

შოვის კატასტროფის შესაძლო გამომწვევი მოვლენები (სრული ვერსია)

ზურაბ კერესელიძე, ნოდარ ვარამაშვილი

მცინვარ თბილისაზე განვითარებული მოვლენების რიგითობის დადგენა განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანას წარმოადგენს. ბუნებრივია, რომ მისი გადაწყვეტის გარეშე შეუძლებელი იქნება შოვის ტრაგედიის მიზეზების სრულფასოვანი ანალიზი, რომლის საფუძველზეც უნდა ჩამოყალიბდეს კატასტროფის ზუსტი ფიზიკური სურათი. სხვანაირად შეუძლებელი იქნება მსგავსი მასშტაბების მქონე ბუნებრივი კატასტროფებისაგან ადამიანების პრევენციის საიმედო სისტემის აგება და მისი რაციონალურად ფუნქციონირება.

დღევანდელი მოცემულობით, შოვის ღვარცოფთან დაკავშირებული სამეცნიერო ინფორმაცია მწირია და მისი მიზეზების სრულფასოვანი ანალიზის საშუალებას არ იძლევა. ინსტრუმენტული დაკვირვების მასალა ფაქტიურად არ არსებობს. გამონაკლისია მხოლოდ სეისმური მონიტორინგის ცენტრში მიღებული ინფორმაცია აკუსტიკური ტალღების დიაპაზონში დაფიქსირებული შემფოთების შესახებ, რომელიც მნიშვნელოვანია კატასტროფის მომენტის ფიქსაციის თვალსაზრისით. გარდა ამისა აღნიშნული ჩანაწერი უდავოდ ადასტურებს მცინვარქვეშა წლის რეზერვუარის არსებობას. გვაქვს მოსაზრება, რომ ის ჩანაწერი შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს ჩამონადენი მცინვარქვეშა წყლის მოცულობის საიმედოდ შეფასებისათვის, აუცილებელია მცინვარზე კომპლექსური გეოფიზიკური, გეოლოგიური და გეოგრაფიული ექსპედიციის ორგანიზაცია. აშკარაა, რომ ასეთი ღონისძიება ქვაკუთხედური მნიშვნელობისაა და მისი პირველი ეტაპი რაც შეიძლება სწრაფად უნდა განხორციელდეს.

ისმის კითხვა: რანაირად შეიძლება სეისმური მონიტორინგის მასალა გამოვიყენოთ მცინვარქვეშა წყლის რეზერვუარის მოცულობის შესაფასებლად? კორექტული პასუხი ამ კითხვაზე შეიძლება მივიღოთ იმ შემთხვევაში, თუ მოხდება სეისმოგრაფის ჩანაწერის მაღალსიხშირული ნაწილის სპექტრალური ანალიზი, კერძოდ, განისაზღვრება სპექტრის ყველაზე დაბალი სიხშირე. ცნობილია, რომ ეს სიხშირე წარმოადგენს შემფოთებული მყარი სხეულის რხევის დისკრეტული სპექტრის საკუთარ სიხშირეს. ზოგადად, მცინვარისაგან განსხვავებული მახასიათებლების მქონე რაღაც სტრუქტურულ ნაწილს, მისი ლოკალური შემფოთების შემთხვევაში, შეიძლება ჰქონდეს საკუთარი რხევების სპექტრი შესაბამისი ძირითადი სიხშირით. მაგალითად, დიდი ალბათობით სავარაუდოა, რომ სწორედ მცინვარის ტანში არსებული წყლის რეზერვუარის კედლის ჩამოშლის დროს გენერირებული აკუსტიკური ტალღების სპექტრი აისახა სოფელ სხვაგაში, შოვისაგან დაახლოებით 25 კილომეტრის მოშორებით განთავსებული მაღალი მგძნობიარობის მქონე სეისმოგრაფის ჩანაწერში, ამ ჩანაწერით პირველ რიგში დასტურდება, რომ კატასტროფის დროს ჰაერში არ გავრცელდა დარტყმითი ტალღა, რაც, გარკვეულწილად მიუთითებს, რომ პროცესი მომენტალური ძლიერი მექანიკური იმპულსით არ დაწყებულა. ეს შეიძლება ნიშნავდეს, რომ კატასტროფა დაიწყო არა მცინვარის ენიდან ყინულის დიდი მასის მოწყვეტით, არამედ წყლის რეზერვუარის მთლიანობის დარღვევით ლოკალურ უბანზე, რომლის ზომა სწრაფად, მაგრამ მაინც სასრული

დროის განმავლობაში მკვეთრად გაიზარდა. შესაძლებელია, რომ სწორედ ამის გამო არ აღმოჩნდა ღვარცოფულ მასაში დიდი ზომის ყინულის ლოდები, რომლებიც უნდა წარმოქმნილიყვნენ მყინვარის ენის მასშტაბური მსხვრევის გამო. ამრიგად, შეიძლება დავუშვათ, რომ სწორედ რეზერვუარის კედლის დარღვევის თანადროულად დაიწყო აკუსტიკური ტალღების პაკეტის ემისია, რომელიც ყოველთვის თან ახლავს მექანიკური მსხვრევის პროცესს. ეს ტალღები გავრცელდა არამარტო ატმოსფეროში, არამედ დედამიწის ზედაპირულ ფენაშიც. საზოგადოდ, აკუსტიკური ტალღების ემისია სეისმური აქტივობის ზონიდან, ასევე უშუალოდ მიწისძვრის ჰიპოცენტრიდან, ჩვეულებრივი მოვლენაა. ამ ტალღების სპექტრი საკმაოდ მაღალსიხშირულია და მკვეთრად ემიჯნება სეისმური ტალღების სპექტრს. ბუნებრივია, რომ მათი გავრცელების არეალის ზომა დამოკიდებულია გარემოზე. მაგალითად, დედამიწის სიღრმეში გენერირებული აკუსტიკური ტალღების ფიქსაცია ჩვეულებრივ შესაძლებელია ემისიის წყაროდან დაახლოებით 30 კმ რადიუსის მქონე მანძილზე, რომელიც მაღალი მგძნობიარობის მქონე აპარატურით დეტექტირების შემთხვევაში შეიძლება საკმაოდ გაიზარდოს. საინტერესოა, რომ აღნიშნული სეისმური მონაცემის მომწოდებელთა აზრით კატასტროფული ღვარცოფის ჩამოყალიბების პროცესში მონაწილეობდა მყინვარქვეშა წყლის ორი რეზერვუარი, რომლებიც გარკვეული დაყოვნებით დაიცალა. ასეთი რამ, ანუ მულტირეზერვუარების არსებობა ნამდვილად არ არის გამორიცხული. თუმცა, ასეთი მოსაზრება არ არის ცალსახა. არის ალტერნატიული ვარიანტი, რომ არსებობდა მხოლოდ ერთი რეზერვუარი. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია, რომ მთლიანობა თავდაპირველად დაირღვა რეზერვუარის კედლის ზედა, ხოლო ყოვნის შემდგომ, ქვედა ნაწილში. ასეთი სქემა შესაძლებელია ნაკლებად ალბათური იყოს, თუმცა მისი გამორიცხვა ჯერჯერობით არსებული მონაცემებით არაკორექტულად შეიძლება ჩაითვალოს. საეჭვოა, რომ ამ საკითხის გარკვევაში სიცხადე შეიტანოს მხოლოდ სატელიტური დაკვირვების მონაცემების ანალიზმა. მიგვაჩნია, რომ სარწმუნო სურათი შესაძლებელია აღვადგინოთ მხოლოდ მყინვარზე ექსპედიციის შემდეგ, მისი არეში მოხდარი სტრუქტურული ცვლილებების გეომორფოლოგიური ანალიზის მონაცემებზე დაყრდნობით.

