100 лет на число лет, образующих отрезок учтенного времени. Для оценки с.а. в пространстве используют показатели относительной густоты сети селевых русел и объема селевых выносов. Характеристиками относительной густоты селевых русел служат доля площади селевых бассейнов от площади района или доля количества селевых водотоков от их общего количества в процентах. Сочетание двух показателей в матричной форме с использованием балльной оценки дает интегральную оценку с.а. территории.

ლვარცოფული დანალექის ასაკობრივი პატეგორია (AGE GROUPS OF MUDFLOW DEPOSITS; ВОЗРАСТНЫЕ КАТЕГОРИИ СЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ) – დანალექი და ლვარცოფის გენეზისის რელიეფი წარმოდგენილია როგორც თანამედროვე, განვითარებადი, ასევე უძველესი რელიქტური ფორმით. ლვარცოფების დანალექის ასაკის მატებასთან ერთად იცვლება არა მხოლოდ მათი დიაგნოსტიკური ნიშნები და დათარიღების მეთოდები, არამედ ლვარცოფული პროცესების კვალის ინტერპრეტაცია. ამ განსხვავებების გათვალისწინებით ნალექები და ლვარცოფის წარმოშობის (გენეზისის) რელიეფი იყოფა ოთხ ასაკობრივ კატეგორიად: თანამედროვე (უკანასკნელი 100–200 წელი); ისტორიული (100–200 წლიდან 2–3 ათას წლამდე); პოლოცენური (2–3 ათასი წლიდან 10 ათას წლამდე); უძველესი (10 ათას წელზე მეტი).

Возрастные категории селевых отложений – отложения и рельеф селевого генезиса представлены как в современных, развивающихся формах, так и в древних, реликтовых. С увели-

чением возраста селевых отложений меняются не только их диагностические признаки и методы датирования, но и интерпретация следов селевых процессов. В целях учета этих различий отложения и рельеф селевого генезиса разделены на четыре возрастные категории: Современная (последние 100–200 лет); Историческая (от 100–200 лет до 2–3 тыс. лет); Голоценовая (от 2–3 до 10 тыс. лет); Древняя (более 10 тыс. лет).

ლვარცოფული კალაპოტი (MUDFLOW CHANNEL; СЕЛЕВЕДЕНИЕ) – წყალსადინარის კალაპოტი, რომელიც განლაგებულია ღვარცოფული აუზის საზღვრებში და მასში გაედინება ღვარცოფული ნაკადი. ღვარცოფული კალაპოტის დამახასიათებელი თავისებურებებია: ღვარცოფული დანალექის დაგროვება ღვარცოფული კვალის ან ტერასის ფორმით, ასევე სიღრმითი და გვერდული ეროზის უბნები (ღვარცოფული ჭრილი), კლდოვანი მთის ქანებისაგან აგებული კალაპოტის გვერდებისა და ფსკერის კოროზია.

Селевое русло – русло водотока в пределах селевого бассейна, по которому проходят селевые потоки. Характерные особенности с.р. – скопления селевых отложений в форме селевых гряд и террас, а также участки глубинной и боковой эрозии (селевые врезы) и корразии бортов и дна, сложенных скальными горными породами.

ლვარცოფული პერა (MUDFLOW ORIGINAL SITE; СЕЛЕВОЙ ОЧАГ) – ღვარცოფული აუზის უბანი, ჩვეულებრივ მის ზედა ნაწილში, სადაც მიმდინარეობს ღვარცოფული ნაკადის ფორმირება. ეროზიული და გამრღვევი მექანიზმის შედეგად ღვარცოფული კერის ფორმირების ადგილად ფიქსირდება კალაპოტში ღვარცოფული ტალღის წარ-

მოქმნა, რომლის ქვემოთ ჩამოქცევისა და ჩამომეწყვრის (ფერდოზე გრუნტის მასების, თოვლისა და ფირნის მოწყვეტა) შედეგად შეიმჩნევა ღვარცოფის უწყვეტი მოძრაობის კვალი. ღვარცოფული აუზის საზღვრებში ღვრაცოფული კერის ადგილმდებარეობა არ არის მუდმივი. ღვარცოფული კერისგან განასხვავებენ ღვარცოფის მყარი კვების კერას - ღვარცოფის ფორმირებისა და ტრანზიტულ ზონაში არსებულ ღვარცოფული აუზის უბანს, სადაც განლაგებულია მთის ქანების მასივები, რომელთაც გადანაცვლება-გარეცხვის და მათი ღვარცოფულ ნაკადში ჩათრევის უნარი გააჩნიათ.

Селевой очаг - участок селевого бассейна, обычно в верховьях, где происходит зарождение селевого потока. При эрозионном и прорывном механизме зарождения с.о. фиксируется местом формирования *селевой волны* в русле, ниже которого присутствуют непрерывные следы движения селя, при обвально-оползневом - местом срыва грунтовых (снежных, фирново-ледяных) масс на склоне. Местоположение с.о. в пределах селевого бассейна не постоянно. От с.о. следует отличать очаг твердого питания селей - участок селевого бассейна в зонах зарождения и транзита, где существуют массивы горных пород, способных к смещению или размыву и вовлечению их в селевой поток. Участки со следами такого смещения или размыва фиксируют сработавшие очаги твердого питания, остальные относятся к категории потенциальных.

ღვარცოფული პლატი (MUDFLOW LEVEE; СЕЛЕВАЯ ГРЯДА) - წარმოადგენს ღვარცოფული ნაკადების აკუმულაციის ფორმას ღვარცოფული აუზის ტრანზიტულ ზონაში, რომელიც შედგება, უმთავრესად, ღვარცოფული მასის უმსხვილესი მონატებისაგან - კაჭარისა და ლოდებისაგან. ღვარცოფული კვალი აფიქსირებს ნაკადის გვერდით საზღვარს,

რომელიც ხანგრძლივად ნარჩუნდება.

Селевая грязь - форма аккумуляции селевых потоков в зоне транзита *селевого бассейна*, состоящая преимущественно из наиболее крупных обломков *селевой массы* - валунов и глыб. С.г. фиксирует боковую границу потока; отличается длительной сохранностью.

