

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შოშრო № IHM-14-19- GTU-2437

„გამტკიცებ“

დირექტორი

ტექ. აკად. დოქტორი

----- თ.ცინცაძე

25 დეკემბერი 2014

კავკასიონის მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების  
შეფასება ღისტანციური დაკვირვების ტექნოლოგიების გამოყენებით

სამეცნიერო ხელმძღვანელი ლარისა შენგელია

მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი

ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი

(დასკვნითი ანგარიში)

ამინდის პროგნოზირების, ბუნებრივი

და ტექნოგენური კატასტროფების

მოდელირების განყოფილების გამგე

ფიზ.-მათ. აკადემიური დოქტორი

მ. ტატიშვილი

თბილისი – 2014

სამეცნიერო თემა შესრულებულია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

**ლარისა შენგელია**

მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი,  
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი.

პასუხისმგებელი შემსრულებელი:

**გიორგი კორძაია**

უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი,  
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი.

შემსრულებელი:

**ნოდარ ბეგალიშვილი**

წყლის რესურსების და ჰიდროლოგიური  
პროგნოზების განყოფილების გამგე,  
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი.

**ვასილ ცომაია**

გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი

**თენგიზ ცინცაძე**

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

სამეცნიერო თემის შემსრულებლები:

თავი 1-4

ლარისა შენგელია  
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი,  
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი.

გიორგი კორძაია  
უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი,  
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი.

თავი 5

ნოდარ ბეგალიშვილი  
წყლის რესურსების და ჰიდროლოგიური  
პროგნოზების განყოფილების გამგე,  
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი.

ვასილ ცომია  
გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი

თენგიზ ცინცაძე  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

## ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი -----	5
1. კვლევის თანამედროვე მდგომარეობა. -----	6
2. დაკავშირებული თანამგზავრული ტექნოლოგიების შესწავლა და პრობლემის შესასწავლად გამოსადეგი თანამგზავრების შერჩევა. -----	10
3. დაკვირვების ტექნოლოგიების გამოყენებით კავკასიონის მცინვარების მახასიათებლების მიღება და დამუშავება. -----	21
4. თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების საფუძველზე კავკასიონის მცინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შეფასება. -----	31
4.1. აღმოსავლეთ საქართველოს ცალკეული მცინვარების მახასიათებლების განსაზღვრა. -----	31
4.2. დასავლეთ საქართველოს ცალკეული მცინვარების მახასიათებლების განსაზღვრა. -----	54
4.3. მიღებული შედეგები. -----	97
5. კლიმატის ცვლილების გავლენა მცინვარული მდინარის ჩამონადენზე და მის მცინვარულ საზრდოობაზე (მდ. ენგური-საგ.ხაიშ-ის კვეთის მაგალითზე)-----	99
5.1. კვლევის მეთოდიკა -----	100
5.2. კვლევის შედეგები -----	102
5.3. დასკვნა -----	115



## შესავალი

ბოლო ათწლეულებში მსოფლიოში დაიკვირვება მცინვარების ინტენსიური დნობის პროცესი, რაც განაპირობებს ლოკალური, რეგიონული და გლობალური მასშტაბის მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ საფრთხეებს. მცინვარებში მომხდარი ცვლილებები რეგიონული კლიმატის ცვლილების კარგი მაჩვენებელია, რადგანაც ისინი განპირობებულია აკუმულაციის (თოვლის დაგროვებისას) და აბლაციის (ყინულის დნობისას) ცვლილებით. მცინვარები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ცალკეული რეგიონების წყლის ბალანსის რეგულირებაში. მცინვარებში მომხდარი ცვლილებები აისახება ბუნებრივ კატასტროფებში

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების ტექნოლოგიები ეფექტური საშუალებაა მცინვარებზე დაკვირვების საწარმოებლად. ის საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ისეთი გლაციოლოგიური მახასიათებლები, რომელთა შესწავლა ადრე სავლელ დაკვირვებებით ძალიან რთული ან შეუძლებელი იყო. მაგალითად, მიწისპირა მეთოდების გამოყენებით ძალიან რთული იყო მცინვარების მდებარეობის ცვლილების გაზომვა, ყოველ შემთხვევაში დიდი მცინვარებისა და მცინვარების დიდი რაოდენობისათვის.

მცინვარების შესასწავლად ექსპედიციების მოწყობა დიდ თანხებთან არის დაკავშირებული, ხოლო სავლელ დაკვირვების შედეგები მხოლოდ მეცნიერთა ვიწრო წრისათვის არის ხელმისაწვდომი. ამისგან განსხვავებით თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემები უფრო ხელმისაწვდომია.

მოსალოდნელი კლიმატური ცვლილებების ფონზე გაზრდილია მცინვარებისადმი ინტერესი, რაც განპირობებულია მცინვარებში აკუმულირებული მტკნარი წყლის მარაგით და კატასტროფული გლაციოლოგიური მოვლენების საშიშროებით. მცინვარები ერთდროულად წარმოადგენენ ატმოსფერული ნალექების აკუმულაციის და მდინარის ჩამონადენის ბუნებრივ წყაროს.

საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე კავკასიონის მცინვარების თანამგზავრული სურათების და მონაცემების მიღება და დამუშავება ინოვაციურია მთელი რეგიონისათვის. ასევე ინოვაციურია სამეცნიერო თემის პროგრამით გათვალისწინებული კვლევების ჩატარება, ანუ საქართველოს სხვადასხვა მცინვარებისათვის მათი მახასიათებელი პარამეტრების (მცინვარის კონტური, ფართობი, სიგრძე, ფირნის ხაზის სიმაღლე, მინიმალური და მაქსიმალური სიმაღლე, ჰიპსომეტრია) განსაზღვრა.

მიღებული პარამეტრების გამოყენება შესაძლებელია მყინვარების ჩამონადენის განსაზღვრისათვის.

1. **პრობლემის კვლევის თანამედროვე მდგომარეობა.**

კავკასიონის მყინვარების კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ გასული საუკუნის განმავლობაში კავკასიონის მყინვარების პარამეტრები ძირითადად სტაბილურად მცირდებოდა. ეს პროცესი ამჟამადაც გრძელდება და დიდი ალბათობით მოსალოდნელია, რომ გაგრძელდება მომავალშიც. იზრდება მყინვარების რაოდენობა, რაც დაკავშირებულია დნობის პროცესში დიდი მყინვარების მცირე მყინვარებად დანაწევრებასთან.

გასული საუკუნის განმავლობაში კავკასიონის მყინვარების ფართობი შემცირდა 36%-ით, ხოლო მოცულობა 48%-ით. მყინვარები საშუალოდ 600 მ-ით დამოკლდა, მთლიანად გადნა 535 მყინვარი, თუმცა მყინვარების რაოდენობა გაიზარდა. გამყინვარების ქვედა საზღვარი ზემოთ მიიწევს. ყინულის სისქე ქვედა ნაწილში შემცირდა საშუალოდ 50–150 მ-ით, ხოლო ზედა ნაწილში კი – 20–30 მ-ით [1].

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში (1970 – 2000 წწ.) ნალექების 10–15%-ითა და ტემპერატურის 1°C-ით გაზრდის ფონზე კავკასიონის მყინვარების ფართობი შემცირდა 12%-ით. ყინულის მოცულობა 15%-ით, ხოლო მყინვარების რაოდენობა გაიზარდა 2,4%-ით. [1].

მყინვარების უკანდახვევის ფონზე ზოგიერთი მყინვარის სიგრძემ 50-100 მ-ით მოიმატა, მაგრამ ასეთი მყინვარების რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია [1]. 1-ლ სურათზე მოცემულია კავკასიონის მყინვარების სწრაფად დნობის დამადასტურებელი სურათები ლაბოდას მყინვარის მაგალითად [2].



ა

ბ

სურ. 1.1. ლაბოდას მყინვარის (საქართველო) მდგომარეობა 1972 წელს (ა) და 2002 წელს (ბ).

2010 წლის ზაფხულის მონაცემებით გერგეთის მყინვარის ენის სიგრძემ 8,5 კმ შეადგინა, რაც 2004 წლის მაჩვენებელთან შედარებით 123 მ-ით ნაკლებია და წელიწადში საშუალოდ 20 მ-ით შემცირებას ნიშნავს [3]. კავკასიონის უდიდესი მყინვარის, ტვიბერის ფართობი 1810 წელს 47,5 კმ<sup>2</sup> იყო, 1889 წელს 47,12 კმ<sup>2</sup>, 1967 წელს კი მისმა ფართობმა 41,6 კმ<sup>2</sup> შეადგინა, ანუ 1887 წელს მყინვარის ფართობი 1%-ით შემცირდა 1810 წელთან შედარებით, 1967 წელს კი 1887 წელთან შედარებით შემცირდა 12%-ით, 2011 წელს 1967 წელთან შედარებით შემცირდა 35%-ით და 30,9 კმ<sup>2</sup> შეადგინა.

ანალოგიური სურათია მყინვარ ჭალათის შემთხვევაშიც. 1965 წელს მისი ფართობი იყო 14,4 კმ<sup>2</sup>, ხოლო 2011 წელს – 11,8 კმ<sup>2</sup>, ანუ მყინვარის ფართობი ბოლო 46 წლის განმავლობაში შემცირდა 16%-ით [4].

თანამედროვე კლიმატური მოდელებით გაანგარიშებული სცენარების მიხედვით ამ საუკუნის დასაწყისთან შედარებით 2050 წლისათვის კავკასიონის მყინვარების ფართობი და მოცულობა შემცირდება მესამედით, ხოლო მყინვარების სიგრძე – 150 მ-ით. მყინვარების რაოდენობა გაიზრდება 4%-ით ძირითადად მათი დანაწევრების გამო. მყინვარები გაქრება ძირითადად კავკასიონის დასავლეთ და აღმოსავლეთ სასაზღვრო რაიონებში [1].

გლობალური დათბობის პირობებში მყინვარების უკანდახევის გაძლიერებამ და დეგრადაციამ, ასევე მასთან დაკავშირებულმა მყინვარული ჩამონადენის ცვლილებამ დღის წესრიგში დააყენა ამ პროცესების დეტალური შესწავლის აუცილებლობა. მყინვარული აუზების მქონე რეგიონების ეკონომიკის ძირითადი სექტორების (სოფლის მეურნეობა, ენერგეტიკა, ტრანსპორტი, ტურიზმი, წყალმომარაგება) განვითარებისათვის ძალიან დიდ მნიშვნელობას იძენს არსებული წყლის რესურსების დაზუსტება, მყინვარული წყლის მარაგის შეფასება, მათი მოსალოდნელი ცვლილების დადგენა, მყინვარული ჩამონადენის შესწავლა გლობალური დათბობის გავლენით.

მყინვარების კვლევას დიდი მნიშვნელობა აქვს საქართველოსათვის, რადგან მყინვარები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ცალკეული რეგიონების წყლის მარაგის ფორმირებაში და წყლის ბალანსის რეგულირებაში. მათთან არის დაკავშირებული რიგი გლაციო-ჰიდროლოგიური ხასიათის კატასტროფების გამოვლენა: მყინვარების

ჩამოქცევა, მდინარეთა კალაპოტის ჩახერგვა და ბუნებრივი კაშხლების წარმოქმნა, მათი გარღვევა და გამანადგურებელი წყალმოვარდნის გავლა, და სხვ.

გასულ საუკუნეში მყინვარებზე ძირითადად მიწისპირა (თუ საველე) დაკვირვებები ხორციელდებოდა, რის შედეგადაც სხვადასხვა მყინვარისათვის შეიქმნა მათი მახასიათებლების სხვადასხვა ხანგრძლიობის დროითი რიგები.

კავკასიონის მყინვარების კარტოგრაფიული ინფორმაცია მეტად მწირია და ნაკლებად დეტალიზებული. ტოპოგრაფიული რუკები ახლდებოდა უკეთეს შემთხვევაში 10 წელიწადში ერთხელ. დეტალური რუკები მასშტაბით 1:100 000 და მეტი დღემდე „დახურულია“ საიდუმლო გრიფით, ხოლო მსხვილმასშტაბური რუკები, რომლებიც ადაპტირებულნი არიან სამხედრო რუკებიდან პრინციპულად მოძველდნენ. შექმნილ ვითარებაში კავკასიონის მყინვარების კარტოგრაფიული ინფორმაციის მისაღებად მეტად ეფექტური, აქტუალური და ხელმისაწვდომი აღმოჩნდა თანამგზავრული სურათები.

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირება მყინვარების შესწავლისა და მათი ცვლილების კვლევის უნივერსალურ, სისტემურ და კომპლექსურ საშუალებას იძლევა [5-8]. ეს განპირობებულია იმ ფაქტით, რომ მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრი საშუალებას იძლევა ოპერატიულად დაიფაროს საინტერესო რაიონები და დინამიკაში იყოს შესწავლილი ყველა აქტუალური და საინტერესო საკითხი. ყოველივე აღნიშნული განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კავკასიონის, კერძოდ, საქართველოს მყინვარებისათვის, რადგან საქართველოს სახელმწიფოს ამჟამად გააჩნია მწირი რესურსები ძვირადღირებული ექსპედიციების გამართვისათვის. ამდენად განსაკუთრებით გაზრდილია ინტერესი თანამედროვე ტექნოლოგიებით მყინვარების ცვლილების შესწავლის მიმართ.

ამჟამად დედამიწის ორბიტას რეგულარულად „პატრულირებენ“ ე.წ. დედამიწის დისტანციური ზონდირების სხვადასხვა დანიშნულების და ტიპის თანამგზავრები. ისინი აღჭურვილნი არიან სპეციალური სენსორული სისტემებით და თითოეული მათგანი გარკვეული ტალღის სიგრძის გამოსხივებას აფიქსირებს. თანამგზავრის ბორტზევე ხდება მონაცემთა შეკრება და გადაყვანა რიცხვით მახასიათებლებში. შემდგომ მიღებული ციფრული მახასიათებლები იგზავნება მიმღებ სადგურებზე მოთავსებულ პერსონალურ კომპიუტერებზე და ისინი ხელმისაწვდომი ხდება მომხმარებლისათვის. სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით მომხმარებელი ამუშავებს მიღებულ ინფორმაციას და იყენებს შესაბამისი მიზნების განსახორციელებლად. ამრიგად, თანამგზავრული ინფორმაცია მყინვართა გარკვეული მახასიათებლების რიცხოვნობად გაანგარიშების საშუალებას იძლევა.

მყინვარის აბლაციის პერიოდში მდნარი წყლების ჩამონადენი დამოკიდებულია მის ფართობზე და მოცულობაზე, ფირნის ხაზის განლაგებაზე, ენის ფართობის შეფარდებაზე საერთო ფართობთან, რაც პირდაპირ კავშირშია მყინვარის მასის ბალანსთან. აღნიშნული მახასიათებლები შესაძლებელია დადგინდეს თანამგზავრული მონაცემებით.

დისტანციური ზონდირების, საშუალებით შეიძლება დავადგინოთ [9,10]: ყინულისა და თოვლის საზღვარი, მყინვარის ენის გადაადგილების სიჩქარე, მყინვარების რელიეფის მოდელი და არეალის კონტურები.ამგვარად, დისტანციური ზონდირების მონაცემებით შესაძლებელია შეივსოს მიწისპირა დაკვირვებები ან მიწისპირა დაკვირვებების არარსებობის შემთხვევაში, უშუალოდ იყოს გამოყენებული.

წინამდებარე კვლევის მიზანია საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე მყინვარების შესწავლა თანამგზავრული დისტანციური ინფორმაციის გამოყენებით. საქართველოში მყინვარების კვლევა თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენებით სისტემატიურ ხასიათს არ ატარებს. დისტანციური ზონდირების მეთოდების გამოყენება განსაკუთრებით გამართლებულია სავსე გლაციოლოგიური გაზომვების შეზღუდული შესაძლებლობების შემთხვევაში.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენებით მყინვარების კვლევა მნიშვნელოვანია საქართველოს ეკონომიკისა და სოციალური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

### **ლიტერატურა**

- [1] Chris R. Stokes, Stephen D. Gurney, Maria Shagedanova, Victor Popovnin. Late-20th-century changes in glacier extent in the Caucasus Mountains, Russia/Georgia: Journal of Glaciology, Vol. 52 No. 176, 2006.
- [2] Magnus Sylvén, Rasmus Reinvang, Žanete Andersone-Lilley. Climate Change in Southern Caucasus: Impacts on nature, people and society, WWF Norway, WWF Caucasus Programme, 2008.
- [3] Von Ina Keggenhoff, Tatjana Keller, Mariam Elizbarashvili, Ramin Gobejishvili und Lorenz King. Naturkatastrophen durch Klimawandel im Kaukasus? Hochwasser und Hanginstabilitäten in Georgien immer häufiger. Spiegel der Forschung, N2, 2011. <http://www.kaukasische-post.com/?p=636>.
- [4] Climate changes: severe volume loss for the south Cuucasian's glaciers, May 23, 2012 by Manfrotto.

- [5] Arendt, A.A.; Echelmeyer, K.A.; Harrison, W.D.; Lingle, C.S.; Valentine, V.B. Rapid wastage of Alaska glaciers and their contribution to rising sea level. *Science* 2002, 297(5580), 382-386.
- [6] A. Kääb, A.; Huggel, C.; Fischer, L. Remote Sensing Technologies for Monitoring Climate Change Impacts on Glacier- and Permafrost-Related Hazards, 2006 ECI Conference on Geohazards, Lillehammer, Norway.
- [7] Rignot, E.; Rivera, A.; Casassa, G. Contribution of the Patagonia Icefields of South America to sea level rise. *Science* 2003, 302(5644), 434-437.
- [8] Racoviteanu, A.; Arnaud, Y.; Williams, M. Decadal changes in glacier parameters in Cordillera Blanca, Peru derived from remote sensing. *J Glaciol* 2008, Vol. 54, No. 186, 499-510.
- [9] Petri Pellikka, Gareth Rees W. Remote Sensing of Glaciers. Taylor & Francis Group, London, UK, 2010.
- [10] GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space, [www.glims.org](http://www.glims.org).

**2. დაკავშირებული თანამგზავრული ტექნოლოგიების შესწავლა და პრობლემის შესასწავლად გამოსადეგი თანამგზავრების შერჩევა. მცინვარებთან**

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის სამოქმედო გეგმის თანახმად, მათი წევრი ეროვნული ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურების ოპერატიულ საქმიანობაში და სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებში, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან მიღებული ინფორმაციის გამოყენებას სულ უფრო მზარდი მნიშვნელობა ენიჭება. ეს განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით:

- თანამგზავრები საშუალებას იძლევიან მივიღოთ ინფორმაცია ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვებებით გაუშუქებული რეგიონებიდან (ოკეანეები და ხმელეთის ძნელად მისადგომი ადგილები);
- სწრაფი განვითარების გამო თვით დედამიწაზე სულ უფრო ნაკლები ადგილი რჩება მონიტორინგის საწარმოებლად განსაკუთრებით ყველაზე რეპრეზენტატულ ადგილებში;
- თანამგზავრული ინფორმაცია განსაკუთრებით მიზანშეწონილია სტიქიური მოვლენების და კატასტროფების სწრაფი იდენტიფიცირებისთვის, რაც უზრუნველყოფს პოტენციური საშიშროების ადრეულ შეტყობინებას და შერბილების ღონისძიებების დროულ გატარებას.

საქართველოს მთავრობამ, მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციამ (WMO), გაეროს განვითარების პროგრამამ (UNDP), მსოფლიო ბანკმა (WB) და ევროკავშირის მეტეოროლოგიური თანამგზავრების ორგანიზაციამ (European

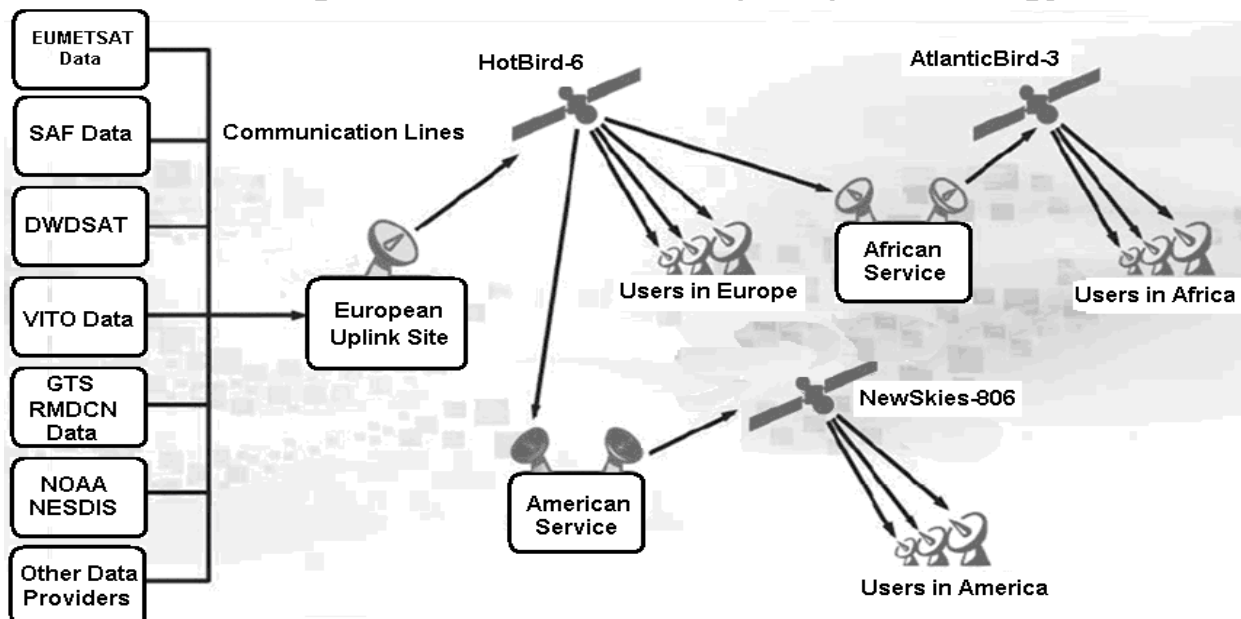
Meteorological Satellites Organization {laTinuri akronimi – EUMETSAT}) [\[http://www.eumetsat.inth/\]](http://www.eumetsat.inth/). მათი დახმარებით საქართველოს ძირითადად აქვს თანამედროვე ინფრასტრუქტურა, სახელდობრ:

- ა. თანამედროვე ტელესაკომუნიკაციო სისტემა პროგნოზის პროდუქტების ვიზუალიზაციის საშუალებების ჩათვლით;
- ბ. დიდი წარმადობის სამუშაო ადგილები;
- გ. თანამგზავრული ინფორმაციის მიმღები სისტემა.

ამ უკანასკნელის შესახებ ოდნავ დაწვრილებით. თანამგზავრული ინფორმაციის მიმღები სისტემა საქართველოში დაინერგა 2011 წლის დასაწყისში. ამისათვის ფასდაუდებელი ძალისხმევა გასწია EUMETSAT-მა. აღნიშნული სისტემა იყენებს EUMETSAT-ის მრავალფუნქციონალურ სატელეკომუნიკაციო შესაძლებლობებს გარემოს შესახებ მონაცემების გავრცელებისათვის, რომელიც დაფუძნებულია თანამედროვე სტანდარტის ციფრულ ვიდეო-რადიო ტექნოლოგიებზე (სურ. 2.1).

## EUMETCast

**EUMETSAT's Broadcast System for Environmental Data, is a multi-service dissemination system based on standard Digital Video Broadcast (DVB) technology.**



[http://www.geonetcastamericas.noaa.gov/pubs/impement\\_plan.pdf](http://www.geonetcastamericas.noaa.gov/pubs/impement_plan.pdf)

სურ. 2.1. EUMETSAT-ის გარემოს შესახებ მონაცემების გავრცელების მრავალფუნქციონალური სატელეკომუნიკაციო სისტემა.

საქართველოში ამ სისტემის გამოყენება სხვადასხვა სახის და ფორმატის ინფორმაციის მიღების შესაძლებლობას იძლევა. მიღებული ინფორმაციის ფართო სპექტრიდან მხოლოდ თანამგზავრული სურათების გამოყენება მნიშვნელოვნად აღარიბებს სისტემის გამოყენების არეალს. საჭიროა ამ ინფორმაციასთან ერთად იმ რიცხვითი მონაცემების დამუშავება და სხვადასხვა ტექნოლოგიურ ხაზებში ჩართვა, რისი დიდი მოთხოვნილებაა საქართველოში.

ამდენად წინამდებარე კვლევა წინასწარ მოამზადებს ბაზის თანამგზავრული მიმღები სისტემის ფართო შესაძლებლობების ეფექტურად გამოყენებისათვის.

დედამიწაზე დაკვირვების თანამგზავრული სისტემა ორი სახისაა: პოლარულ-ორბიტული და გეოსტაციონარული.

პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრები უზრუნველყოფენ რეგულარული და გლობალური მასშტაბის ინფორმაციის მიღებას. პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრები გადმოსცემენ ინფორმაციას ორბიტაზე მოძრაობის პროცესში, ხილვადობის არედან. გარკვეულ სიძნელეებს ქმნის ამ ინფორმაციის მეტეოროლოგიური სადგურებიდან მიღებულ მონაცემებთან ასინქრონულობა, თუმცა ეს პრობლემა დაძლეულია სპეციალური ოთხგანზომილებიანი ანალიზის განვითარებით. პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრები, როგორც წესი, დაბალ, რამდენიმე ასეული კილომეტრი სიმაღლის ორბიტებზე მოძრაობენ და სხვადასხვა პერიოდულობით (დღეში რამდენიმე გაზომვიდან, რამდენიმე დღეში ერთ გაზომვამდე) იძლევიან მონაცემებს.

მათგან განსხვავებით, გეოსტაციონარული თანამგზავრებიდან ინფორმაციის მიღება ნებისმიერ დროსაა შესაძლებელი. გეოსტაციონარული თანამგზავრები მოძრაობენ ეკვატორულ ორბიტაზე 36000 კმ სიმაღლეზე, დედამიწის ბრუნვის სიჩქარით, ანუ პრაქტიკულად “ჩამოკიდებულნი” არიან მოცემულ წერტილზე და უზრუნველყოფენ დაკვირვებებს ჩრდ. განედის 70°-დან სამხრ. განედის 70°-მდე. აღსანიშნავია, რომ გეოსტაციონარული თანამგზავრების ინფორმაციასთან შედარებით პოლარულ-ორბიტული თანამგზავრების მონაცემები გაცილებით მაღალი სივრცული გარჩევადობით ხასიათდებიან.

მიუხედავად იმისა, რომ არც ერთი არსებული თანამგზავრი და მათზე განლაგებული რადიომეტრი (სენსორი) უშუალოდ მონიტორინგის საწარმოებლად არ შექმნილა, ელექტრომაგნიტური სკალის სხვადასხვა, ხილულ (VIS), ახლო ინფრაწითელ (NIR), ინფრაწითელ (IR), მოკლეტალღოვან ინფრაწითელ (SWIR), თერმულ ინფრაწითელ (TIR) და მიკროტალღოვან (SAR) დიაპაზონებში მიღებული მონაცემები აღმოჩნდა მეტად მნიშვნელოვანი და გამოყენების მხრივ ფართო შესაძლებლობების.



თითოეულ სენსორს დედამიწის ზედაპირის, მყინვარების, ოკეანისა და სანაპირო წყლების შესახებ განსხვავებული ხასიათის უნიკალური ინფორმაციის მოპოვება შეუძლია. გრძელტალღოვანი, ინფრაწითელი დიაპაზონის მონაცემები ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის, ღრუბლების დეტექტირებისათვის და ხანძრის კერების დასადგენად გამოიყენება; შედარებით მოკლეტალღოვანი დიაპაზონის ინფრაწითელი სპექტრის მონაცემები წყალდიდობის შესასწავლად არის გამოსადეგი. მიკროტალღური სენსორებით კი ქვეყნილი ზედაპირის (ნიადაგი, თოვლი) ტენიანობას აკვირდებიან.

საშუალო და მაღალი გარჩევადობის სენსორების სხვადასხვა კომბინაციით შესაძლებელია დედამიწის ზედაპირის ვრცელ უბნებზე დაკვირვება, ამა თუ იმ საინტერესო ობიექტის გამოყოფა და მისი უფრო დეტალურად შესწავლა.

დედამიწაზე დაკვირვების დისტანციური ზონდირების სხვადასხვა ქვეყნის თანამგზავრული სისტემების და სენსორების მახასიათებლები ქვემოთმოყვანილ ცხრილ.1-შია წარმოდგენილი.

ცხრილი 2. 1

დისტანციური ზონდირების ზოგიერთი თანამგზავრისა და მათი სენსორების მახასიათებლები\*

თანამგზავრი	ქვეყანა	პერიოდულობა	სენსორი	ტალღის სიხშირე/ ტალღის სიგრძე (მკმ)	გარჩევადობა	ზოლის სიგანე (კმ)
NOAA	აშშ ევროპა	12 სთ	AMSU-A	23.8 (GHz), 31.4, 50.3, 52.8, 53.33, 54.4, 54.94, 55.5, 57.29 (6 არხი) 89.0	40 კმ	2240
			AMSU-B	89.0, 166.0, 183.31 (3 არხი)	15 კმ	2240
			AVHRR/3	1) 0.58-0.68, 2) 0.72-1.00, 3A) 1.58-1.64 (დღე), 3B) 3.55-3.93(ღამე), 4) 10.3-11.3, 5) 11.5-12.5	0.5 კმ (VIS)	2940
			HIRS-3	(1) 14.95, (2) 14.71, (3) 14.49, 4) 14.22 (5) 13.97, (6) 13.64, (7) 13.35, 8) 11.11 (9) 9.71, (10) 12.47,	1.09 კმ (IR)	2253
					17.4 კმ	2240

			20 ინფრაწითელი არხი	(11) 7.33, (12) 6.52 (13) 4.57, (14) 4.52, (15) 4.47, (16) 4.45  (17) 4.13, (18) 4.00, (19) 3.76, (20) 0.69		
TERRA	აშშ	16 დღე	MODIS  ASTER	VNIR, SWIR, TIR 36 სხვადსხვა არხი  VNIR, SWIR, TIR 14 სხვადსხვა არხი	250 მ, 500 მ, 1000 მ  15 მ, 30 მ, 90 მ	60  2330
LANDSAT	აშშ	16 დღე	TM/ETM  MSS  MTB PAN	0.45-0.52, 0.52-0.60, 0.63-0.69  0.76-0.90, 1.55-1.75, 2.08-2.35  0.5-0.6, 0.6-0.7, 0.7- 0.8, 0.8-1.1, 10.4- 12.6  10.4-12.5  0.5-0.9	30 მ  79 მ  60 მ  15 მ	185  185
SPOT	საფრ.	26 დღე	HRVIR(1)  HRVIR(2) VMI	0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89, 1.58-1.75  0.61-0.68  0.43-0.47, 0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79- 0.89, 1.58-1.75	20 მ  10 მ  1000 მ	60  60  2000
RADARSAT	კანადა	24 დღე	SAR	5.3 GHz (C-Band)	სტანდარტული  28 x 25 მ  მაღალი 10x9 მ	100  45
ERS	ევროპა	35 დღე	AMI – (Active Microwave Instrumentation) – აქტიური მიკროტალღოვანი ხელსაწყოები			
			SAR Image	5.3 GHz (C-Band)	<30 მ	80-100
			SAR Wave	5.3 GHz (C-Band)	<30 მ	5
			Scatterometer	5.3 GHz (C-Band)	50 კმ	500
			Radar Altimeter	13.5 GHz (KU-Band)	10 სმ სიზუსტით	
ATSR-M (Along Track Scanning Radiometer with Microwave Sounder) – სკანირებადი რადიომეტრი მიკროტალღოვანი ზონდით						

			Infrared Radiometer	1.6, 3.7, 11, 12	1 კმ x 1 კმ	500
			Microwave sounder	23.5 (GHz)	22 კმ	500
			Gome	(1) 0.24-0.295 (512 bands), (2) 0.29-0.405 (1024 bands)	40 x 2 კმ	960
			AATSR	(3) 0.40-0.605 (1024 bands), (4) 0.59-0.79 (512 bands) 0.65, 0.85, 1.27, 1.6, 3.7, 11.0, 12.0	40 x 320 კმ	500
MOS	იაპონია	17 დღე	MESSR	0.51-0.59, 0.61-0.69, 0.72-0.80, 0.80-1.1	50 მ	100
			VTIR (1)	0.5-0.7, 6.0-7.0	0.9 კმ	1500
			VTIR (2)	10.5-11.5, 11.5-12.5	2.7 კმ	1500
			MSR (1)	23.8GHz	32 კმ	317
			MSR (2)	31.1GHz	23 კმ	317
JERS	იაპონია	44 დღე	SAR	1275 MHz (L-Band)	18 მ x 18 მ	75
			OPS	1) 0.52-0.60	18 მ x 24 მ	
			VNIR	(2) 0.63-0.69, (3) 0.76-0.86 (4) 1.60-1.71 (5) 2.01-2.12		
			SWIR	6) 2.13-2.25 , (7) 2.27-2.40		
IRS	ინდოეთი	24 დღე	LISS-III	0.62-0.68, 0.77-0.86	23მ	142
		5 დღე	VNIR	1.55-1.70		
		5 დღე	SWIR	0.50-0.75, 0.62-0.68	70.5	148
		5 დღე	PAN	0.77-0.86	5.8 მ	70
IKONOS	აშშ	2.9 დღე	WiFS	0.45 - 0.90	188 მ	774
		1.5 დღე	PAN	0.45 - 0.52, 0.52 - 0.60	1 მ	11
			VNIR	0.63 - 0.69, 0.76 - 0.90	4 მ	
				0.45 - 0.90		

QuickBird	აშშ	3.5 დღე	PAN MULTISPECTRAL	0.45 – 0.52, 0.52 – 0.60, 0.63 – 0.69, 0.76 – 0.90	61 სმ 2.44 მ	16.5
-----------	-----	---------	----------------------	--	-----------------	------

\*

AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) – გაუმჯობესებული მასკანირებელი რადიომეტრი მიკროტალღოვანი ზონდით.

Scanning Radiometer – მასკანირებელი რადიომეტრი.

AMSU-(Advanced Microwave Sounding Unit-A) – გაუმჯობესებული მიკროტალღოვანი ზონდირების მოდული A.

AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B) – გაუმჯობესებული მიკროტალღოვანი ზონდირების მოდული B.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) – გაუმჯობესებული კოსმოსური თერმული ემისიისა და არეკვლის რადიომეტრი.

AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer) – გაუმჯობესებული ძალიან მაღალი გარჩევადობის რადიომეტრი.

ETM (Enhanced thematic Mapper

– გაუმჯობესებული თემატური რუკები (რადიომეტრი რადიოსითბური ქვეფენილი ზედაპირის გამოსახულებების მისაღებად).

GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) – ოზონის გლობალური მონიტორინგის ექსპერიმენტი.

HIRS-3 (High Resolution Infrared Radiation Sounder) - გაუმჯობესებული მაღალი გარჩევადობის ინფრაწითელი რადიაციის ზონდი.

HRVIR (High Resolution Visible Infrared Radiometer) – მაღალი გარჩევადობის ხილული ინფრაწითელი რადიომეტრი.

IR (Infrared) – ინფრაწითელი.

MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) – მრავალსპექტრული ელექტრონული მასკანირებელი რადიომეტრი.

MSR (Microwave Scanning Radiometer) – მასკანირებელი მიკროტალღოვანი რადიომეტრი.

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)

– ზომიერი გარჩევადობის სპექტრორადიომეტრი.

MTB (Multispectral Thermal Band) – მრავალსპექტრული თერმული დიაპაზონი.

OPS (Optical Sensors) – ოპტიკური სენსორები.

PAN (Panhromatic) – პანქრომატული.

SAR (Synthetic Aperature Radar) – სინთეტური აპერტურული რადარი.

VIS (Visible) – ხილული.

VMI (Vegetation Monitoring Instrument) – ვეგეტაციის მონიტორინგის ინსტრუმენტი.

VTIR (Visible And Thermal-Infrared Radiometer) – ხილული და

თერმულ-ინფრაწითელი რადიომეტრი.

Band– სისწირეთა ზოლი.

დისტანციური ზონდირების მეთოდების მუდმივი განვითარება ხელს უწყობს ახალი ტექნოლოგიების შექმნას, რის საფუძველზეც იქმნება მონაცემთა ბაზები, ტარდება ვითარების მონიტორინგი, ამა თუ იმ რთული ბუნებრივი მოვლენის მოდელირება და ამ მოდელების საფუძველზე მოვლენების განვითარების წინასწარმეტყველება.

ცხრილ 2.1-ში მოყვანილი არაა MetOp-A, ევროპის პირველი პოლარულ-ორბიტული მეტეოროლოგიური თანამგზავრი. ევროპის კოსმოსური სააგენტოს (ESA) და EUMETSAT-ის მიერ მისი გაშვება განპირობებული იყო იმ გარემოებით რომ 1990-იან წლებში NOAA-მ, ამჟამად მოქმედი NOAA-17, 18 და 19 თანამგზავრების გაშვების

შემდეგ, პროექტის შეწყვეტა გადაწყვიტა და მონიტორინგის გაგრძელება ევროკავშირითაა. ევროკავშირის პროექტს MetOp (The Meteorological Operational Satellite Programme) ეწოდა, ხოლო პირველ თანამგზავრს MetOp-A. თანამგზავრ MetOp-A-ზე განლაგებულია იგივე სენსორები, რაც NOAA-ზე.

