

შოვის კატასტროფის შესაძლო გამომწვევი მოვლენები

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 მცინვარქვემა წლის რეზერვუარის არსებობას. გვაქვს მოსაზრება, რომ ის ჩანაწერი შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს ჩამონადენი მცინვარქვემა 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 მცინვარქვემა 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 სხვავაში, 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 - ცინულის სისქეა, τ - ძვრადობის დაძაბულობა ცინვარის კალაპოტში, f - ცინვარის განვი კვეთის ფორმის მახასიათებელი კოეფიციენტი, ρ - ცინულის 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 ცინვარის ზედაპირის დახრის კუთხე α . ფორმის კოეფიციენტი f დაკავშირებულია ზედაპირული ხახუნის ეფექტთან ცინვარისა და მისი ჩამტევი მყარი გარემოს კონტაქტის არეში და შეიძლება იცვლებოდეს ინტერვალში /0,5-0,9/. ალპური ცინვარებისათვის, რომელთაც ალბათ მიეკუთვნება თბილისა, ეს კოეფიციენტი $\approx 0,8$. იმისათვის, რომ მოდელი (2) ფორმალურად თანხმობაში იყოს მოძრავი გარემოს იდეალური პლასტიკურობის მიახლოებასთან, ანუ დაკმაყოფილდეს ცინულის ძვრადობის მინიმიზაციის პირობა, აუცილებელია, რომ კუთხე α გასაშუალოვდეს გარკვეულ მანძილზე, რომელიც დაახლოებით ერთი რიგით აღემატება ამ მონაკვეთზე ცინულის სისქეს

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

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

სადაც ΔH - სიმალეთა სხვაობაა ცინვარის წვერსა და მის ფუძეს შორის.

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

ცინვარი 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 ცინვარზე 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.

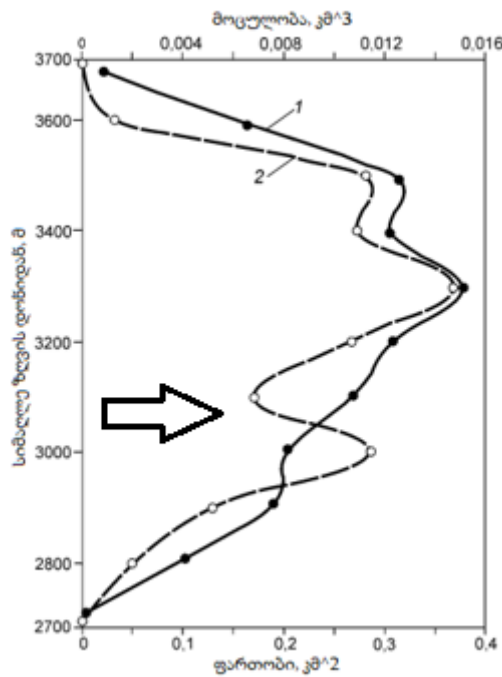
მიგვაჩნია, რომ მცინვარქვეშა წლის რეზერვუარის პრობლემის მსგავსად, რაციონალური იქნება მცინვარების პრობლემატიკასთან დაკავშირებული სხვა აქტუალური პუბლიკაციების ზოგიერთი შედეგი გათვალისწინებული იყოს თბილისას მცინვარზე ექსპედიციის დაგეგმარების პროცესში. პირველ რიგში, ეს ეხება ნაშრომს [3], რომელშიც წარმოდგენილია 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]

დასკვნა

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

ლიტერატურა

1. Епифанов 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