ლვარცოფული მასა (MUDFLOW MASS; СЕЛЕВАЯ MACCA) - შედგება მთის ქანების ნატეხებისა და წყლის ნარევისაგან და ქმნის ლვარცოფული ნაკადის ტანს. ლვარცოფული მასის შემადგენლობა დამოკიდებულია მის გენეზისა და ლვარცოფული აუზის გეოლოგიურ აგებულებაზე. თანამედროვე გამყინვარებისა და მყაცრი კლიმატის რაიონებში ლვარცოფების მყარი ჩანართის სახით, გარდა ჩვეულებრივი მთის ქანებისა, გვევლინება თოვლი და ყინული; დასახლებულ რაიონებში ლვარცოფული მასის შემადგენლობაში შეინიშნება მერქნიანი მცენარეულობის მონატეხი მასალა. მასის შემადგენლობის მიხედვით განარჩევენ ლვარცოფების შემდეგ ძირითად სახეებს: ტალახიანი, ქვატალახიანი, ქვაწყლიანი, წყალთოვლიანი, წყალყინულიანი. საკუთრივ, ლვარცოფულ ნაკადებში, მტვრისებრი და თიხნარი ნაწილაკების მონაწილეობის წილი მყარ ჩანართში განსაზღვრავს მოძრაობის ხასიათის ხარისხობრივ სხვაობებს; ამის საფუძველზე გამოყოფენ ლვარცოფების ორ ტიპს - ბძულსა და არაბძულს.

Селевая масса - смесь обломков горных пород и воды, образующая тело *селевого потока*. Состав с.м. зависит от генезиса селя и геологического строения селевого бассейна. В районах современного оледенения и супрового климата в качестве твердой составляющей селей помимо обычных горных пород выступают снег и лед; в залесенных районах в составе с.м. заметное участие принимают обломки древесной раститель-

ности. Выделяются следующие основные виды селей по составу с.м.: *грязевые, грязекаменные, водокаменные, водоснежные, водоледяные*. В собственно селевых потоках доля участия пылевато-глинистых частиц в твердой составляющей определяет качественные различия в характере движения; по этому признаку выделяют два типа селей - *связные и несвязные*.

ლვარცოფული მოვლენები (MUDFLOW PHENOMENA; СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ) - ლვარცოფული პროცესების რეალიზაციის ფორმა ბუნებრივ ან ადამიანის მიერ შეცვლილ, განსაზღვრულ გეოგრაფიულ გარემოში. ლვარცოფული მოვლენები ასევე მოიცავს ლვარცოფულ პროცესს და მის შედეგს - რელიეფსა და ლვარცოფული გენეზისის დანალექს.

Селевые явления - форма реализации *селевого процесса* в условиях определенной географической обстановки, естественной или измененной человеком. С.я. включают в себя и селевой процесс, и его результат - рельеф и отложения селевого генезиса.

ლვარცოფული ნაკადი, ლვარცოვი (MUDFLOW, DEBRIS FLOW; СЕЛЕВОЙ ПОТОК, СЕЛЬ) - სწრაფი (უეცარი) კალაპოტური ნაკადი, რომელიც შედგება წყლისა და მთის ქანების მონატეხისაგან და ვითარდება მცირე ზომის მთის მდინარეების აუზებში. ლვარცოფული ნაკადი ხასიათდება დონის მკვეთრი აწევით, პულსაციური (ტალღური) მოძრაობით, მოქმედების მოკლე ხანგრძლივობით (როგორც წესი, 1-3 სთ.), მნიშვნელოვანი ეროზიულ-აკუმულაციური გავლენით. ლვარცოფული ნაკადის სიჩქარე, უმეტეს შემთხვევაში, შეადგენს 2-10 მ/წმ-ს. ლვარცოფული ნაკადის ტანი ფორმირდება ლვარცოფული მასისაგან; მასში მყარი მასალის შემცველობა მერყეობს 10-დან 75%-მდე მოცულობით, სიმკვრივე - 1100-

დან 2500 კგ/მ³-მდე. ღვარცოფული მასის შემადგენლობის მიხედვით გამოყოფენ: ტალახოვან, ქვატალახოვან, ქვაწყლიან, წყალთოვლიან, წყალყინულიან ნაკადებს. ღვარცოფული ნაკადების წარმოქმნის უშუალო მიზეზებია: თავსხმა წვიმები, თოვლისა და ყინულის ინტენსიური დნობა; მეტ-ნაკლებად - ტბების ზღუდარების გარღვევა, ვულკანის ამოფ-რქვევა, მაღალბალიანი მიწისძვრები და, ასევე, სამეურნეო საქმიანობის შედეგები. ღვარცოფულის განეტიკური კლასიფიკაციის თანახმად, გამოყოფენ ღვარცოფული ნაკადის შემდეგ ტიპებს: წვიმის, თოვლის, მყინვარულის, ვულკანოგე-ნურის, სეისმოგენურის, ლიმნოლოგიურის, ანთროპოგენურის, ბუნებრივ-ანთროპოგენურს. ღვარცოფული ნაკადის ფორმირებისა და ჩამოწოლის პროცესი მიმდინარეობს ღვარცოფული აუზის საზღვრებში. ღვარცოფული ნაკადით გამოტანილი მონატები მასალა ქმნის სპეციფიკურ ღვარცოფულ დანალექს. ღვარცოფული დანალექის მოცულობა, ჩვეულებრივ, შეადგენს ათეულასობით ათას მ³-ს და ხშირ შემთხვევებში, მლნ მ³-ს აღწევს. ღვარცოფული ნაკადის ჩამოწოლის არარეგულარული ხასიათი ღვარცოფული რეჟიმის მრავალფეროვნებით აისახება. ღვარცოფსაშიში პერიოდის ხანგრძლივობა შეიძლება მერყეობდეს სამი თვიდან ერთ წლამდე ფარგლებში. ღვარცოფული ნაკადის განმეორებადობა (ერთ ღვარცოფულ აუზში) მოსალოდნელია წელიწადში რამდენჯერმე ან ერთხელ 20-30 წლის განმავლობაში. ფაქტობრივად, ღვარცოფული და მისი მსგავსი მოვლენების მრავალფეროვნება, როგორც დედამიწაზე მონატები მასების მთების ზეგანიდან ოკენის ფსკერისკენ გადაადგილების განსაკუთრებული ფორმა, აისახება მათ ტიპოლოგიაში. ადამიანისათვის ღვარცოფული ნაკადის საშიში ხასიათი დაკავშირებულია მათ დიდ სიჩქარესთან, ძლიერი დარტყმის ზემოქმედებასთან, კალაპოტის სიღრმით და გვერდულ ეროზიასთან, აკუმულაციის ზონაში მიწების დალამ-ვასთან.