ბოლო დროს სულ უფრო ფართო გამოყენებას ჰპოვებს მცინვარების კვლევა კოსმოსური დისტანციური ზონდირების მეთოდების საშუალებით. მცინვარებზე დაკვირვების მიზნით მიმართავენ დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებს, რომლებიც აღჭურვილი არიან რადიოლოკაციური (Radarsat, ERS-1 ERS-2, Radarsat-1, Radarsat-2, ENVISAT) [1], ელექტრომაგნიტური სპექტრის ოპტიკურ, ინფრაწითელ, მიკროტალღოვან უბნებში მომუშავე სენსორებით (IRS, SPOT, Landsat, IKONOS, QuickBird, TERRA Aster, ALOS, SAR) [2,3,4,5].

ამ სენსორების საშუალებით მიღებული მონაცემები გამოიყენება მცინვარების დეტალური კარტოგრაფიის, სტერეოსურათების შედგენის, მცინვარის სხვადასხვა პარამეტრის განსაზღვრის მიზნით. მცინვარების წანაცვლების რეგისტრირებისა და შეფასებისათვის იყენებენ რადარული ინტერფერომეტრიის მონაცემებს. ზღვის დონიდან მცინვარების ზედაპირის სიმაღლის განსაზღვრის მიზნით გამოიყენება თანამგზავრული ალტიმეტრები (Jason, ENVISAT, ERS). თანამგზავრულ ლაზერულ ალტიმეტრებს იყენებენ მცინვარების დინამიკის შესწავლის, მცინვარების დეგრადაციის სიჩქარის შეფასების მიზნით. მცინვარების მდგომარეობის შესასწავლად გამოიყენება აგრეთვე თანამგზავრული გრავიმეტრიის სისტემის, GRACE-ს მონაცემები. ეს სისტემა ორი იდენტური თანამგზავრისაგან შედგება, რომლებიც პოლარულ ორბიტაზე გარკვეულ მანძილზე მიჰყვებიან ერთმანეთს. „ტომის“ და „ჯერის“ მეტსახელებით ცნობილი თანამგზავრები ერთმანეთისგან დაახლოებით 200 კმ-ით არიან დაშორებული და მიკროტალღოვანი რადიოსიგნალების საშუალებით დიდი სიზუსტით ზომავენ მათ შორის მანძილის ცვლილებას, რაც თავის მხრივ დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილში სიმძიმის ძალის ცვალებადობით არის გამოწვეული. ამ თანამგზავრული სისტემის მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა მცინვარების მასის შემცირების მასშტაბების შეფასება [6].

წარმოდგენილი ნაშრომის ფარგლებში დაგეგმილია საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე კავკასიონის ცალკეული მცინვარების ისეთი მახასიათებლების დადგენა, როგორცაა მცინვარის ფართობი, სიგრძე, სიმაღლის მიხედვით ფართობის განაწილება, წონასწორობის ხაზის სიმაღლე (Equilibrium Line Altitude - ELA), აკუმულაციის ფართობის (Accumulation Area Ratio - AAR), მცინვარის მინიმალური და მაქსიმალური სიმაღლე

ჩამოთვლილი ამოცანების გადასაწყვეტად საჭიროა კვლევის ობიექტის შესახებ არსებული ლიტერატურის დამუშავება, თანამგზავრული მონაცემების მოპოვება, თანამგზავრული მონაცემების დამუშავება, არსებულ საველე კვლევების შედეგებთან მათი შეჯერება.

მყინვარების გავრცელების, მასის, მოცულობის, ფართობის, სიგრძის შესახებ სტანდარტიზებული ინფორმაცია დაცულია მსოფლიო მყინვარების მონიტორინგის სამსახურის ვებ-საიტზე (WGMS, World Glacier Monitoring Service, [www.wgms.ch](http://www.wgms.ch)).

კავკასიონის მყინვარების შესახებ ინფორმაცია დაცულია აგრეთვე სსრკ მყინვარების კატალოგში (რედ. ო.ნ. ვინოგრადოვი). 80 წიგნად გამოცემულ კატალოგში მოყვანილია მყინვარების მდგომარეობა 1957-80 წლის მდგომარეობისათვის.

სსრკ მყინვარების კატალოგის ციფრული ვერსია დაცულია აგრეთვე რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტის გეოგრაფიულ პორტალზე (<http://webgeo.ru>, Раздел: Каталог ледников СССР), სადაც 2008-2009 წლებში კორექტირებული კატალოგია წარმოდგენილი.

1980-იან წლებში ამ კატალოგის ნაწილი გამოყენებულ იქნა მყინვარების მსოფლიო კატალოგის ნაწილის შესაქმნელად და იგი ხელმისაწვდომია აშშ-ის, ყინულისა და თოვლის მონაცემთა ნაციონალური ცენტრის (National Snow and Ice Data Center (NSIDC)) ვებ-საიტზე (<http://nsidc.org>).

მყინვარების კვლევისათვის აქტუალურია მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრული მონაცემების გამოყენება. თანამგზავრული მონაცემები ხელმისაწვდომია დედამიწის რესურსებზე დაკვირვების სისტემის (Earth Resources Observation Systems (EROS) საშუალებით. ამ არქივში, რომელიც აშშ-ის შს სამინისტროს დაქვედებარებაში იმყოფება, დაცულია Landsat-ის თანამგზავრებით მოპოვებული მონაცემები, აგრეთვე NASA-ს განკარგულებაში არსებული თანამგზავრული სურათები.

მყინვარების მდგომარეობის შეფასების თვალსაზრისით ერთერთი ყველაზე პერსპექტიურია GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) პროექტის ფარგლებში მიღებული მონაცემთა ბაზა. ეს ბაზა შექმნილია თანამგზავრ TERRA-ს ASTER (Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) სენსორის მონაცემთა საფუძველზე [8]. ეს სენსორი ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონებში მოიპოვებს მონაცემებს და მისი მაქსიმალური სივრცითი გარჩევითობა 15 მ-ს შეადგენს.

სენსორ ASTER-ის მონაცემები რელიეფის 30 მ სივრცითი გარჩევითობის ციფრული მოდელის (DEM – Digital Elevation Model) გენერირების შესაძლებლობას იძლევა. მულტისპექტრულ თანამგზავრულ მონაცემებთან ერთად ASTER DEM-ი მყინვარების შესწავლის მძლავრ ინსტრუმენტად იქცა [9,10].

თანამგზავრიდან დედამიწის ზედაპირის მონიტორინგზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ამინდის პირობები, კერძოდ ღრუბლიანობის შემთხვევაში თანამგზავრული სურათების გამოყენება სხვადასხვა მონაცემების მისაღებად ფაქტიურად შეუძლებელია [11]. მცინვარებზე დაკვირვების შემთხვევაში ამ შემოსაზღვრას ემატება თვით მცინვარის ზედაპირის მდგომარეობა, რომელიც თავისუფალი უნდა იყოს თოვლის საფრისგან. კერძოდ დისტანციური მონიტორინგი უნდა წარმოებდეს თვითონ მცინვარის ზედაპირის, რაც ნიშნავს, რომ მონაცემები უნდა იყოს პერიოდისათვის აბლაციის მიწურულიდან ხელახალ გათოვებამდე. თანამედროვე კლიმატის პირობებში საქართველოსათვის ეს დროითი ინტერვალი მოიცავს პერიოდს აგვისტოს ბოლოდან დაახლოებით ოქტომბრის დასაწყისამდე.

ხელსაყრელ პირობებში გადაღებული სურათებისათვის სენსორი ASTER მცინვარის მორფოლოგიური ელემენტების საიმედოდ იდენტიფიცირების შესაძლებლობას იძლევა. გარკვეულ პრობლემებთან არის დაკავშირებული კარული და დაკიდებული ტიპის მცინვარების იდენტიფიცირება, აგრეთვე აბლაციის ზედა უბნების და მყარი ნაშალი მასალით დაფარული მცინვარის ენის იდენტიფიცირება. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა უფრო მაღალი სივრცითი გარჩევითობის თანამგზავრული სურათები, ან სავლე კვლევების შედეგების გამოყენება.

ზოგადად, დისტანციური თანამგზავრული ინფორმაციით მცინვარების ნაშალით დაფარული არეების იდენტიფიკაციისათვის მხოლოდ ოპტიკურ დიაპაზონში გადაღებული მონაცემები საკმარისი არ არის. აუცილებელია აგრეთვე მულტისპექტრული თანამგზავრული სურათების გამოყენება, კერძოდ, საჭიროა სპექტრის ინფრაწითელ ნაწილში გადაღებული თანამგზავრული მონაცემები. აუცილებელია აგრეთვე სავლე კვლევები ნაშალით დაფარული მცინვარის ენის ბოლოს დასადგენად. თუმცა, ისიც უნდა ითქვას, რომ ხშირ შემთხვევაში DigitalGlobe მაღალი სივრცითი გარჩევითობის თანამგზავრული მონაცემები, რაც Google Earth-ის საშუალებით არის ხელმისაწვდომი, ხშირ შემთხვევაში ნაშალით დაფარული მცინვარების გარჩევის შესაძლებლობას იძლევა. იმ მცინვარების კვლევისას რომლებზეც ტარდება გლაციოლოგიური ექსპედიციები, ეფექტურია ექსპედიციის მონაწილე გლაციოლოგ-ექსპერტების გამოცდილების გამოყენება.

მაღალი სივრცითი გარჩევადობის თანამგზავრული სურათების ხელმისაწვდომი წყაროა Google-ის ვებ-პროგრამა Google Earth. საქართველოს ტერიტორიის უმეტესი ნაწილისათვის ეს პროგრამა 1 მ-ზე მაღალი სივრცითი გარჩევადობის სურათებს გვთავაზობს. ქრონოლოგიური რიგით, მათგან ერთ-ერთი უკანასკნელი, 2010 წლის 1 სექტემბრით არის დათარიღებული, რაც კავკასიონის მცინვარებისათვის აბლაციის მიწურულს ემთხვევა და გამოსადეგია მცინვარების კვლევისათვის.

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საშუალებით მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე შესაძლებელია გამოვითვალოთ ცალკეული მყინვარის მახასიათებლები: სიგრძე, ფართობი, მინიმალური და მაქსიმალური წერტილების და ფირნის ხაზის სიმაღლე.

შემდგომ ამისა საჭიროა ამ მონაცემების შედარება მყინვარების კატალოგის ძირითადი ცხრილის შესაბამის პარამეტრებთან [6]. ეს უკანასკნელი ორმხრივად საინტერესოა, რადგან გარკვეულ შემთხვევებში თანამგზავრული დისტანციური ზონდირება თვითონ იძლევა ამ კატალოგების დაზუსტების შესაძლებლობას და პირიქით, კატალოგის მონაცემები, საკვლევი რეგიონის ირგვლივ საექსპერტო ცოდნასთან ერთად საშუალებას იძლევა მოხდეს თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების ვალიდაცია. ფაქტობრივად თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენება მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემებთან ერთად საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მყინვარების დაზუსტებული მახასიათებლები.

საქართველოს ტერიტორიაზე მყინვარები თავმოყრილია მხოლოდ კავკასიონის მთავარი ქედის ფარგლებში. მათი რიცხვი ამჟამად 786 აღწევს. მოცემული კვლევის ფარგლებში გათვალისწინებულია საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე კავკასიონის მყინვარების კვლევა.

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების მიღებისა და დამუშავების კონკრეტული მაგალითები განხილული იქნება მომდევნო თავებში, კერძოდ წარმოდგენილი იქნება თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები [12].

### **ლიტერატურა:**

- [1] Кренке А.Н., Ананичева М.Д., Демченко П.Ф., Кислов А.В., Носенко Г.А., Поповнин В.В., Хромова Т.Е. Ледники и ледниковые системы. В кн. «Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем», Госкомгидромет, М., 2012, с. 260 – 305.
- [2] Khalsa, S.J.S. Dyrgerov, M.B.; Khromova, T.; Raup, B.H.; and Barry R. G. Space-Based Mapping of Glacier Changes Using ASTER and GIS Tools, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 2004, vol. 42, No. 10, 2177.
- [3] Bruce, Raup.; Kääh, A.; Kargel, J.S.; Bishop, M.P.; Hamilton, G.; Lee, E.; Paul, Rau, F.; Soltesz, D. Khalsa, S.J.S.; Beedle, M.; Helm, Ch. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project.



- [4] A. Kääb, C. Huggel, F. Paul, R. Wessels, B. Raup, H. Kieffer, J. Kargel, Glacier Monitoring from Aster Imagery: accuracy and Applications, Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space, Bern, March 11 – 13, 2002.
- [5] Konig, M.; Winther, J-G.; Isaksson, E.; Measuring snow and Glacier Ice Properties from Satellite Reviews of Geophysics, 2001, 39, 1, 1–27.
- [6] Koji M., Kosuke H. Time-variable ice loss in Asian high mountains from satellite gravimetry, Earth and Planetary Science Letters 2010, 290, 30–36.
- [7] В.Ш. Цома, О.А. Дробышев, Каталог Ледников СССР, Т. 8, Северный Кавказ, Гидрометеиздат, Ленинград 1977.
- [8] Bruce, Raup.; Kääb, A.; Kargel, J.S.; Bishop, M.P.; Hamilton, G.; Lee, E.; Paul, Rau, F.; Soltesz, D. Khalsa, S.J.S.; Beedle, M.; Helm, Ch. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project.
- [9] Frank P.; Huggel, C.; Kääb, A. Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. Remote Sensing of Environment. 2004, 89, 510 – 518.
- [10] Bolch, T.; and Kamp, U.; Glacier Mapping in High Mountains Using DEMs, Landsat and ASTER Data, 8th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, La Paz, Bolivia, 22 March, 2005.
- [11] გიორგი კორძახია, ლარისა შენგელია, გიორგი თვაური. თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის. გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი 2011, 102 გვ.
- [12] ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური,, ვ. ცომაია. სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2014, ტ. 120, გვ. (გადაცემულია დასაბეჭდად).

### **3. დისტანციური დაკვირვების ტექნოლოგიების გამოყენებით კავკასიონის მყინვარების მახასიათებელი მონაცემების მიღება და დამუშავება.**

მყინვარის კონტურისა და რელიეფის ციფრული მოდელის ერთობლივი დამუშავების შედეგად შესაბამისი გაანგარიშებების საფუძველზე შესაძლებელია ისეთი პარამეტრების განსაზღვრა, როგორცაა ფართობის განაწილება სიმაღლის მიხედვით, მინიმალური, მაქსიმალური და საშუალო სიმაღლე, ფირნის ხაზის მდებარეობა [1].

მყინვარების კონტურების განსაზღვრა შესაძლებელია შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. მყინვარების საზღვრების მისაღები

სიზუსტით დადგენისათვის ხშირად აუცილებელია საკვლევ რეგიონისათვის საექსპერტო ცოდნის გამოყენება.

სხვადასხვა სპექტრალური არხების კომბინირების საშუალებით მცინვარების კონტურების ავტომატური განსაზღვრა ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონში მცინვარის ყინულის და თოვლის განსხვავებულ სპექტრალურ თვისებებს ეყრდნობა.

მულტისპექტრული თანამგზავრული სურათების საშუალებით მცინვარის საზღვრის ავტომატური განსაზღვრის მიზნით სხვადასხვა ალგორითმებს მიმართავენ [2,3,4]. თოვლის ნორმალიზებული სხვაობის ინდექსის (NDSI – Normalised difference snow index) და ცალკეული სპექტრალური არხების შეფარდების განსაზღვრის მეთოდი მცინვარების და თოვლის უფრო მუქი კლდოვანი უბნების, მცენარეული საფარისა და ნიადაგისაგან საიმედოდ გამიჯვნის შესაძლებლობას იძლევა.

თოვლის ნორმალიზებული სხვაობის ინდექსი სენსორ ASTER-ის შემთხვევაში გამოითვლება როგორც  $(ASTER1 - ASTER4) / (ASTER1 + ASTER4)$ , სადაც ASTER1 და ASTER4 შესაბამისად სენსორ ASTER-ის პირველი და მეოთხე სპექტრალური არხებია. ASTER4 არხის სივრცითი გარჩევითობა 30 მ-ს შეადგენს, ამიტომ ამ ინდექსის გამოთვლის წინ საჭიროა მისი 15 მ გარჩევითობის ASTER1 არხთან შესაბამისობაში მოყვანა. Landsat-ის შემთხვევაში თოვლის ინდექსი გამოითვლება როგორც  $(TM2 - TM5) / (TM2 + TM5)$  სადაც TM2 და TM5 შესაბამისად Landsat სენსორის მეორე და მეხუთე არხებია. თოვლით დაფარული რეგიონებისათვის ამ პარამეტრის მნიშვნელობა უფრო მაღალია, ვიდრე თოვლისა და ყინულისაგან თავისუფალი რეგიონისათვის. სხვადასხვა წყაროების თანახმად, ამ პარამეტრის ზღვრული მნიშვნელობა 0,4-0,6 შეადგენს [5]. გარდა თოვლის ინდექსისა, მიმართავენ აგრეთვე ცალკეული არხების შეფარდებებს ASTER3/ASTER4 და TM4/TM5 Landsat-ის შემთხვევაში.

როგორც თოვლის ინდექსი, ასევე ცალკეული არხების შეფარდებები კარგ შედეგებს აჩვენებენ მცინვარების კონტურების განსაზღვრის თვალსაზრისით. თუმცა, დისტანციური ზონდირების საშუალებით მცინვარების აგეგმვის რთულ მომენტს მცინვარებზე ნაშალი მასების არსებობა განაპირობებს. ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ უფრო მაღალი სივრცით გარჩევითობის სურათებს, აგრეთვე რელიეფის ციფრულ მოდელს [6].

სუათისის მცინვარების მაგალითზე განვიხილოთ კონტურების არეალის დადგენის შედეგები და მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდიკა [7].

სუათისი – ხეობის ტიპის მცინვარია ხევის კავკასიონზე, მდებარეობს ხეობის ქედზე, მდინარე სუათისის (თერგის მარცხენა შენაკადი) აუზში. შედგება სამი

ნაკადისაგან (აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მყინვარები). მათგან უდიდესია აღმოსავლეთის ნაკადი.

აღმოსავლეთ სუათისის მყინვარის საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011062, სსრკ კატალოგში – 231, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044443E42706N.

შუა სუათისის მყინვარის საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011063, სსრკ კატალოგში – 230, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044416E42704N.

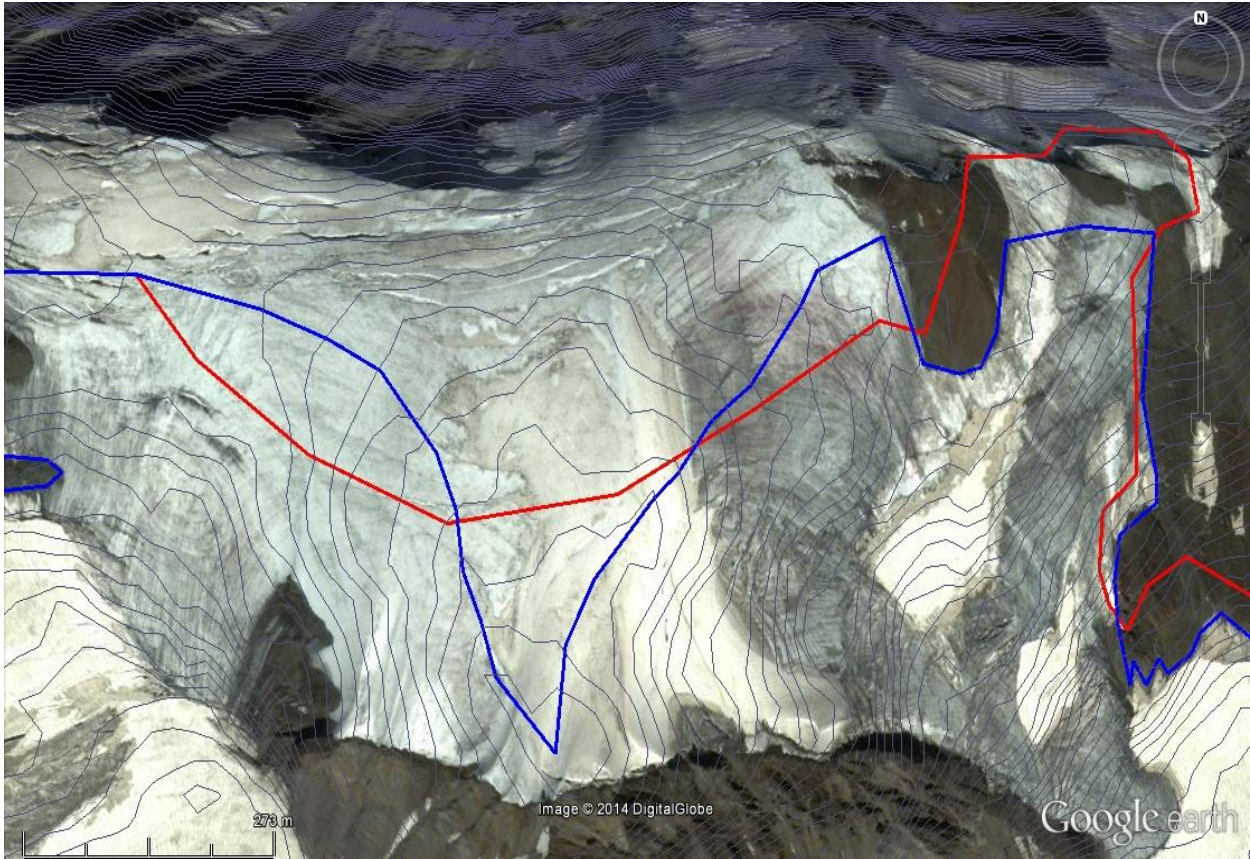
დასავლეთ სუათისის მყინვარის საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011064, სსრკ კატალოგში – 229, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044400E42691N.

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან შეირჩა სუათისის მყინვარების კონტურები, რომლებიც 2004 წლის 25 სექტემბრითაა დათარიღებული და დამუშავებულია 2005 წლის 4 ივლისს. აუცილებელია მოყვანილი მყინვარების კონტურების დაზუსტება, რაც გამოწვეულია არა მარტო მყინვარების ცვლილებით, არამედ იმითაც, რომ GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები შედგენილია ASTER-ის 15 მ გარჩევადობის თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე, Google Earth-ის სურათების გარჩევადობა კი 0.5-0.8 მ-ია, რაც კონტურების უფრო ზუსტად გავლების შესაძლებლობას იძლევა.

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული სუათისის მყინვარების კონტურების დასაზუსტებლად გამოვიყენეთ პროგრამა Google Earth-ის მაღალი სივრცითი გარჩევითობის (0,5-0,8 მ) და მყინვარების მაქსიმალური აბლაციის პერიოდში (2010 წლის 1 სექტემბერი) გადაღებული თანამგზავრული მონაცემები, რაც მყინვარების კონტურების დიდი სიზუსტით დიგიტალიზაციის საშუალებას იძლევა.

მყინვარის კონტურის დაზუსტების მიზნით, აგრეთვე გამოყენებულია ASTER DEM-ის რელიეფის ციფრული მოდელი. კონტურების დაზუსტება ხდებოდა თანამგზავრული სურათისა და რელიეფის ციფრული მოდელის საფუძველზე შექმნილი იზოხაზების ზედღებით. 3D გამოსახულების გამოყენებით დადგინდა წყალგამყოფები, ხოლო ამ უკანასკნელების გამოყენებით დაზუსტდა მყინვარების კონტურები (სურ. 3.1).

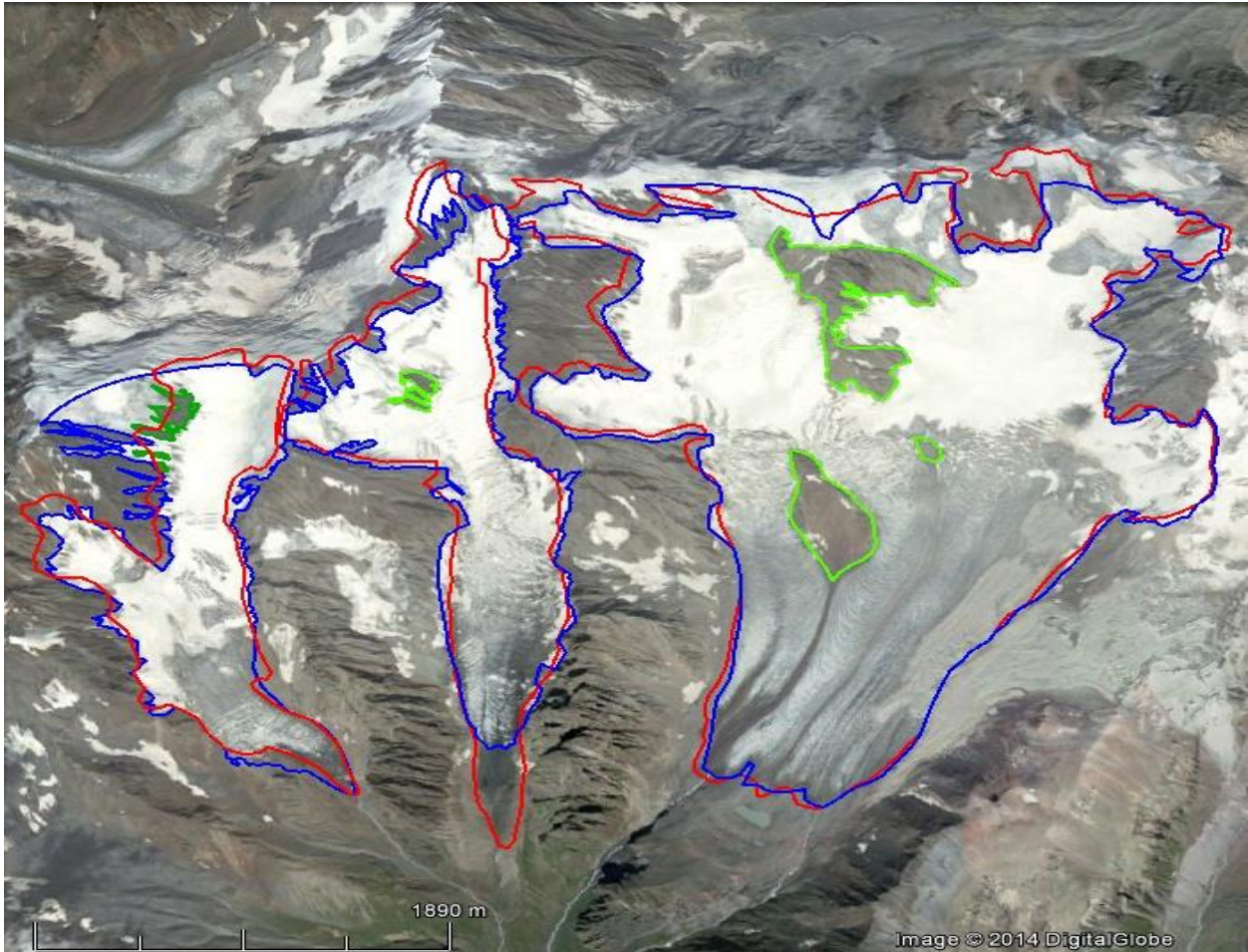
თვალსაჩინოებისათვის სურ. 3.1-ზე მოყვანილია აღმოსავლეთ სუათისის მყინვარის ჩრდილოეთ ნაწილში, ხოხის ქედის წყალგამყოფების დასადგენად ASTER DEM-ის საფუძველზე გავლებულია სიმაღლის იზოხაზები. წითელი ფერით ნაჩვენებია GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები, ლურჯით – დაზუსტებული კონტურები, შავით – რელიეფის ციფრული მოდელის საფუძველზე შექმნილი იზოხაზები (10 მ ბიჯით).



სურ. 3.1. აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარის ჩრდილოეთ ნაწილის სიმაღლის იზოხაზები. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები სურათზე ნაჩვენებია წითელი ფერით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – ლურჯი ფერით.

ქვემოთ მოყვანილ სურ. 3.2-ზე ნაჩვენებია სუათისის მცინვარების კონტურები. წითელი ფერით ნაჩვენებია კონტურები GLIMS-ის მონაცემებზე დაყრდნობით, ლურჯი ფერით ბ) ფირნის ხაზები (იისფერი) და გ) დამატებითი მრუდები მცინვარის სიგრძის გამოთვლისათვის (ყავისფერი), დაზუსტებული კონტურები, რომლებიც თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებითაა მიღებული. მწვანე ფერით ნაჩვენებია მცინვარის შიგნით არსებული, თოვლისგან და ყინულისაგან თავისუფალი კლდოვანი უბნები.

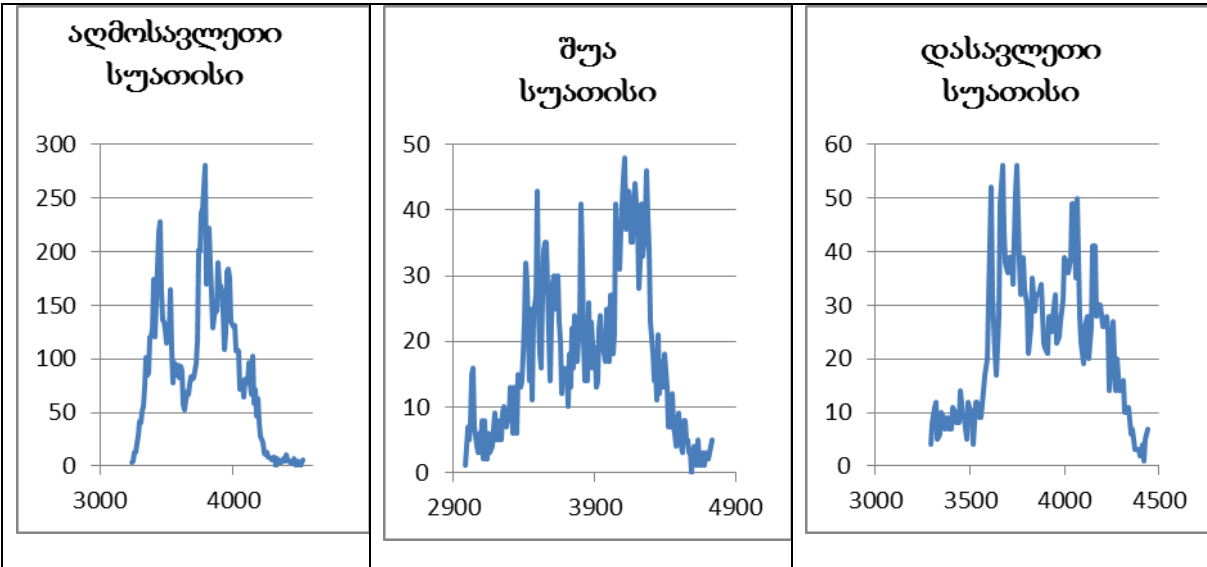




სურ. 3.2. აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მყინვარების კონტურების თავდაპირველი (ნაჩვენებია წითელი ფერით), და დაზუსტებული სახე (ნაჩვენებია ლურჯი ფერით). მწვანე ფერით ნაჩვენებია კლდოვანი უბნები.

ამგვარად დავადგინეთ სუათისის მყინვარების კონტურები, რამაც საშუალება მოგვცა გამოგვეთვალა მყინვარების მახასიათებლები.

მყინვარების მახასიათებლების დასადგენად გამოყენებულია პროგრამა VISAT BEAM. გის-პროგრამა GRASS-ის საშუალებით, დაზუსტებული კონტურის ფაილები VISAT BEAM--თან თავსებად ESRI-shape ფორმატშია გადაყვანილი. VISAT BEAM-პროგრამა საშუალებას გვაძლევს გამოთვლილი იყოს სუათისის მყინვარების სიმაღლის მიხედვით განაწილების ჰისტოგრამა და აიგოს შესაბამისი ჰიპსომეტრიული მრუდი (სურ. 3.3). აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია მყინვარების სიმაღლე ზღვის დონიდან 10 მ ბიჯით, ხოლო ორდინატთა ღერძზე მოცემულია ამა თუ იმ სიმაღლის შესაბამისი პიქსელების რაოდენობა.



სურ. 3.3. სუათისის მცინვარების ჰიპსომეტრიული მრუდები.

ფირნის ხაზის სიმაღლის დასადგენად ვისარგებლეთ გეფერის მეთოდით, რისთვისაც მცინვარების კატალოგის და ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემები გამოვიყენეთ.

გლაციოლოგიაში ფირნის ხაზის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდები არსებობს. პირდაპირი მეთოდით ფირნის ხაზის განსაზღვრა ხდება უშუალოდ ველზე. ზაფხულის ბოლოს გლაციოლოგი აუყვება მცინვარის ზედაპირს. დასაწყისში შეხვდება შიშველი მცინვარი. ზემოთ, მცინვარის ზედაპირზე ჯერ გამოჩნდება თოვლის ლაქები, რომლებიც სიმაღლის ზრდასთან ერთად რაოდენობრივად იზრდებიან და გარკვეულ სიმაღლეზე ქმნიან ერთიან საფარს სწორედ აქ უნდა განისაზღვროს ფირნის ხაზი.

ფირნის ხაზის არაპირდაპირი მეთოდები დამუშავებული აქვთ კუროვსკის, გეფერს, გესს, რეიდს და სხვა. კვლევისთვის მიზანშეწონილია ავირჩიოთ გეფერის მეთოდი, რადგან მცინვარების კატალოგში [8] საქართველოს მცინვარების ფირნის ხაზი განსაზღვრულია ამ მეთოდით.

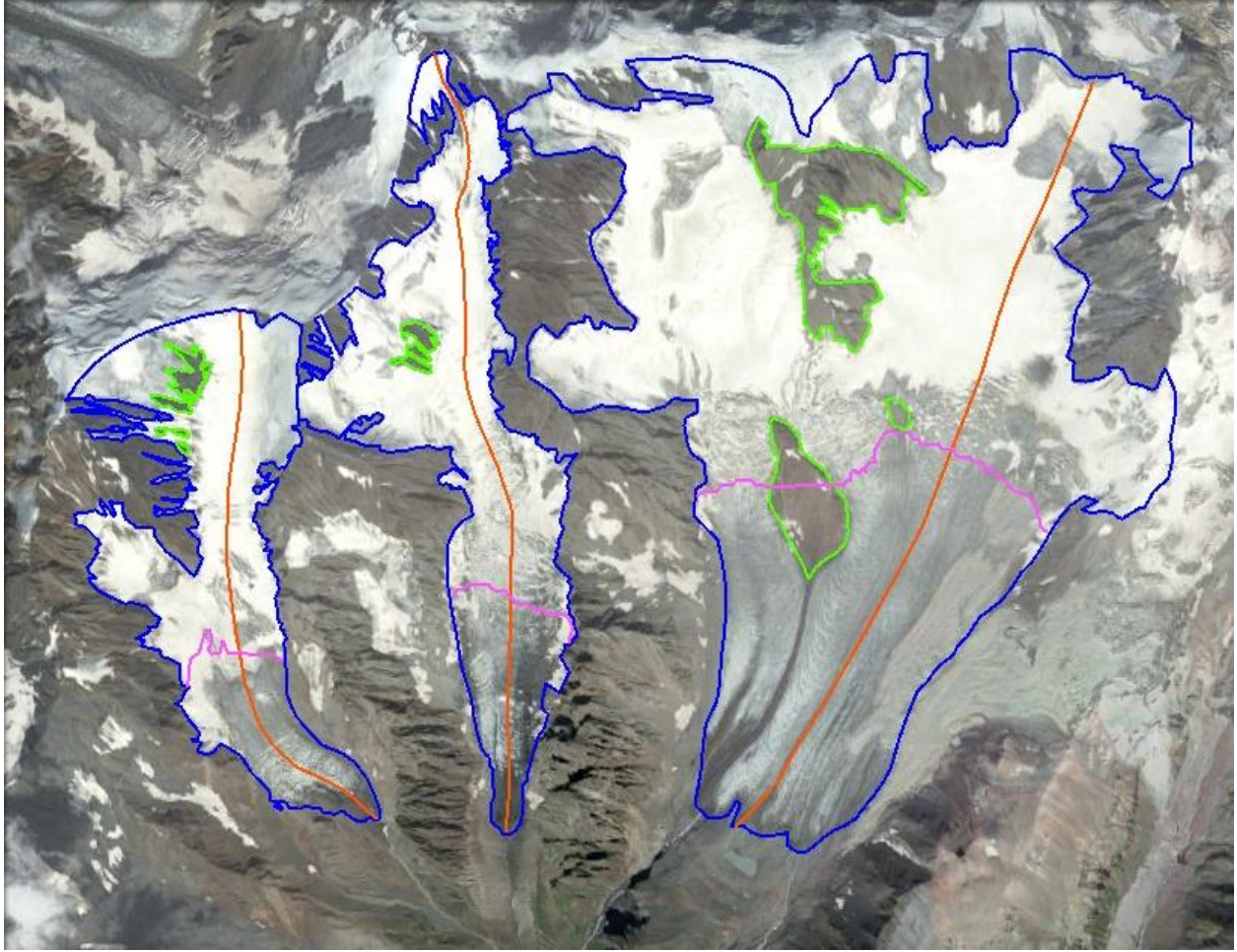
გეფერის მიხედვით, ფირნის ხაზის სიმაღლე არის საშუალო არითმეტიკული ფირნის აუზის შემომფარგვლელი რელიეფის საშუალო სიმაღლის და მცინვარის ენის ბოლოს სიმაღლეს შორის. მცინვარის აუზის გარშემო ვიღებთ ყველაზე მაღალი, ორი ან რამდენიმე მწვერვალის საშუალო სიმაღლეს და ვუმატებთ მცინვარის ენის ბოლოს სიმაღლეს. ვითვლით ამ ორი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკულს.