გარკვეული ალბათობით, აკუსტიკური ტალღების ჩანაწერში უნდა ჩანდეს კლდეზვავის ჩამოშლის შედეგად აღძრული აკუსტიკური ტალღების ნაწილი. ჩამოშლა სავარაუდოდ წინ უნდა უსწრებდეს წყლის რეზერვუარების მთლიანობის დარღვევას. ჩანაწერის ამ ნაწილით შესაძლებელია კლდეზვავის ხანგრძლივობის, მისი მოცულობის, ლოდების ზომების სპექტრის და პროცესის ენერჯის შეფასება [5]. ამ სტატიაში აღწერილი მეთოდით შესაძლებელია ქვათაცვენის ლოკაციის დადგენა 100 მეტრის სიზუსტით, თუმცა ამისათვის საჭიროა რამდენიმე ჩამწერი სადგური.

ცნობილია, რომ აკუსტიკური ტალღების გენერაცია ხშირ შემთხვევაში თან ახლავს მყინვარის, როგორც ერთი მთლიანი სხეულის ნელ მოძრაობას, აგრეთვე ყინულის სხვადასხვა ზომისა და ფორმის კლასტერების მსხვრევას. ამიტომ, აკუსტიკური ტალღების ემისის მოვლენის, როგორც მყინვარული პროცესების ინტენსივობის ინდიკატორის, მონიტორინგისათვის იყენებენ სიხშირეთა დიაპაზონს /20- 20000/ ჰერცი. გარდა ბუნებრივი დაკვირვებისა, აკუსტიკური ტალღების ემისია წარმოადგენს მყინვარების ლაბორატორიული

მოდელირების ერთერთი მნიშვნელოვან ელემენტს [1]. არსებობს ნაშრომი, რომელის მიხედვით მყინვარული პროცესების თანმდევი ხმაურის სპექტრის დაბალ სიხშირული ნაწილი /100-300/ ჰერცი დაკავშირებულია მთლიანად მყინვარის, ან ხაზოვანი მასშტაბით მისი თანაზომადი რომელიმე სტრუქტურული ნაწილის, საკუთარ მექანიკურ რხევებთან [2]. აქედან გამომდინარე, თუ გვეცოდინება სხვაგვარი განთავსებული ხელსაწყოთი მიღებული აკუსტიკური ტალღების დისკრეტული სპექტრის ძირითადი სიხშირე, მარტივად შეიძლება შევაფასოთ მყინვარქვეშა წყლის რეზერვუარის ხაზოვანი მახასიათებელი ცნობილი კავშირის საშუალებით: $f_0 = v/d$, სადაც f_0 -სიხშირეა, v - ბგერის სიჩქარე დედამიწის გარემოში, d - მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა. შესაბამისად, დისკრეტული სპექტრის ყველა მომდევნო სიხშირე შეიძლება მივიჩნიოთ ძირითადი სიხშირის ჰარმონიკებად. ჩვენს ამოცანაში მათ მხოლოდ ფონური ხმაურის ფუნქცია გააჩნიათ. თუმცა პიკური სიხშირეების მიმდევრობის დიაგნოსტიკა მაინც საინტერესოა, რადგანაც შემოწმდება რამდენად სამართლიანია მყარ დისპერსულ გარემოში გავრცელებული აკუსტიკური ტალღებისათვის ჰარმონიული რხევების მიახლოება. სავარაუდოდ, ტალღური სპექტრი გადაგვარებული უნდა იყოს მყარი ქანების ჩამოშლისა და ყინულის მცირე ზომის კლასტერების მრავლობითი წარმოქმნის გამო.

ამრიგად, წყლის რეზერვუარის მოცულობის შეფასება შესაძლებელი იქნება მხოლოდ მისი მახასიათებელი ხაზოვანი ზომის განსაზღვრის შემდეგ. ავლნიშნავთ, რომ სპექტრალური ანალიზის გარდა, არსებობს მყინვარქვეშა წყლის რეზერვუარის (რეზერვუარების) მოცულობის მიახლოებითი შეფასების ირიბი შესაძლებლობა. ნაშრომში [2] მრავალრიცხოვანი განსხვავებული ხაზოვანი პარამეტრების მქონე მყინვარების დაკვირვების მასალის ანალიზის საფუძველზე მოცემული იყო f_0 -სიხშირის სიდიდის მახასიათებელი ინტერვალი /100-300/ ჰერცი. მყარ გარემოში აკუსტიკური და სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარე ერთნაირია. ამიტომ, ამ პარამეტრის მახასიათებელი მნიშვნელობად მივიღოთ: $v \approx 5$ კმ/წმ. ფაქტიურად, ასეთი სიდიდე პირველადი და მეორადი სეისმური ტალღების საშუალოა. ამრიგად, სიხშირეთა ინტერვალის შესაბამისად გვექნება d პარამეტრის ცვლილების ინტერვალი: /50-17/ მ. მერხევი სხეულის მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა 50 მ და 17 მ. რეზერვუარის მოცულობის შეფასებისათვის გამოვიყენოთ d რადიუსის ექვივალენტური სფერო. მაგალითად, სიხშირის ზღვული მნიშვნელობებისათვის (100ჰერცი და 300 ჰერცი) შესაბამისად გვექნება: $Q_1 \approx 500000$ მ³ და $Q_2 \approx 20000$ მ³ დაუზუსტებელი მონაცემებით, მდინარე ბუბასწყლის ხეობაში ჩამოტანილი ღვარცოფული მასის მოცულობა $Q \approx 1500000$ მ³. სავარაუდოდ, ამ მასის $\approx 20-30$ % იყო წყალი, რასთანაც Q_1 სიდიდე საკმაოდ კარგ თანხმობაშია. ამრიგად, სავარაუდოდ, თუ სეისმური ჩანაწერის მაღალსიხშიროვანი სპექტრის ძირითადი სიხშირე, გარკვეულ ფარგლებში, 100 ჰერცის მახლობლად იქნება, ყინვარქვეშა რეზერვუარის (ან ორი რეზერვუარის) არსებობა ფაქტიურად ეჭვის გარეშე იქნება. უკანასკნელ შემთხვევაში საჭირო იქნება სპექტრის ორი, ერთმანეთისაგან ცხადად განცალკევებული მონაკვეთის შესაბამისი ძირითადი სიხშირის განსაზღვრა.