Селевой поток, сель – стремительный русловой поток, состоящий из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек. С.п. характеризуется резким подъемом уровня, пульсационным (волновым) движением, кратковременностью действия (как правило, 1–3 часа), значительным эрозионно–аккумулятивным эффектом. Скорость с.п. составляет в большинстве случаев 2–10 м/с. Тело с.п. образовано селевой массой; содержание твердого материала в ней – от 10 до 75% объема, плотность – от 1100 до 2500 кг/м³. По составу селевой массы выделяют *грязевые, грязекаменные, водокаменные, водоснежные, водоледяные потоки*. Непосредственными причинами формирования с.п. служат ливни, интенсивное таяние снега и льда, реже – прорыв озерных перемычек, извержение вулканов, высокобалльные землетрясения, а также последствия хозяйственной деятельности. Согласно генетической классификации селей выделяются типы: *дождевой, снеговой, ледниковый, вулканогенный, сейсмогенный, лимногенный, антропогенный, природно–антропогенный*. Формирование и сход с.п. протекает в пределах *селевого бассейна*. Вынесенный с.п. обломочный материал образует специфические *селевые отложения*. *Объем селевых выносов* образует обычно десятки–сотни тыс.м³, достигая в отдельных случаях сотен млн. м³. Нерегулярный характер схода с.п. находит отражение в разнообразии *селевого режима*. *Селеопасный период* может продолжаться от трех месяцев до года. *Повторяемость* с.п. (в одном селевом бассейне) меняется от нескольких раз в году до одного раза 20–30 лет. Многообразие собственно селевых и селеподобных явлений на Земле как особой формы перемещения обломочных масс от верхних этажей гор к дну океана отражено в их типологии. Опасный для человека характер с.п. связан с их большой скоро-

стью, мощным ударным воздействием, глубинной и боковой эрозией русла, заносом земель в зоне аккумуляции.

ლვარცოფული პროცესი (MUDFLOW PROCESS; СЕЛЕВОЙ ПРОЦЕСС) – ბუნებრივი პროცესების ერთობლიობა, რომელიც აერთიანებს ღვარცოფული ნაკადის მომზადების, ფორმირებისა და ჩამოწოლის ეტაპებს. ღვარცოფული პროცესის ყველაზე მნიშვნელოვან შემადგენელს (რგოლს) ღვარცოფის ფორმირებისა და მოძრაობის მექანიზმი წარმოადგენს.

Селевой процесс – совокупность природных процессов, составляющих этапы подготовки, зарождения и схода *селевого потока*. Наиболее важными звеньями с.п. служат *механизм зарождения и движения селей*.

ლვარცოფული რეჟიმი (REGIME OF MUDFLOW; СЕЛЕВОЙ РЕЖИМ) – ღვარცოფული პროცესის განვითარების მახასიათებელი ღროში. ღვარცოფული რეჟიმის ძირითად მაჩვენებლებს ღვარცოფსაშიში პერიოდი და ღვარცოფების განმეორებადობა წარმოადგენს. განასხვავებენ ბუნებრივ და შეცვლილ ღვარცოფულ რეჟიმებს; უკანასკნელი ხდება სამურნეო საქმიანობის ან თავდაცვის ღონისძიებების განხორციელების ღროში.

Селевой режим – характеристика развития *селевого процесса* во времени. Основными показателями с.р. служат *селеопасный период и повторяемость селей*. Следует различать естественный и измененный с.р.; последний устанавливается как следствие хозяйственной деятельности или реализации мер защиты.

ლვარცოფული რისკი (MUDFLOW RISK; СЕЛЕВОЙ

РИСК) – афтермайна місцевербальніс და ეკონомікური ზარალіс მოსალოდнеболо რაოდენობა, რაც გამოწვეულია ღვარცოფის მოვარდნით. ღვარცოფული რისკის რაოდენობრივი შეფასება ხორციელდება ალბათობის ანალიზის საშუალებით ღვარცოფული აუზების რუკების საფუძველზე ან ღვარცოფული აქტიურობის გასაშუალებული მონაცემების გამოყენებით.

Селевой риск – ожидаемое количество потерь человеческих жизней и экономического ущерба, вызванных сходом селя. Качественная оценка с.р. осуществляется с помощью вероятностного анализа на базе карт селевых бассейнов или с использованием осредненных показателей *селевой активности*.

ღვარცოფული ტალღა (MUDFLOW WAVE; СЕЛЕВАЯ ВОЛНА) – ტალღის ფორმირება, ღვრაცოფული ნაკადის მნიშვნელობიდან გამომდინარე, მის მეორე თვისებას წარმოადგენს მონატეხი მასალით გაჯერების შემდეგ. ჰიდრომექანიკის თვალსაზრისით ღვარცოფული ნაკადი შეიძლება განისაზღვროს როგორც ერთჯერადი ან მრავალჯერადი დაღმავალი უწყვეტი ტალღა, რომელიც მოძრაობს პირობითად მშრალ კალაპოტში. ღვარცოფული ტალღის ფორმირება ნაკადის შინაგანი თვისებაა და დაკავშირებულია სხვადასხვა სიმსხოს მქონე მონატეხი მასალის განსხვავებული სიჩქარით გადაადგილებასთან. ღვარცოფული ტალღა მკვეთრად ასიმეტრიულია: ტალღის მკვეთრი წინა ფრონტი (შუბლი) ქმნის ღვარცოფის „თავს“. ტალღის შუბლი 1,5-ჯერ აღემატება ტალღის „ტანს“ და, როგორც წესი, უმთავრესად შედგება მსხვილი მონატეხი მასალისაგან. ტალღებს შორის ინტერვალი ერთი ათეული წამიდან რამდენიმე წუთამდე მერყეობს; იგი უფრო მოკლეა ღვარცოფული მასის ჩამოწოლის საწყის სტადიაზე და შედარებით გრძელი – საბოლოო სტადიაზე.