ჰიპსომეტრიული მრუდის საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს მცინვარის აკუმულაციის არის ფართობი [1]. ჰიპსომეტრიულ მრუდზე პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მცინვარის უმაღლეს წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე, იძლევა მცინვარის აკუმულაციის არის ფართობს. შესაბამისად, პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მცინვარის ყველაზე დაბალ წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე იძლევა მცინვარის აბლაციის არის ფართობს. მცინვარის აკუმულაციის და აბლაციის არის ფართობები ჯამში შეადგენენ მცინვარის ფართობს.

ამგვარად გამოთვლილია ზემოთმოყვანილი მეთოდოლოგიის საფუძველზე და თანამგზავრული მონაცემების გამოყენებით სუათისის მცინვარების მახასიათებლები: მაქსიმალური სიგრძე და ფართობი; მინიმალური და მაქსიმალური წერტილების და ფირნის ხაზის სიმაღლე; აბლაციის არის ფართობი. ეს მონაცემები შედარდა მცინვარების კატალოგის [8] შესაბამის მონაცემებს.

სურათ 3.4-ზე წარმოდგენილია სუათისის მცინვარები, კერძოდ დასავლეთ, შუა და აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარები. მცინვარების დასახასიათებლად გავლებულია: ა) მცინვარების დაზუსტებული კონტურები, რომლებიც შემოხაზულია ლურჯად; ბ) ფირნის ხაზები გამოთვლილი გეფერის მეთოდით სურათზე ნაჩვენებია იისფრად; და გ) მცინვარის სიგრძის გამოსათვლელად გავლებული დამატებითი ხაზი სურათზე მოცემულია ყავისფრად; დ) მცინვარის შიგნით არსებული, თოვლისგან და ყინულისაგან თავისუფალი კლდოვანი უბნები (მწვანე ფერი).





სურ. 3.4. სუათისის მყინვარები: ა) დაზუსტებული კონტურები (ლურჯი ფერი);  
ბ) ფირნის ხაზები (იისფერი) და გ) მყინვარის სიგრძის გამოსათვლელად  
გავლებული დამატებითი ხაზი (ყავისფერი), დ) მყინვარის შიგნით არსებული,  
თოვლისგან და ყინულისაგან თავისუფალი კლდოვანი უბნები (მწვანე ფერი).

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ 3.1-ში წარმოდგენილია სუათისის მყინვარების კონტურების დაზუსტების შემდეგ განსაზღვრული მყინვარების პარამეტრები: მაქსიმალური სიგრძე, ფართობი, მინიმალური და მაქსიმალური წერტილების და ფირნის ხაზის სიმაღლე, აბლაციის არის ფართობი. შესადარებლად ცხრილში მოყვანილია აგრეთვე სუათისის მყინვარების მონაცემები სსრკ მყინვარების კატალოგიდან [8].

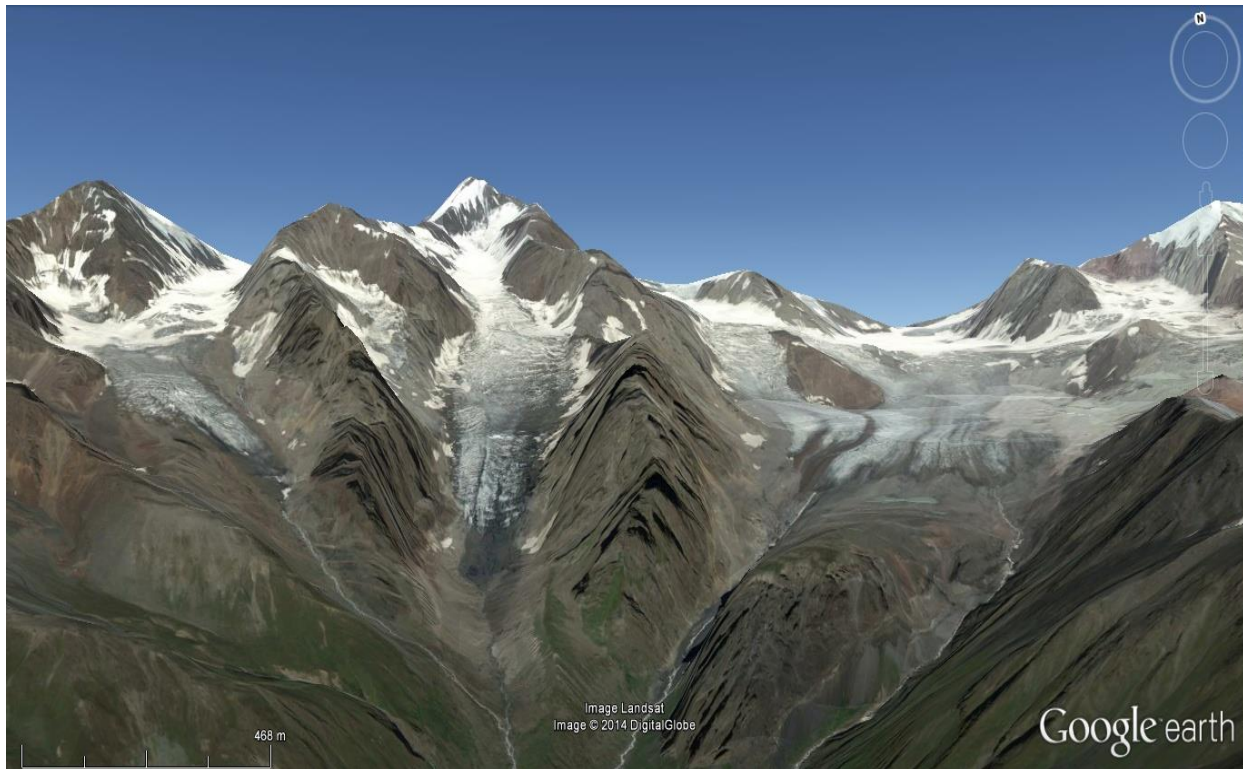


ცხრილი 3.1. აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მყინვარების მახასიათებლები. (1)-ით აღნიშნულ სვეტებში მოცემულია შედეგები, რომლებიც მიღებულია დისტანციური ზონდირების საფუძველზე; (2)-ით აღნიშნულ სვეტებში მოყვანილია მყინვარების კატალოგის მონაცემები.

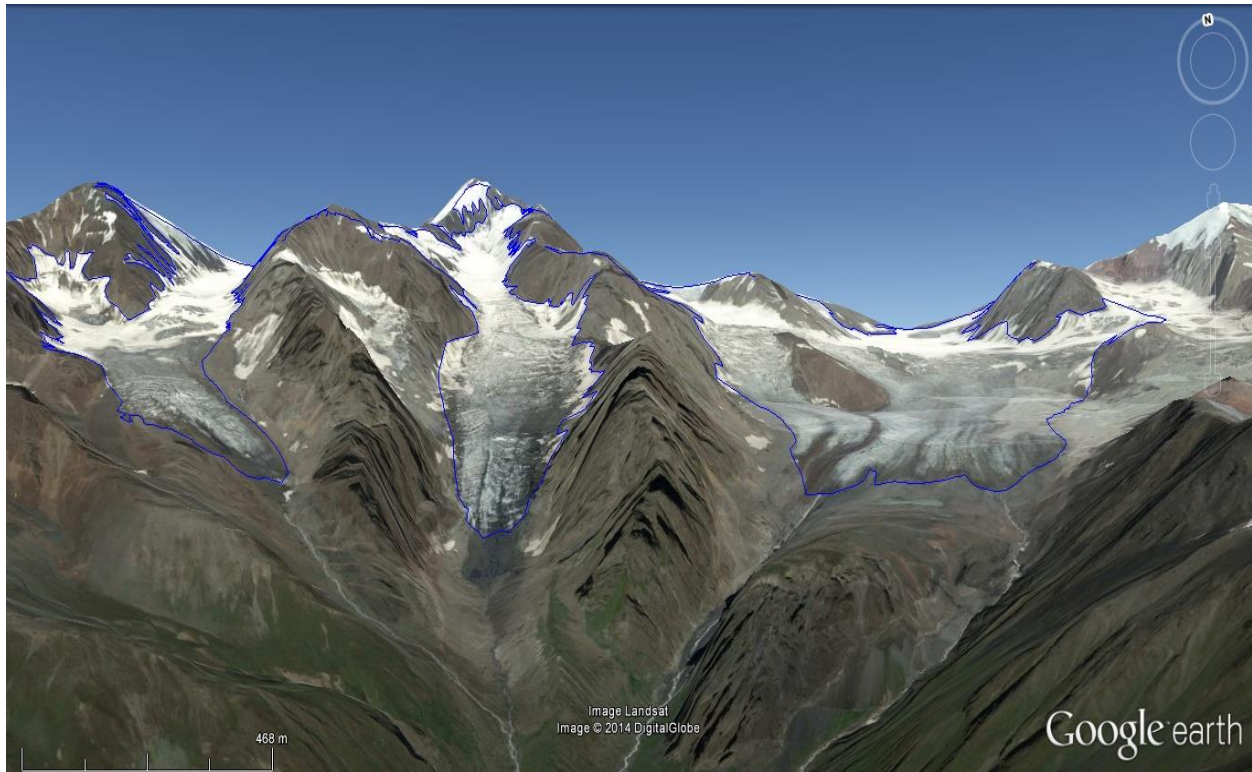
სახელწოდება	მაქს.სიგრძე კმ		ფართობი კმ <sup>2</sup>		მინ.სიმაღ. მ		მაქს.სიმაღ. მ		ფირნ.საზ. სიმაღლე მ		აბლ. არის ფართობი კმ <sup>2</sup>	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
აღმ. სუათისი	4.45	5,4	8.307	10,2	3230	3000	4532	4580	3615	3500	3,019	3,3
შუა სუათისი	3.98	4,7	2.123	2,5	2975	2850	4734	4760	3583	3520	0,560	0,6
დას. სუათისი	2.95	3,5	1.832	2,4	3284	3070	4444	4460	3707	3600	0,502	0.4

კონტურების დადგენისას ვიყენებდით 3D გამოსახულებას, განსაკუთრებით წყალგამყოფების მდებარეობის დასაზუსტებლად. სურ. 3.5-ზე მოყვანილია სუათისის მყინვარების 3D ვიზუალიზაცია მიღებული Google Earth-ის საშუალებით.

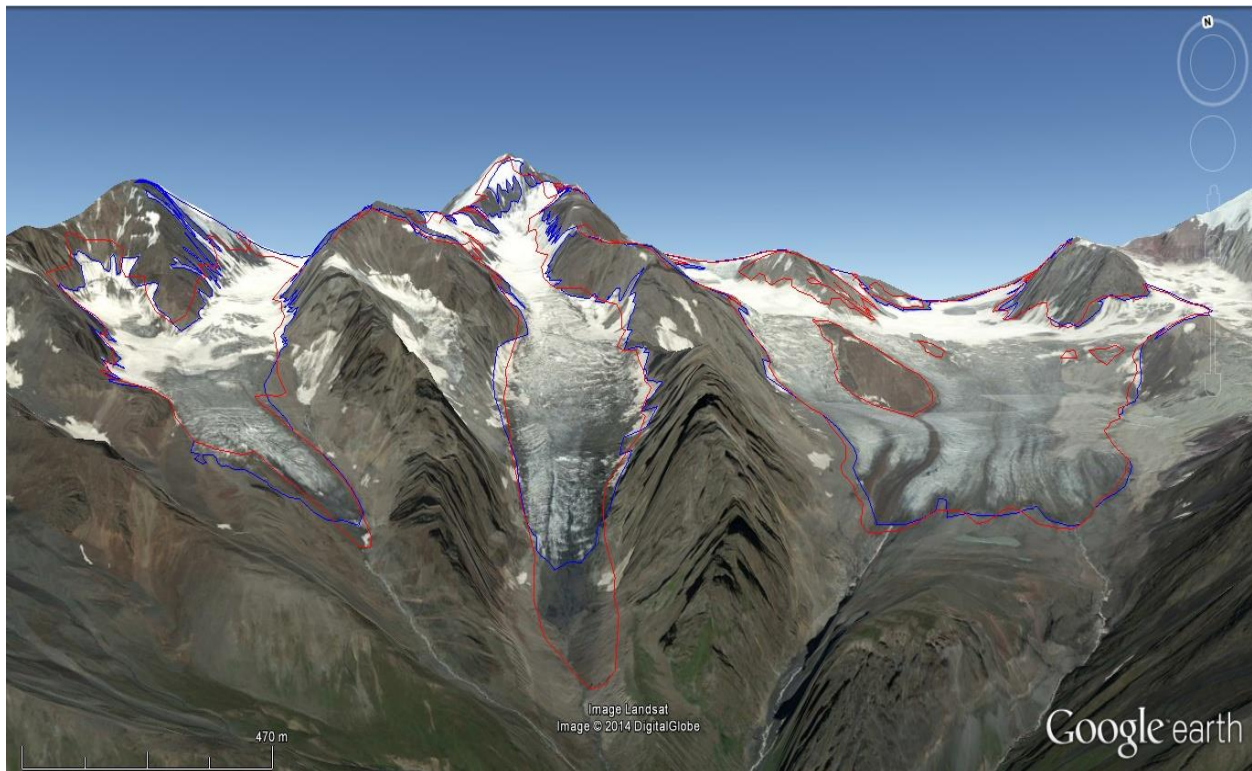
სურ. 3.6-ზე მოყვანილია სუათისის მყინვარების გამოსახულებები დაზუსტებული კონტურებით, ხოლო სურ. 3.7-ზე GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები ნაჩვენებია წითელი ფერით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – ლურჯი ფერით.



სურ. 3.5. სუათისის მყინვარების ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.



სურ. 3.6. სუათისის მყინვარების ვიზუალიზაცია დაზუსტებული კონტურებით.



სურ. 3.7. სუათისის მყინვარების ვიზუალიზაცია. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები სურათზე ნაჩვენებია წითელი ფერით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – ლურჯი ფერით.

## ლიტერატურა:

- [1] Racoviteanu, A.E.; Williams, M.W.; Barry, R.G.; Optical Remote Sensing of Glacier Characteristics: A Review with Focus on the Himalaya, Sensors 2008, 8, 3355-3383;
- [2] Sidjak, R.W. and Wheate, R.D. 1999. Glacier mapping of the Illecillewaet icefield, British Columbia, Canada, using Landsat TM and digital elevation data. International Journal of Remote Sensing. 20: 273-284.
- [3] Paul, F. 2001. Evaluation of different methods for glacier mapping using Landsat TM. Proceedings EARSeL Workshop on Remote Sensing of Land Ice and Snow, 16.-17.6.2000, Dresden, 239-245.
- [4] A. Käab, C. Huggel, F. Paul, R. Wessels, B. Raup, H. Kieffer, J. Kargel, Glacier Monitoring from Aster Imagery: accuracy and Applications, Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space, Bern, March 11 – 13, 2002.
- [5] Sidjak, R. Glacier mapping of the Illecillewaet icefield, British Columbia, Canada, using Landsat TM and digital elevation data. Int J Rem Sens 1999, 20(2), 273-284.
- [6] Paul, F.; Huggel, C.; Käab, A. Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. Rem Sens Environ 2004, 89(4), 510-518.
- [7] ლ. შენგელია, გ. კორძაბია, გ. თვაური, ვ. ცომაია. სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2014, ტ. 120, გვ. 52-56.
- [8] В.Ш. Цома, О.А. Дробышев, Каталог Ледников СССР, Т. 8, Северный Кавказ, Гидрометеиздат, Ленинград 1977, 71 გვ.

#### 4. თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების საფუძველზე კავკასიონის მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შეფასება.

##### 4.1. აღმოსავლეთ საქართველოს ცალკეული მყინვარების მახასიათებლების განსაზღვრა.

მყინვარების კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ გასული საუკუნის ბოლო ათწლეულებში მყინვარების პარამეტრები ძირითადად მცირდებოდა [1]. ეს პროცესი ამჟამად გრძელდება და მოსალოდნელია, რომ მომავალ ათწლეულებშიც გაგრძელდება.

კლიმატის თანამედროვე ცვლილება იწვევს მყინვარების უკანდახევის გაძლიერებას. მყინვარების ინტენსიური დნობის ფონზე იცვლება მყინვარული ჩამონადენი. ეს განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსათვის, რადგან



მყინვარები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ მთელი რიგი რეგიონების წყლის მარაგის ფორმირებაში და წყლის ბალანსის რეგულირებაში. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მყინვარები იწვევენ გლაციო-ჰიდროლოგიური ხასიათის კატასტროფებს, როგორცაა: მყინვარების ჩამოქცევა, მდინარეთა კალაპოტის ჩახერგვა და ბუნებრივი კაშხლების წარმოქმნა, მათი გარღვევა და გამანადგურებელი წყალმოვარდნების გავლა და სხვ. აღნიშნული მოვლენები ხასიათდება დიდი ეკონომიკური ზარალით და ხშირად ადგილი აქვს ადამიანთა მსხვერპლს. ამ მოვლენების ბოლო მაგალითია 2014 წლის 17 მაისს ყაზბეგის რაიონში, დარიალის ხეობაში მომხდარი კომპლექსური ხასიათის ფართომასშტაბიანი კატასტროფა. დევდორაკის მყინვარი ჩამოიქცა, რაც გადაიზარდა დიდი მასშტაბის ღვარცოფულ კატასტროფაში ადამიანთა მსხვერპლით და დიდი ეკონომიური ზარალით. ყოველივე ეს დღის წესრიგში აყენებს ამ პროცესების დეტალური კვლევის აუცილებლობას.

ბევრ ქვეყანაში მყინვარების დნობა ასაზროებს მდინარეებს. ასე რომ მყინვარების აბლაცია უზრუნველყოფს მდინარეთა ჰიდროლოგიურ რეჟიმს. ასევე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ კლიმატის რეგიონალური ცვლილების შესანიშნავი ინდიკატორია ის ვარიაციები, რომლებსაც ადგილი აქვს მყინვარებში. ჩვენთვის მნიშვნელოვანია განისაზღვროს მყინვარების ზომების (ფართობი, მოცულობა, სიგრძე) ცვლილებები, რასაც ადგილი ჰქონდა საუკუნეების განმავლობაში. თანამედროვე კლიმატის ცვლილების პირობებში დადგინდა, რომ დაწყებული გასული საუკუნიდან კავკასიონის მყინვარების ზომები სტაბილურად მცირდებოდა.

მყინვარის ფართობისა და ენის ბოლოს მდებარეობის ცვლილება კლიმატური პირობების ზემოქმედებაზე მყინვარის რეაგირების ინდიკატორად არის მიჩნეული. ეს ორი პარამეტრი მულტისპექტრალური თანამგზავრული სურათებიდან შედარებით მარტივად შეიძლება განისაზღვროს.

ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდის თანახმად [2] საქართველოს მყინვარების კონტურების დაზუსტებისათვის სრულდება შემდეგ ქმედებები:

- გამოიყენება Google-ის პროგრამული პროდუქტის Google Earth-ის თანამგზავრულ სურათებს და სენსორ Aster-ის თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე გენერირებულ რელიეფის ციფრულ მოდელს (Aster DEM). თანამგზავრული მონაცემების დამუშავებისათვის გამოიყენება GIS სისტემები – Google Earth, BEAM Visat და Quantum GIS Lisboa. შევნიშნოთ, რომ Aster DEM-ის თანამგზავრული მონაცემების სივრცითი გარჩევადობა 30 მ-ს შეადგენს;
- მყინვარების იდენტიფიკაციისათვის (პირველადი შედარებისათვის) გამოიყენება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული მყინვარების სხვადასხვა

მონაცემები, მათ შორის მცინვარების კონტურები [3] და მცინვარების რიცხვითი მახასიათებლები. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები გენერირებულია სენსორ Aster-ის მონაცემების საფუძველზე [4].

- მცინვარების კონტურების ვალიდაციისათვის გამოიყენება საბჭოთა კავშირის დროინდელი ტოპოგრაფიული რუკები (1:50000);
- ჩვენ მიერ მიღებული შედეგების რეალური ვალიდაციისათვის გამოიყენება გარემოს ეროვნული სააგენტოს ექსპედიციების მიწისპირა დაკვირვებები. ცხადია, რომ ასეთი დაკვირვებები მოიპოვება მხოლოდ გარკვეული მცინვარებისათვის და გარკვეული წლებისათვის;
- ეფექტური გამოყენება აქვს ასევე ამ მცინვარების მცოდნე ექსპერტების გამოცდილებას.

Google Earth-ის გამოყენებით შესაძლებელია მაღალი სივრცითი გარჩევადობის (0,5-1 მ) დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების (Spot, IKONOS, Quickbird, RapidEye, DigitalGlobe და სხვა) მონაცემების მიღება.

აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარებს მიეკუთვნება მცინვარწვერის მასივის მცინვარები. მათ შესასწავლად ხელმისაწვდომია 2010 წლის 1 სექტემბრით დათარიღებული მაღალი სივრცითი გარჩევადობის თანამგზავრული მონაცემები. ზემოთაღწერილი მეთოდოლოგიის საფუძველზე ამ მონაცემების გამოყენებით შესაძლებელია განხილული მცინვარების კონტურების დაზუსტება. როგორც ზემოთაა აღნიშნული, მცინვარების კონტურების დაზუსტების დროს გამოყენებულია საბჭოთა კავშირის დროინდელი ტოპოგრაფიული რუკები (1:50000).

ცხრილ 4.1-ში მოყვანილია აღმოსავლეთ საქართველოს ის მცინვარები, რომელთათვისაც Google Earth-ის საშუალებით კონტურების დაზუსტება მოხერხდა ზემოთაღწერილი მეთოდოლოგიის საფუძველზე და შესაძლებელი გახდა მცინვარების იმ მახასიათებლების განსაზღვრა, რომელიც მოცემულია საბჭოთა კავშირის მცინვარების კატალოგში (მაქსიმალური სიგრძე, ფართობი, მინიმალური სიმაღლე, მაქსიმალური სიმაღლე, აბლაციის არის ფართობი) [5].

ამავდროულად მოცემულია მცინვარების მონაცემები სსრკ კატალოგიდან და შესადარებლად მოყვანილია თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე მიღებული შედეგები.

ქვემოთ წარმოდგენილია ცხრილ 4.1-ში მოყვანილი აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების კონტურები, მათი 3D ვიზუალიზაცია და შედარება ტოპოგრაფიულ რუკებთან (სუათისის მცინვარების, როგორც მაგალითი უკვე განვიხილეთ თავი 3-ში, სადაც მოყვანილია ამ მცინვარების კონტურები და 3D ვიზუალიზაცია, ხოლო ტოპოგრაფიული რუკა წარმოდგენილია სურ. 4.21-ზე).

ცხრილი 4.1. აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების რიცხვითი მახასიათებლები: მაქსიმალური სიგრძე, ფართობი, მინიმალური სიმაღლე, ფირნის ხაზის სიმაღლე, აბლაციის ფართობი. (1)-ით აღნიშნულ სვეტებში მოცემული შედეგები, მიღებულია თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე; (2)-ით აღნიშნულ სვეტებში მოცემული შედეგები მოყვანილია მცინვარების კატალოგის საფუძველზე [5].

№	მცინვარის სახელ	მცინვარების მსოფლიო კატალოგში საინდენტ. კოდი ID	სსრკ კატა ლ. საიდ. კოდი ID	მაქს. სიგრძე (კმ)				ფართობი (კმ <sup>2</sup> )				მინ. სიმაღლე (მ)				მაქს. სიმაღლე (მ)		ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ)		აბლაციის არის ფართობი (კმ <sup>2</sup> )			
				მთლიან. მცინვ.		ღია ნაწილის		მთლიან. მცინვ.		ღია ნაწილის		მთლიან. მცინვ.		ღია ნაწილის						მთლიან. მცინვ.		ღია ნაწილის	
				(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1	მაილი	SU4G08010041	248	5.83	6,2	5.64	6,2	6.43	7,0	6.06	7,0	2469	2360	2521	2360	4610	4600	3225	3170	1.02	1,4	0.69	1,4
2	ჭაჭი	SU4G08011046	242	3,22	3,2	3.1	3,2	2.28	2,8	2.07	2,8	3239	3230	3299	3230	4447	4430	3665	3660	0.78	0,6	0.53	0,6
3	დევდორაკი	SU4G08011048	241	6.87	7,3	6.321	6,5	6.24	7,0	6.04	6,6	2392	2260	3549	2540	5038	5030	3326	3260	0.74	1,0	0.48	0,6
4	აბანო	SU4G08011049	240	3,83	4,1	2.26	2,5	1,68	2,0	1.00	1,4	3020	2950	3462	3410	5038	5030	3735	3700	0,87	0,9	0.18	0,3
5	გერგეთი	SU4G08011052	238	7.1	8,5	7.1	8,5	5.15	8,3	4.63	7,1	3091	2870	3091	2870	4936	5030	3793	3650	1,50	2,3	1.20	1,1
6	უსახელო	SU4G08011056	235		1,9	0.973	1,4		0,7	0.37	0,6		3350	3758	3460	4227	4220	3884	3680		0,3	0.06	0,2
7	დენკერა	SU4G08011057	234		2,3	1.324	2,3		2,4	0.42	2,0		3500	3655	3500	4103	4230	3847	3770		0,8	0.23	0,4
8	უსახელო	SU4G08011058	234a		1,0	1.808	1,0		0,2	0.52	0,2		3570	3567	3570	4285	4200	3818	3820		0,1	0.13	0,1
9	უსახელო	SU4G08011059	233a		2,3	1.775	2,3		0,7	0.75	0,7		3440	3450	3440	4327	4330	3765	3760		0,3	0.23	0,3
10	Mna	SU4G08011060	233	3.32	4,1	2.43	3,8	3.136	4,6	2.95	4,3	3036	2860	3330	3060	4612	4600	3568	3480	0.36	0,6	0.17	0,3
11	უსახელო	SU4G08011061	232	4.337	3,2	2.063	3,2	2.367	2,1	1.21	2,1	3292	3330	3378	3330	4586	4310	3681	3700	1.19	0,8	0.16	0,8
12	აღმ. სუათისი.	SU4G08011062	231	4,45	5,4	4.45	5,4	7,927	10,2	7.45	10,0	3230	3000	3230	3000	4532	4580	3615	3500	3,019	3,3	2.23	3,1
13	შუა სუათისი	SU4G08011063	230	3,98	4,7	3.62	4,7	2.123	2,5	2.05	2,5	2975	2850	3082	2850	4734	4760	3583	3520	0,560	0,6	0.52	0,6
14	დას. სუათისი	SU4G08011064	229	2,95	3,5	2.95	3,5	1,832	2,4	1.779	2,4	3284	3070	3284	3070	4444	4460	3707	3600	0,502	0,4	0.46	0,4
15	უსახელო	SU4G08011072	222	1.249	1,4	1.249	1,4	0.427	0,6	0.427	0,6	3334	3150	3334	3150	3909	3920	3582	3490	0.14	0,2	0.14	0,2

მონაცემთა ვალიდაციისათვის მოვახდინეთ მცინვარების კონტურების შედარება გასული საუკუნის 60-იანი წლების საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკებთან, რომლებიც გამოყენებული იყო მცინვარების კატალოგის შექმნისას. როგორც ავლნიშნეთ, მიღებული შედეგების ვალიდაციისათვის, აგრეთვე გამოვიყენეთ გარემოს ეროვნული სააგენტოს ექსპედიციების მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემები. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო მცინვარის ენის ბოლოს კოორდინატების დადგენისას და ნაშალი ქანების იდენტიფიცირებისათვის. ამ საკითხებთან დაკავშირებით ეფექტური იყო მცინვარების მცოდნე ექსპერტების გამოცდილების გაზიარება. ცხრილ 4.1-ში შეუვსებელი დარჩა რამდენიმე უჯრა, რადგან ვერ მოხერხდა ამ მცინვარების ნაშალით დაფარული არეების ზუსტი იდენტიფიკაცია და მცინვარების ზუსტი კონტურების გავლება.

აუცილებელია სავლე კვლევები ნაშალი მასაალით დაფარული მცინვარის ენის ბოლოს დასადგენად. თუმცა, ისიც უნდა ითქვას, რომ ხშირ შემთხვევაში DigitalGlobis მაღალი სივრცითი გარჩევითობის თანამგზავრული მონაცემები, რაც Google Earth-ის საშუალებით არის ხელმისაწვდომი, ხშირ შემთხვევაში ნაშალით დაფარული მცინვარების გარჩევის შესაძლებლობას იძლევა.

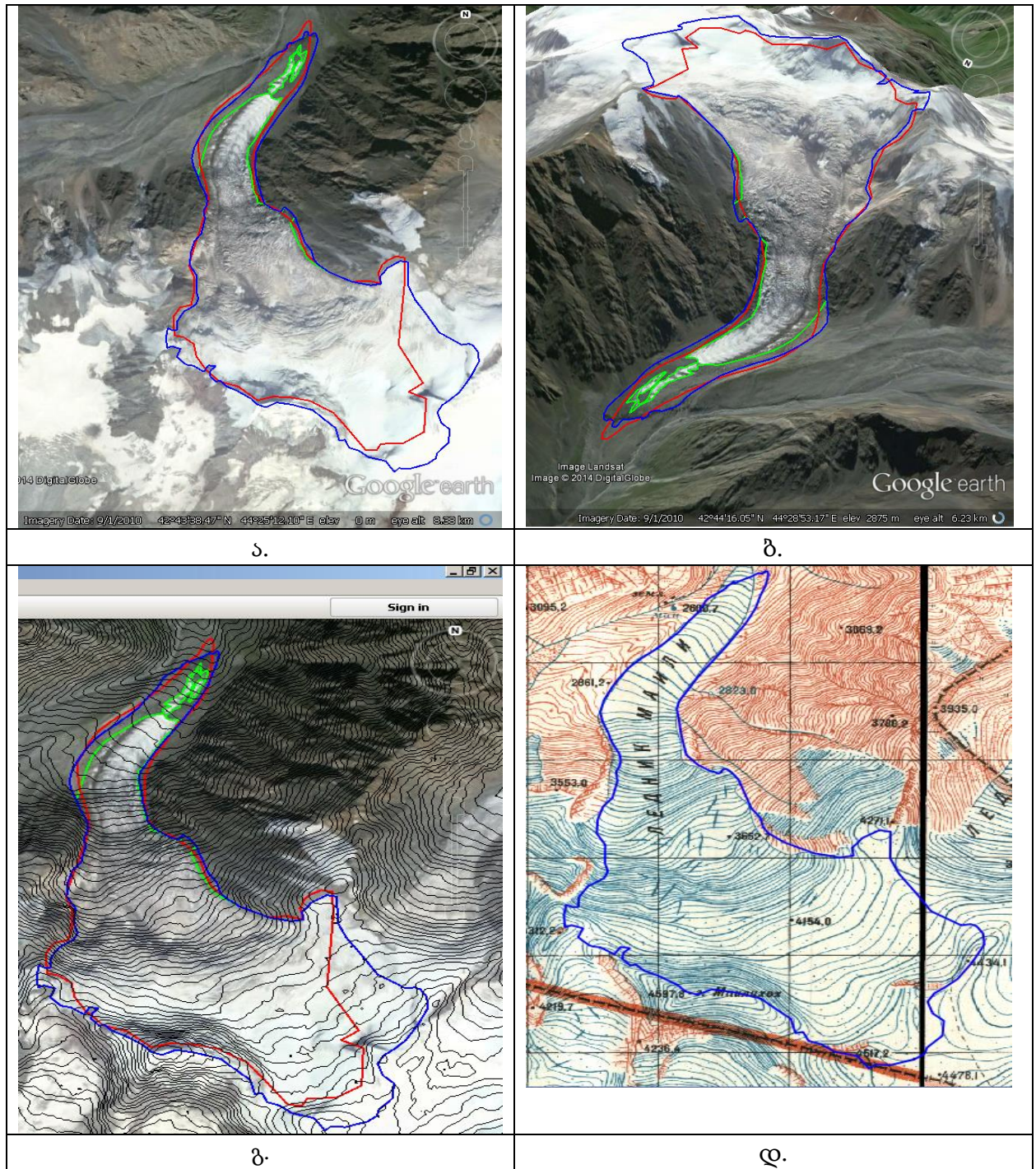
მიმდინარე სამუშაოს ფარგლებში შევეცადეთ მცინვარების ნაშალისაგან თავისუფალი არეალის განსაზღვრაც ანუ არამარტო მთლიანი მცინვარის, არამედ მცინვარის ღია ნაწილის განსაზღვრაც. ამან საშუალება მოგვცა მცინვარის მახასიათებლები იმავე სახით წარმოგვედგინა, როგორც მცინვარების კატალოგში [5] არიან წარმოდგენილი.

**1. მცინვარი მაილი.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08010041, სსრკ კატალოგში – 248, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044477E42719N.

ქვემოთ მოყვანილ სურ. 4.1-ზე ნაჩვენებია მცინვარ მაილის კონტურები (ა), 3D ვიზუალიზაცია (ბ), სიმაღლის განაწილების იზოხაზების რუკა (გ) და დაზუსტებული კონტურის (ლურჯი ხაზი) შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან (დ).

მცინვარ მაილის GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან მოპოვებული კონტური აღნიშნულია წითელი ფერით და ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტური – ლურჯი ფერით. მწვანე ფერით ნაჩვენებია მცინვარის ნაშალისგან თავისუფალი – ღია ნაწილის კონტური (მომდევნო სურათებზე აღნიშვნები იგივეა, რაც სურ. 4.3-ის შემთხვევაში). ბუნებრივია, რომ მწვანე კონტური ლურჯისაგან მხოლოდ მცინვარის ქვედა ნაწილში განსხვავდება, რადგან მცინვარის ზედა ნაწილი ნაშალისაგან თავისუფალია.

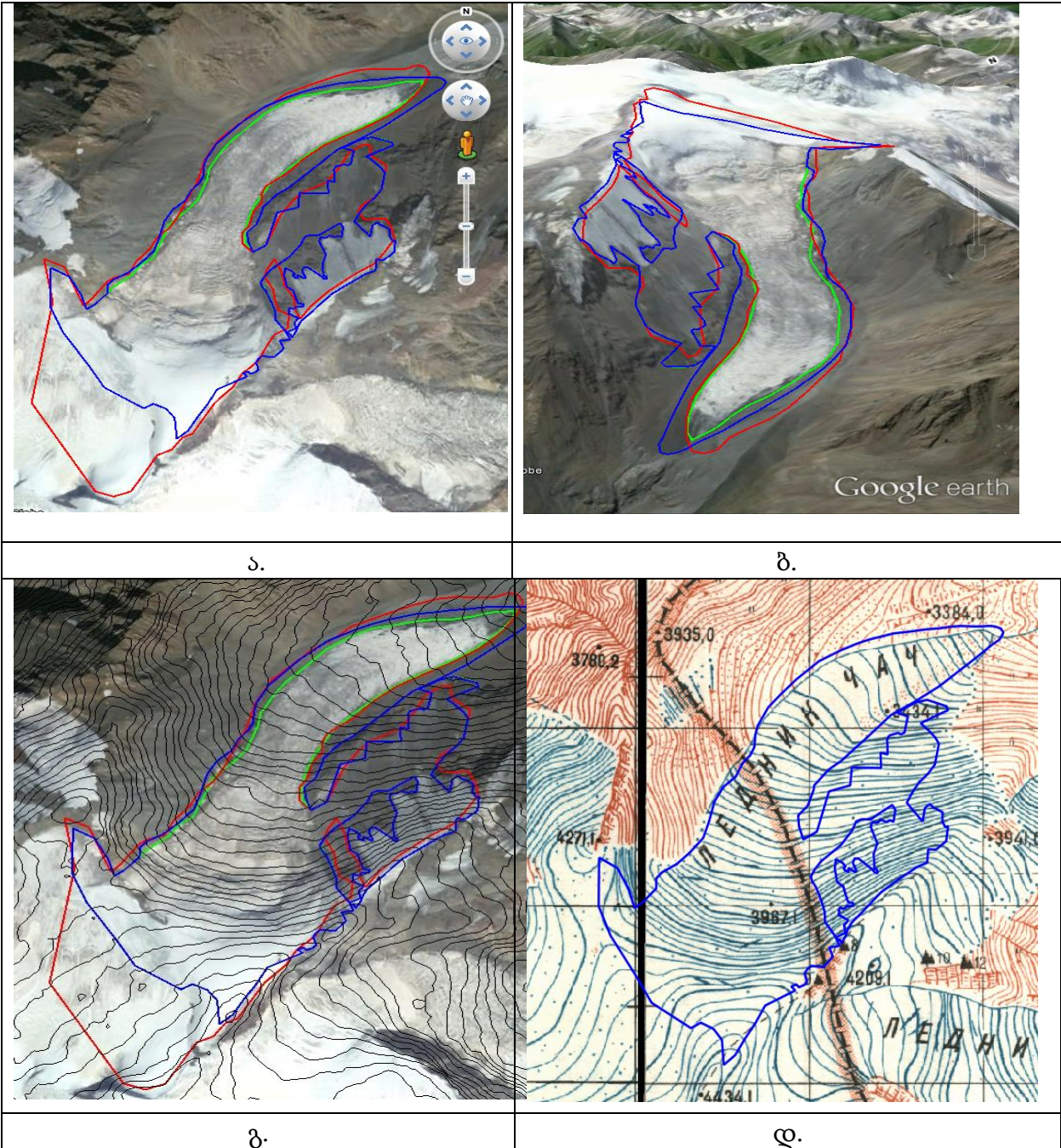




სურ. 4.1. მცინვარ მაილის კონტურები (ა), 3D ვიზუალიზაცია (ბ), სიმაღლის იზოხაზების რუკა (გ) და დაზუსტებული კონტურის (ლურჯი ხაზი) შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან (დ).