მყინვარის დინამიკის მოდელირების ამოცანის ერთერთი საკვანძო ელემენტია ყინულის სისქის განსაზღვრა, რისთვისაც გამოიყენება საკმაოდ მარტივი ფორმულა [3]

$$h = \frac{\tau}{f\rho g \sin\alpha} c, \quad (1)$$

სადაც h -ყინულის სისქეა, τ – ძვრადობის დაძაბულობა მყინვარის კალაპოტში, f - მყინვარის განივი კვეთის ფორმის მახასიათებელი კოეფიციენტი, ρ - ყინულის სიმკვრივე, g - სიმძიმის ძალის აჩქარება, α - ზედაპირის დახრის კუთხე, c - რაოდენობრივი შესწორების კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება გაზომვათა მონაცემების ანალიზის გზით.

მოდელურ გამოსახულებაში (1) შედის ორი ცვლადი პარამეტრი, ძვრის დაძაბულობა τ და მყინვარის ზედაპირის დახრის კუთხე α . ფორმის კოეფიციენტი f დაკავშირებულია ზედაპირული ხახუნის ეფექტთან მყინვარისა და მისი ჩამტევი მყარი გარემოს კონტაქტის არეში და შეიძლება იცვლებოდეს ინტერვალში /0,5-0,9/. ალპური მყინვარებისათვის, რომელთაც ალბათ მიეკუთვნება თბილისა, ეს კოეფიციენტი $\approx 0,8$. იმისათვის, რომ მოდელი (2) ფორმალურად თანხმობაში იყოს მოძრავი გარემოს იდეალური პლასტიკურობის მიახლოებასთან, ანუ დაკმაყოფილდეს ყინულის ძვრადობის მინიმუზაციის პირობა, აუცილებელია, რომ კუთხე α გასაშუალოვდეს გარკვეულ მანძილზე, რომელიც დაახლოებით ერთი რიგით აღემატება ამ მონაკვეთზე ყინულის სისქეს

მყინვარის ძვრადობის დაძაბულობისათვის არსებობს ემპირიული ფორმულა, განსაზღვრული მცირე გამყინვარების პერიოდის შემდეგ (მე14-18 საუკუნე) გამქრალი 62 მყინვარის მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე [3]

$$\tau = 0,005 + 1,598\Delta H - 0,435\Delta H^2 \quad (2)$$

სადაც ΔH -სიმაღლეთა სხვაობაა მყინვარის წვერსა და მის ფუძეს შორის.

(2) ფორმულიდან გამომდინარე, მსხვილი მყინვარებისათვის, რომელთა $\Delta H > 1,6$ კმ-ზე, ძვრის დაძაბულობა შეადგენს დაახლოებით 150 კილოპასკალს (კპ). ერთი შეხედვით, თითქოს არ უნდა ასეობდეს ასეთი რთული დამოკიდებულება მყინვარის სიმაღლესა და ძვრის დაძაბულობას შორის. თუმცა, [3]-ის ავტორების აზრით, ემპირიული კავშირი უბრალოდ ასახავს ყინულის მოძრაობის სურათის ზოგად ცვალებადობას. შესაბამისად, გამოსახულება (2) იძლევა დაახლოებით $\pm 30\%$ ცთომილებას, რომელიც ავტომატურად გააჩნია აგრეთვე მოდელს (2).

მყინვარი თბილისა საკმაოდ კარგად იყო შესწავლილი საბჭოთა გლაციოლოგების, მათ შორის ქართველების, მიერ გასული საუკუნის 70-80 წლებში. კერძოდ, ქართველებმა განახორციელეს რამდენიმე ექსპედიცია, რომელთა პროცესში მიღებული ნატურალური დაკვირვების მასალა განზოგადდა მონოგრაფიაში [4]. ეს მონოგრაფია დღესაც აქტუალურია, რადგანაც შეიცავს ისეთ რეტრო მონაცემებს, რომელთა ღირებულება მომავალში მხოლოდ მოიმატებს. დღეს ცხადია, რომ სასიცოცხლოდ აუცილებელია ახალი ინფორმაცია თბილისას მყინვარზე ამჟამინდელი გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ვითარების შესახებ. ასეთი სურათის შესაქმნელად მარტო სატელიტური მონაცემების ვიზუალური ანალიზი საკმარისი არ არის, მით უმეტეს როცა ეს ინფორმაცია ფრაგმენტალურია და არც თუ მაღალი გარჩევადობით ხასიათდება. ამჟამინდელ

მდგომარეობაში თბილისას მცინვარის მდგრადობის შეფასების თვალსაზრისით აუცილებელია გვექონდეს ყინულის სისქის ცვლილების მაქსიმალურად წვრილმასშტაბოვანი სურათი. ყინულის სისქე დამოკიდებულია ორ მთავარ პარამეტრზე: მცინვარის ზედაპირის დახრის კუთხეზე და ძვრადობის მოდულზე მცინვარის კალაპოტში (ძვრადობის დამაბულობაზე). ამიტომ მიგვაჩნია, რომ სატელიტური მონაცემების დამუშავებასთან ერთად საჭიროა მიწისპირა გაზომვები, რათა მონაცემები იყოს უფრო სრული და მოხდეს მომხდარი და მოსალოდნელი მოვლენების კომპლექსური შესწავლა და ანალიზი. ამ მიზნით, ჩვენ ვფიქრობთ, საჭიროა ექსპედიცია თბილისას მცინვარის მიდამოებში.