Селевая волна. Волнообразование – второе по значи-

ности свойство *селевого потока* после высокой насыщенности обломочным материалом. В гидромеханическом отношении селевой поток можно определить как однократную или многократную нисходящую прерывную волну, движущуюся по условно сухому руслу. Образование с.в. - внутреннее свойство потока, связанное, в частности, с различиями в скоростях перемещения обломков разной крупности. С.в. резко асимметрична; крутой передний фронт (лоб) волны образует «голову» селя. Лоб волны в 1,5 раза выше тела волны и, как правило, состоит преимущественно из крупнообломочного материала. Интервал между волнами составляет от десятков секунд до нескольких минут; он короче в начальной стадии схода селя и длиннее в конечной стадии.

ლვარცოფული ტერასა (MUDFLOW TERRACE; СЕЛЕВАЯ ТЕРРАСА) – ლვარცოფული დანალექისგან შეღვენილი ნაკადის აკუმულაციის ფორმა ლვარცოფული აუზის სატრანზიტო ზონაში. მდინარის ტერასებისაგან განსხვავდით, მდინარის მოსახვევებსა და ნაკადის დინამიკურ ჩრდილში წარმოდგენილია მოკლე ფრაგმენტებით. ლვარცოფული ტერასა აფიქსირებს ლვარცოფის ზედაპირის დონეს.

Селевая терраса – форма аккумуляции *селевого потока* в зоне транзита *селевого бассейна*, сложенная *селевыми отложениями*. В отличие от речных террас представлена фрагментами в виде коротких обрывков на поворотах русла и в динамической тени потока. С.т. фиксирует уровень поверхности селя.

ლვარცოფული ლარი (LABORATORY MUDFLOW FLUME; СЕЛЕВОЙ ЛОТОК) – ექსპერიმენტული დანალეგარი, რომელიც გამოიყენება ლვარცოფული ნაკადების მოძრაობისა და სხვადასხვა წინააღმდეგობებთან (ნაგებობებთან) მათი

ურთიერთქმედების შესასწავლად ფიზიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით. ღვარცოფული ღარის მოწყობილობა და ექსპერიმენტის ტექნიკა ხელოვნური ღვარცოფული მასის თვისებებისა და ღარის პარამეტრების (ქანობი, ხორკლიანობა) ცვლილების შესაძლებლობას იძლევა. ღვარცოფულ ღარზე განსახორციელებელი ექსპერიმენტების მიზანს რაოდენობრივი მახასიათებლებისა და დამოკიდებულებების მიღება წარმოადგენს, რაც აუცილებელია ღვარცოფული ნაკადის გასაანგარიშებლად, კერძოდ, სიჩქარეების ვერტიკალური ეპიურების აგება, ნაკადის სიჩქარის სიღრმესთან დამოკიდებულებების, ღვარცოფული მასის სიმკვრივის, ფსკერისა და ფერდების ხორკლიანობის დადგენა და სხვ. ღვარცოფულ ღარებზე ნაგებობებთან ღვარცოფული ნაკადის ურთიერთქმედების საკითხებიდან განიხილება ისეთი ამოცანები, როგორიცაა მოხვევის ზღვრული კუთხეები, ღვარცოფგამტარი ხვრეტების ზომა, მოხაზულობა და სხვ.

Селевой лоток – экспериментальная установка для изучения движения селевых потоков и их взаимодействия с препятствиями (сооружениями) методом физического моделирования. Устройство с.л. и техника эксперимента дают возможность видоизменять свойства искусственной *селевой массы* и параметры лотка (уклон, шероховатость). Целью экспериментов на с.л. является получение количественных характеристик или зависимостей, необходимых для расчета потока. К ним относятся, например, построение вертикальной эпюры скоростей, установление зависимостей скорости потока от глубины, плотности массы, шероховатости дна и бортов и др. Из вопросов взаимодействия селевого потока с сооружениями на с.л. решаются такие, как предельные углы поворота, размер и очертания селепропускных отверстий и др.

ლვარცოფული წყალმოვარდნა (MOUNTAIN MUD FLOOD; СЕЛЕВОЙ ПАВОДОК) – ნაკადების ერთ-ერთი ტიპი, რომელსაც შუალედური პოზიცია უკავია ტიპურ ღვარ-ცოფულ (ტალახოვან, ქვატალახოვან) ნაკადსა და წყალმოვარდნას შორის. ტიპური ღვარცოფული ნაკადებისაგან განსხვავდება ჩამონამტვრევი მასალის მცირე გაჯერებით (1100 კგ/მ³-ზე ნაკლები სიმკვრივით), ხოლო წყალმოვარდნებისაგან – მოკლე ხანგრძლივობითა და ღვარცოფული ტიპის ჰიდროგრაფით. ღვარცოფული პროცესის ელემენტების (კალაპოტის შემონაკირწყლის მოწყვეტა, ჩამონამტვრევი მასალით მაღალი გაჯერებულობა, მსხვილი ნატეხების გადატანა) – რეალიზება შესაძლებელია კალაპოტის მხოლოდ გარკვეულ უბნებზე და არა მის გასწვრივ მთელ სიგრძეზე. ეს აისახება ღვარცოფული რელიეფის აკუმულირებული ფორმების შეზღუდულ განვითარებაში. ღვარცოფული წყალმოვარდნა დამახასიათებელია არიდული ლანდშაფტებისათვის და ასევე სუბარქტიკის მთიანი რაიონებისათვის.