2. მყინვარი ჭაჭი. საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011046, სსრკ კატალოგში – 242, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044503E42719N. სურ. 4.2-ზე წარმოდგენილია მყინვარ ჭაჭის კონტურები (ა), 3D ვიზუალიზაცია (ბ), სიმაღლის განაწილების იზოხაზები (გ) და დაზუსტებული კონტურის (ლურჯი ხაზი) შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან (დ).



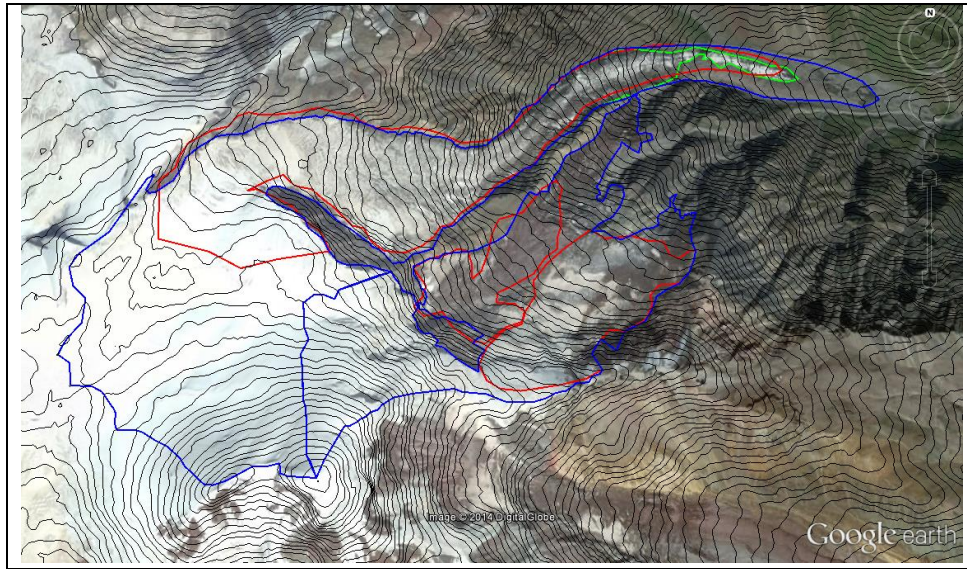
სურ. 4.2. მყინვარ ჭაჭის კონტურები (ა), 3D ვიზუალიზაცია (ბ), სიმალის განაწილების იზოხაზების რუკა (გ) და შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან (დ).

**3. მყინვარი დევდორაკი.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011048, სსრკ კატალოგში – 241, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044517E42715N.

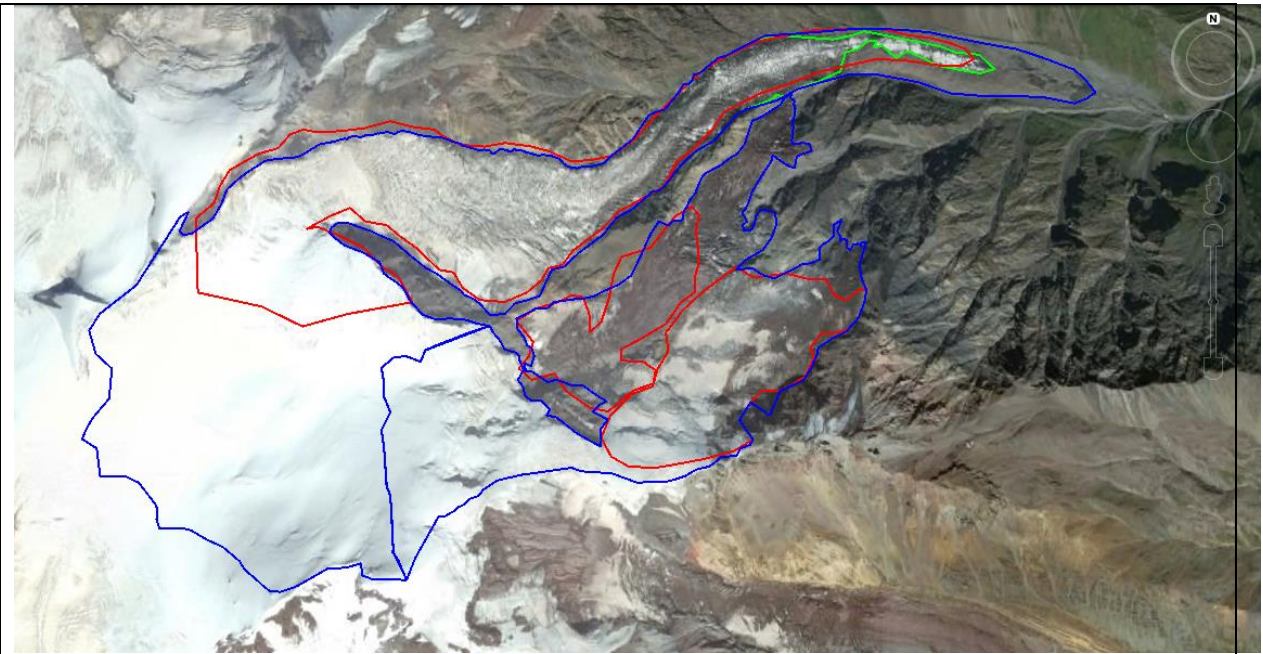
GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში მყინვარი დევდორაკი წარმოდგენილია სამი კონტურით, რომელთაგან ერთი სახელდებულია დევდორაკის სახელწოდებით G044517E42715N და მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში რეგისტრირებულია SU4G08011048 კოდით, ხოლო ორი შედარებით მცირე კონტური მხოლოდ GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაშია დარეგისტრირებული G044532E42709N და G044537E42706N კოდებით. მაღალი გარჩევითობის თანამგზავრული მონაცემების შესწავლის, აგრეთვე ჰიპსომეტრიული მრუდების ანალიზის შედეგად (სურ. 4.3) ეს ორი კონტური დევდორაკის მყინვარულ აუზს მიეკუთვნა. წითელი ფერით აღნიშნულია GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში რეგისტრირებული კონტურები, ლურჯით – ჩვენს მიერ დაზუსტებული. მწვანე ფერით – ნაშალისგან თავისუფალი მყინვარის ზედაპირი.

როგორც სურ. 4.3-დან ჩანს, მყინვარ დევდორაკს ჩვენს მიერ მიკუთვნებული აქვს მყინვარწვერის პლატოს მნიშვნელოვანი ნაწილი. ეს გადაწყვეტილება რელიეფის ციფრული მოდელის გამოყენების შედეგად იქნა მიღებული. კერძოდ, Aster DEM-ის საშუალებით მიღებული სიმალის იზოხაზების გამოყენებით დავადგინეთ წყალგამყოფი მყინვარწვერის პლატო და საზღვარი გავავლეთ მიღებული შედეგის მიხედვით. კონტურის დაზუსტების დროს გამოყენებული იქნა სიმალის იზოხაზები 5, 10, და 30 მ ბიჯით. სურ. 4.3-ზე წარმოდგენილია 30 მ ბიჯით გავლებული იზოხაზები და წყალგამყოფის მიხედვით გავლებული კონტურები.

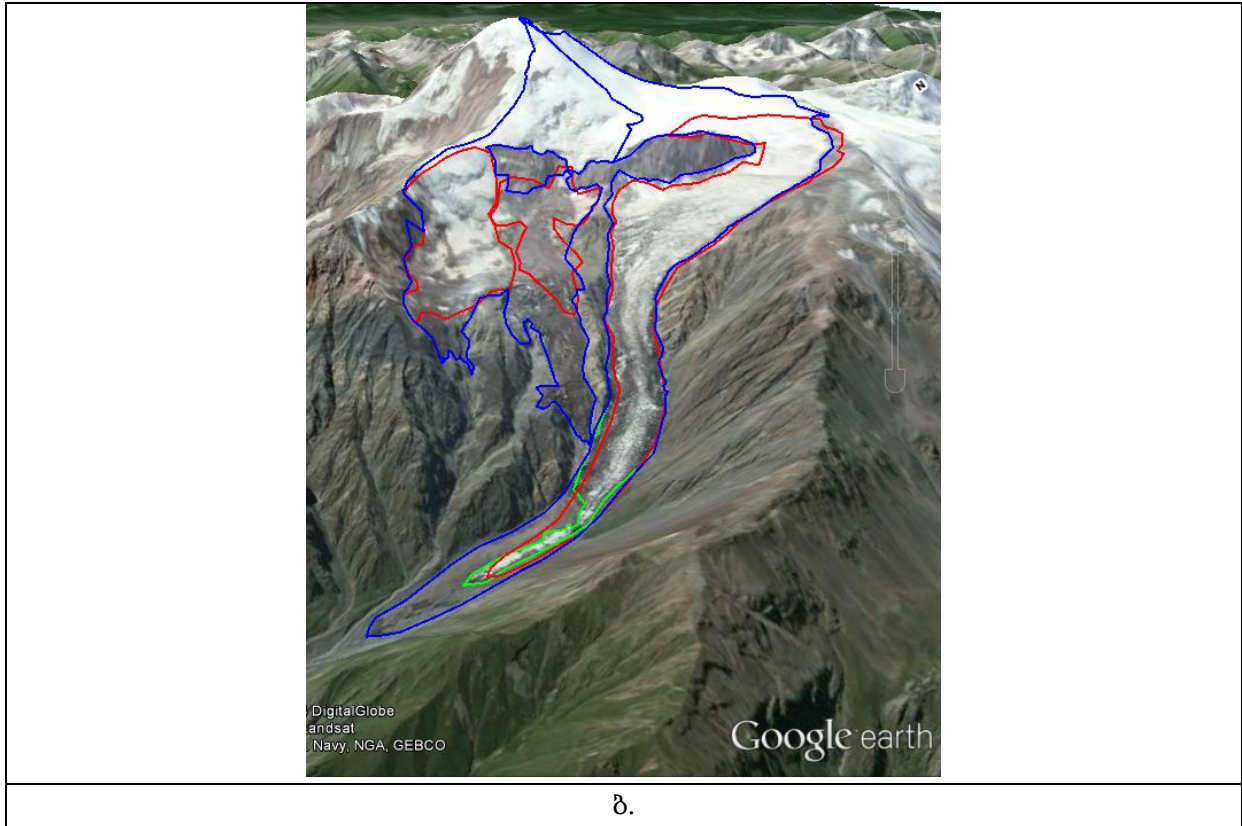




სურ. 4.3. მცინვარ დევდორაკის სიმაღლის იზოხაზები და კონტურები.  
 მცინვარ დევდორაკის დაზუსტებული კონტურების საბოლოო სახე (ა) და 3D  
 ვიზუალიზაცია (ბ) ნაჩვენებია სურ. 4.4-ზე.



ა.

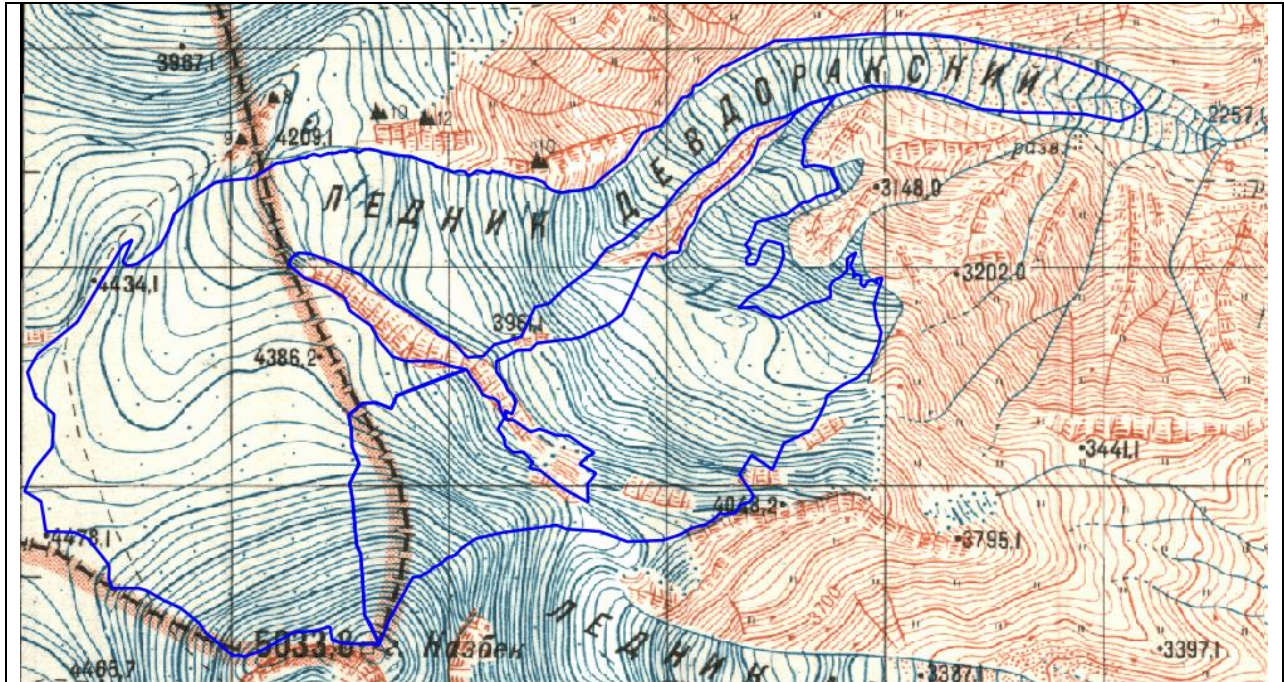


ბ.

სურ. 4.4. მყინვარ დევიდორაკის კონტურები (ა) და 3D ვიზუალიზაცია (ბ).

ტოპოგრაფიულ რუკასთან კონტურების შედარება (სურ. 4.5) გვიჩვენებს, რომ წარსულში ეს ველები ერთ, დევიდორაკის მყინვარს შეადგენდნენ, ამიტომ სსრკ მყინვარების კატალოგში მოყვანილ მონაცემებთან შედარებისას მათი გაერთიანებული კონტურის საშუალებით გამოთვლილი მახასიათებლები გამოვიყენეთ. რაც შეეხება მყინვარის ფართობს, უშუალოდ დევიდორაკის (SU4G08011048 კონტურის) ფართობი 4,05 კვ<sup>2</sup>-ს შეადგენს, გაერთიანებული G044532E42709N და G044537E42706N კონტურებისა – 2,19 კვ<sup>2</sup>-ს. მათი საერთო ფართობი კი 6,24 კვ<sup>2</sup>-ს შეადგენს.





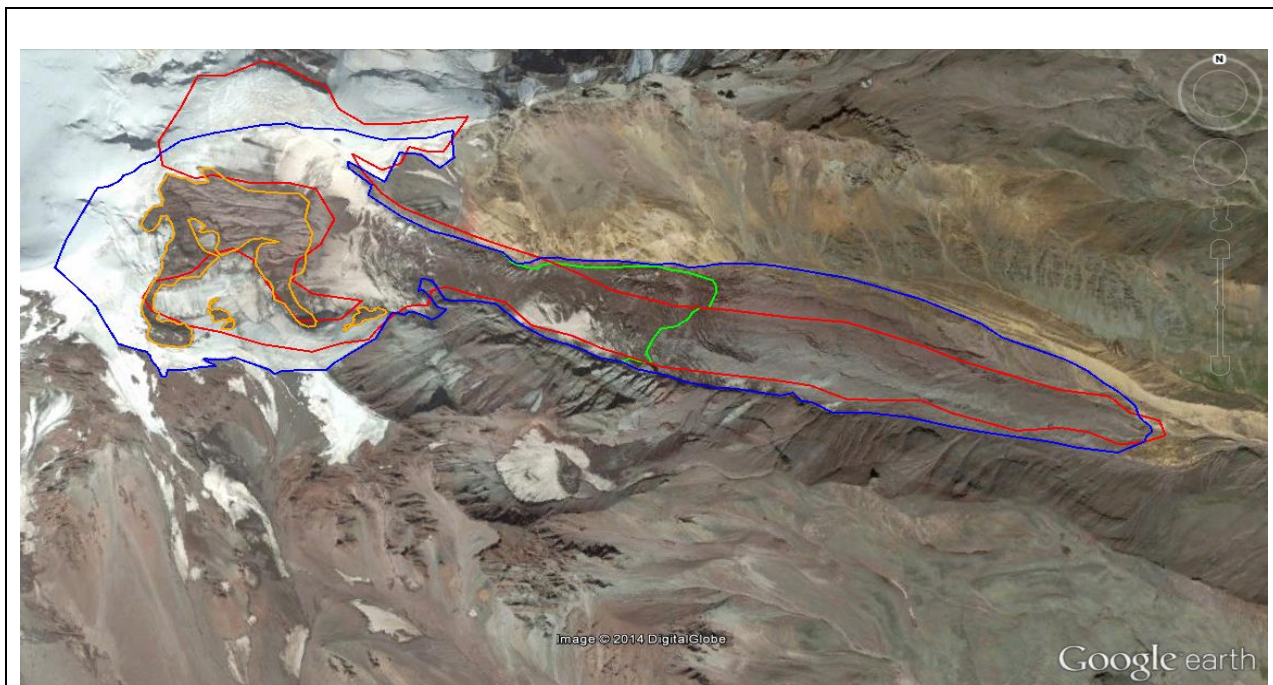
სურ. 4.5. დედლორაკის მცინვარის კონტურების შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

**4. მცინვარი აბანო.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011049, სსრკ კატალოგში – 240, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044532E42697N.

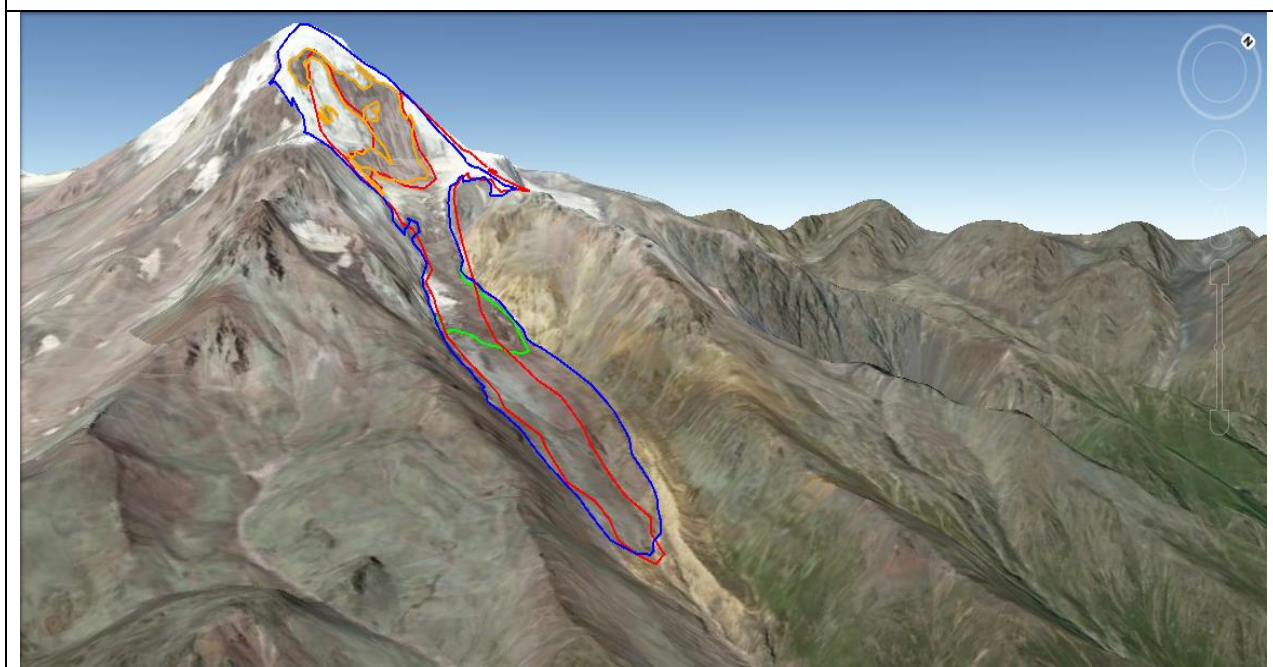
მცინვარ აბანოს მნიშვნელოვანი ნაწილი ნაშალით არის დაფარული, რაც კარგად ჩანს როგორც თანამგზავრულ სურათებზე, ასევე ტოპოგრაფიულ რუკაზე. სურ. 4.6-ზე მოყვანილია აბანოს მცინვარის კონტურები (ა) და 3D ვიზუალიზაცია (ბ) Google Earth-ის საშუალებით.

ისევე როგორც წინა სურათებზე, წითელი ფერით ნაჩვენებია GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტური, ლურჯი ფერით ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტური, მწვანე ფერით კი ნაშალისაგან თავისუფალი უბანი. წინა სურათებისგან განსხვავებით სურ. 4.6-ზე ნარინჯისფერით ნაჩვენებია მცინვარის შიგნით, ყინულისაგან თავისუფალი უბნები, ე.წ. შიდა კლდეები.





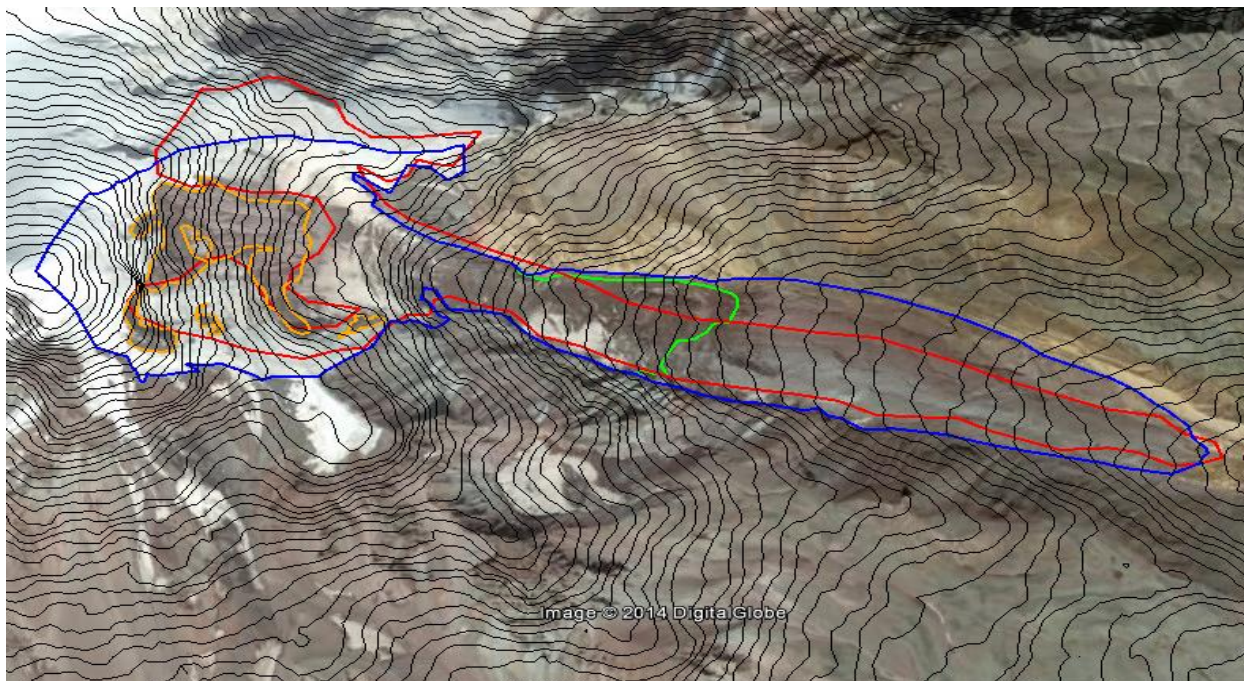
ა.



ბ.

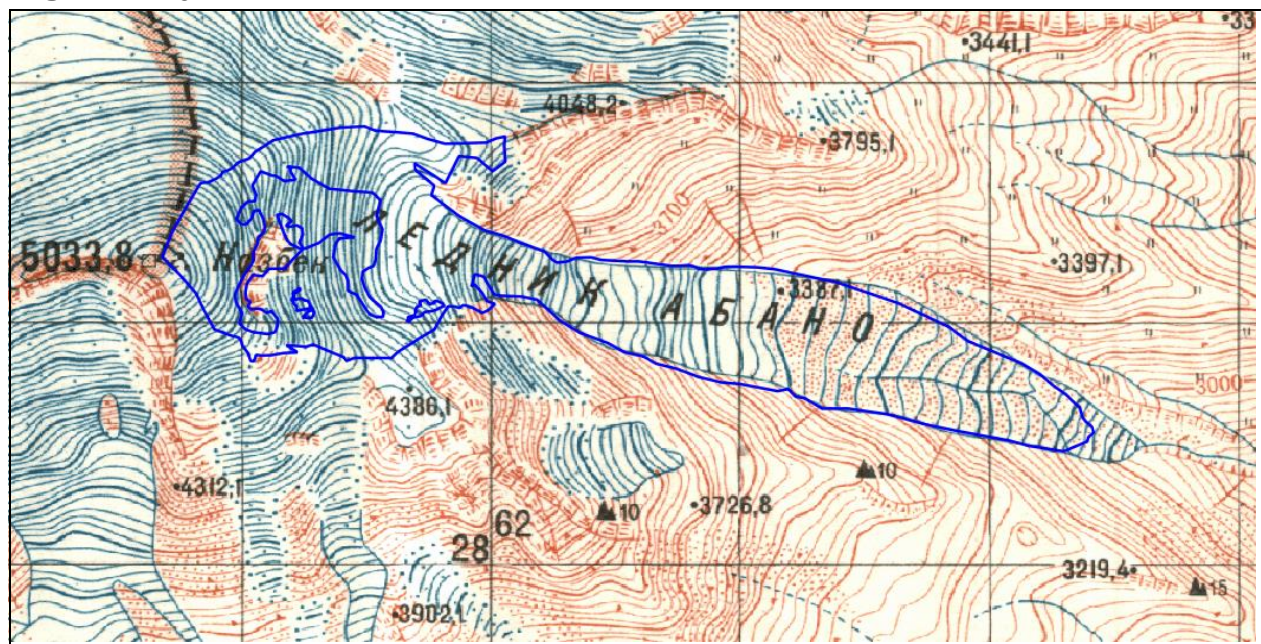
სურ. 4.6. მცინვარ აბანოს კონტურები (ა) და მცინვარი აბანოს 3D ვიზუალიზაცია (ბ).  
მცინვარ აბანოს სიმაღლის განაწილების იზოხაზები ნაჩვენებია სურ. 4.7-ზე.





სურ. 4.7. მყინვარი აბანოს კონტურები და სიმაღლის იზოხაზები 30 მ ბიჯით.

მყინვარ აბანოს კონტურის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან ნაჩვენებია სურ. 4.8-ზე.

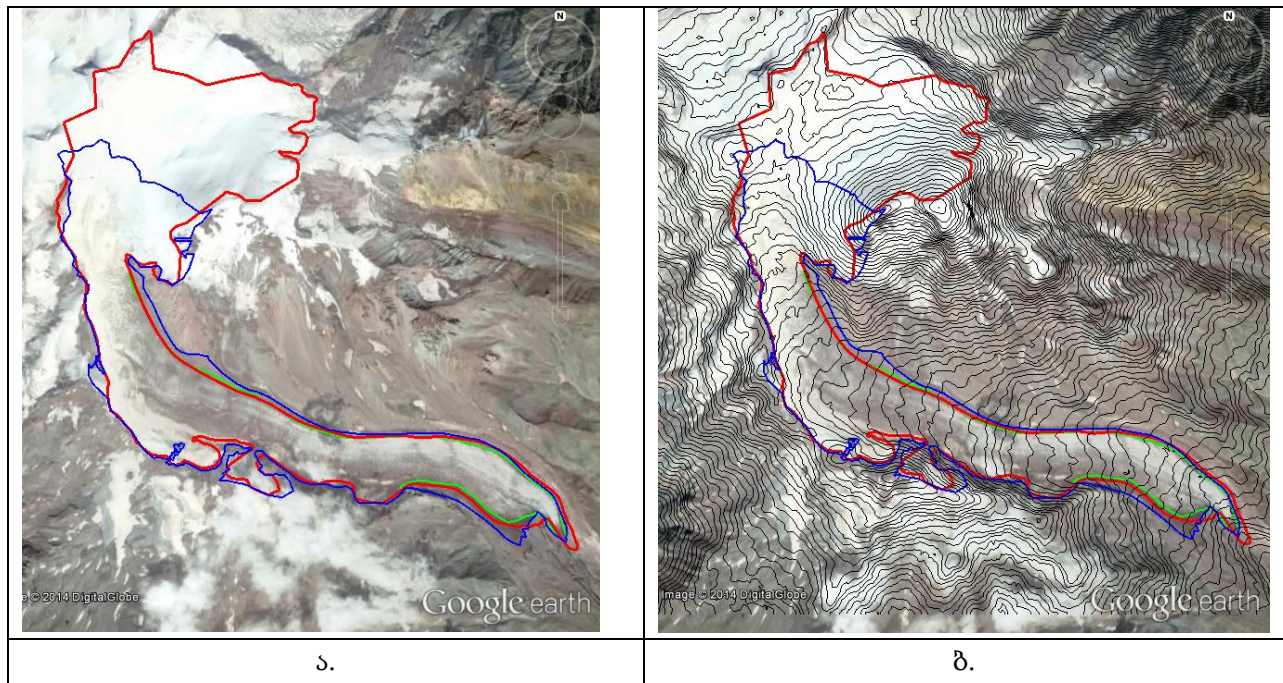


სურ. 4.8. მყინვარ აბანოს კონტურების შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

**5. მყინვარი გერგეთი.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011052, სსრკ კატალოგში – 238, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044499E42692N.



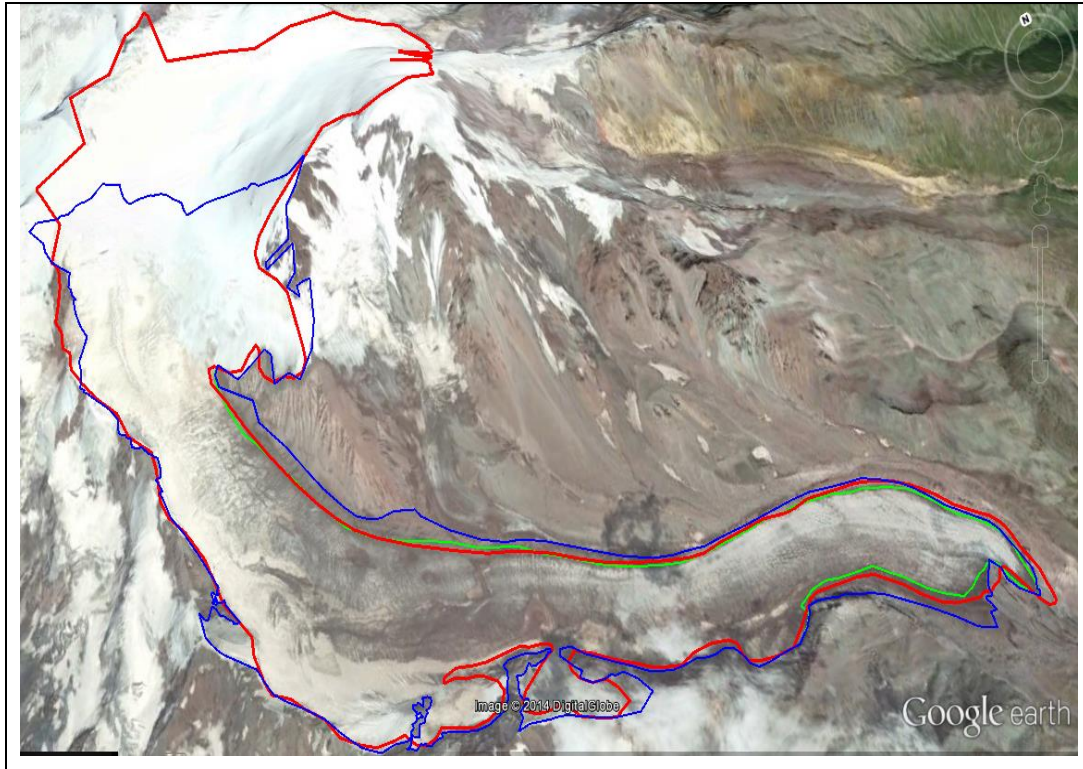
კონტურების დაზუსტების შედეგად მყინვარ გერგეთის კონტურის ფორმა მნიშვნელოვნად შეიცვალა. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურებში მყინვარწვერის პლატოს უმეტესი ნაწილი მიკუთვნებული ჰქონდა გერგეთის მყინვარს. რელიეფის ციფრული მოდელით გენერირებული სიმაღლის იზოხაზების გამოყენების შედეგად დაზუსტდა წყალგამყოფი. ამან განაპირობა, რომ პლატოს მნიშვნელოვანი ნაწილი მიეკუთვნა დევდორაკის მყინვარს. გერგეთის მყინვარის კონტურები და სიმაღლის განაწილების იზოხაზები მოყვანილია სურ. 4.9-ზე.



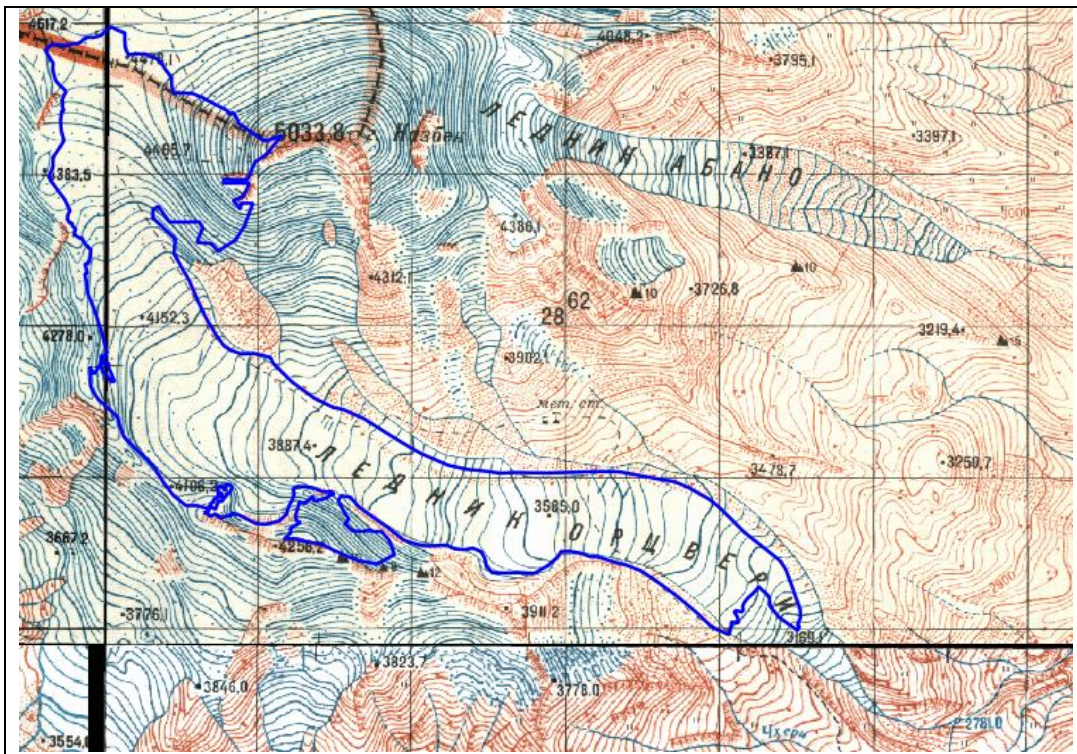
სურ. 4.9. გერგეთის მყინვარის კონტურები (ა) და სიმაღლის იზოხაზები (ბ).