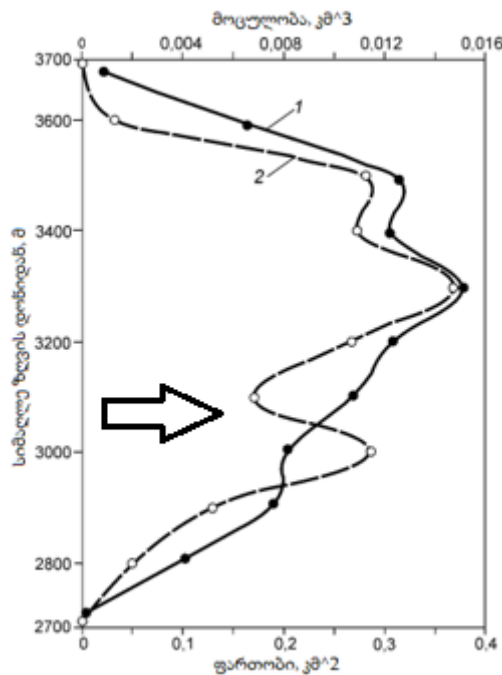
მიგვაჩნია, რომ მცინვარქვეშა წლის რეზერვუარის პრობლემის მსგავსად, რაციონალური იქნება მცინვარების პრობლემატიკასთან დაკავშირებული სხვა აქტუალური პუბლიკაციების ზოგიერთი შედეგი გათვალისწინებული იყოს თბილისას მცინვარზე ექსპედიციის დაგეგმარების პროცესში. პირველ რიგში, ეს ეხება ნაშრომს [3], რომელშიც წარმოდგენილია ჯანკუათის მცინვარის მრავალ ათწლიანი ექსპედიციის შედეგები. ამ ნაშრომში გამოთქმულია პრეტენზია, რომ მოხდა ცენტრალური კავკასიონის სხვა მცინვარების კვლევის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი შედეგების განზოგადოება, ანუ ავტორებმა მიიჩნიეს ჯანკუათი მეთოდური თვალსაზრისით საყრდენ მცინვარად. ცხადია, რომ ასეთი განცხადების სამართლიანობა ვიწრო სპეციალისტების წრემ უნდა შეაფასოს. თუმცა, ნაშრომში [3] მართლაც არის მნიშვნელოვანი ინფორმაცია საშუალო ზომის მცინვარებზე მიმდინარე პროცესების მოდელირებასთან დაკავშირებით. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით ღირებულად უნდა მივიჩნიოთ დასკვნა, რომელიც ეხება ჯანკუათის მცინვარის პარამეტრების ცვლილებას კლიმატური ცვლილებების ფონზე. მიგვაჩნია, რომ ამ დასკვნის ექსტრაპოლაცია სამართლიანი იქნება ჯანკუათის მახლობლად განლაგებული ყველა მცინვარისათვის. მის მიხედვით კლიმატური ცვლილებების გამო, ყინულის მოცულობა ჯანკუათის მცინვარის ზედა ნაწილში შემცირდა, მაგრამ 3000-3100 მეტრ სიმაღლეზე მცინვარის ზედაპირის ფართი გაიზარდა. ეს მოვლენა ახსნილია ყინულის სისქის შემცირების შედეგად მცინვარის სათავეში ყინულცვენის პროცესის გააქტიურებით. ბუნებრივია, რომ ასეთმა ეფექტმა უნდა გამოიწვიოს მცინვარის სათავეს მდგრადობის ზღურბლის დადაბლება. თუ ამ ფაქტს კერძო შემთხვევად არ ჩავთვლით და განვაზოგადებთ, მივალთ დასკვნამდე, რომ დათბობის ეფექტი განსაკუთრებით აქტიურად უნდა მოქმედებდეს მცინვარების სათავეში. იქ რელიეფის დახრა, როგორც წესი, უფრო დიდია ქვედა უბანებთან შედარებით. თბილისას მცინვართან მიმართებაში ეს ნიშნავს, რომ არსებობს რეალური წინაპირობა, რომ მომავალში ბუბასწყლის და ჭანჭახის ხეობაში კვლავ განვითარდეს კატასტროფული მოვლენა, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს ამჟამინდელისაგან განსხვავებული ბუნებრივი მექანიზმის მოქმედებით. გარდა ამისა, გასული საუკუნის 60-იანი წლების შემდეგ მცინვარ თბილისას მახასიათებელი პარამეტრების სავარაუდო რაოდენობრივ ცვლილებაზე გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა ცხრილი, რომელიც ასახავს ჯანკუათის პარამეტრების რაოდენობრივ ცვლილებას დროის აღნიშნულ პერიოდში.

სხვადასხვა პერიოდში ჯანკუათის მცინვარის გეომეტრიული პარამეტრები

წელი	ყინულის სისქე, მ (საშუალო/მაქსიმალური)	ფართობი კმ ²	ყინულის მოცულობა კმ ³
1968–1974	54/110	–	0,132
1996	42	2,99	0,106
2006	48	2,688	0,12
2012–2013	31/105*	2,448	0,077±0,002
მოდელი Glab Top, 2009	32,8/103*	2,448	0,081±0,02

*ჯანტუგანსკის პლატოს, საიდანაც ხდება მცინვარზე ყინულის შემოდინება, ნაწილის გარეშე.

ჯანკუათის მცინვარზე ყინულის მოცულობის განაწილება სიმაღლის ზონების მიხედვით ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. ძირითადი ყინულის რესურსები კონცენტრირებულია კვების ზონაში 3200–3500 მ სიმაღლეზე. ენის ქვედა ნაწილში არსებული ყინულის მოცულობა მნიშვნელოვნად ნაკლებია. ორივე მრუდი იცვლება სინქრონულად, გარდა სიმაღლის ინტერვალისა 2900–3100 მ. ენის ზედა ნაწილში, 2900–3000 მ სიმაღლეზე, ყინულის მოცულობა მკვეთრად იზრდება, რადგან სწორედ იქ არის ყველაზე დიდი ყინულის სისქის მქონე მცინვარის ნაწილი. 3000–3100 მ სიმაღლეზე მცინვარის ფართობის ზრდის ფონზე მოცულობის შემცირება (მითითებულია ისრით) აიხსნება ყინულის შემცირებული სისქის მქონე ყინულცვენის არეების ფართო გავრცელებით [3].



ნახ.1. ჯანკუათის მცინვარის 100 მეტრიანი სიმაღლის ზონების ფართობი (1) და მათში ყინულის მოცულობა (2) [3]

გლაციოლოგიური ღვარცოფის რეოლოგია. იდეალურ სითხეში სიბლანტის ეფექტი არ ვლინდება, ანუ ასეთ მხეში ძაბვები სითხის შიგნით ან მყარ ზედაპირთან კონტაქტის არეში არ ვითარდებიან. მათემატიკურად ეს ნიშნავს, რომ დამაბულობის ტენზორის მდგენელები $\tau_{ij} = 0$ ($i \neq j$). იდეალური სითხისაგან განსხვავებით, რეალურ სითხეებში მხეში ძაბვები არსებობენ, თუმცა მათი ხასიათი დამოკიდებულია რეოლოგიაზე, სპეციფიკურ მახასიათებელზე, რომელიც განსაზღვრავს სითხის დინების ხასიათს. ცნობილია, რომ რეოლოგიური მაჩვენებლის მიხედვით რეალური სითხეები იყოფიან ორ კლასად; ნიუტონურ და არანიუტონურ (ე.წ. ბინგამის) სითხეებად. მაგალითად, წყალი წარმოადგენს ბლანტ სითხეს, რომელიც მოძრაობის დროს ემორჩილება ნიუტონის ბლანტი ხახუნის კანონს. ასეთი გარემოსათვის სამართლიანია განტოლება: $\tau = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$, სადაც μ - დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, $\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$ -სიჩქარის წარმოებული სითხის მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით. თუ შემოვიტანთ ვერტიკალური დეფორმაციის ხაზოვან ზომას ξ , ეს პარამეტრი შეიძლება შეიცვალოს დეფორმაციის სიჩქარით: $\beta = \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)$.

არანიუტონური სითხისათვის დამახასიათებელია მის ფენებს შორის საწყისი მხეში ძაბვის არსებობა: $\tau_0 \neq 0$. ასეთი სითხეების კლასი საკმაოდ მრავალფეროვანია. მათ შორის გლაციოლოგიურ-ღვარცოფულ ნაკადს რეოლოგიური თვისებებით ყველაზე უფრო უახლოვდება ე.წ. ბლანტპლასტიკური (ან ფსევდოპლასტიკური) სითხე. მას გააჩნია საწყისი მხეში ძაბვა და ახასიათებს ლოკალური (ეფექტიური) სიბლანტის შემცირების ტენდენცია დეფორმაციის სიჩქარის ზრდის შემთხვევაში. ასეთი სითხისათვის დამახასიათებელია $\tau = f(\beta)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულების ხასიათის ცვლილება β პარამეტრის ზრდის დროს, საწყის მონაკვეთზე არაწრფივიდან კარგად გამოხატული წრფივისაკენ, რითაც ის ემსგავსება ნიუტონურ სითხეს. ასეთ შემთხვევაში სამართლიანია შემდეგი განტოლება

$$\tau = \tau_0 + \eta \beta, \quad (4)$$

- (2) სადაც η წარმოადგენს ე.წ. პლასტიკურ სიბლანტეს, რომელიც ზღვარში, როცა დეფორმაციის სიჩქარე იზრდება, გადადის დინამიკურ სიბლანტეში.