Селевой паводок – один из типов потоков, занимающий промежуточное положение между типичным селевым (грязе - и водокаменным) потоком и паводком. От типичных *селевых потоков* отличается слабой насыщенностью обломочным материалом (плотность менее 1100 кг/м³), от паводков – кратковременностью и селевым типом *гидрографа*. Элементы *селевого процесса* – срыв *отмостки* русла, высокая насыщенность обломочным материалом, перенос крупных обломков – реализуется не на всем протяжении, а на отдельных участках русла. Это находит отражение в ограниченном развитии аккумулятивных форм селевого рельефа. С.п. характерны для аридных ландшафтов, а также для горных районов Субарктики.

ლვარცოფული ჭრილი (MUDFLOW CUT; СЕЛЕВОЙ

ВРЕЗ) – ღვარცოფული აუზების რელიეფის ფორმა, რომელიც წარმოიქმნება ღვარცოფული ნაკადების სიღრმითი და გვერდითი ეროზიის პროცესების შედეგად. ღვარცოფული აუზის ზედა ნაწილში ღვარცოფული ჭრილის მახასიათებელ განივ პროფილს გააჩნია V-სებრი მოხაზულობა, ხოლო შუა და ქვედა ნაწილში – მართკუთხა. ღვარცოფული ჭრილის განსხვავება წყალმოვარდნებით გამოწვეული ფორმებისაგან არის მისი უშუალო კაგშირი ღვარცოფული გენეზისს რელიეფის აკუმულაციურ ფორმებთან. ღვარცოფული აუზების ზედა ნაწილის მყინვარულ დანალექში განლაგებული ღვარცოფული ჭრილი ხშირად ღვარცოფების წარმოქმნის უბანი ხდება.

Селевой врез – форма рельефа *селевых бассейнов*, образованная процессами глубинной и боковой эрозии селевых потоков. Характерный поперечный профиль с.в. в верхней части бассейна V-образный, в средней и нижней – ящикообразный. Отличие с.в. от форм размыва паводков – его непосредственная связь с аккумулятивными формами рельефа селевого генезиса. С.в. в верховьях селевых бассейнов, заложенный в толще ледниковых отложений, часто служит участком зарождения селей.

ღვარცოფული კაშლები (MUDFLOW CHECK-DAMS; СЕЛЕЗАДЕРЖИВАЮЩИЕ ПЛОТИНЫ) – ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი. გათვლილია ღვარცოფის შეჩერებაზე, მისი მყარი ჩანართის აკუმულირებასა და ღვარცოფის თხევადი ჩანართის ორგანიზებულ ჩაშვებაზე. ღვარცოფშემკავებელი კაშლების კონსტრუქციები შეიძლება იყოს მასიური – ბეტონის, რკინაბეტონის, ქვის წყობის, გრუნტის მასალის – ან გამჭოლი (გისოსისებრი), ანაკრები რკინაბეტონის ან ფოლადის დეტალებისგან. ღვარცოფული გამოტანის მასის მოცულობიდან გამომდინარე, ღვარცოფშემკავებელი კაშლების სიმაღლე მერყეობს 10-15

მ-დან 100–150 მ-დე. მისი გაანგარიშება ხდება ისე, რომ მოხდეს მყარი მასალის გამოტანის სრული აკუმულაცია, მიღებული საანგარიშო უზრუნველყოფით. ღვარცოფული ნაკადის მყარი მასა, რომელიც დალექილია ღვარცოფშემ-კავებელი კაშხლის ზედა ბიეფში განლაგებულ ღვარცოფ-საცავში, პერიოდულად საჭიროებს გაწმენდას. ღვარცოფშემ-კავებელი კაშხლები, სხვა სახის ნაგებობებთან და მელიორა-ციულ ღონისძიებებთან ერთად, წარმოადგენს ერთადერთ და ძირითად ღვარცოფსაწინააღმდეგო საშუალებას.

Селезадерживающие плотины – один из типов *противоселевых сооружений*, рассчитанных на остановку селя, аккумуляцию его твердой составляющей и организованный сброс жидкой составляющей селя. Конструкции с.п. могут быть массивными – из бетона, железобетона, каменной кладки, грунтовых материалов – или сквозными (решетчатыми), собранными из железобетонных или стальных деталей. Высота с.п. в зависимости от объема селевых выносов варьируется от 10–15 до 100–150 м. Она рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить полную аккумуляцию выносов обломочного материала селевым потоком принятой расчетной обеспеченности. Обломочный материал селевого потока, отложенный в *селехранилище* у верхнего бьефа с.п., требует периодической очистки. С.п. возводится как в качестве единственного или основного средства защиты, так и в сочетании с другими видами сооружений и мелиорацией.

ღვარცოფჩამოყალიბებელი ნაღებები (MUDFLOW FORMING PRECIPITATION; СЕЛЕФОРМИРУЮЩИЕ ОСАДКИ) – რაიონისათვის ან ღვარცოფული აუზისათვის დამახასიათებელი თხევადი ნალექების ჯამი. ღვარცოფჩამომ-ყალიბებელი ნალექები უზრუნველყოფს ღვარცოფჩამომ-

ყალიბებელ ხარჯებს ან ღვარცოფული კერების აქტიურობას, ანუ ღვარცოფული ნაკადის წარმოშობას.

Селеформирующие осадки - характерная для района или селевого бассейна сумма жидких осадков, обеспечивающая селеформирующий расход или активность селевых очагов, т.е. зарождение селевого потока.

ღვარცოფაამაყალიბებელი ხარჯი (MUDFLOW FORMING DISCHARGE; СЕЛЕФОРМИРУЮЩИЙ РАСХОД) – წყლის მინიმალური ხარჯი, რომელსაც შემონაკირ-წყლის ჩამონვრევისა და კალაპოტის სიღრმითი ეროზის ხარჯზე გააჩნია ღვარცოფის ფორმირების უნარი.

Селеформирующий расход – минимальный расход воды, способный вызвать формирование селя за счет срыва отмостки и глубинной эрозии русла.