სურ. 4.10-ზე წარმოდგენილია მყინვარ გერგეთის 3D ვიზუალიზაცია. სურ. 4.11-ზე მოყვანილია თანამგზავრული დისტანციური მონიტორინგით მიღებული მყინვარ გერგეთის კონტურებისა და საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკებზე არსებული მყინვარ გერგეთის კონტურების შედარების შედეგი. რუკაზე იგი ორწვერის მყინვარის სახელწოდებით არის მოყვანილი.





სურ. 4.10. გერგეთის მყინვარის 3D ვიზუალიზაცია.



სურ. 4.11. მყინვარ გერგეთის (ორწვერის) შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

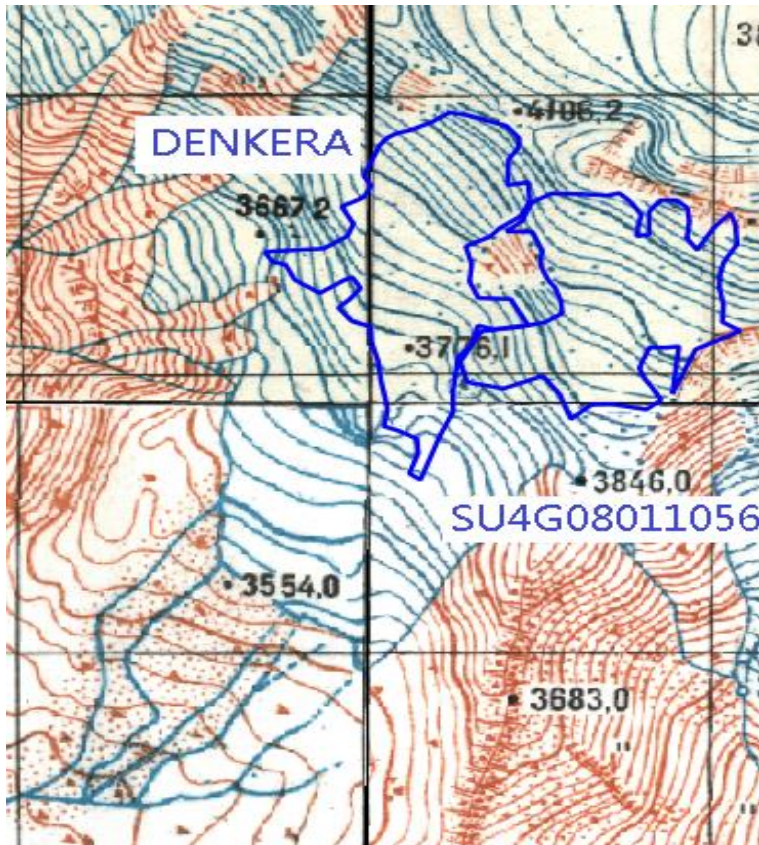
**6. უსახელო მცინვარი** – საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011056, სსრკ კატალოგში – 235, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044508E42671N და

**7. მცინვარი დენკერა** – საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011057, სსრკ კატალოგში – 234, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044501E42672N.

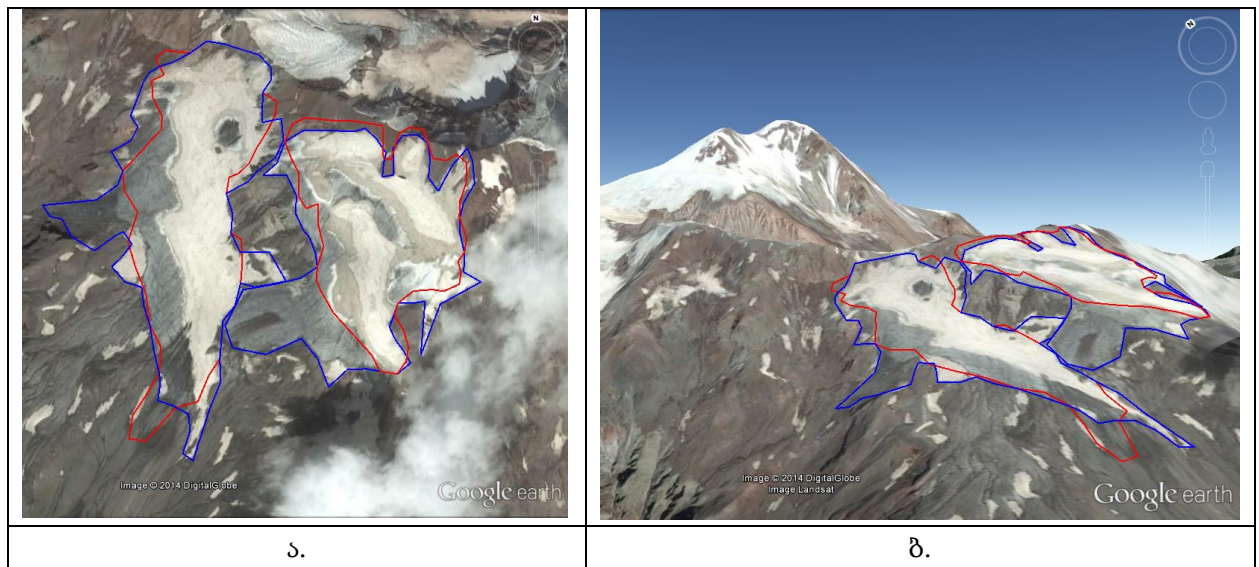
მცინვარების SU4G08011056 და დენკერასათვის კატალოგში ნაჩვენებია, რომ ისინი ნაშალისაგან თავისუფალი არიან – სიგრძე და ფართობი მთლიანი მცინვარისა და ღია ნაწილისა ერთი და იგივეა (მხოლოდ მცინვარ დენკერას მთლიანი მცინვარის და ღია ნაწილის ფართობი 0.4 მ<sup>2</sup>-ით განსხვავდება). თანამგზავრული სურათის მიხედვით ეს მცინვარები ნაშალისაგან თავისუფალი არ არიან და მათი ენის ბოლოს ზუსტი დადგენა გაძნელებულია. შესაბამისად, რადგან ფირნის ხაზის დადგენისათვის გვჭირდება მცინვარის ბოლოს სიმალე ზღვის დონიდან, გამოთვლების შედეგები არაზუსტი იქნება. შესაბამისად, ამ მცინვარებისათვის ცხრილ 4.1-ში დატოვებულია შეუვსებელი უჯრები.

მცინვარების SU4G08011056 და დენკერას ტოპოგრაფიულ რუკასთან შედარების შედეგი მოყვანილია სურ. 4.12-ზე. როგორც სურ. 4.12-დან ჩანს, ორივე მცინვარი წარსულში ერთი, ამჟამად ფრაგმენტირებული მცინვარის შემადგენლობაში შედიოდა. როგორც ავლნიშნეთ, მცინვარის ბოლო, ნაშალითაა დაფარული და მისი იდენტიფიცირება გაძნელებულია. ამას მიანიშნებს სურ. 4.13, სადაც მოყვანილია აღნიშნული მცინვარების კონტურები და 3D ვიზუალიზაცია. ამიტომ, ცხრილ 4.1-ში შეტანილი გვაქვს ამ ორი მცინვარის მხოლოდ ღია ნაწილის მახასიათებლები.





სურ. 4.12. მცინვარების SU4G08011056-ის და დენკერას შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.



სურ. 4.13. მცინვარების SU4G08011056 და დენკერას კონტურები (ა) და 3D ვიზუალიზაცია (ბ).

**8. უსახელო მცინვარი** –საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011058, სსრკ კატალოგში – 234a, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044491E42682N,

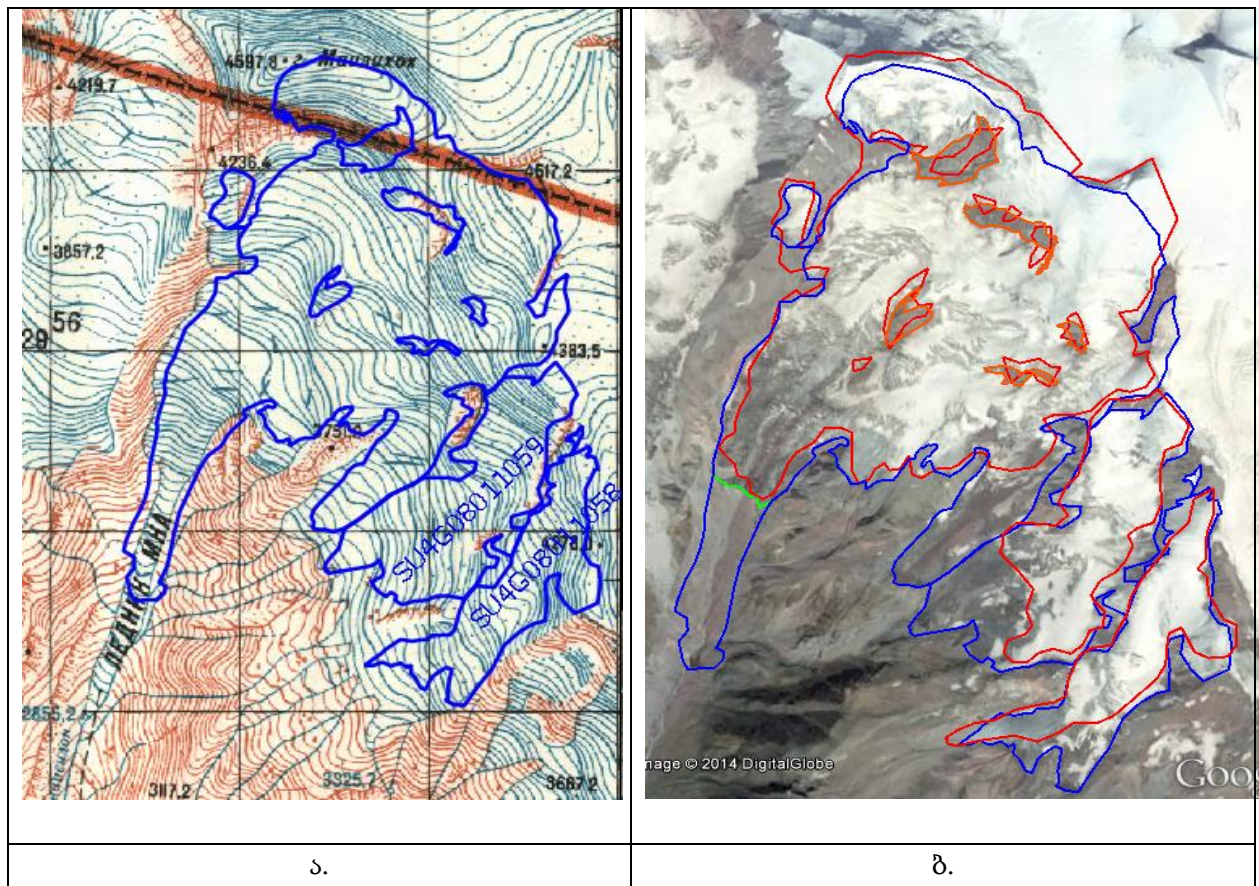
**9. უსახელო მცინვარი** – საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011059, სსრკ კატალოგში – 233a, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044490E42688N და

**10. მცინვარი მნა.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011060, სსრკ კატალოგში – 233, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044483E42698N.

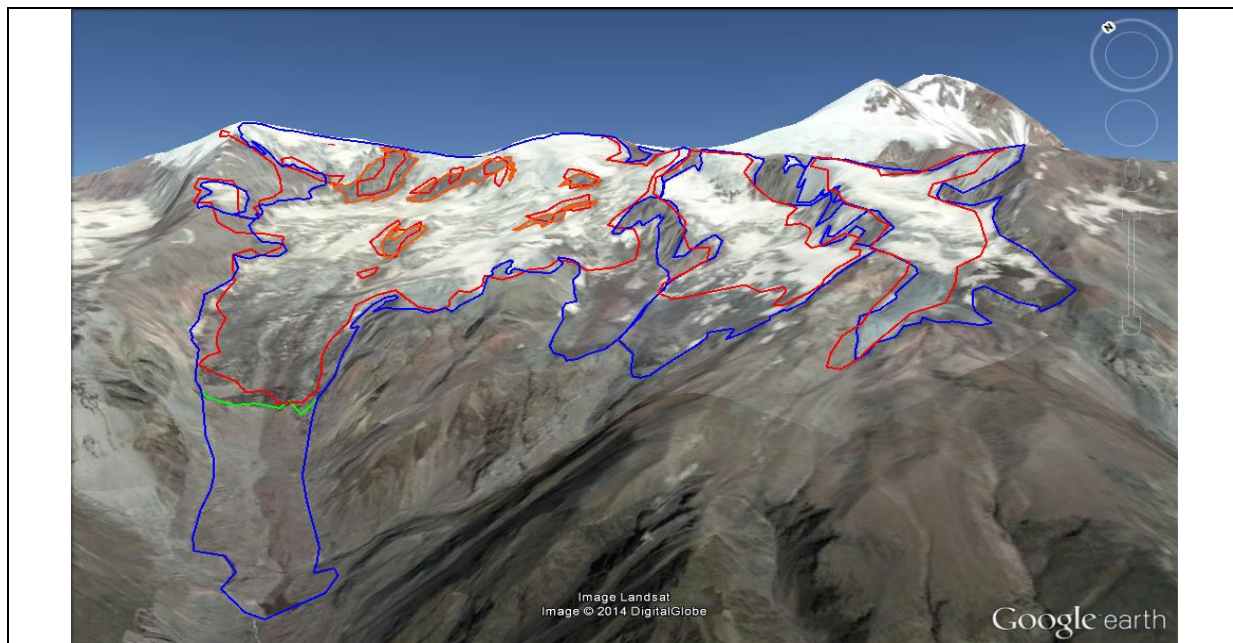
სურ. 4.16-ზე მოყვანილია თანამგზავრული დისტანციური მონიტორინგით მიღებული მცინვარ მნას და მსოფლიო კატალოგში SU4G08011058 და SU4G08011059 კოდებით რეგისტრირებული მცინვარების კონტურების საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკებთან შედარების შედეგი (ა), აგრეთვე ამ მცინვარების კონტურები (ბ). როგორც სურათიდან ჩანს, სამივე მცინვარი 1960-იან წლებთან შედარებით საგრძნობლად არის დამოკლებული. გარდა ამისა, სავარაუდოა, რომ ისინი წარსულში ერთი მთლიანი მცინვარის ფრაგმენტებს წარმოადგენდნენ.

მცინვარი მნა სხვა მცინვარებისაგან გამოირჩევა შიდა კლდეების სიმრავლით (სურ. 4.14). გარდა ამისა, მცინვარის ქვედა ნაწილი ნაშალით არის დაფარული. ნაშალითვე არის დაფარული SU4G08011058 და SU4G08011059-ის ბოლოები. თუ მცინვარ მნას შემთხვევაში მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრულ სურათზე გარკვევით ჩანს ნაშალით დაფარული მცინვარის ბოლო (სურ. 4.15), ამიტომ მთლიანად მცინვარის კონტურის და მახასიათებლების დადგენა შესაძლებელია. რაც შეეხება მცინვარებს SU4G08011058 და SU4G08011059-ის მცინვარის ბოლოს ზუსტად დადგენა გაძნელებულია, რამაც თავისი ზეგავლენა შეიძლება იქონიოს მცინვარების მახასიათებლების ზუსტად განსაზღვრაში. ამიტომ ამ მცინვარების შემთხვევაში ხელმისაწვდომი თანამგზავრული მონაცემების დახმარებით მხოლოდ ნაშალისაგან თავისუფალი მცინვარის ზედაპირის ანუ ღია ნაწილის იდენტიფიცირება გახდა შესაძლებელი.





სურ. 4.14. მეინვარების მნას, SU4G08011058 და SU4G08011059-ის ტოპოგრაფიულ რუკასთან შედარება (ა) და კონტურები (ბ).



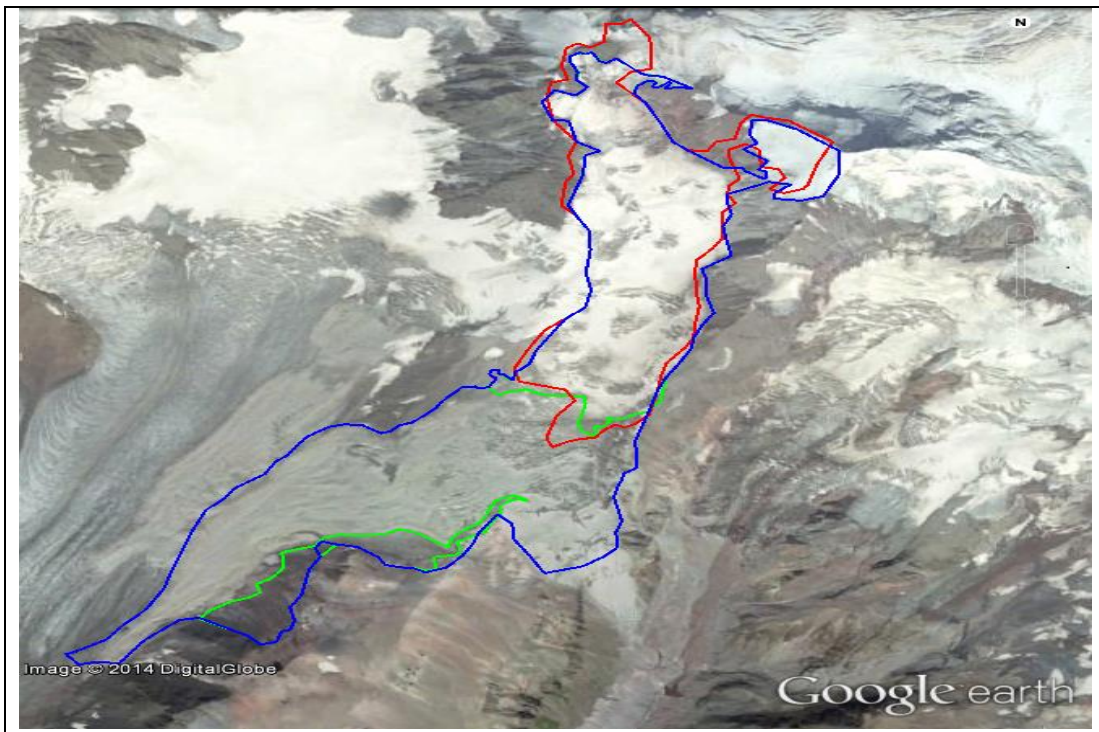
სურ. 4.15. მეინვარ მნას 3D ვიზუალიზაცია.



11. უსახელო მყინვარი – საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011061, სსრკ კატალოგში – 232, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044467E42706N.

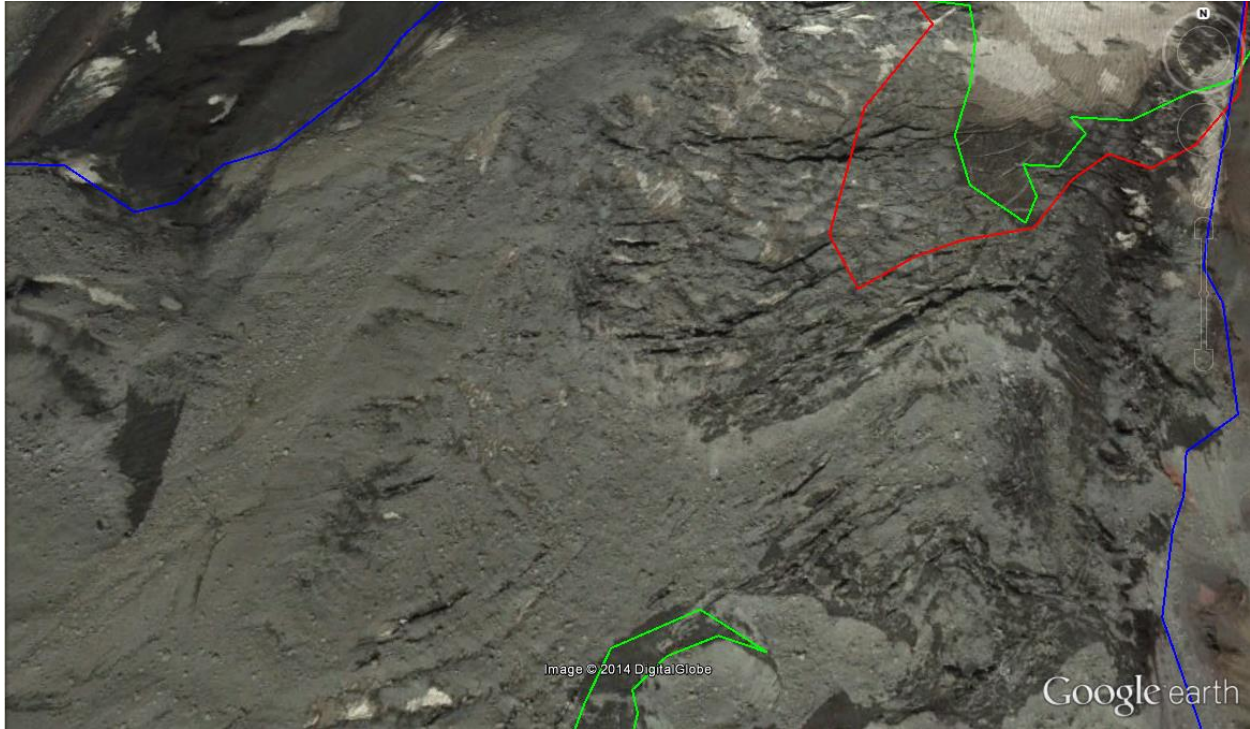
განსხვავებული სურათი გვაქვს SU4G08011061 მყინვარის შემთხვევაში. როგორც ცხრილ 4.1-დან ჩანს, ყველა სხვა მყინვარებისაგან განსხვავებით ამ მყინვარის მთლიანი სიგრძე და ფართობი იზრდება, ხოლო მინიმალური სიმაღლე მცირდება. ეს აიხსნება არა იმით, რომ რეალურად გაიზარდა მყინვარი, არამედ იმით, რომ ამ მყინვარის მნიშვნელოვანი ნაწილი ნაშალი მასალით არის დაფარული (სურ. 4.16). ამის დადგენა მხოლოდ მაღალი გარჩევითობის თანამგზავრული სურათების მიხედვით გახდა შესაძლებელი. კატალოგის მიხედვით (ცხრილი 4.1) მთლიანი და ღია ნაწილის სიგრძე, ფართობი, მინიმალური სიმაღლე ერთნაირია.

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტური (სურათზე ნაჩვენებია წითელი ფერით) გაცილებით ნაკლები ფართობისაა, ვიდრე ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტური. აღნიშნული კონტურის გამოყვანისას რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტის თანამშრომლები ხელმძღვანელობდნენ სენსორ Aster-ის 15 მ მონაცემებით. ეს სენსორი დედამიწის ზედაპირის სკანირებას ახდენს სპექტრის ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონში, მისი მაქსიმალური სივრცითი გარჩევითობა 15 მ-ია და მისი საშუალებით მყინვარის ნაშალი მასალით დაფარული ნაწილის იდენტიფიცირება რთულია.



სურ. 4.16. მყინვარ SU4G08011061-ის კონტურის 3D ვიზუალიზაცია.

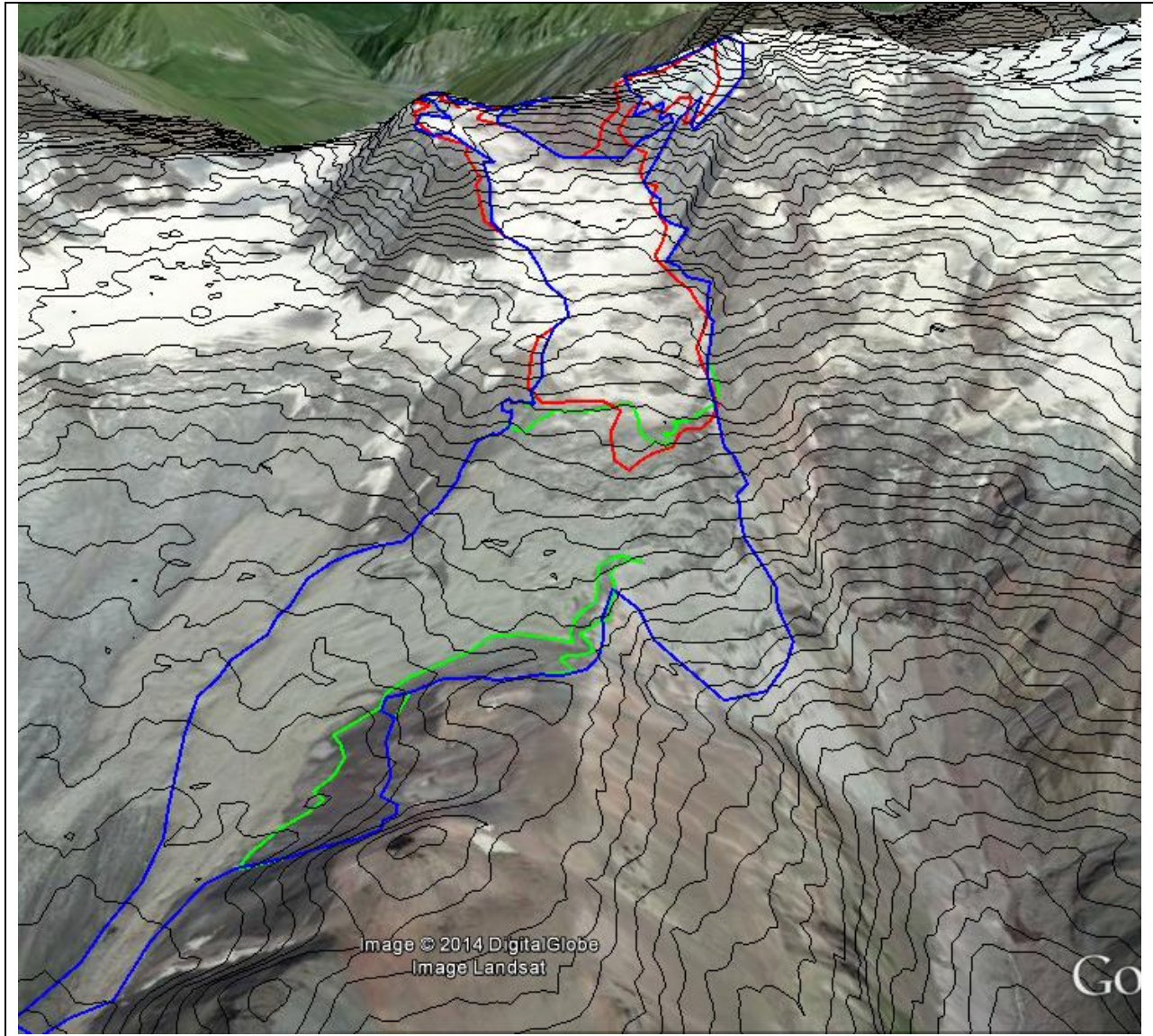
Digital Globe-ს მაღალი სივრცითი გარჩევადობის (0,5-1მ) თანამგზავრულ სურათზე კი გარკვევით ჩანს ნაპრალები მცინვარის ნაშალით დაფარულ უბნებზე, აგრეთვე ნაშალისაგან თავისუფალი უბნები (სურ. 4.17). შესაბამისად, Google Earth-ის მაღალი სივრცითი გარჩევადობის თანამგზავრული სურათები აღნიშნული მცინვარის კონტურის უფრო ზუსტად გავლების შესაძლებლობას იძლევა.



სურ. 4.17. SU4G08011061-ის მცინვარის ნაშალით დაფარული უბანი, სადაც გარკვევით ჩანს მცინვარის ნაპრალები.

გარდა ამისა, აღნიშნული მცინვარისათვის რელიეფის ციფრული მოდელის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ, რომ ამ მცინვარის მარცხენა ნაწილი, (თუკი მის დინებას მივყვებით) მდინარე მნას ხეობისაკენ ეშვება, მაშინ როდესაც მეორე, უფრო გრძელი ნაწილი სუათისისაკენ იხრება. სურ. 4.18-ზე ნაჩვენებია SU4G08011061 და სიმაღლის იზოხაზების ზედდების შედეგი.





სურ. 4.18. მცინვარ SU4G08011061-ის სიმადლის იზოხაზები 30 მ ბიჯით. მცინვარის მარჯვენა ნაწილი მდინარე მნას ხეობისკენ ეშვება, მარცხენა, უფრო გრძელი ნაწილი – მცინვარ სუათისისკენ.

SU4G08011061 მცინვარის კონტურს ტოპოგრაფიულ რუკას თუ შევადარებთ, აშკარად გამოჩნდება, რომ ეს მცინვარი ტოპოგრაფიულ რუკაზე სუათისის მცინვარის ნაწილად არის წარმოდგენილი სურ. 4.19. ტოპოგრაფიულ რუკაზე დასავლეთ, შუა და აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარები ერთ სუათისის მცინვარად არიან გაერთიანებული. SU4G08011061 მცინვარი კი უშუალოდ აღმოსავლეთ სუათისის აღმოსავლეთით მდებარეობს. როგორც ჩანს, SU4G08011061 აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარის დანაწევრების შედეგია.

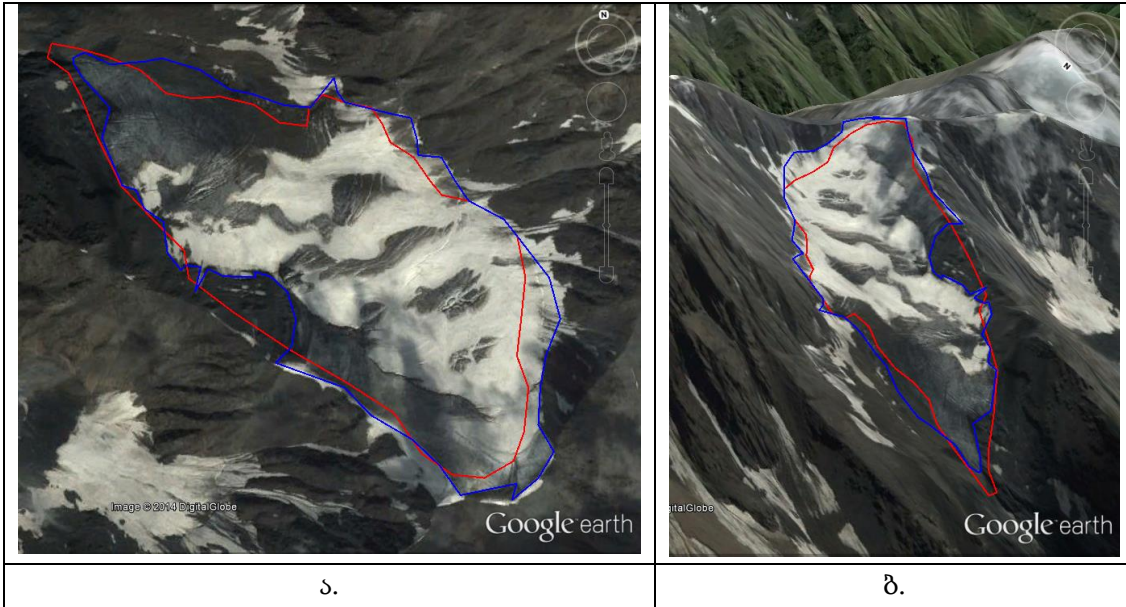




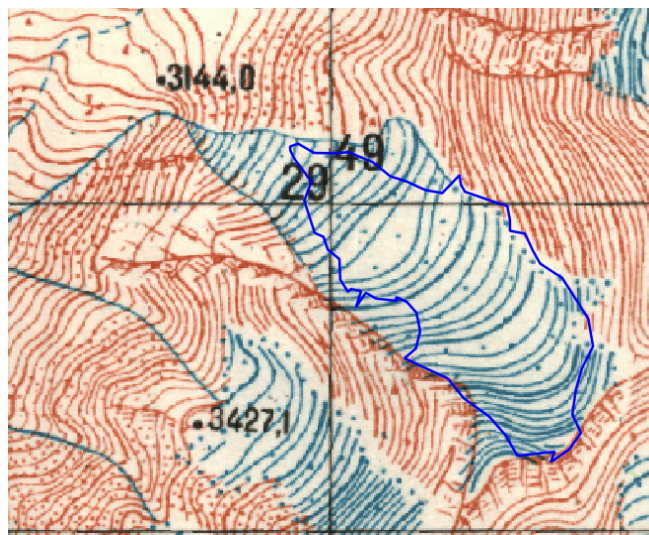


15. უსახელო მყინვარი – საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU4G08011072, სსრკ კატალოგში – 222, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G044381E42692N.

მყინვარი SU4G08011072 მდინარე თერგის აუზის ხეობაში მდებარეობს. სურ. 4.20-ზე მოყვანილია GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში რეგისტრირებული და ჩვენს მიერ კორექტირებული კონტურები (ა), აგრეთვე 3D ვიზუალიზაცია (ბ), ხოლო სურ. 4.21-ზე შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.



სურ. 4.20. მყინვარ SU4G08011072-ის კონტურები (ა) და 3D ვიზუალიზაცია (ბ).



სურ. 4.21. მყინვარ SU4G08011072-ის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

ამით დავასრულეთ ცხრილ 4.1-ში მოყვანილი აღმოსავლეთ საქართველოს მცენარეების კონტურების, 3D ვიზუალიზაციის და ტოპოგრაფიულ რუკებთან შედარება.

#### **4.2. დასავლეთ საქართველოს ცალკეული მცენარეების მახასიათებლების განსაზღვრა.**

დასავლეთ საქართველოს მცენარეები მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში წარმოდგენილია 53 მცენარით. აქედან მცენარებს, რომელთა მონაცემები სრულადაა მოცემული სსრკ კატალოგში [5] – 10-ია (ცხრილი 4.2). GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან შეირჩა დასავლეთ საქართველოს მცენარეების კონტურები: ჰალდე – 2001 წლის 15 სექტემბერი: ბოკოსი და თბილისა 1999 წლის 18 აგვისტოს, ხოლო დანარჩენები 2004 წლის 15 აგვისტოს და დამუშავებულია 2007 წლის 6-13 მარტს. მათი კონტურების დასაზუსტებლად ვისარგებლეთ პროგრამა Google Earth-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული მაღალი სივრცითი გარჩევითობის (0,6–1 მ) და 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებული თანამგზავრული სურათით. ამ სურათზე მოცემულია დასავლეთ საქართველოს მცენარეები მაქსიმალური აბლაციის პერიოდში.

დასავლეთ საქართველოს მცენარეების კონტურების დასაზუსტებლად ვისარგებლეთ პროგრამა Google Earth-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული მაღალი სივრცითი გარჩევითობის (0,6–1 მ) და 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებული თანამგზავრული სურათით. ამ სურათზე მოცემულია დასავლეთ საქართველოს მცენარეები მაქსიმალური აბლაციის პერიოდში.

დასავლეთ საქართველოს მცენარეების ვიზუალიზაციისას ლურჯი ფერით ნაჩვენებია მცენარის დაზუსტებული კონტური, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტური – შავი ფერით. წითელი ფერით ნაჩვენებია შიდა კლდოვანი, თოვლისა და ყინულისაგან თავისუფალი უბნები. იისფერი ხაზით მონიშნულია გეფერის მეთოდით გამოთვლილი ფირნის ხაზის სიმაღლე, ყავისფერით ნაჩვენებია ხაზი, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრა მთლიანი მცენარის სიგრძე უმაღლესიდან უმდაბლეს წერტილამდე, ხოლო თუ მცენარის მთლიანი და ღია ნაწილის სიგრძეები განსხვავდება, მაშინ მწვანე ფერით აღნიშნულია ხაზი, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრა მცენარის ღია ნაწილი სიგრძე. ყვითელი ფერით აღნიშნულია სახელმწიფო საზღვარი რუსეთის ფედერაციასთან. ზოგ სურათზე მცენარის მთლიანი და ღია ნაწილის გამოსაკვეთად მსხვილი ლურჯი ფერის ხაზით აღნიშნულია მცენარის ღია ნაწილის კონტური, ხოლო წვრილი ლურჯი ხაზით მცენარის მთლიანი კონტური.

ცხრილი 4.2. დასავლეთ საქართველოს მცინვარების რიცხვითი მახასიათებლები: მაქსიმალური სიგრძე, ფართობი, მინიმალური სიმაღლე, ფირნის ხაზის სიმაღლე, აბლაციის არის ფართობი. (1)-ით აღნიშნულ სვეტებში მოცემული შედეგები, მიღებულია თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე; (2)-ით აღნიშნულ სვეტებში მოცემული შედეგები მოყვანილია მცინვარების კატალოგის საფუძველზე [5].