ღვარცოფული ნაკადის რეოლოგიური თავისებურება. მყინვარების დნობით გამოწვეული გლაციოლოგიურ-მეწყერული ღვარცოფი განვიხილება, როგორც გაწყლოვანებული ბლანტი მყარი მასა, რომლის მოძრაობა მთიან ხეობაში და გაშლილ ადგილზე ემორჩილება ჰიდროდინამიკის ფუნდამენტალურ კანონებს. საზოგადოდ, პრაქტიკულად ნებისმიერი მეწყერული ნაკადი, გარკვეულ პირობებში მოძრაობის პროცესში, იცვლის რეოლოგიას და იძენს ე.წ. ბინგამის (ფსევდოპლასტიკური ან ბლანტპლასტიკური) სითხის თვისებებს. ამიტომ, მყინვარული წარმოშობის მქონე ღვარცოფის სრულფასოვანი დინამიკური სურათის ჩამოყალიბებისათვის აუცილებელია მისი რეოლოგიური მახასიათებლების ცვლილების ეფექტის გათვალისწინება. კერძოდ, ბლანტპლასტიკურ სითხესთან ანალოგიიდან გამომდინარე, გლაციოლოგიურ-ღვარცოფულ მასას გააჩნია უნარი მოძრაობის პროცესში მოიქცეს ისე, როგორც ჩვეულებრივი სითხე, ან გამოავლინოს ბლანტპლასტიკური სითხის თვისებები. მაგალითად, მას გააჩნია უნარი ზედაპირზე დამუხრუჭების შემთხვევაში (უძრაობის მდგომარეობა) შეინარჩუნოს სივრცული სტრუქტურა იმ მომენტამდე, სანამ გარეგანი ფაქტორის გამო (მაგალითად, ზედაპირის ჰორიზონტისადმი დახრილობის კუთხის გაზრდა), მყარი მეწყერული მასის ამძრავი ძალა საკმარისი გახდება ზედაპირული ხახუნის დამაბულობის (ე.წ. მერის ძაბვა) დასაძლევად.

საზოგადოდ, მთის მდინარეების კალაპოტებში და ველების ფერდებზე მეწყერული მასის გადატანის პროცესის თეორიული მოდელირება მოიცავს ორ ასპექტს: მეწყერის გამომწვევი მიზეზების მორფოლოგიურ ანალიზს და მეწყერის მოძრაობის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრას. ასეთი სქემა უნივერსალურია და საყოველთაოდ გამოიყენება მრავალრიცხოვან პუბლიკაციებში. კერძოდ, ცნობილია ფიზიკურ-გეოგრაფიულ-გეოლოგიური მახასიათებლების საფუძველზე აგებული სხვადასხვა რეგიონში, განსხვავებულ დროსა და ადგილზე მომხდარი მყინვარული ღვარცოფების ფიზიკური და მათემატიკური მოდელები, რომლებსაც ჰიდროდინამიკური მსგავსების ბევრი ელემენტი აერთიანებს. თუმცა, სიმულაციური მოდელირება, კვლევის თანამედროვე ეტაპზე, იძლევა მხოლოდ მეწყერული პროცესების ცალკეულ ფაზებს შორის ემპირიული კავშირების გამოვლენის საშუალებას, რის გამო მისი შესაძლებლობები კატასტროფული მოვლენების პროგნოზის პრობლემის თვალსაზრისით შეზღუდულია. ეს არ ნიშნავს, რომ, მაგალითად, კოლკას მყინვარიდან წამოსული გრანდიოზული გლაცოლოგიური ღვარცოფის მოდელირების შედეგები სასარგებლო არ იქნება შოვის კატასტროფის ჰიდროდინამიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის. რიცხვითი მოდელი [6] გარკვეულწილად უნივერსალური ხასიათისაა, რადგანაც თემატურად ეხება ბლანტი სითხის ნაკადების მთის მდინარეთა კალაპოტებში მოძრაობის ზოგად პრობლემას. ამ მოდელის საშუალებით კიდევ უფრო დაზუსტდა კარმადონისა და გერალდონის ხეობებში ღვარცოფის დინების პარამეტრები და ერთიანი ჰიდროდინამიკური სურათი. ამ შედეგების ზოგიერთი ნაწილის ექსტრაპოლაცია შოვის ხეობაზე ფიზიკურად დასაშვებია განსაკუთრებით აქტიურად მოქმედი ნეგატიური ფაქტორის გამოვლენის მიზნით, რაც სასარგებლო იქნება სტიქიის შედეგების სრულფასოვანი ანალიზის შემთხვევაში. მაგალითად, როგორც სჩანს, შოვის ხეობაში, გერალდონის ხეობის მსგავსად, ღვარცოფის დინამიკას ძირითადად განსაზღვრავდა მდინარის კალაპოტის სტოქასტიკური ცვლილება. რიცხვითი მოდელირების სქემაში გათვალისწინებული იყო სწორედ ასეთი ეფექტის წვლილი, შემდეგი ფაქტორების წვლილთან ერთად:

- წყლის ნაკადებისა და მდინარის კალაპოტში ეროზიული შეჭრების აქტიურობა, დაკავშირებული ადრულ პერიოდებში და ახლო წარსულში მომხდარ წყალმოვარდნებთან;
- მდინარის მყარი ჩამონატანის აქტიურობა, რაც დამოკიდებულია გეოლოგიურ აგებულებაზე, ქანების გეოფიზიკურ თვისებებზე და წყლის ნაკადის აქტიურობაზე;
- ღვარცოფული ნაკადის ტურბულენტური მახასიათებლების ცვალებადობა ხეობის ფერდების ზედაპირული და სიღრმული ეროზიის გამო;
- მდინარის კალაპოტის ხაოიანობის ეფექტი, მისი დახრა ჰორიზონტის მიმართ და დინების ჰიდრაულიკური რადიუსი;
- კლიმატური ფაქტორები.

ზოგადად, ყველა ეს ფაქტორი გარკვეულ გავლენას უნდა ახდენდეს ღვარცოფის დინამიკურ მახასიათებლებზე. ამიტომ, ცალკეული მათგანის ეფექტურობა და მათი მოქმედების ჯამური შედეგი შოვის კატასტროფის პროცესში აუცილებლად უნდა გახდეს მაქსიმალურად ზუსტი შეფასების საგანი. თუ რამდენად თანაბარძალოვანი იყო ცალკეული უარყოფითი ეფექტის მოქმედება, შეიძლება დადგინდეს მხოლოდ შოვის ხეობის პოსტ-ფაქტუმ დეტალური შესწავლის შემდეგ, შოვის ხეობის რეტრომონაცემებთან შედარებითი ანალიზის გზით. სავარაუდოდ, ამას უნდა დაემატოს ახალი მონაცემები, მიღებული როგორც კოსმოსიდან, ასევე მოპოვებული მყინვარ თბილისასზე ექსპედიციის შედეგად.