ყინულის ღვარცოვი (GLACIER MUDFLOW; ЛЕДНИКОВЫЙ СЕЛЬ) – ყინულის ღვარცოვის ერთ-ერთი გენე-ტიკური ტიპი, რომლის ფორმირება დაკავშირებულია ყინულ-მორენული კომპლექსების მდგრადობის დარღვევასთან, ხოლო თხევადი შემადგენელი უპირატესად წარმოიქმნება მდნარი წყლით. ყინულის ღვარცოვის წარმოქმნა გამოწვეულია ყინუ-ლოვანი ტბების აუზებისა და გუბურების გარღვევითა, ყინუ-ლისა და მორენების ჩამოცურებითა და მოწყვეტით. ღვარ-ცოფული მასის შემადგენლობით ყინულის ღვარცოვი შეიძ-ლება იყოს ქვაწყლიანი, ქვატალახიანი, ყინულწყლიანი. ყინუ-ლის ღვარცოფები – უმეტესად, ძლიერი მაღალმთიანი ღვარცოფებია. ყინულის ღვარცოვის აქტივიზაცია დამახა-სიათებელია გამყინვარების დეგრადაციის ეტაპისათვის, განსა-კუთრებით მის საწყის ეტაპზე.

Ледниковый сель - один из генетических типов селей, формирование которого связано с нарушением устойчивости ледниково-моренных комплексов, а жидкая составляющая обра-

зуется преимущественно за счет талых ледниковых вод. Возникновение л.с. вызывается прорывом ледниково–подпрудных озер и внутриледниковых емкостей, а также оползанием или срывом моренных и ледяных масс. По составу *селевой массы* л.с. могут быть *водокаменными*, *грязекаменными*, *водоледяными*. Л.с. наиболее мощные сели высокогорий. Активизация л.с. характерна для этапа деградации оледенения, особенно для его начальных стадий.

ШЕФИЗБАРНЭЗУЛЮ БАТЫСО (SUSPENDEDLOAD; ВЗВЕШЕННЫЕ НАНОСЫ) - წყლის ნაკადით გადატანილი მყარი ნაწილაკები შეტივნარებულ მდგომარეობაში. ღვარცოფის ნაკადში წყლისა და მასში შეტივნარებული ქვიშისა და თიხის ნაწილაკების ნარევი (ზომით 1 მმ-ზე ნაკლები) ქმნიან ღვარცოფულ სუსპენზიას.

Взвешенные наносы – твердые частицы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии. В *селевом потоке* образуют селевую суспензию – смесь воды и взвешенных в ней песчано–глинистых частиц (размером менее 1 мм).

ЧВОДОТО გამოვაზული ღვარცოფი (RAIN MUDFLOW; ДОЖДЕВОЙ СЕЛЬ) – ღვარცოფის ერთ-ერთი გენეტიკური ტიპი. წარმოიქმნება წვიმებისა და თავსხმა წვიმების შედეგად. ღვარცოფის ჩამოყალიბების მექანიზმი, უმეტეს შემთხვევაში, განეკუთვნება ეროზიულ ტიპს – ფერდობების ჩამორეცხვა და წარეცხვა; კალაპოტების სიღრმული და გვერდითი წარეცხვა იწვევს ნაშალი მასალის წყალგაჯერების მომატებას და ღვარცოფული ტალღის წარმოქმნას. წვიმით გამოწვეული ღვარცოფი ღვარცოფული მოვლენების ყველაზე ფართოდ

გავრცელებული ფორმაა დედამიწაზე და გვხვდება პრაქტიკულად ყველა კლიმატურ ზონაში.

Дождевой сель – один из генетических типов селей, образующийся вследствие ливней и длительных дождей. Механизм зарождения д.с. в большинстве случаев относится к эрозионному типу: смыв и размыв склонов, глубинный и боковой размыв русла ведут к возрастанию насыщенности потока обломочным материалом и к образованию селевой волны. Д.с. – самый массовый тип *селевых явлений* на Земле, представленный практически во всех типах климата.

წყალმოვარდნა (FLOOD; ПАВОДОК) – მდინარეში წყლის დონის სწრაფი, შედარებით მოკლევადიანი აწევა, რაც გაძოწვეულია თავსხმა წვიმებით, თოვლისა და ყინულის ინტენსიური დონით, იშვიათად – მიწისა და ყინულოვანი კაშხლების გარღვევით. წყალმოვარდნა ატარებს არარეგულარულ ხასიათს. წყალმოვარდნის დროს წყლის ნაკადის სიჩქარის და ხარჯის მნიშვნელოვან ზრდას თან ახლავს წყლის სიძლვრივის მომატება, კალაპოტის ხელახლი ფორმირება, ხოლო ხელსაყრელი პირობების შემთხვევაში ხდება წყალგაუმტარი ფენის მოწყვეტისა და კალაპოტის სიღრმული ერთხის შედეგად ღვარცოფის წარმოქმნის მიზეზი.

Паводок – быстрый, сравнительно кратковременный подъем уровня воды в реке, возникающий в результате обильных дождей, интенсивного таяния снега и льда, реже – в результате прорыва грунтовых и ледяных плотин; п. носят нерегулярный характер. Значительное возрастание скорости и расхода водного потока во время п. сопровождается увеличением мутности воды, переформированием русла, а при благоприятных условиях приводит к зарождению селя путем срыва *отмостки* и глубинной эрозии русла.