№	მცინვარის სახელი	მცინვარების მსოფლიო კატალოგში საინდენტ.	სსრკ კატა ლ. საიდ.	მაქს. სიგრძე (კმ)				ფართობი (კმ <sup>2</sup> )				მინ. სიმაღლე (მ)				მაქს. სიმაღლე (მ)	ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ)	აბლაციის არის ფართობი (კმ <sup>2</sup> )			
---	------------------	---	--------------------	-------------------	--	--	--	----------------------------	--	--	--	------------------	--	--	--	-------------------	--------------------------	--	--	--	--

1.	ჰალდე	SUST09105290	255d	7,5	8,4	5	7,1	9,8	11,0	6,5	10,3	2519	2450	2450	2650	4960	4100	3475	3440	4,7	3,8	1,4	3,1
2.	შხარა	SUST09105294	256b	4,2	5,1	2,3	4,4	3,8	5,2	2,2	4,8	2521	2520	2947	2620	4562	4400	3411	3410	2,4	1,7	0,8	1,3
3.	ნამყვამი	SUST09105295	258	2,9	3,4	2,2	2,8	2,6	3,9	1,8	3,5	2888	2630	3076	2830	4134	3780	3479	3350	1,5	1,2	0,6	0,8
4.	ყორულდაში	SUST09106344	318b		3,6	2,9	3,3		2,8	2,3	2,6		2320	2570	2480	4166	3820		3330		0,8		0,6
5.	ედენა	SUST09106362	329	3,16	4,2	3,16	4,2	4,5	4,6	4,1	4,6	2827	2460	2827	2460	3970	4000	3364	3180	2,5	1,6	2,5	1,6
6.	ზოფხიტო	SUST09106366	332b	3,9	4,2	3,9	4,2	2,54	2,8	2,27	2,8	2494	2480	2494	2480	3971	3700	3147	3140	0,90	0,9	0,64	0,9
7.	ლაბოდა	SUST09106369	332	3,2	2,7	2,05	2,5	2,36	2,0	1,79	1,8	2486	2420	2851	2550	4163	4000	3252	3220	0,8	0,7	0,3	0,5
8.	კირტიშო	SUST09106382	350	4,22	5,1	4,22	5,1	4,02	4,6	4,02	4,6	2596	2430	2596	2430	3688	3650	3233	3150	1,35	1,3	1,35	1,3
9.	ბოკოსი	SUST09106394	359	4,2	4,5	4,2	4,5	3,73	4,6	3,66	4,6	2616	2450	2616	2450	3996	3900	3463	3380	0,76	1,6	0,69	1,6
10.	თბილისა	SUST09106396	362	3,3	3,3	3,2	3,3	3,6	3,1	3,24	3,1	2940	2750	3017	2750	4422	3920	3525	3400	1,91	1,2	1,54	1,2

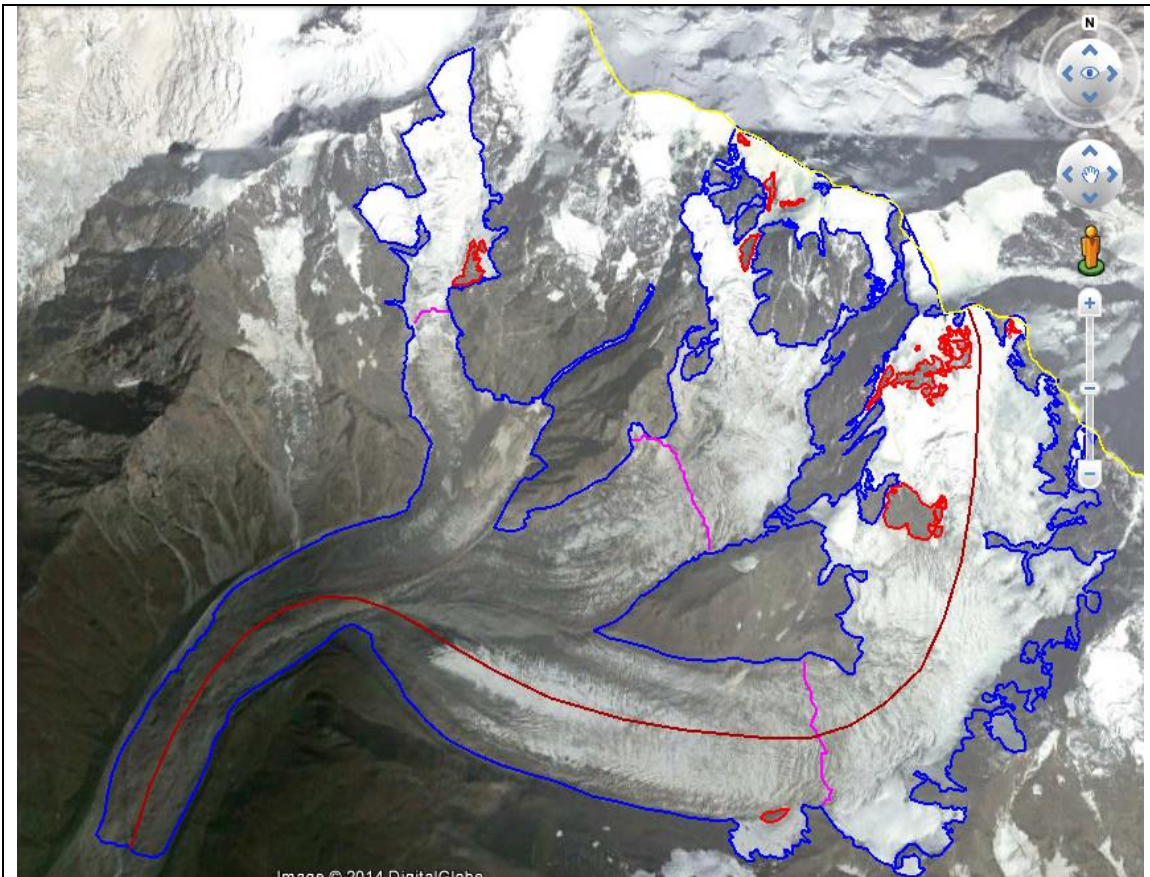
		კოდი ID		კოდი ID																	
		მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწილის		მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწილის		მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწილის						მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწილის	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)



1. მყინვარი ჰალდე. საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU5T09105290, სსრკ კატალოგში – 255d, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G043043E42994N.

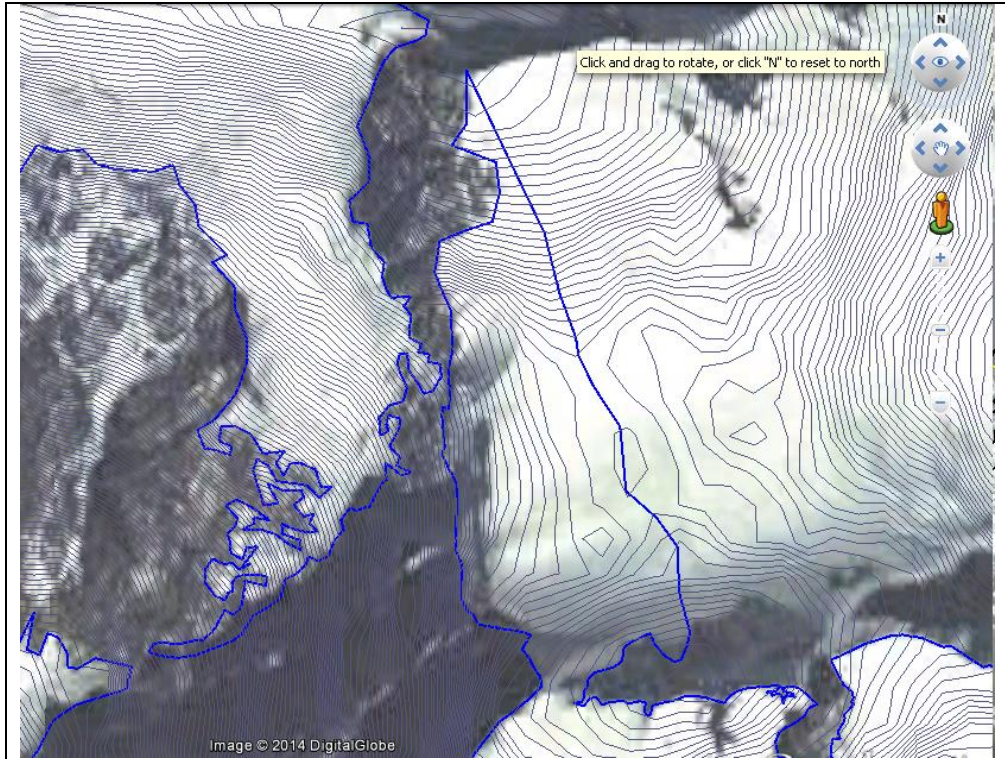
მყინვარ ჰალდეს კონტურის დასაზუსტებლად ვისარგებლეთ პროგრამა Google Earth-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული მაღალი სივრცითი გარჩევითობის (0,6 -1 მ) და 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებული თანამგზავრული სურათით.

სურ. 4.22-ზე მოყვანილია მყინვარ ჰალდეს კონტური.



სურ. 4.22. მყინვარ ჰალდეს კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.

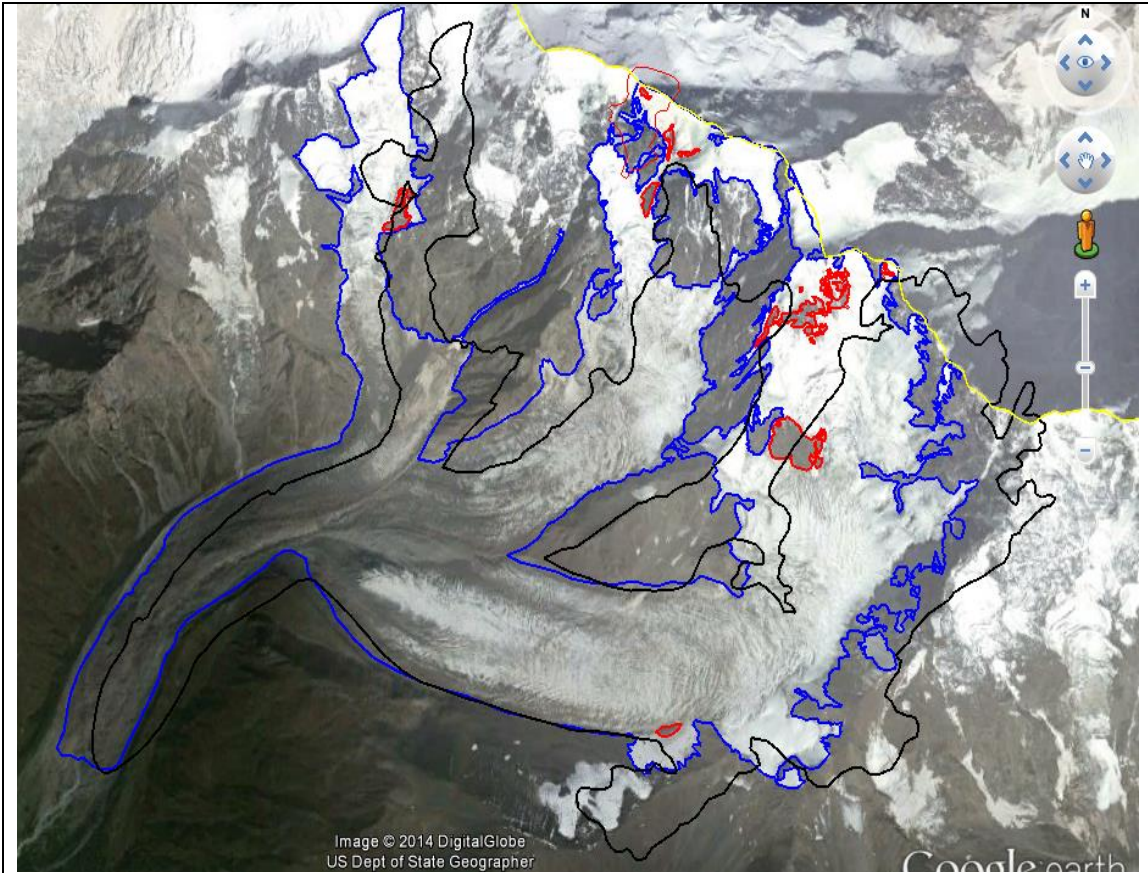
მყინვარის ჩრდილო-აღმოსავლეთ უბანში კონტურის დასაზუსტებლად გამოვიყენეთ Aster სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზები 5 მ-ის ბიჯით (სურ.4.23).



სურ.4.23. მყინვარ ჰალდეს ჩრდილო-აღმოსავლეთ უბანში კონტურის დაზუსტება იზოხაზების საშუალებით.

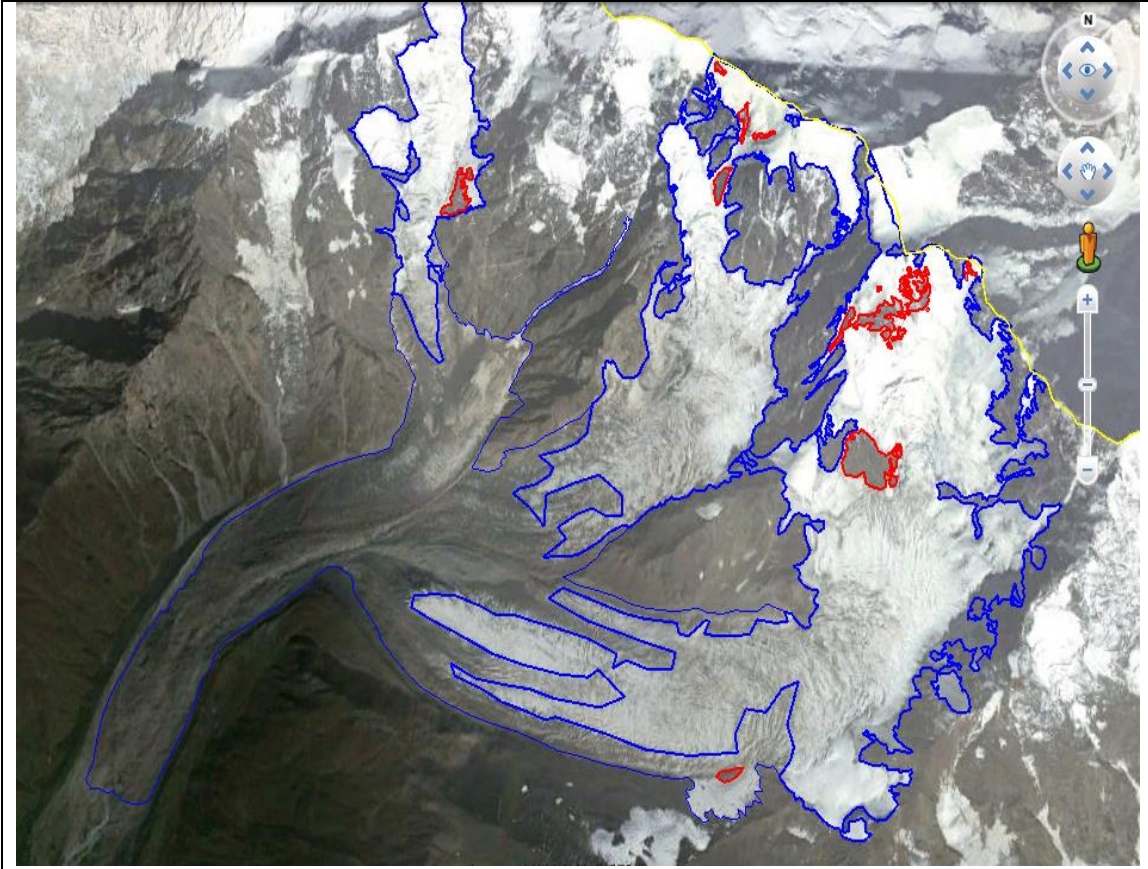
სურ. 4.24-ზე წარმოდგენილია მყინვარ ჰალდეს დაზუსტებული კონტურის შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურთან





სურ. 4.24. მცინვარ ჰალდეს დაზუსტებული კონტურის (ლურჯი ფერი) შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურთან (შავი ფერი)

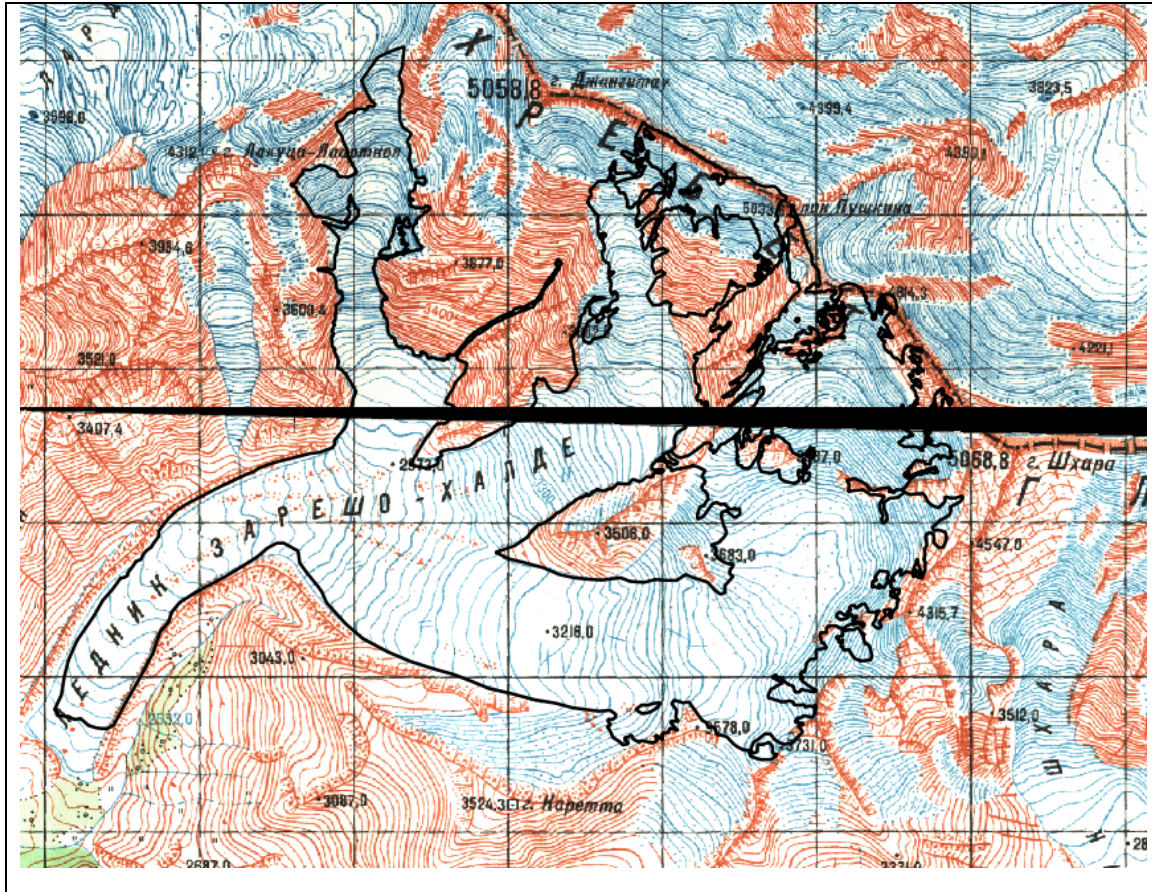
ქვემოთ მოყვანილ სურ. 4.25-ზე ნაჩვენებია მცინვარ ჰალდეს ნაშალისაგან თავისუფალი ღია არის და მთლიანი მცინვარის კონტურები.



სურ. 4.25. მცხეთის ჰაზარდის ნაშლისაგან თავისუფალი ღია არის (მსხვილი ლურჯი ხაზი) და მთლიანი მცხეთის კონტურები (წვრილი ლურჯი ხაზი).



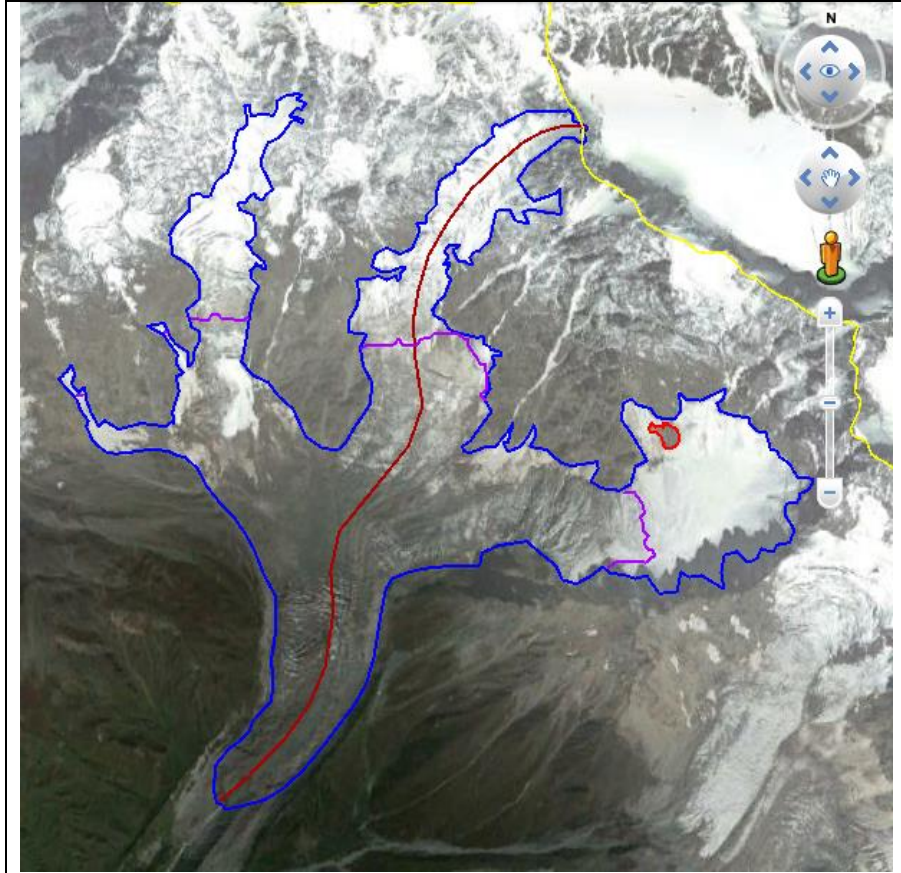
შემდეგ სურ. 4.26-ზე მცინვარ ჰალდეს დაზუსტებული კონტური შედარებულია გასული საუკუნეების 60-იანი წლების საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკასთან. (1:50000).



სურ. 4.26. მცინვარ ჰალდეს დაზუსტებული კონტურის (შავი ხაზი) შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

**2. მცინვარი შხარა.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU5T09105294, სსრკ კატალოგში – 256b, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G043106E42983N.

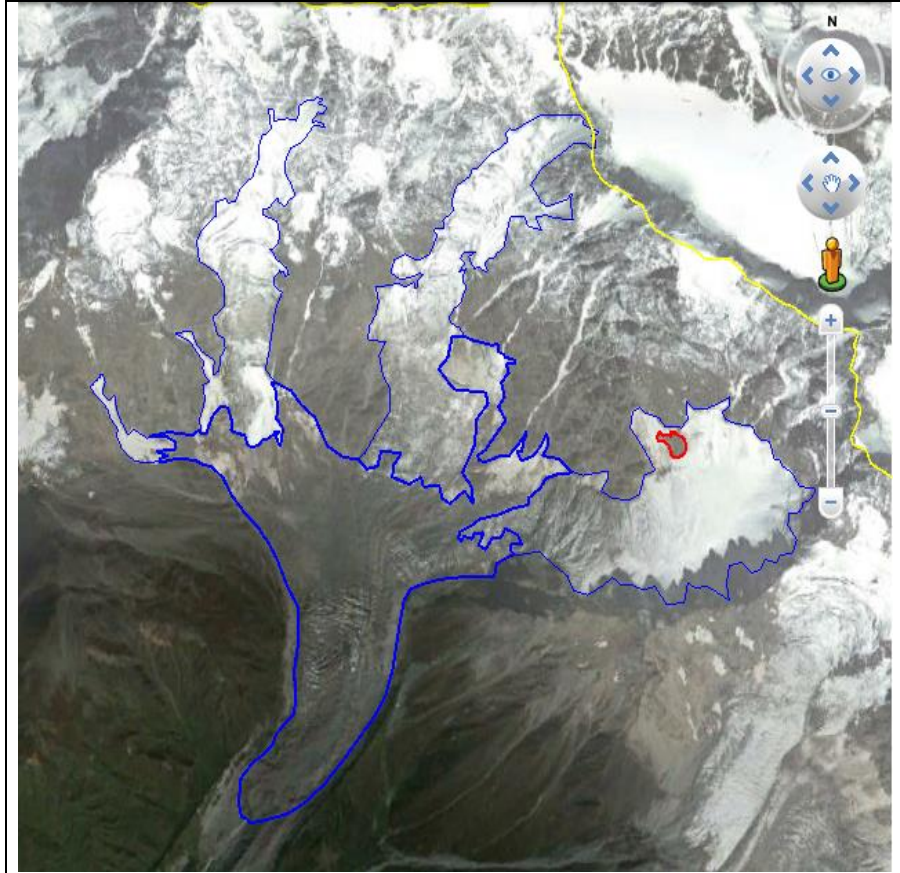
მცინვარ შხარას კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით მოცემულია სურ. 4.27-ზე.



სურ. 4.27. მცინვარ ჰალდეს კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით. ყავისფერით ნაჩვენებია ხაზი, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრა მცინვარის სიგრძე. წითელი ფერით – შიდა კლდე, იისფერით – ფირნის ხაზი.

მცინვარ ჰალდესგან განსხვავებით, მცინვარ შხარას შემთხვევაში კონტურის დასაზუსტებლად იზოხაზების გამოყენების საჭიროება არ წარმოქმნილა. რაც შეეხება ნაშლს, შხარას მცინვარის სხეული ქვედა ნაწილში ასევე უხვად არის დაფარული ნაშალით და მხოლოდ თანამგზავრული მონაცემებით კონტურის დაზუსტება საკმაოდ რთულია. თუმცა, შხარას შემთხვევაში მცინვარის უკიდურესი ქვედა საზღვარი კარგად გამოირჩევა. შემდეგ სურ. 4.28 მოყვანილია მცინვარის მთლიანი (შედარებით წვრილი ლურჯი ფერი) და ღია ნაწილის (შედარებით მსხვილი ლურჯი ფერი) კონტურები.





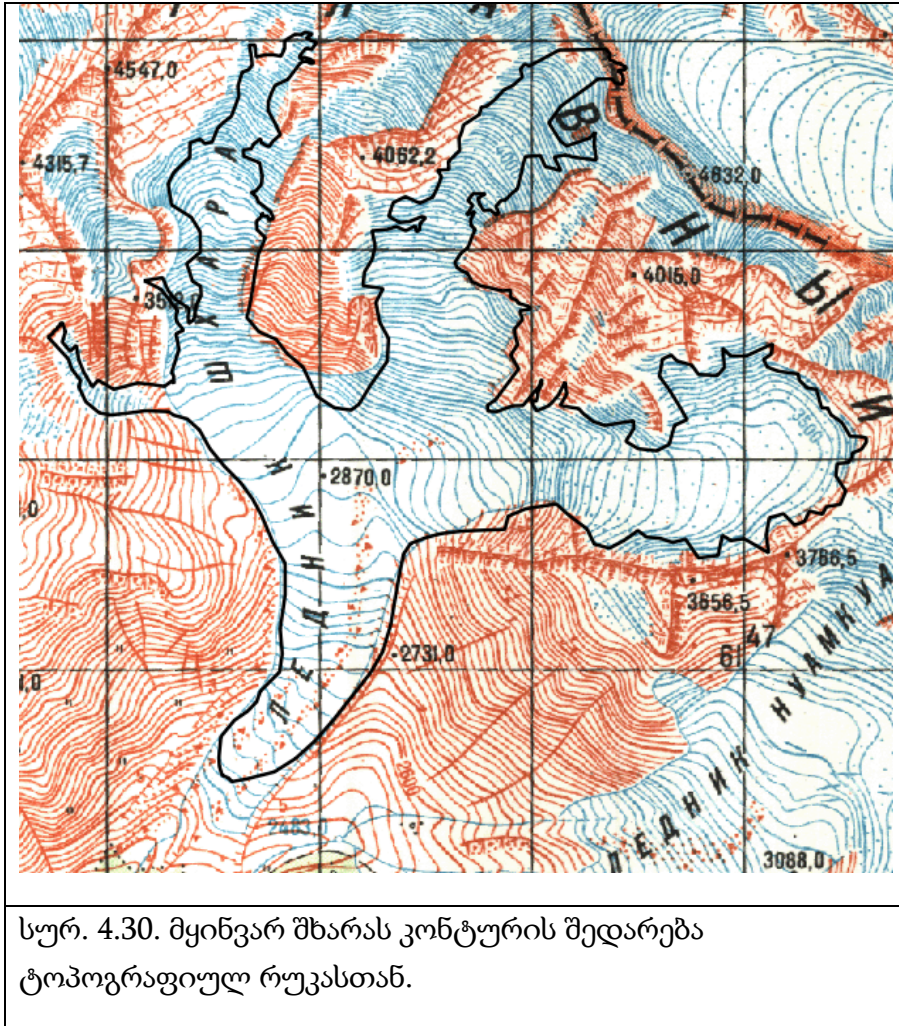
სურ. 4.28 მცინვარ შხარას მთლიანი (შედარებით წვრილი ლურჯი ფერი) და ღია ნაწილის (შედარებით მსხვილი ლურჯი ფერი) კონტურები.

შემდეგ სურათებზე მოყვანილია მცინვარ შხარას დაზუსტებული კონტურის შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურთან (სურ. 4.29) და საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკასთან (სურ. 4.30).



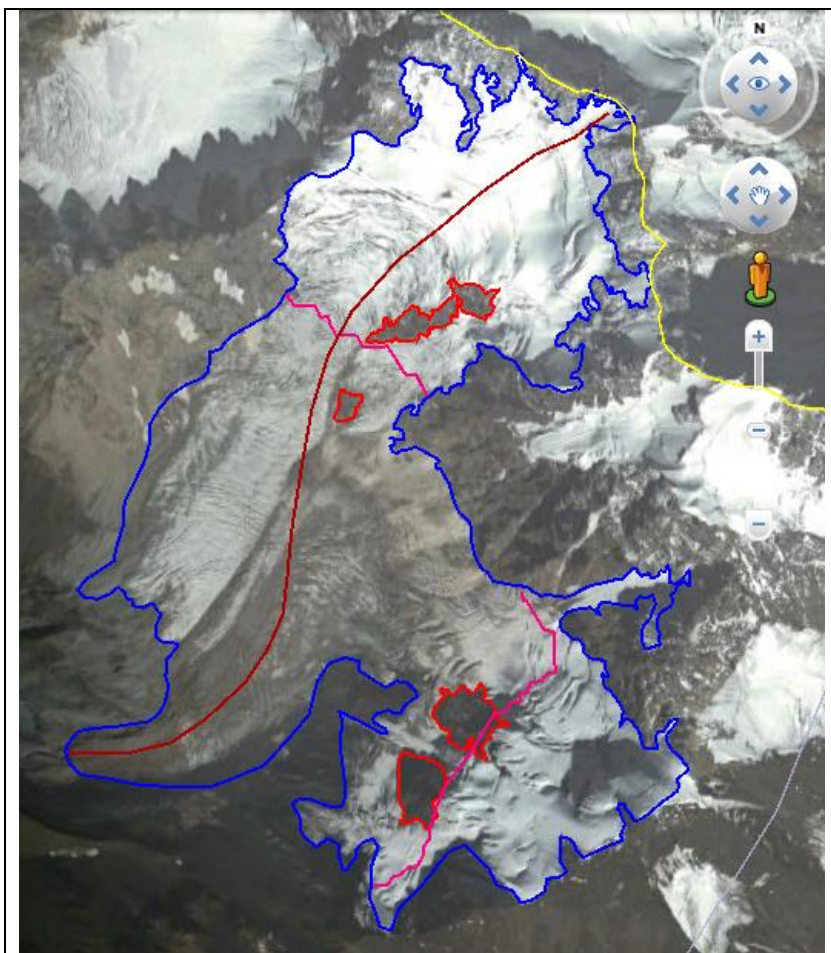
სურ. 4.29. მცინვარ შხარას დაზუსტებული კონტურის (ლურჯი ფერი) შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურთან (შავი ფერი).





**3. მცინვარი ნამცვამი.** მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზის საიდენტიფიკაციო ნომერია SU5T09105295, სსრკ მცინვარების კატალოგში - 258, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში - G043128E42966N.

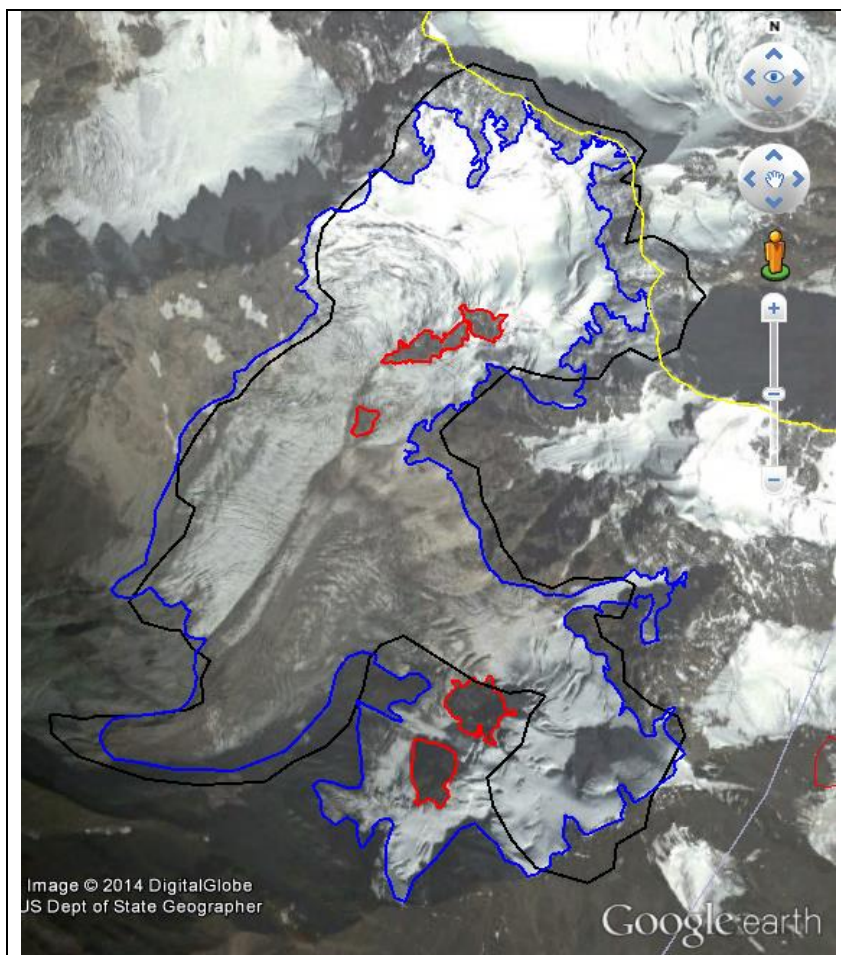
სურ.4.31-ზე მოყვანილია მცინვარ ნამცვამის დაზუსტებული კონტური. წინა მცინვარების მსგავსად მცინვარის დაზუსტების მიზნით გამოვიყენეთ 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებული მაღალი გარჩევითობის თანამგზავრული სურათი Google Earth-ის მონაცემთა ბაზიდან. შედეგი მოყვანილია შემდეგ სურათზე. სურათზე გამოყენებულია წინა მცინვარების ანალოგიური აღნიშვნები.



სურ. 4.31. მყინვარ ნამყვამის დაზუსტებული კონტური.

მყინვარ ნამყვამის კონტურების დაზუსტების დროს Aster სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზების გამოყენების საჭიროება არ წარმოქმნილა.

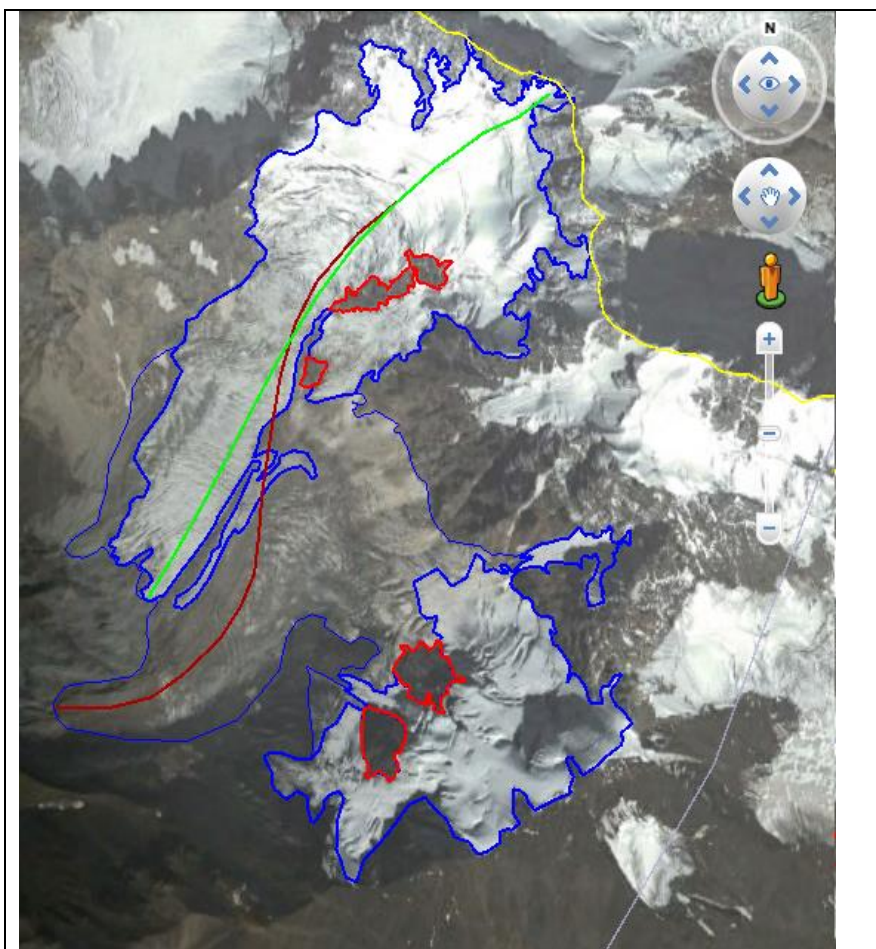
შემდეგ სურათზე წარმოდგენილია მყინვარ ნამყვამის დაზუსტებული კონტურისა და GLIMS-ის მონაცემთა ბაზის კონტურის შედარების შედეგი (სურ. 4.32).