კოლკას მყინვარზე მომხდარი გიგანტური კატასტროფის ზოგიერთი შედეგი და რიცხვითი მოდელირების ფიზიკური საფუძველი. ს 2002 წლის შემდეგ ჩატარებული ექსპედიციების მასალების გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ანალიზის შემდეგ დაადგინდა,

გლაციოლოგიურ-მეწყერული ნაკადს კოლკას მყინვარიდან კარმადონის ხეობამდე, ე.ი. გავრცელების პირველ მონაკვეთზე ახასიათებდა შემდეგი პარამეტრები: მანძილი 14 კმ, რომელიც ყინულოვანმა მასამ გაიარა 240 წამში; ნაკადის სიგანე 400-500 მ; ტალღების სიმაღლე 100-150; $\alpha \approx 14.5^\circ$; მყინვარს მოწყვეტილი ყინულის მოცულობამ შეადგინა $Q \approx 1.15 \cdot 10^8$ მ³ [7,8]. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით, აგრეთვე ყინულოვანი ღვარცოფის მახასიათებელი გეოფიზიკური პარამეტრების გამოყენებით, კარმადონისა და მდინარე გერალდონის ხეობებში ყინულოვანი ღვარცოფის მოძრაობის რიცხვითი მოდელირებისათვის შერჩეული იყო საწყისი პარამეტრები. კერძოდ, განისაზღვრა მეწყერული ნაკადის სიჩქარის ინტერვალი: /37-80/ მწმ⁻¹ და საშუალო სიჩქარე $\bar{V} = 60$ მწმ⁻¹, აგრეთვე მახასიათებელი დრო ყინულოვანი ღვარცოფის კარმადონის ხეობაში შემოსვლამდე $t \approx 260$ წმ. ამ ხეობაში და მის გაგრძელებაზე, მდინარე გიზელდონის ხეობაში, ჯამში ჩამოვიდა $\approx 4 \cdot 10^6$ მ³ მოცულობისმასა, ხოლო ყინულოვან-ღვარცოფული ტალღის მაქსიმალურმა სიმაღლემ შეადგინა ≈ 30 მ. ორივე ხეობა ერთერთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებლით, ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხის სიდიდით: $\alpha \approx 5^\circ$, აგრეთვე ოროგრაფიული მახასიათებლებით, შოვის ხეობის მსგავსია, რის გამო დასაშვებია, რომ აქ განვითარებული კატასტროფული მოვლენების შედეგებს შორის არსებობს გარკვეული თვისობრივ-რაოდენობრივი ანალოგია.

მეწყერულ მასას მისი წარმოქმნის მომენტში გააჩნია ენერგიის უზარმაზარი მარაგი, რომელიც ნაწილობრივ იხარჯება ხეობაში ან ზეგანზე მოძრაობის დროს. თუ ზედაპირის დაქანება საკმაოდ დიდია, ღვარცოფის სიჩქარე მატულობს და მოძრავი უწყვეტი ტანის კინეტიკური ენერგია იზრდება. ამ დროს, განვითარებული აქტიური ტურბულენტობის გამო, მყინვარული წყლის, ყინულის, ქვის ლოდებისა და მყარი ქანების უფრო წვრილი ფრაქციების ნაზავი შეიძლება განხილოთ, როგორც პრაქტიკულად ერთგვაროვანი მასა. მდინარე გერალდონის ხეობა, რომელიც კარმადონის ხეობიდან გამოსვლის შემდეგ პრაქტიკულად მთლიანად დაფარა ყინულოვან-კლდოვანმა მასამ, ტოპოლოგიურად შოვის ხეობის მსგავსია. აქაც კანიონის სიგანე რამდენიმე ათულჯერ ნაკლებია მის სიგრძეზე. ეს პირობა ღვარცოფული მასის მოძრაობის მათემატიკური მოდელირების დროს დასაშვებად ხდის ერთგანზომილებიანი ჰიდროდინამიკური ნაკადის მიახლოებას, რომელსაც შეესაბამება ნავიე-სტოქსის განტოლებათა შემდეგი სისტემა მოძრავი უწყვეტი ტანის იმპულსისა და სიმკვრივისათვის [9]

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + F, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + S + G \quad (6)$$

სადაც $F = w g \rho \sin \alpha$, x, t — სივრცული და დროითი კოორდინატებია, $0 \leq x \leq L, t \geq 0$; L — მეწყერული ღვარცოფის მახასიათებელი სიგრძე, $u = u(x, t)$ — სიჩქარე; $\rho = \rho(x, t)$ — მყარი ნაკადის პირობითი სიმკვრივე, ანუ, ყინულოვანი ღვარცოფის შემთხვევაში, ერთიანი ხვედრითი მასა, წყლის, ყინულისა და მთის ქანების გამოყოფის გარეშე (მეორე განმარტებით: ყინულოვან-წყლიან-ქვიანი სვეტის მასის გრადიენტი ფართის ერთეულზე-ღვარცოფის წყარო); $\mu = \mu(x, t)$ — ნაკადის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი; F — მასური ძალა; w — მასური ძალის მოქმედების მაკორექტირებელი კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე ზოგადად განისაზღვრება ემპირიული კავშირების საფუძველზე; G — სიმძიმის ძალის აჩქარება; $\alpha = \alpha(x, t)$ — ნაკადის მოძრაობის ზედაპირის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე;

$S = S(x, t)$, $G = G(x, t)$ — დამატებითი წყაროები და განადენები ღვარცოფული ნაკადის დინების ტრასაზე; D - პირობითი დიფუზიის ცვლადი კოეფიციენტი. პარამეტრები u და ρ ერთდროულად მონაწილეობენ განტოლებებში (5) და (6), ანუ ისინი ურთიერთდამოკიდებულები არიან, რაც გათვალისწინებული იყო რიცხვითი მოდელირების პროცესში. ამიტომ გამოყენებული იყო უკვე აპრობირებული მათემატიკური მიდგომა, სამართლიანი მთიან ფერდებზე ჩამონადენი ნაკადების მოძრაობასთან დაკავშირებული ეროზიული პროცესების ანალიზის დროს [10]. როგორც ზოგადად არის მიღებული, მოცემულ შემთხვევაშიც რიცხვითი მოდელირების ამოცანა მდგომარეობდა სიჩქარისა და სიმკვრივის ისეთი ველების განსაზღვრაში, რომელებიც აკმაყოფილებდნენ პირობას

$$|A_p - A_j| / A_p \leq \varepsilon \quad (7)$$

სადაც A_p , A_j — საძიებელი ცვლადი პარამეტრების გამოთვლილი და დამზერილი მნიშვნელობებია, ε — წინასწარ მოცემული ცთომილება. შესაბამისი სასაზღვრო პირობების დაცვით (5) და (6) განტოლებების რიცხვითი ამონახსნების მოსაძებნად გამოყენებული იყო სასრულო სხვაობების მეთოდი, უპირობოდ მდგრადი არაცხადი სქემით, რომლის მგრძობელობა შემავალი პარამეტრების მიმართ შემოწმდა სტანდარტული მეთოდით [6].