Ծყალთოვლიანი ნაკადი (SLUSHFLOW; ВОДОСНЕЖНЫЙ ПОТОК) – პარალგარცოფული ნაკადების ერთ-ერთი ტიპი. გენეტიკური კლასიფიკაციის თანახმად, იგი განეკუთვნება თოვლის ღვარცოფებს. ღვარცოფული მასა წარმოდგენილია თოვლის გუნდებისა და მარცვლების წყალთან ნარევის სახით ნაშალ მასალასთან ერთად, სიმკვრივე შეადგენს 900–1199 კგ/მ³. წყალთოვლიანი ნაკადის ახალი ნალექი წარმოადგენს დაპრესილი სველი ბელტების სახით თოვლს ან მინერალური ფირნის მასას (თოვლი, მყინვარი) – ღორლისა და შესვილი ნატეხების ჩათვლით. ნაშალი მასალა წარმოადგენს მოცულობის 5–10%-ს. სატრანზიტო ზონა ხასიათდება კალაპოტის ფერდის კოროზით; აკუმულაციის ზონა ფიქსირდება ერთეული ნატეხებით ან დაბალი სიმძლავრის (05, მ-მდე) ფენით, უხეში ნატეხების დაუხარისხებელი უჯრედოვანი ტექსტურით. წყალთოვლიანი ნაკადი წარმოქმნება თოვლის ჯებირის ფენის მოწყვეტით, თოვლის ჯებირის გარღვევით ან დენუდაციური ფერდების რღვევით, რაც ყალიბდება თოვლის დნობის პერიოდში, დათბობის დროს პარალელურის მკვეთრ ზრდასთან ერთად. იგი იშვიათად არის გამოწვეული წვიმით. წყალთოვლიანი ნაკადი გავრცელებულია სუბარქტიკის მთიან რაიონებში, ზომიერი და პოლარული განედის მყინვარების ზედაპირზე, იშვიათად – ზომიერი სარტყელის მთებში.

Водоснежный поток – один из типов параселевых потоков; согласно генетической классификации селевых явлений относится к снеговым селям. Селевая масса в.п. представлена смесью комков и зерен снега с водой, с участием обломочного материала плотностью 900–1199 кг/м³. Свежие отложения в.п. представляют собой спрессованный мокрый снег комковатой текстуры или минерально–фирновую массу с включением щеб-

ня и крупных обломков; обломочный материал составляет 5–10% объема. Для зоны транзита характерна коррозия бортов; зона аккумуляции фиксируется одиночными обломками или малоощущенным (до 0,5 м) слоем грубообломочной несортированной породы ячеистой текстуры. *Механизм зарождения* в.п. связан с отрывом снежного пласта или с прорывом снежных плотин в руслах или в денудационных врезах склонов. Формируются в период снеготаяния, при оттепелях с резким подъемом температуры воздуха; реже вызываются дождем. В.п. распространены в горных районах Субарктики, на поверхности ледников полярных и умеренных широт, реже в горах умеренного пояса.

წყალყინულიანი ნაკადი (WATER-ICEFLOW; ВОДОЛЕДНОЙ ПОТОК) – პარალელურცოფული ნაკადების სახეობა, რომლის მასა წარმოდგენილია ყინულის მყარი ფრაგმენტებით, თოვლით და მთის ქანების ფრაგმენტებით. წყალყინულიანი ნაკადი შეიძლება იყოს მყინვარული და მდინარისეული წარმოშობის. მყინვარული წარმოშობის წყალყინულიანი ნაკადი ყალიბდება ნაპრალის წყლით გაჯერებული ყინულოვანი მასების მოწყვეტით. მოწყვეტას განაპირობებს ყინულის დაბოლოების არამყარი ძღვომარეობა, გარკვეულ ეტაპზე მისი დეგრადაცია ან პულსაცია. ხასიათდება გამონატანის გიგანტური მოცულობით და მოძრაობის სისწრაფით. მდინარისეული წარმოშობის წყალყინულიანი ნაკადი წარმოიქმნება ზამთრის პერიოდში დნობის დროს ფსკერიდან მოწყვეტილი ყინულის ფენებისაგან ან ჩამოწოლილი ზვავისაგან. ნაკადის მყარი შემადგენლობა ყალიბდება ყინულის ფრაგმენტების, თოვლისა და ყინულის საბურველის (საფრის), ყინვის, თოშის, კალაპოტის დანალექის ხარჯზე. შეზღუდული სიმძლავრის

მიუხედავად, წყალსამეურნეო და საგზაო მოწყობილობებისათვის მნიშვნელოვანი ზიანის მომტანია.

Водоледяной поток – один из типов параселевых потоков, в селевой массе которых твердая составляющая представлена обломками льда, с участием снега и обломков горных пород. В.п. бывают ледникового и речного генезиса. В.п. ледникового генезиса образуются вследствие срыва ледяных масс, насыщенных трещинными водами; причиной срыва служат неустойчивое положение конца ледника, возникающее на определенном этапе его деградации или вследствие пульсации. Характеризуются гигантскими объемами выноса и очень высокими скоростями движения. В.п. речного генезиса образуются в период зимних оттепелей вследствие срыва ледяных порогов из донного льда или прорыва снежных завалов, созданных лавинами. Твердая составляющая потока формируется помимо тел ледяных порогов снежных завалов за счет снежно-ледового покрова, наледей, шуги, русловых отложений. Сход в.п. возможен до 3–5 раз за зиму. Несмотря на ограниченную мощность, приносят значительный ущерб водохозяйственным и дорожным сооружениям.

საშუალო ღვარცოფები (ARTIFICIAL MUDFLOWS; ИСКУССТВЕННЫЕ СЕЛИ) – ბუნებრივ პირობებში კვლევისა და პრაქტიკული მიზნებისათვის ფორმირებული ხელოვნური ღვარცოფები. ხელოვნური ღვარცოფების ფორმირებისათვის გამოიყენება წყალსაცავის წყალსაშვი და წყალმიძღვი, რაც იძლევა ნაკადის პარამეტრების კონტროლირების საშუალებას.

Искусственные сели – селевые потоки, созданные в естественных условиях для исследовательских или практических целей. Для формирования и.с. используется попуск воды из во-

дохранилища или водоприемника, что позволяет контролировать параметры потока.