სურ. 4.32. მყინვარ ნამყვამის დაზუსტებული კონტურის შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზის კონტურთან.

მყინვარ ნამყვამის მნიშვნელოვანი ნაწილი ნაშალით არის დაფარული. სურ. 4.33-ზე მოცემულია მყინვარის ღია (მსხვილი ლურჯი ხაზი) და მთლიანი (წვრილი ლურჯი ხაზი) არეების კონტურები მყინვარის სიგრძის განმსაზღვრელ წირებთან ერთად. ყავისფერი ხაზით ნაჩვენებია წირი, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრა მყინვარის სიგრძე მინიმალური და მაქსიმალური სიმაღლის წერტილებს შორის, მწვანე ფერის ხაზით - ღია ნაწილის სიგრძე.





სურ. 4.33. მცხეთის ნამცხეთის ღია (მცხეთის ღია ხაზი) და მთლიანი (წვრილი ღია ხაზი) არეების კონტურები მცხეთის სივრცის განმსაზღვრელ წირებთან ერთად.

მცხეთის ნამცხეთის კონტურის შედარება გასული საუკუნის 60-იანი წლების საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკასთან (1:50000) წარმოდგენილია სურ. 4.34-ზე.



სურ. 4.34. მყინვარ ნამყვამის დაზუსტებული კონტურის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

**4. მყინვარი ყორულდაში.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში – SU5T09106344, სსრკ მყინვარების კატალოგში – 318b, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G043157E42956N.

მყინვარ ყორულდაშის შემთხვევაში კონტურის დაზუსტება დაკავშირებული იყო გარკვეულ სირთულეებთან, კერძოდ, მყინვარის ენის ბოლო მთლიანად არის დაფარული მორენებით და ნაშალი მასალით, ამიტომ მისი ქვედა საზღვრის განსაზღვრა ძალიან რთულია. ამის გამო, აღნიშნული მყინვარის შემთხვევაში შემოვიფარგლეთ მხოლოდ მყინვარის ღია არის კონტურის განსაზღვრით. შესაბამისად, შეუძლებელი გახდა ისეთი პარამეტრების განსაზღვრა, როგორცაა მყინვარის ქვედა ნაწილის სიმაღლე ზღვის დონიდან, მყინვარის სიგრძე, აგრეთვე ფირნის ხაზის სიმაღლის განსაზღვრა გეფერის მეთოდით.

მყინვარ ყორულდაშის ღია არის კონტური სურ. 4.35-ზე არის წარმოდგენილი.

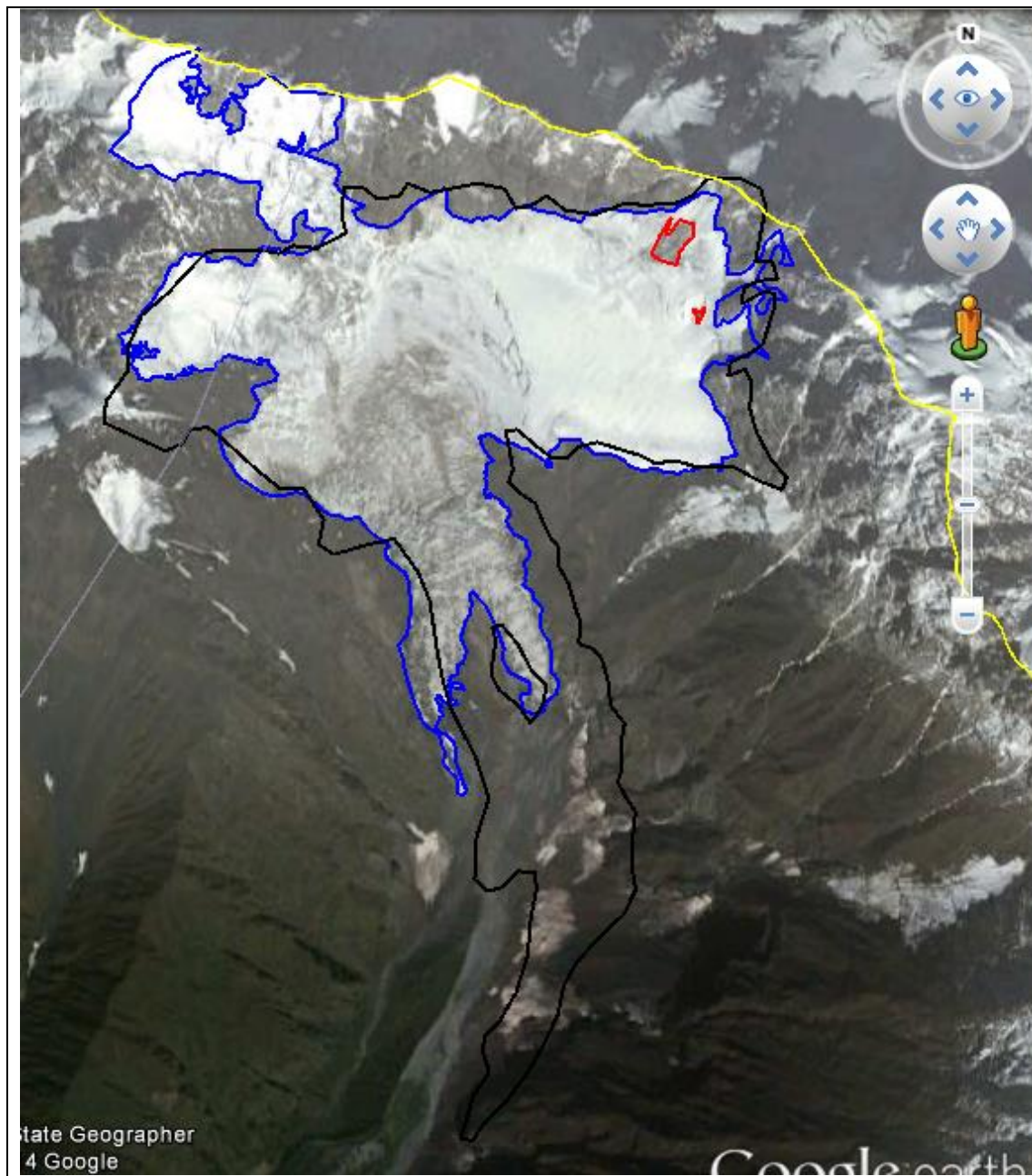




სურ. 4.35. მცინვარ ყორულდაშის ღია არე და მისი კონტური. მწვანე ფერით ნაჩვენებია ხაზი, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრა მცინვარის ღია ნაწილის სიგრძე, წითელი ფერით – შიდა კლდეები.

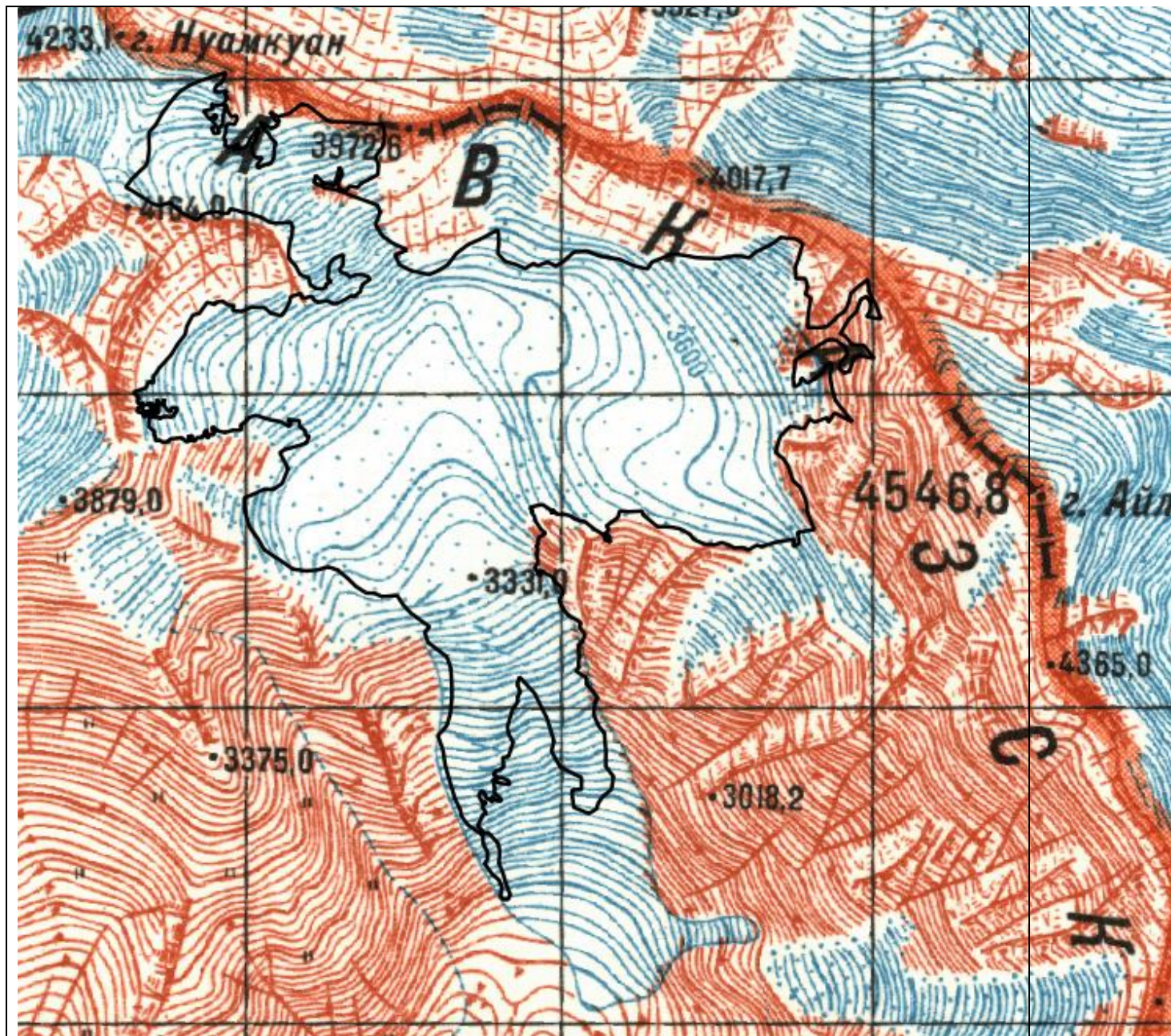
კონტურის განსაზღვრის დროს არ გვისარგებლია რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზებით. რაც შეეხება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურებთან და საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკებთან შედარებას, შესაბამისი სურათები მოყვანილია სურ. 4.36 და სურ. 4.37-ზე.





სურ. 4.36 მცინვარ ყორულდაშის ღია არის და GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურების შედარება.



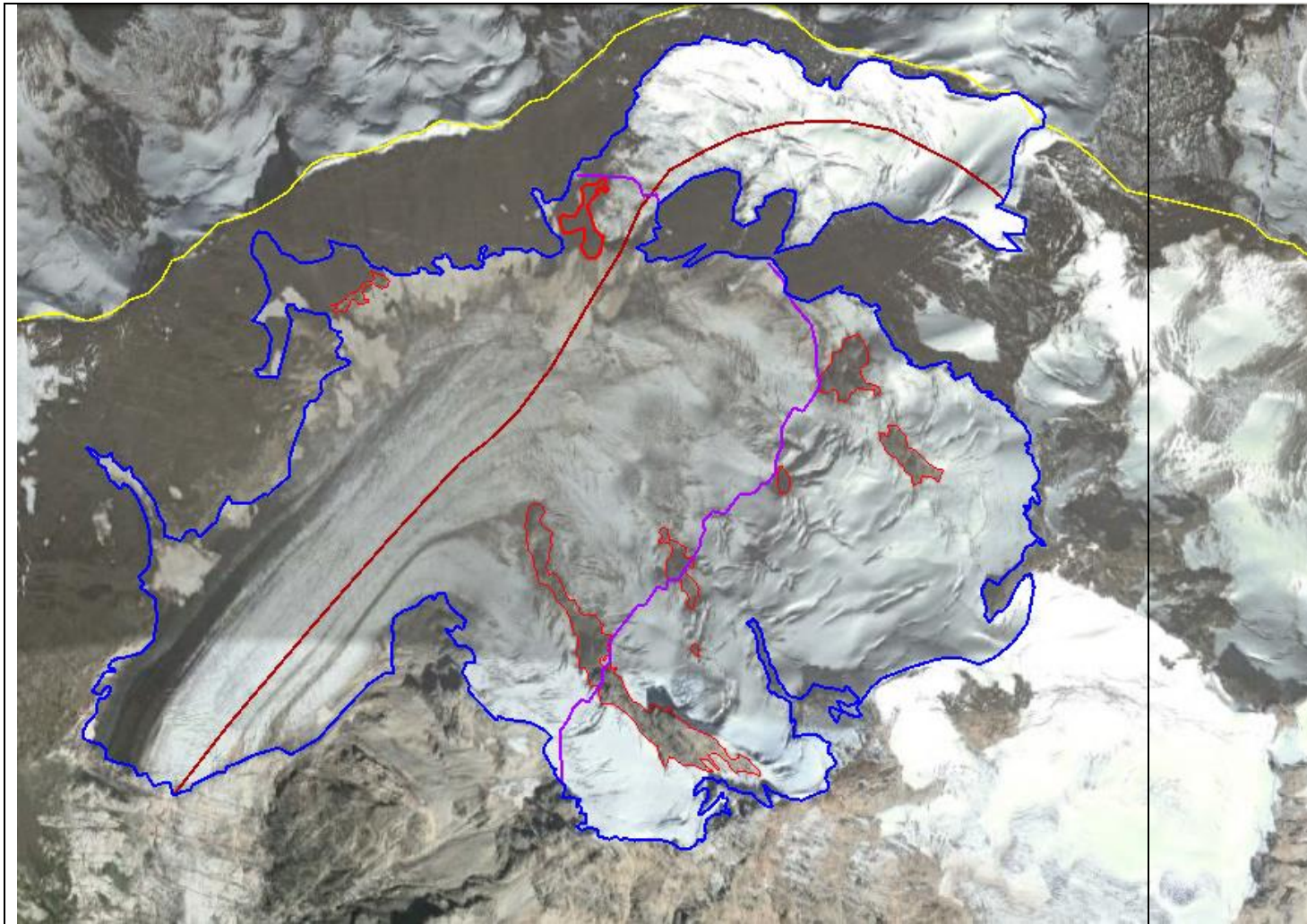


სურ. 4.37. მცინვარ ყორულდაშის ღია არის კონტურის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.



5. მყინვარი ედენა. მყინვარ ედენას საიდენტიფიკაციო კოდი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში - SU5T09106362, საბჭოთა კატალოგში - 329, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში - G043380E42886N.

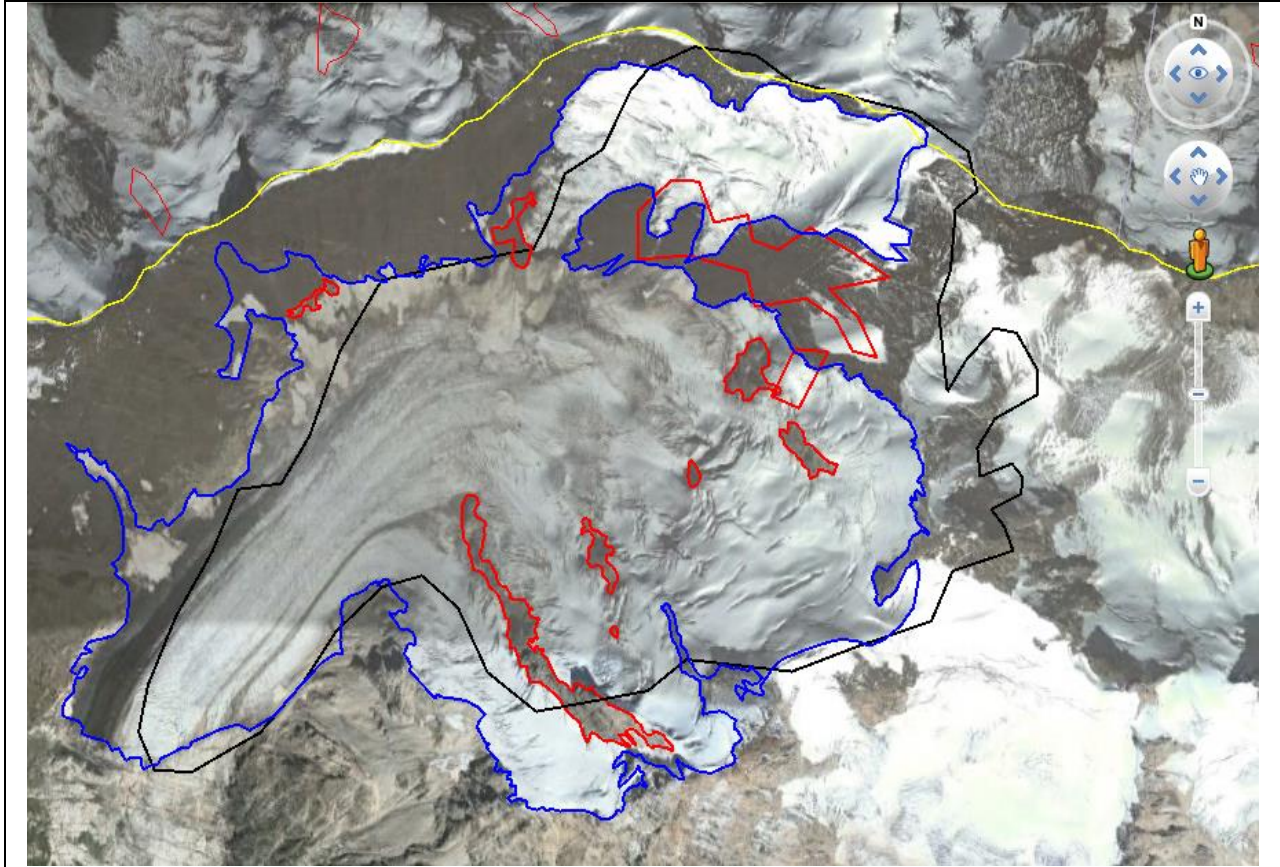
ქვემოთ მოყვანილ სურათზე (სურ. 4.38) მოცემულია Google Earth-ის მიხედვით დაზუსტებული მყინვარ ედენას კონტური.



სურ. 4.38. Google Earth-ის მიხედვით დაზუსტებული მყინვარ ედენას კონტური.

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურებთან ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტურის შედარება (სურ. 4.39) მოწმობს, რომ ახლო მომავალში მყინვარი ედენა შეიძლება ორ მოზრდილ არედ დანაწევრდეს.

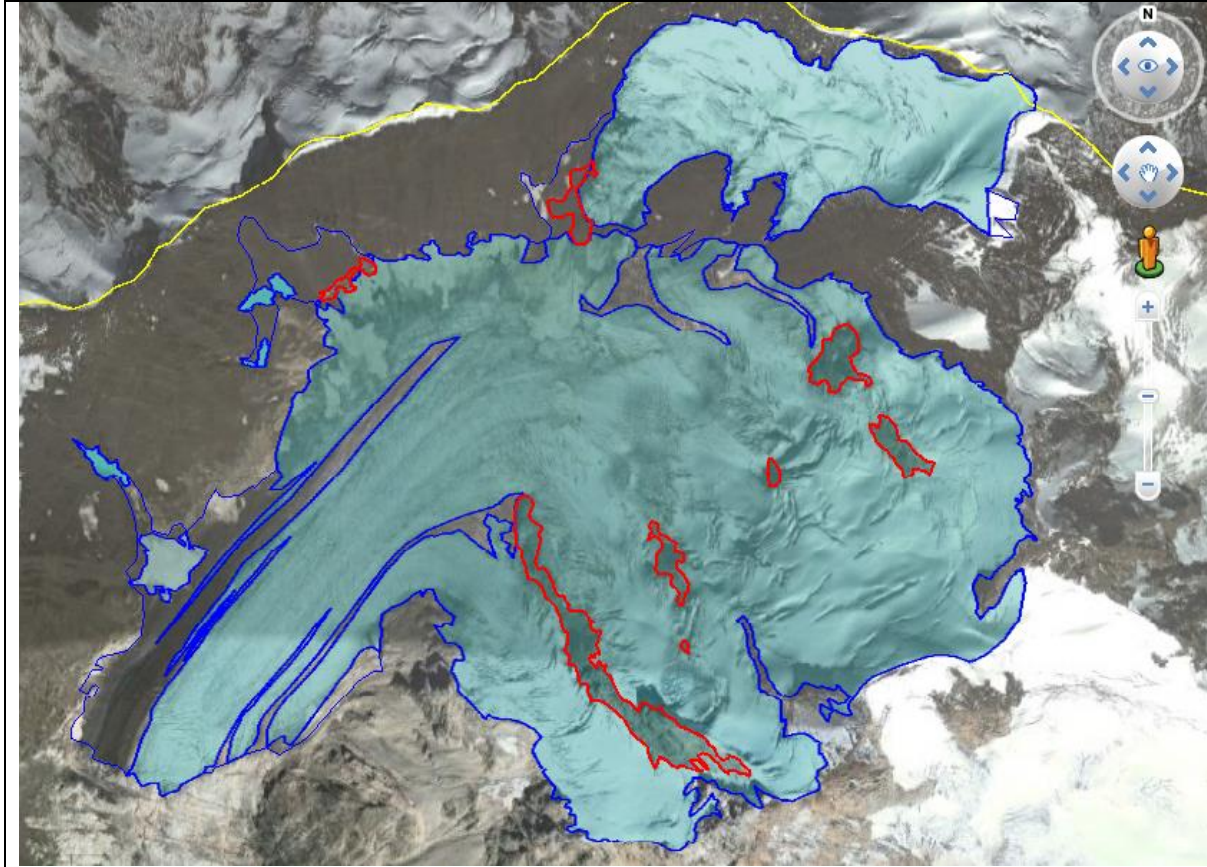




სურ. 4.39. მყინვარ ედენას GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული და კვლევის შედეგად დაზუსტებული კონტური.

GLIMS-ის კონტური 2004 წლის 15 აგვისტოს თანამგზავრული მონაცემების მიხედვით არის შედგენილი, ხოლო ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტური 2011 წლის 19 სექტემბრის თანამგზავრული სურათის მიხედვით.

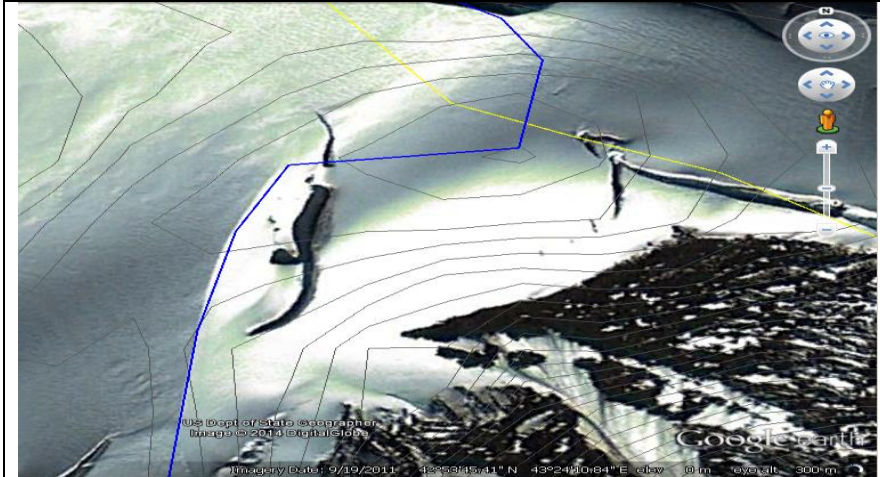
ზემოთმოყვანილი სურათიდან (სურ. 4.39) ჩანს, რომ GLIMS-ის კონტურზე ნაჩვენები ყინულისაგან თავისუფალი არე უკვე გაფართოვდა და ედენას მყინვარის აღმოსავლეთ საზღვარს მიაღწია. ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტური მოწმობს, რომ მყინვარის ჩრდილოეთი და სამხრეთი ყინულოვანი ველები, რომლებიც ყინულის ვიწრო „ხიდი“ არიან დაკავშირებული, ახლო მომავალში შეიძლება ერთმანეთს დაშორდნენ და ორ დამოუკიდებელ არედ მოგვევლინონ. ეს ორი ველი 2011 წლის 19 სექტემბრის თანამგზავრული სურათის მიხედვით უკვე განცალკავებულია ერთმანეთისაგან, რაც ნათლად ჩანს სურ. 4.40-ზე, სადაც მყინვარ ედენას ღია, ნაშალისაგან თავისუფალი არეა წარმოდგენილი.



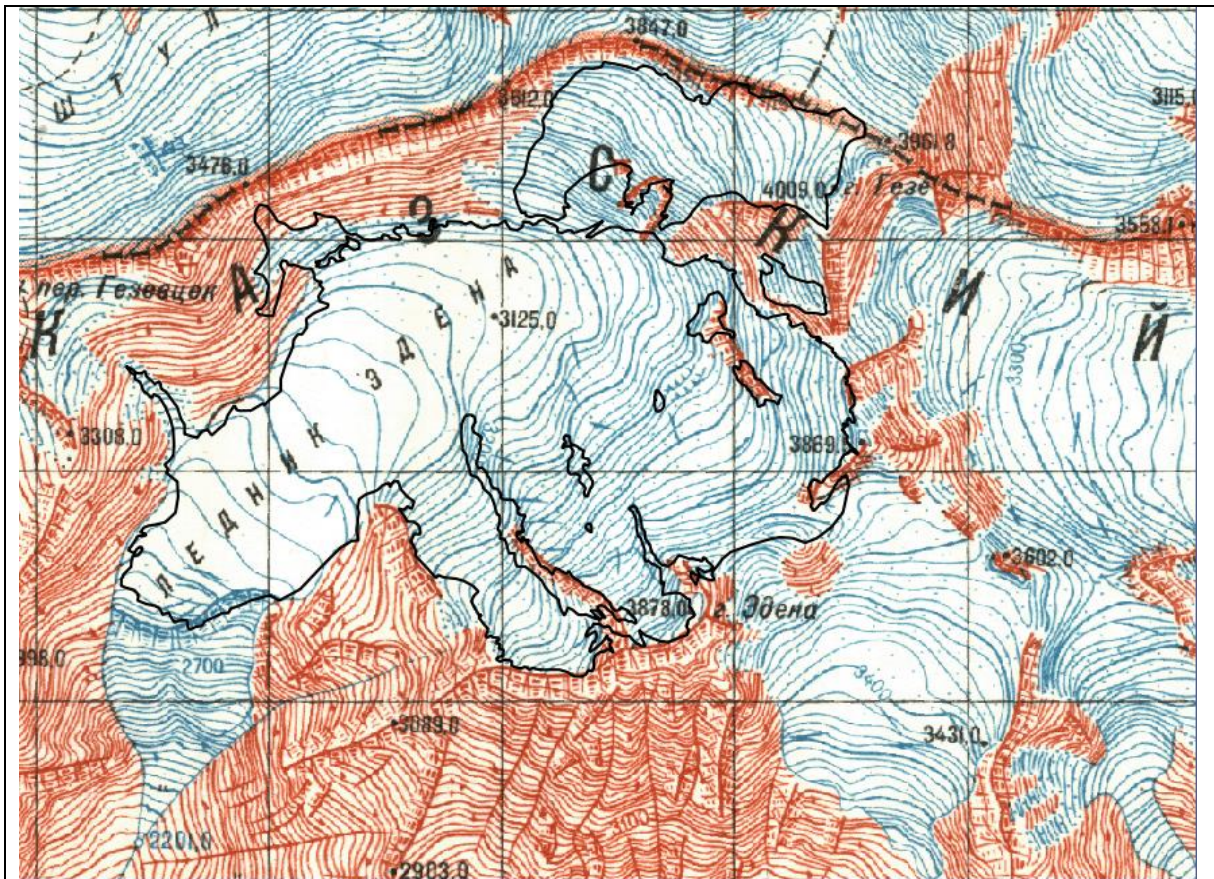
სურ. 4.40. მცინვარ ედენას ღია არე (ნაჩვენებია ცისფერით). მცინვარის მთლიანი არის კონტური უფრო წვრილი ლურჯი ხაზით არის გამოსახული.

მცინვარ ედენას კონტურის დაზუსტებისას ცალკეულ შემთხვევებში რელიეფის ციფრული მოდელიდან 5 მ-ის ინტერვალით გენერირებული იზოხაზების გამოყენება გახდა საჭირო, კერძოდ, მცინვარის ჩრდილო-აღმოსავლეთით, ზოფხიტოს მცინვარის მოსაზღვრე უბანში (სურ. 4.41). დაზუსტებული კონტურისა და საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიული რუკის შედარების შედეგი ნაჩვენებია სურ. 4.42-ზე.





სურ. 4.41. მყინვარ ედენას ჩრდილო-აღმოსავლეთით იზოხაზების საშუალებით დაზუსტებული კონტური.



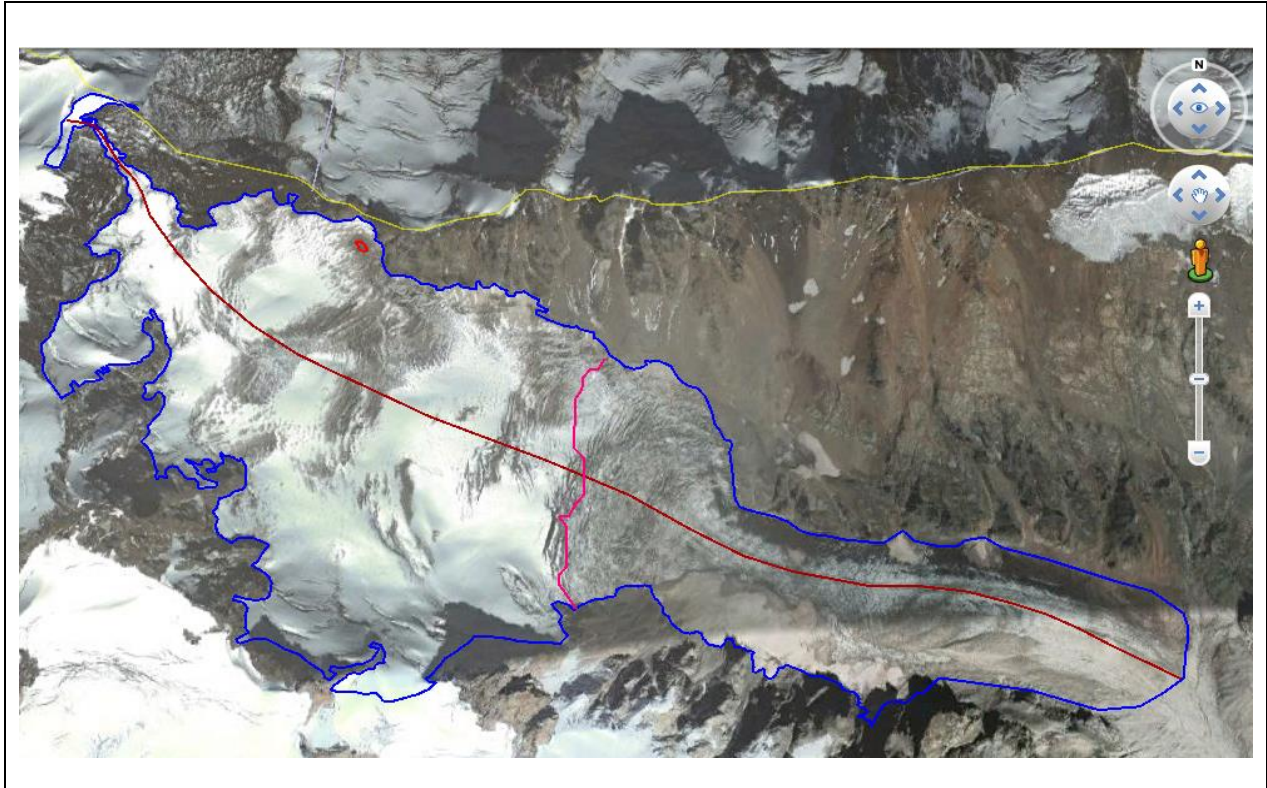
სურ. 4.42. მყინვარ ედენას დაზუსტებული კონტურის შედარება საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

მყინვარების საინჟინერო-გეოგრაფიული რუკის შედგენის მიზნით.



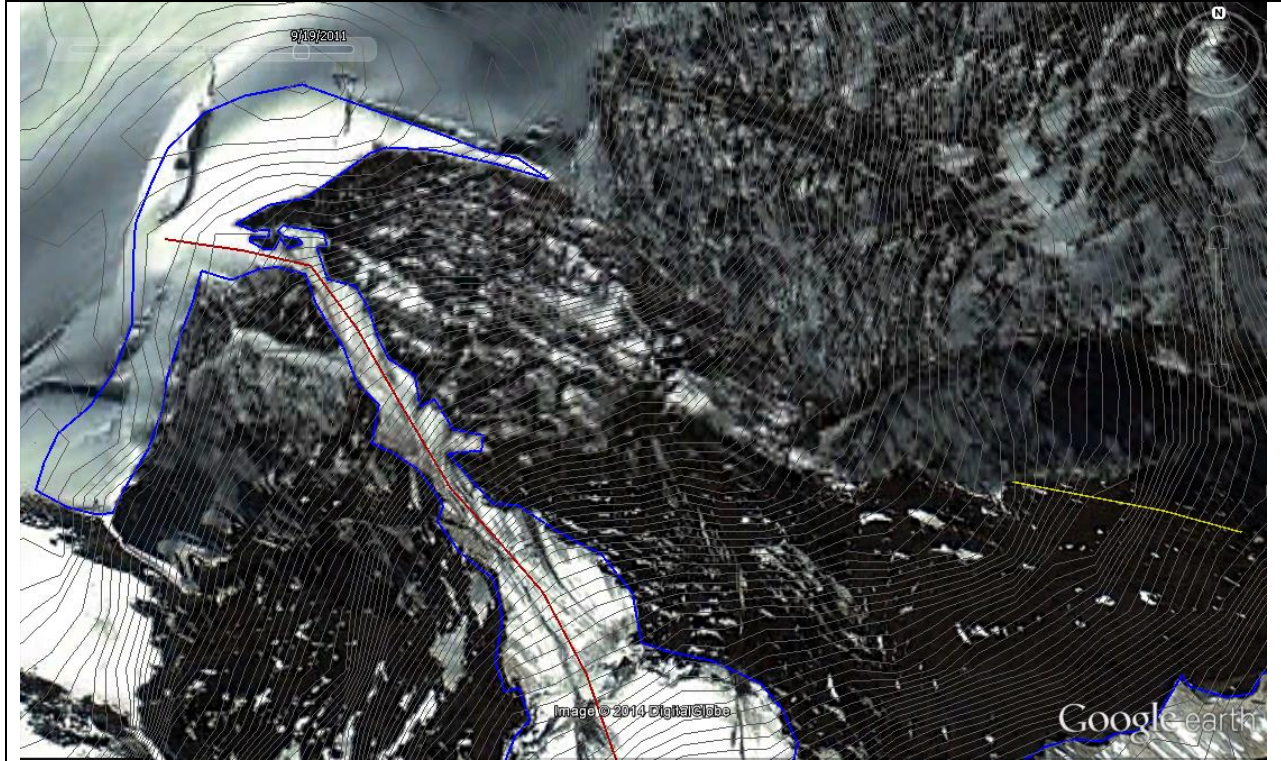
ნვარების მსოფლიო კატალოგში – SU5T09106366, სსრკ მყინვარების კატალოგში – 332b, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში მყინვარის საიდენტიფიკაციო ნომერია – G043422E42884N.

სურ. 4.43-ზე წარმოდგენილია მყინვარ ზოფხიტოს კონტურის ვიზუალიზაცია.



სურ. 4.43. მყინვარ ზოფხიტოს კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.