საზოგადოდ, ჰიდროდინამიკური მოძრაობის რიცხვითი მოდელირების სქემებში, მათი შესაძლებლობების წინასწარი შეფასებიდან გამომდინარე, ჩვეულებრივ შედის პარამეტრების შეზღუდული რაოდენობა. ამ თვალსაზრისით აშკარაა, რომ დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი წარმოადგენს ქვაკუთხედურ პარამეტრს, რომელთანაც დაკავშირებულია ღვარცოფული მასის ძვრადობა, რაც განსაზღვრავს ნაკადის დამამუხრუჭებელი ძალის სიდიდეს. ასევე, ამ ძალის ეფექტურობა დამოკიდებულია კალაპოტისა და მასში მოძრავი ნაკადის ჰიდროდინამიკურ მახასიათებლებზე, კერძოდ მყარი მასის გაწყლოვანების დონეზე. ბუნებრივია, რომ ეს ფაქტორები, რომლებიც მოქმედებდნენ კარმაღონისა და გერალდონის ხეობებში, ატიურად მოქმედებდნენ აგრეთვე შოვის ხეობაშიც. ამიტომ, გერალდონის ხეობის მსგავსად, შოვის ხეობაშიც სამართლიანია ერთგანზომილებიანი მეწყერული ნაკადის მიახლოება. [6]-ის მთავარი შედეგი არის მსხვილმასშტაბოვანი სურათი, რომელიც, ჰიდროდინამიკური მსგავსების ფაქტორის გათვალისწინებით, საკმაოდ კარგ წარმოდგენას იძლევა შოვის კატასტროფის თანმდევ მოვლენებზე. მაგალითად, შოვშიც ადგილი ჰქონდა ღვარცოფულ ტალღებს, რომელთა სიმაღლე ერთგანზომილებიანი მოძრაობის მიახლოებაში შეიძლება უკავშირდებოდეს მნიშვნელოვან მახასიათებელ ზომას, ხეობის სიგანეს. ამისათვის წარმოვიდგინოთ ჰიდროტექნიკური არხი, რომლის კედლები ამუხრუჭებენ ცვლადი რეოლოგიის მქონე ნაკადს. ე.ი. არხის გასწვრივ იცვლება ნაკადის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო ფენის სისქეს არხის კედლებზე. ასეთი სტრუქტურა გავლენას სითხის არხში სითხის ნაკადის სიჩქარის პროფილზე, რომლის ფორმა დამოკიდებულია არხის სიგანეზე. თუ არხი საკმაოდ ვიწროა, ხოლო წნევის გრადიენტი საკმარისი, შესაძლებელია მოხდეს ნაკადის ლოკალური ტურბულიზაცია ისეთი მასშტაბით, რომ მოხდეს საკმაოდ მაღალი ტალღების გენერაცია. თუ ასეთ თვისობრივ სქემას მივიღებთ, ცხადი იქნება, რომ არხში გენერირებული

სკონტანური ტალღების სიმაღლე დამოკიდებულია არხის სიგანეზე. ამრიგად, თუ ხეობასა და არხს შორის ფიზიკურ ანალოგიას დავუშვებთ, ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპიდან გამომდინარე, სხვადასხვა ხეობებში შესაძლო ტალღების სიმაღლეთა ფარდობა ამ ხეობების განივი ზომების ფარდობის თანაზომადია. შოვის ხეობის მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა ($h \approx 50$ მ) მინიმუმ ერთი რიგით ნაკლებია კარმადონის ხეობის მახასიათებელ განივი ზომაზე ($h \approx 500$ მ). შესაბამისად, თუ ტალღის სიმაღლე კარმადონის ხეობაში $h \approx 100$ მეტრს აღწევდა, სავარაუდოა, რომ შოვის ხეობის ვიწრო მონაკვეთში, ანუ კემპინგის ზონამდე, ღვარცოფული ტალღის მახასიათებელი სიმაღლე შესაძლოა ყოფილიყო $h \approx 10$ მეტრი.

გლაციოლოგიური ღვარცოფის რეოლოგია. განტოლება (6) მოცემულია ისეთი ფორმით, რომელიც ითვალისწინებს ღვარცოფის თხევადი კომპონენტის დიფუზიას და მისი კალაპოტის გასწვრივ შენაკადებისა და ჩადინებების არსებობას. მარტივი წარმოდგენით, თხევადი კომპონენტი წყლია, თუმცა უფრო კორექტულია მისი გაიგივება ცვლადი სიმკვრივის მქონე რთულ ხსნართან, რომელშიც შეწონადებულია მცირე ზომის მყარი ნაწილაკები. ასეთი სუსპენზიის ძვრადობა წყალთან შედარებით უფრო დაბალი იქნება. იმ შემთხვევაში, როცა ღვარცოფული მასის ინერცია შემცირდება, მასში გააქტიურდება სუსპენზიის დიფუზიური პროცესი, რომელიც გამოიწვევს მყარი ნატანში გაწყლოვანების დონის ცვლილებას. კერძოდ, ღვარცოფული მასის ხეობის ზედაპირთან კონტაქტის არეში შეიძლება ჩამოყალიბდეს ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო ფენა, რომელიც შეცვლის მყარი მასის ძვრადობის პირობას. ეს ნიშნავს, რომ სათანადო დაქანების შემთხვევაში პრაქტიკულად გაჩერებული ღვარცოფული მასა შეიძლება კვლავ ამოძრავდეს, რასაც ითვალისწინებს რიცხვითი მოდელირების სქემა პირობითი დიფუზიის ცვლადი კოეფიციენტით, გამოყენებული ნაშრომში [6]. სხვა შემთხვევაში, სავარაუდოდ, ცვლადი დიფუზიის კოეფიციენტის გათვალისწინება რიცხვითი მოდელირების სქემაში მნიშვნელოვანი რაოდენობრივი ეფექტის მომცემი არ უნდა იყოს. თუმცა, საზოგადოდ, რიცხვითი სქემების უმრავლესობა საკმაოდ მგმნობიარეა პირობითი დიფუზიის კოეფიციენტის მსგავსი პარამეტრების ჩართვაზე, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მათემატიკური მოდელირების შედეგების ცთომილებაზე [11]. უნდა აღინიშნოს, რომ ღვარცოფული ნაკადის წყლით გაჯერებულობის არაერთგვაროვნება მარტივად შეიძლება ახსნილი იყოს მოძრაობის პროცესში მყარი მეწყერული მასის ფოროვნების მექანიკური ცვლილებითაც. არსებული მონაცემებით იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ასეთ ეფექტს შესაძლებელია ადგილი ჰქონდა შოვის ხეობის ქვედა მონაკვეთში, ე.წ. კოტეჯების ზონაში. აქ მეწყერული მასის მოძრაობის ბოლო ეტაპზე, კინეტიკური ენერჯის დაკარგვისა და გაწყლოვანების დონის შემცირების გამო, დინება ლამინარული ხასიათის იყო. ამიტომ სავარაუდოა რომ, ლამინარულმა მასამ, რომელიც მეტ-ნაკლებად თანაბრად განაწილდა, საგრძნობლად შეცვალა ზედაპირის დახრის კუთხე. კერძოდ, შესაძლებელია, რომ მოხდა α -ს შემცირება საკმაოდ დიდ ფართზე, რაც მომავალში, მოსალოდნელი წყალდიდობების შემთხვევაში გაზრდის ამ არის მასშტაბური დატბორვის რისკს.