ანბანური საპივაელი

ანთროპოგენური ღვარცოფი.....	258
არაბმული ღვარცოფი	257
ატმოსფერული ნალექი	20
ბმული ღვარცოფები.....	47
ბრძოლის ღონისძიებები	1, 3, 7, 35
გაზომვის ცდომილებები	104
გამოტანის კონუსი	259, 295
განტვირთვის ზონა.....	13
გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტი	7, 79, 131, 132, 133
გრძივი პროფილი	50, 265
დამბები	17, 37, 39, 43, 270, 307
დაუმყარებელი მოძრაობა	75
დიფერენციალური განტოლება	64, 187, 216, 222
ექსპერიმენტების ანალიზი.....	122
ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდიკა.....	3, 100
ვისკოზიმეტრი	133
ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირება	36
თავსხმა წვიმები	18, 20, 317
თოვლის ღვარცოფი	261
კალაპოტების მდგრადობა.....	59
კატასტროფები	20, 32
კატასტროფული ღვარცოფი	24
კაშხლები	17, 37, 39, 307, 325
კვაზილგარცოფული ნაკადები	263
კონცენტრაცია	52, 259
კომპლექსური ღონისძიებები	40
კრიტერიალური საზღვრები	3, 7, 89, 95
კრიტერიუმები	52, 70, 114, 115, 122
კრიტიკული სიღრმე.....	70, 124, 182, 184, 248
ლაპარი	263

მასტაბილიზებელი	36, 37, 307
მატრიცის სქემა	135
მაღალი ღვარცოფული აქტივობა	15
მდგრადი განვითარება	67
მდინარეთა ხეობები	26
მეწყერი	27, 258, 266, 267, 271
მორენები	11, 36
მშენებლობა	34, 35, 36, 41, 281, 308, 309
მცირე ღვარცოფული აქტივობა	155
ნაკადების რეგულირება	46
ნაკადი	11, 12, 16, 21, 23, 24, 38, 49, 63, 191, 220, 232, 235, 247, 262, 273, 277, 279, 281, 313, 317, 320, 329, 331
ნაკადის გაჯერება	11, 292
პროექტირება	2, 8, 34, 36, 59
პროლუვიუმი	259, 268
საანგარიშო სქემა	145, 165, 172, 212, 236, 237
სასაზღვრო პირობები	52
სატრანზიტო ზონა	13, 329
სატრანზიტო უბნები	60
საშუალო ღვარცოფული აქტივობა	15
სეისმოგენური ღვარცოფი	271
სიმძიმის ძალა	50
სიმძიმის ძალის აჩქარება	68, 72, 74, 76, 79, 112, 176, 182, 187, 197, 199
სტიქიური უბედურებები	272
ტალაზის ნაკადი	273
ტალღის სიჩქარე	76, 173, 186
ტენიანობა	54, 105
ულტრაღვარცოფული ნაკადები	274
ფერდობების დატერასება	36, 276, 309
ფერდობების ქანობი	16
ქვატალაზიანი ნაკადი	277

ქვაწყლიანი ნაკადი	277
ღვარცოფგამტარი.....	36, 37, 39, 40, 270, 279, 307, 322
ღვარცოფდამჭერი.....	40, 41, 231
ღვარცოფები. 1, 6, 10, 12, 14, 17, 19, 20, 23, 28, 31, 44, 47, 48,	
50, 54, 58, 81, 143, 171, 221, 261, 327, 332	
ღვარცოფების კადასტრი.....	285
ღვარცოფების კლასიფიკაცია	12, 16, 17
ღვარცოფების მოდელირება.....	286
ღვარცოფთა რეგულირება	60
ღვარცოფი 10, 11, 13, 16, 21, 22, 24, 27, 30, 31, 41, 50, 61, 71,	
167, 174, 175, 228, 240, 256, 257, 258, 261, 262, 264, 271,	
317, 327, 328	
ღვარცოფის დაძვრა.....	154, 172
ღვარცოფის მოცულობითი წონა.....	71, 79, 168
ღვარცოფის სიმკვრივე	191, 208, 239
ღვარცოფის სიღრმე	79, 208, 239
ღვარცოფმიმმართველი.....	36, 37, 231, 234
ღვარცოფმცოდნეობა	300
ღვარცოფსაგდები.....	3
ღვარცოფსადინარი.....	170
ღვარცოფსადინარის სიგანე	79
ღვარცოფსაშიში ზონები	24
ღვარცოფსაცავი	13, 171, 306, 307
ღვარცოფული აუზები.....	14, 300
ღვარცოფული მასა.....	13, 19, 20, 257, 258, 315, 329
ღვარცოფული მოვლენები . 2, 3, 6, 10, 20, 23, 28, 46, 258, 268,	
316	
ღვარცოფული ნაკადები. 13, 18, 23, 24, 25, 259, 272, 274, 294,	
300	
ღვარცოფული პროცესები	34, 49, 165, 258, 265, 298
ღვარცოფშემკავებელი.....	36, 37, 307, 325
წინაღობა	55, 134, 204

ხარჯი.	31, 42, 67, 71, 73, 77, 78, 158, 182, 187, 192, 200, 213, 247, 249, 287, 299, 326
ხელოვნური ღვარცოფები.....	332
ჯებირები.....	17, 40
ჰიდროგრაფი	54, 55, 173, 299
ჰიდროტექნიკა	57
ჰიდროტექნიკური ნაგებობები	40, 240

ABSTRACT

The monograph deals with the debris flows phenomena and their nature, classification, distribution of debris flow phenomena in the world and Caucasus, current state of knowledge of debris flow phenomena. Proposed methodology and analysis of laboratory and experimental research of the limit equilibrium and motions' main defining parameters of debris flows, formation conditions of debris flow and debris flow control methods.

The monograph is intended for masters and doctoral students of Construction Faculty of the Georgian Technical University, as considerably as for scientists and professionals operating in the field of hydro-engineering, hydro-technical amelioration, hydrology, environmental engineering and hydro-geology. It will provide appropriate assistance to engineers whose work related to the design, construction and operation of the debris flow prevention structures.

АННОТАЦИЯ

В монографии рассмотрены селевые явления и их природа, классификация, распространение в мире и на Кавказе, современное состояние изученности селевых явлений. Предложены методика и анализ лабораторно-экспериментальных исследований основных определяющих показателей предельного равновесия и движения связных селей, а также условия формирования связных селей и методы борьбы с ними.

Монография предназначена для магистров и докторантов строительного факультета Грузинского Технического Университета, а также для ученых и специалистов, работающих в сфере гидроинженерии, гидротехнической мелиорации, гидрологии, инженерной экологии и гидрогеологии. Она окажет надлежащую помощь инженерам, деятельность которых связана с проектированием, строительством и эксплуатацией противоселевых сооружений.