ანალოგია რიცხვითი მოდელირების ზოგიერთ შედეგთან. კოლკას მყინვარზე მომხდარი კატასტროფის არე იყოფა ორ ზონად, ყინულოვანი ღვარცოფის მნიშვნელოვნად

განსხვავებული გეოფიზიკური და ჰიდროდინამიკური პარამეტრებით. ზედა ზონა, მცინვარიდან კარმადონის ხეობამდე, სიგრძით $L \approx 14$ კმ, ყინულოვანმა ზვავმა გაიარა 260 წამში. ქვედა ზონა, ანუ მდინარე გერალდონის ხეობა კარმადონის ხეობიდან სოფელ გიზელამდე სიგრძით $L \approx 17$ კმ ყინულოვანმა ღვარცოვმა განვლო 690 წამში. ამ ზონაში ყინულოვანი ღვარცოვის რიცხვითი მოდელირებისათვის მოდელირებისათვის გამოყენებული იყო საწყისი პარამეტრების შემდეგი ნაკრები: $\mu = 8 \cdot 10^2$ პა.წმ, $D = 10^{-5}$ მ² წმ⁻¹, $G = 10^2$ კგმ⁻³ წმ⁻¹, $\alpha = 5^\circ$, $w = 0.011$, საწყისი სიჩქარე $u(0, t) = 20$ მწმ⁻¹. საწყისი 166 წამის განმავლობაში პირობითი სიმკვრივე $\rho(0, t) = 2.05 \cdot 10^5$ კგმ⁻³, ჩვეულებრივი სიმკვრივე $\rho = 1.510^3$ კგმ⁻³ და ტალღა საწყისი სიმაღლით $h \approx 30$ მ. პროცესის ბოლო ეტაპზე ტალღის სიმაღლე შემცირდა $h \approx 3-1/3$ მეტრამდე, ანუ მიიღო სუსტი მეწყრული ტალღის ფორმა. ამ შედეგიდან გამომდინარე, საკმაოდ ცხადია შოვისა და გერალდონის ღვარცოვების ინტენსივობის მსგავსება ამ ხეობების ბოლო მონაკვეთზე. ასევე, რიცხვითი მოდელის თანახმად, გლაციოლოგიური ღვარცოვის ქვედა ზონაში ჩამოვიდა $Q \approx 4 \cdot 10^6$ მ³ მოცულობის ქვა-ტალახის გაწყლოვანებული მასა. რიცხვითი მოდელით მიღებული ეს შედეგი კარგ თანხმობაშია სიდიდესთან $3-5/მ^3$, რომელიც დააფიქსირეს კატასტროფის თანადროულად [7]. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს სიდიდე შოვის ხეობაში ჩამოსული ღვარცოვული მასის მოცულობის: $Q \approx 1.5 \cdot 10^6$ მ³, თანაზომადია. ეს ფაქტი დამატებითი არგუმენტია ორ თვისობრივად მსგავს კატასტროფულ მოვლენას შორის ფიზიკური ანალოგიის დაშვების სამართლიანობის სასარგებლოდ.

მოცემული ნაშრომი გარკვეულწილად მოწმობს, რომ, ინსტრუმენტული და ნატურალური დაკვირვების მასალის ნაკლებობის მიუხედავად, არსებობს შოვის ტრაგედიის გამომწვევი მიზეზის, გლაციოლოგიური ღვარცოვის, ჰიდროდინამიკური სურათის წარმოდგენისა და მისი მახასიათებელი პარამეტრების ირიბად შეფასების შესაძლებლობა არსებული პუბლიკაციების შედეგების ანალიზის საშუალებით. მოსალოდნელია, რომ კავკასიის რეგიონში მდებარე მცინვარებზე კლიმატური ცვლილებების ეფექტის გავლენა თვისობრივად ერთნაირად უნდა აისახოს, რაც ნიშნავს, რომ სხვადასხვა გლაციოლოგიური კატასტროფების მსხვილმასშტაბოვანი სურათები თვისობრივად ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპმა უნდა გააერთიანოს.

დასკვნა

1. ვფიქრობთ, რომ აუცილებელია ექსპედიცია (ექსპედიციები) მცინვარ თბილისაზე.
2. ნაშრომში წარმოდგენილია ჩვენთვის მაქსიმალურად სარწმუნო ინფორმაცია ამჟამად არსებული მონაცემების გათვალისწინებით.

1. Елифанов В.П., Глазовский А.Ф., Осокин Н.И. Физическое моделирование контакта ледника с ложем // Лёд и Снег 2013 № 1 (121) С 43–52.
2. Roux P.-F., Marsan D., Metaxian J.-P., O'Brien G., Moreau L. Microseismic activity within a serac zone in an alpine glacier (Glacier d'Argentiere, Mont Blanc, France) // Journ. of Glaciology. 2008. V. 54. № 184. P. 157–168
3. Лаврентьев И.И., Кутузов С.С., Петраков Д.А., Попов Г.А. Толщина, подледный рельеф и объем льда ледника Джанкуат // Лед и снег, 2014, № 4, с. 26–34
4. Гигинеишвили Г.Н. Ледник Тбилиса. Монография, издательство «Мецниереба», 116 с., 1982 г.
5. C. Hibert, A. Mangeney, G. Grandjean, C. Baillard, D. Rivet, N. M. Shapiro, C. Satriano, A. Maggi, P. Boissier, V. Ferrazzini, and W. Crawford. Automated identification, location, and volume estimation of rockfalls at Piton de la Fournaise volcano. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2013, pp. 1082-1105
6. Буйских А.А. Россипеобразующие потоки и сели как вязкие потоки в речных долинах // Геология и геофизика, 2015, т.56, №12, с.2212-2221.
7. Поповин В.В., Вробышев В.Н., Алейников А.А., Аристов К.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Изменения в зоне Геналдонской гляциальной катастрофы в период 2002-2010 гг. Криосфера земли, 2013, т.17, №1, с.35-46.
8. Поповин В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной осетиини Криосфера Земли, 2003, т.7, №1, с.3-17.
9. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. М., Изд-во Энергия, 1978, 480 с.
10. Ларионов Г.А., Гендугов В.М., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Литвин Л.Ф. Механизмы боковой эрозии в склоновых ручьях. Почвоведение, 2008, №3, с.330-337.
11. Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р., Саммакия Б. Свободно-конвективные течения, тепло и массообмен. Т.1, М., Мир, 1991, 678 с.

29 აგვისტო, 2023 წელი