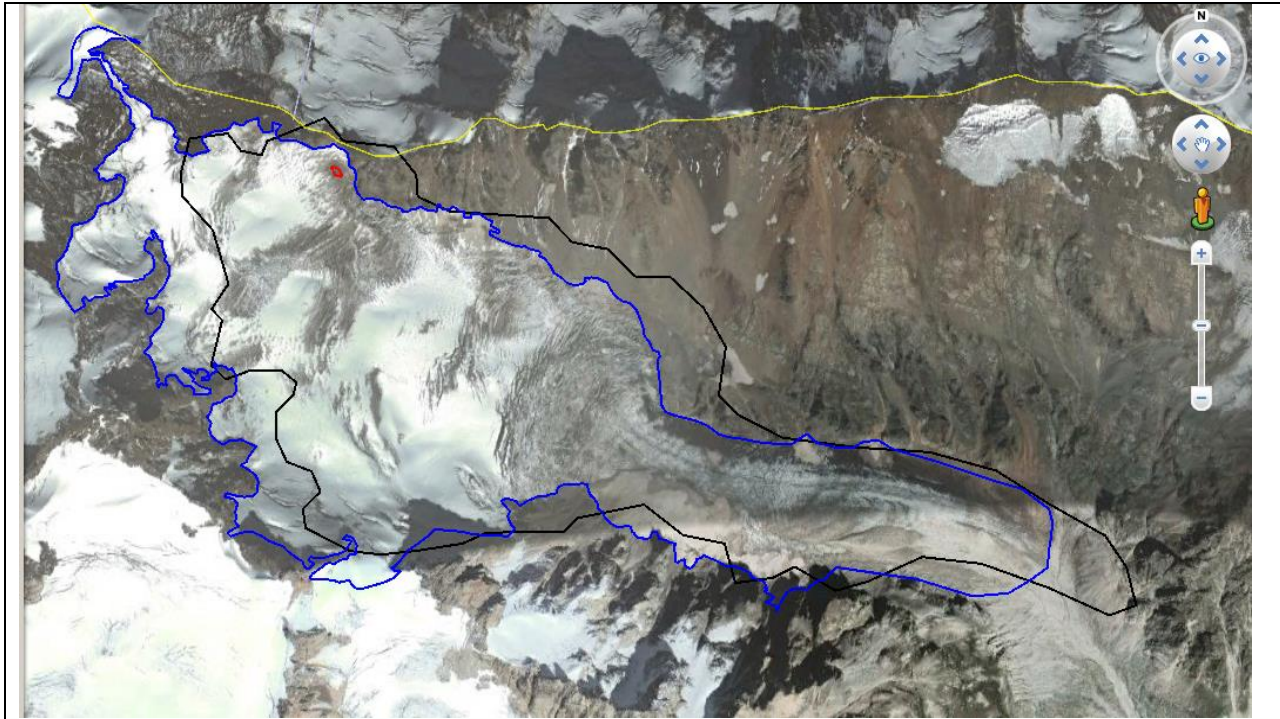
მყინვარ ზოფხიტოს ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში კონტურის დაზუსტების მიზნით გამოვიყენეთ Aster სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზები 5 მ-ის ბიჯით (სურ. 4.44)



სურ. 4.44. მყინვარ ზოფხიტოს ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში იზოხაზებით დაზუსტებული კონტური.

სურ. 4.45-ზე ერთმანეთთან არის შედარებული ჩვენს მიერ დაზუსტებული და GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები.





სურ. 4.45. მცინვარ ზოფხიტოს GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული და დაზუსტებული კონტურები.

მცინვარ ზოფხიტოს ენა ქვედა ნაწილში ნაწილობრივ დაფარულია ნაშალით და მორენით. სურ. 4.46-ზე ნაჩვენებია მცინვარის ნაშალისაგან თავისუფალი არის ანუ ღია არის კონტური. წვრილი ლურჯი ხაზით აღნიშნულია მთლიანი მცინვარის არის კონტური. მცინვარ ზოფხიტოს საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკასთან დაზუსტებული კონტურის შედარების შედეგი მოყვანილია სურ 4.47-ზე.



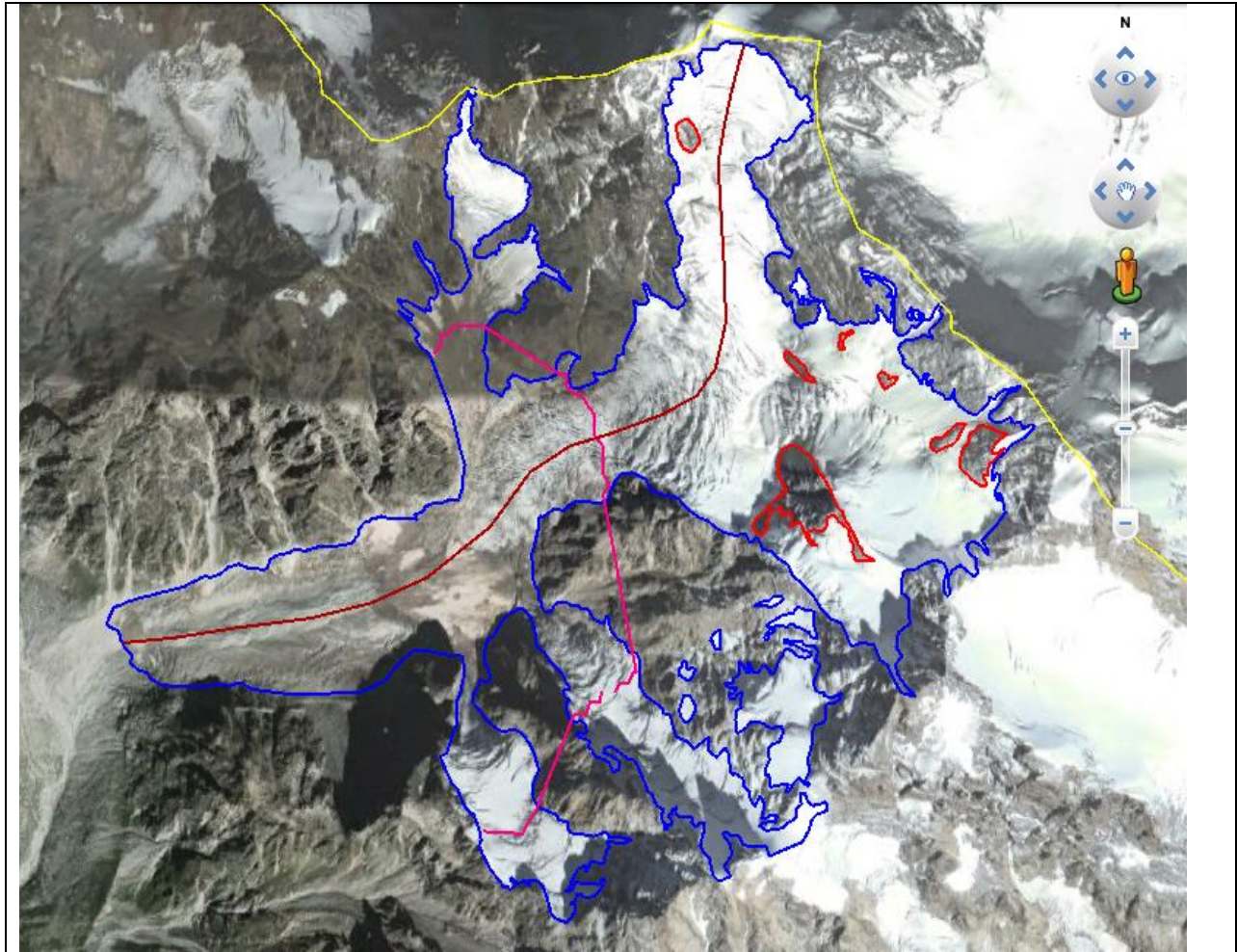


7. **მყინვარი ლაზოდა.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში – SU5T09106369, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში ლაზოდას მყინვარი სამი ცალკე კონტურის სახით არის წარმოდგენილი, რომელთა საიდენტიფიკაციო ნომრებია G043476E42880N, G043476E42870N, G043468E42868N. სსრკ მყინვარების კატალოგში – 332.

მაღალი სივრცითი გარჩევადობის თანამგზავრული სურათის მიხედვით, მყინვარ ლაზოდას მნიშვნელოვანი ნაწილი ნაშალი მასალით არის დაფარული. სწორედ ეს არის მიზეზი იმისა, რომ GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში ეს მყინვარი სამი ცალკეული მყინვარის სახით არის წარმოდგენილი. ამ ბაზაში კავკასიონის მყინვარების შესაბამისი კონტურები შეტანილია რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტის თანამშრომლების მიერ. კონტურების დაზუსტებისას ისინი იყენებდნენ თანამგზავრ Terra-ს სენსორ Aster-ის მონაცემებს, რომლის გარჩევადობა 15 მ-ია. ეს სენსორი დედამიწის ზედაპირს ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილულ და ინფრაწითელ უბნებში აკვირდება, პირობითად შეიძლება ითქვას, რომ ზედაპირის ტემპერატურას „ზომავს“ და მისი საშუალებით მყინვარის ღია, „ცივი“ უბნების საიმედოდ იდენტიფიცირება არის შესაძლებელი, მყინვარის ნაშალით და მორენებით დაფარული უბნების იდენტიფიცირება კი გამწვანებულია. ამიტომ GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში მხოლოდ ლაზოდას მყინვარის ნაშალი მასალისაგან თავისუფალი არის კონტურები მოხვედა.

სურ. 4.48-ზე ნაჩვენებია Google Earth-ის საშუალებით დაზუსტებული ლაზოდას მყინვარის კონტური. როგორც ადრე ითქვა, ყავისფერით ნაჩვენებია მყინვარის სიგრძის ათვლის მიმართულება, იისფერით – გეფერის მეთოდით გამოთვლილი ფირნის ხაზის მდებარეობა. წითელი ფერით ნაჩვენებია შიდა, ყინულისგან და თოვლისგან თავისუფალი კლდეები.

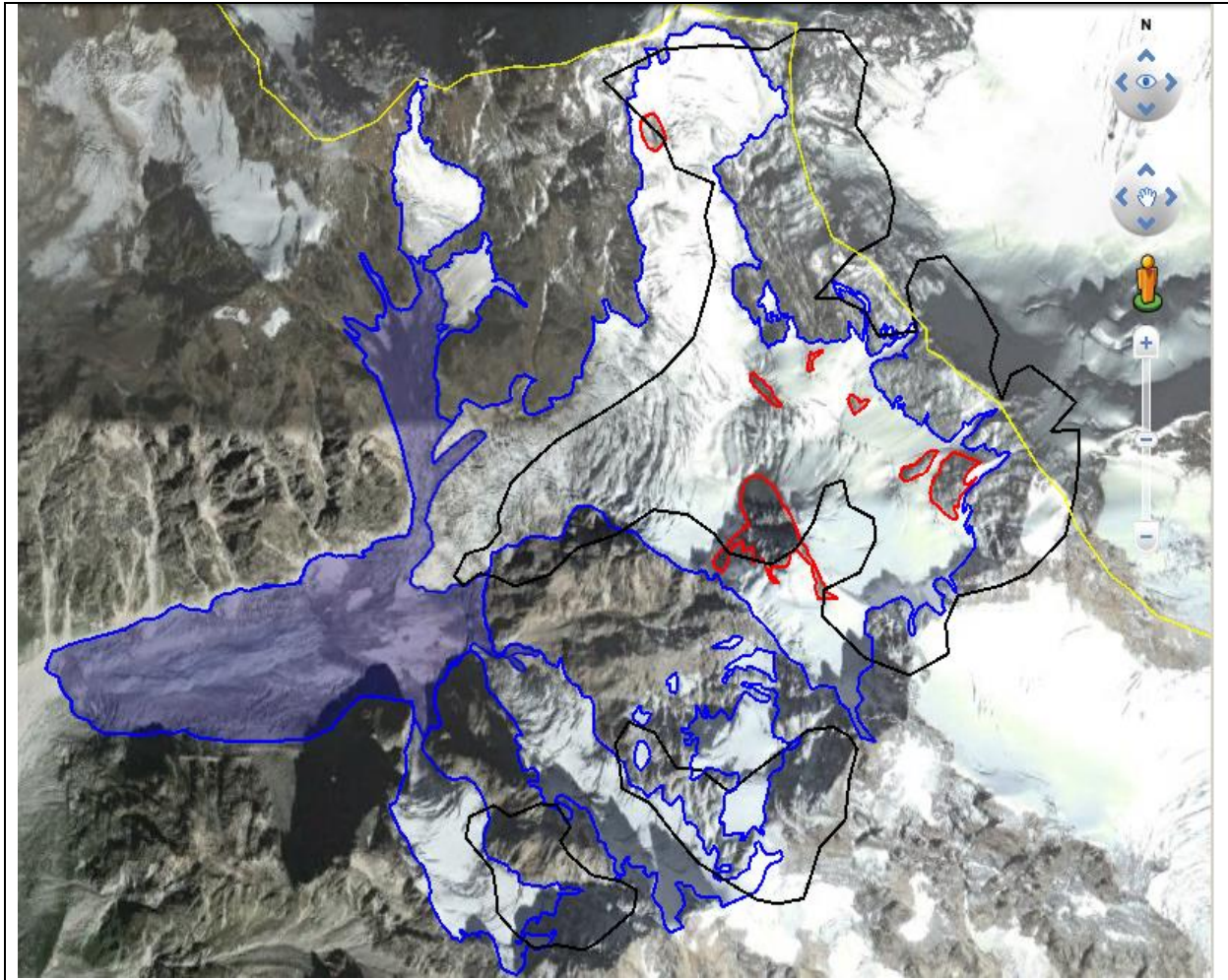




სურ. 4.48 . ლაბოდას მყინვარის კონტურის ვიზუალიზაცია.

ლაბოდას მყინვარის ჩვენს მიერ დაზუსტებული და GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურების შედარება მოყვანილია სურ. 4.49-ზე. გარდა ამისა, სურათზე ნაჩვენებია აგრეთვე ლაბოდას მყინვარის ნაშალით და მორენებით დაფარული უბნები (ოღნავ უფრო მუქი ფონით, ცისფერით არის შეფერადებული.)

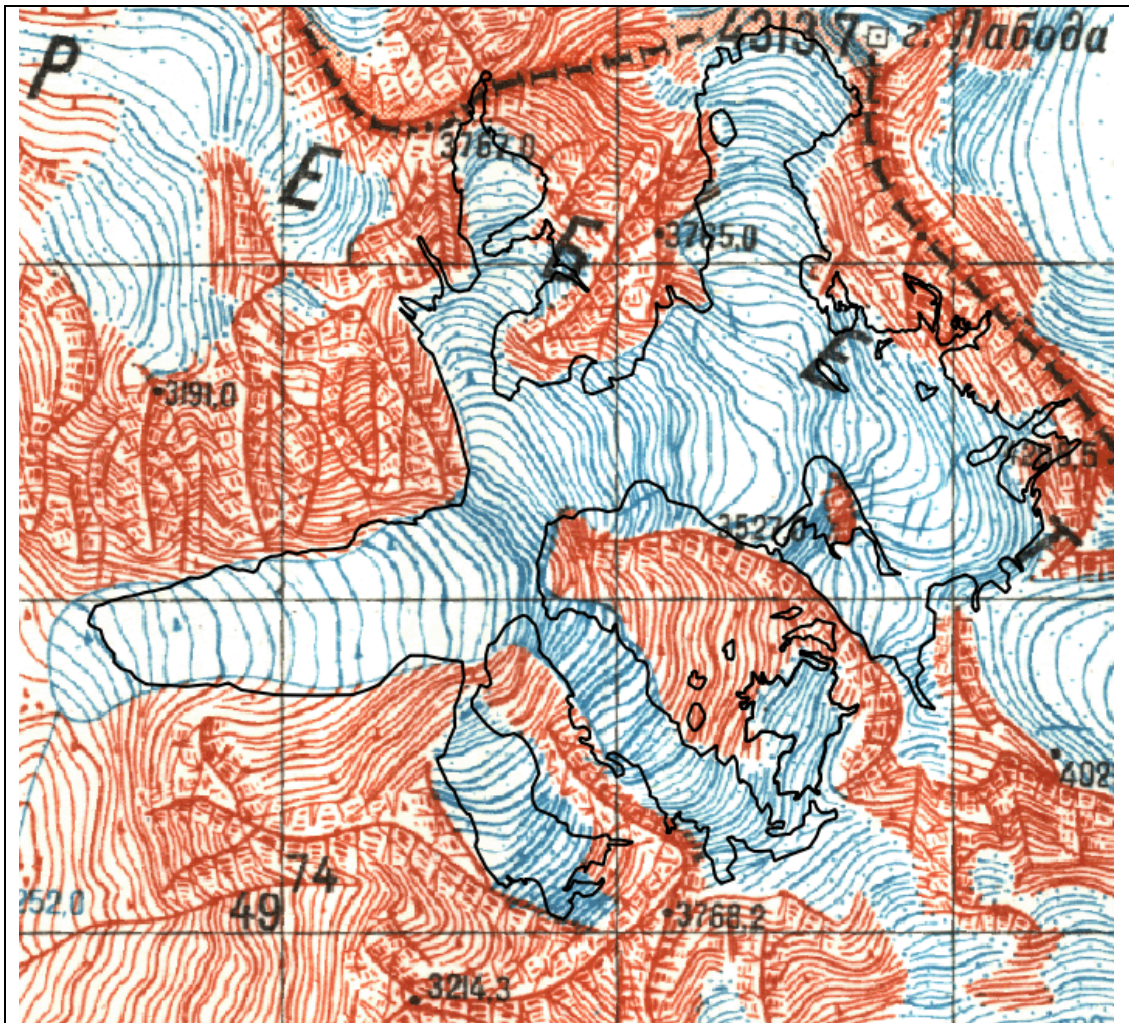




სურ. 4.49. ლაბოდას მცინვარის დაზუსტებული კონტურის შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურებთან (ნაჩვენებია შავი ფერის კონტურით) მცინვარ ლაბოდას ნაშალით და მორენებით დაფარული უბნები ცისფერით არის შეფერადებული.

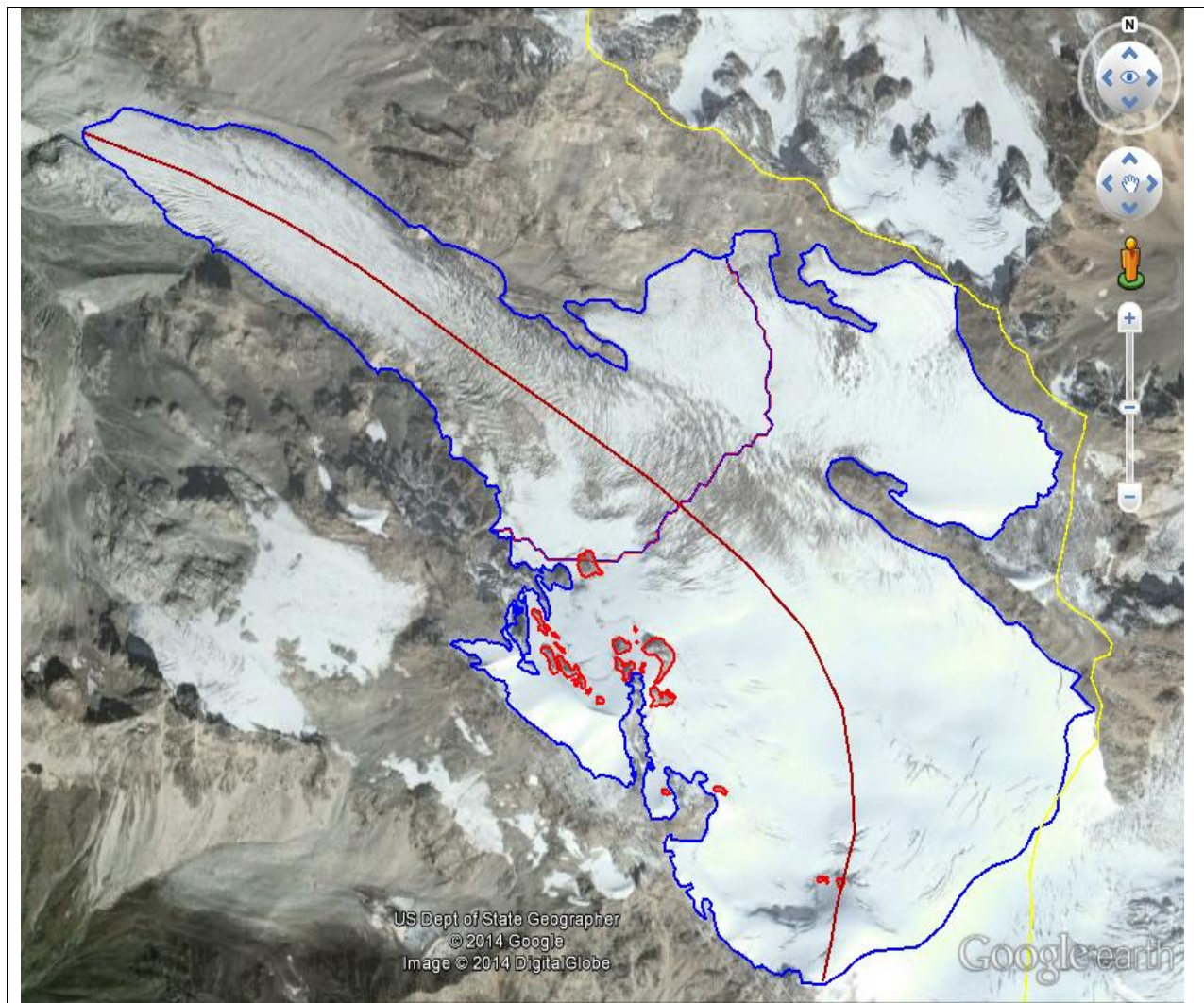
უნდა აღინიშნოს, რომ ლაბოდას მცინვარის შემთხვევაში კონტურის დასაზუსტებლად იზოხაზების გამოყენება არ იყო საჭირო, რადგან ლაბოდას მცინვარი უშუალოდ არ ესაზღვრება მეზობელი მცინვარების საზრდოობის არეებს. რაც შეეხება საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკასთან შედარებას (სურ. 4.50), ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტური კარგად შეესატყვისება რუკაზე მოყვანილ მცინვარის კონტურებს, ცხადია მცინვარის ამჟამინდელი ფართობი ნაკლებია რუკაზე ნაჩვენები მცინვარის ფართობზე.





სურ. 4.50. ლაზოდას მყინვარის კონტურის შედარება საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

**8. მყინვარი კირტიშო.** მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზის საიდენტიფიკაციო ნომერია SU5T09106382, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზის საიდენტიფიკაციო ნომერი – G043596E42832N. სურ. 4.51-ზე მოყვანილია კირტიშოს მყინვარის დაზუსტებული კონტური.



სურ. 4.51. მყინვარ კირტიშოს დაზუსტებული კონტური.

მყინვარ კირტიშოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში კონტურის დაზუსტების მიზნით გამოვიყენეთ Aster სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზები 5 მ-ის ბიჯით (სურ. 4.52).



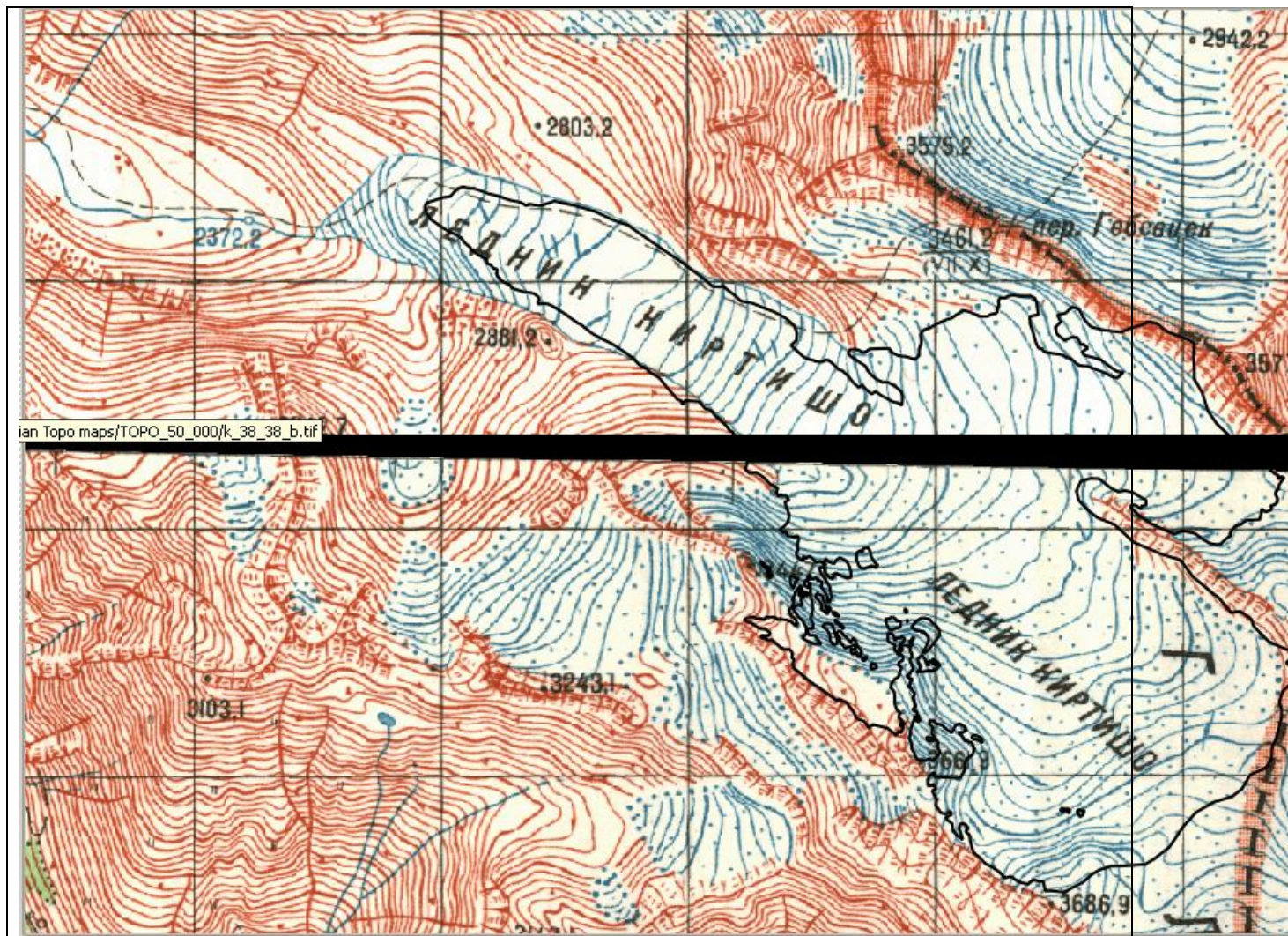


სურ. 4.52. მცინვარ კირტიშოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში იზოხაზების საშუალებით დაზუსტებული კონტური.

მაღალი გარჩევითობის თანამგზავრული სურათების მიხედვით კირტიშოს მცინვარი თავისუფალია ნაშალისა და მორენებისაგან.

სურ. 4.53-ზე კირტიშოს მცინვარის დაზუსტებული კონტური საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკასთან არის შედარებული. როგორც სურათიდან ჩანს, მცინვარის ფართობი შემცირებულია.



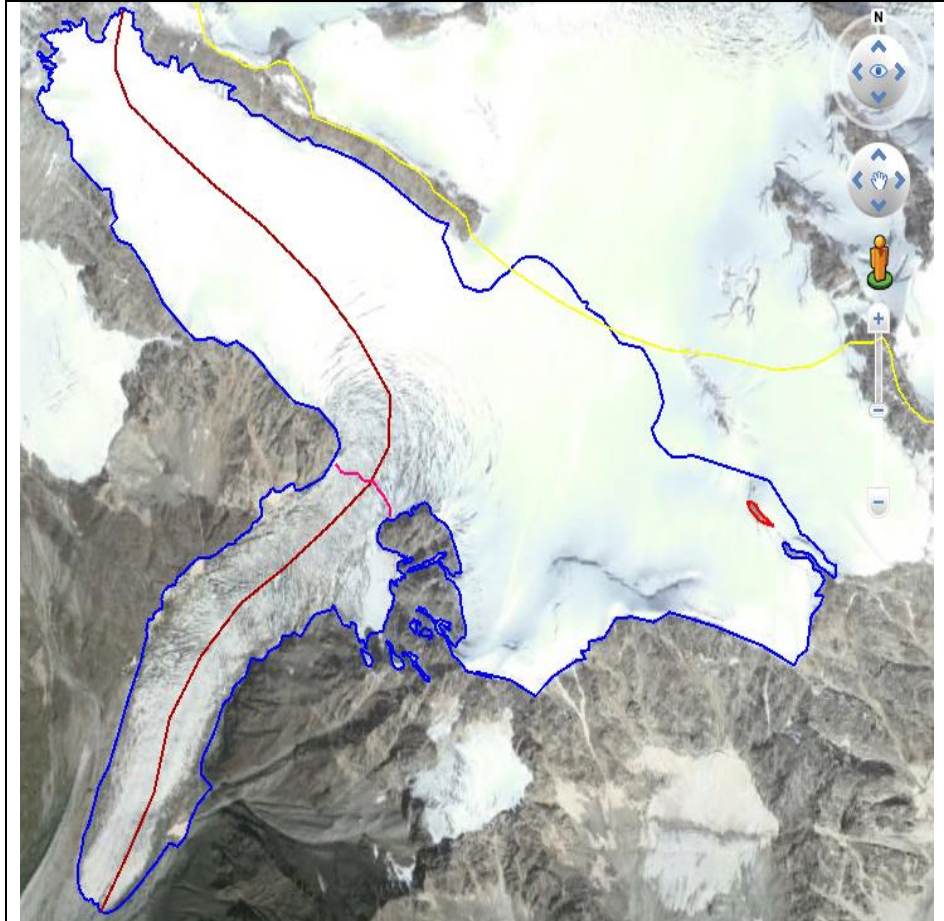


lan Topo maps/TOPO\_50\_000/k\_38\_38\_b.tif

სურ. 4.53. მყინვარ კირტიშოს კონტურის და საბჭოთა ტოპოგრაფიული რუკის შედარება.

**9. მყინვარი ბოკოსი.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მყინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU5T09106394, სსრკ კატალოგში – 394, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G043719E42767N. სურ. 4.54. წარმოდგენილია მყინვარ ბოკოსის კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.

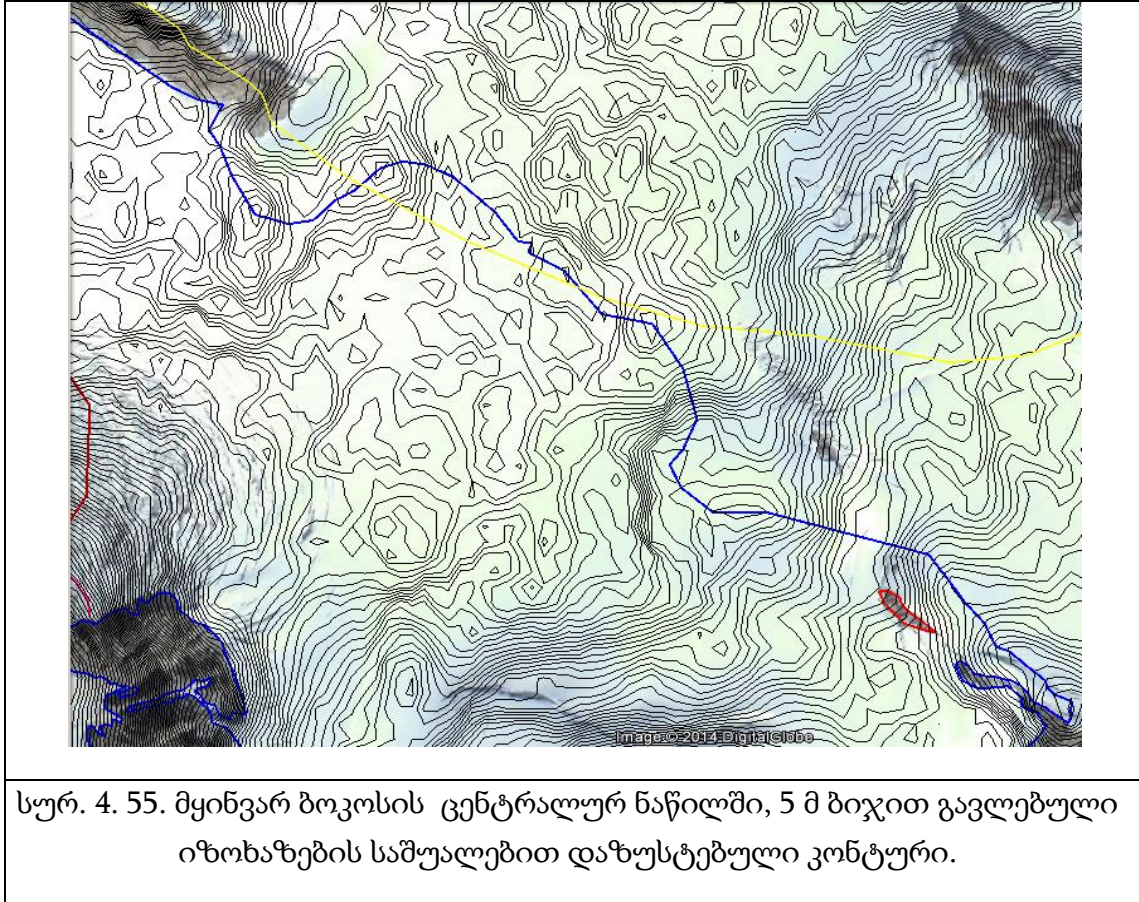




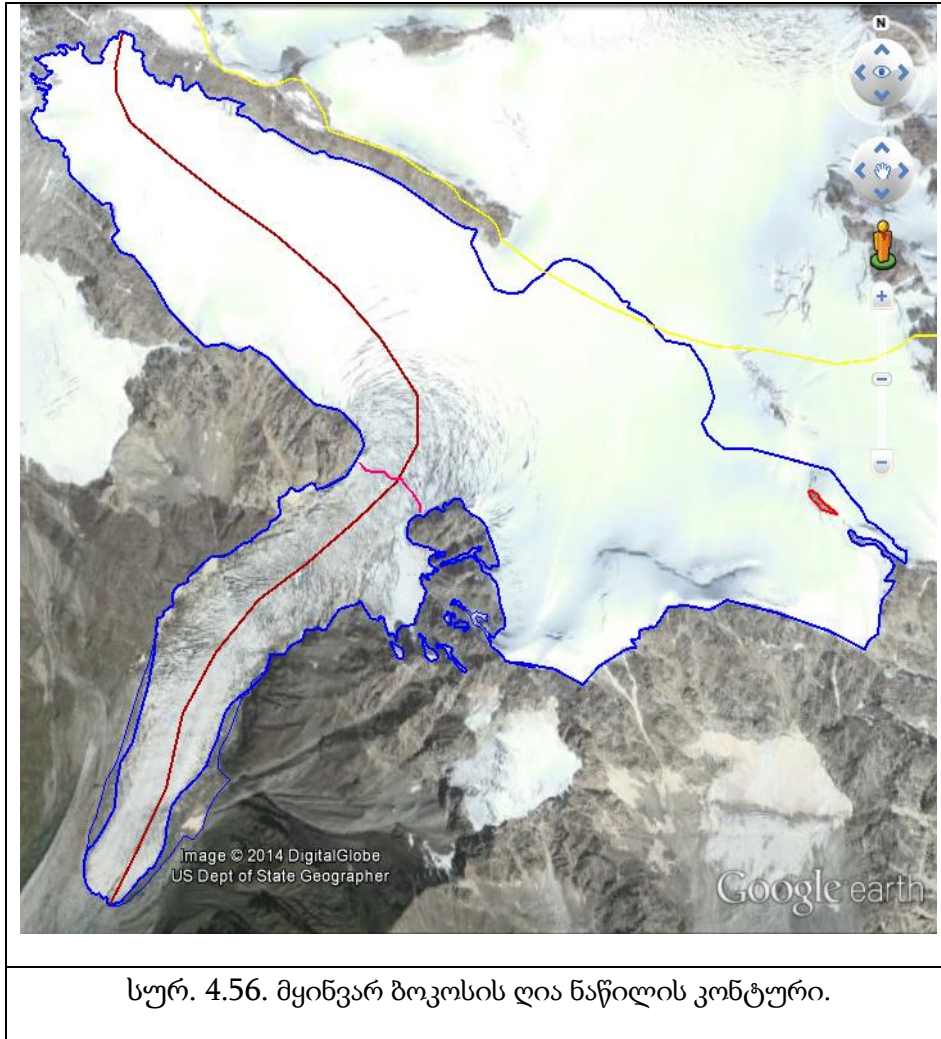
სურ. 4.54. მყინვარ ბოკოსის კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.

რუსეთის ფედერაციის ტერიტორიაზე მდებარე მყინვარ ყარაუგომთან საზღვრის დადგენის მიზნით, გამოვიყენეთ სენსორ Aster-ის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზები. სურ. 4.55-ზე მოყვანილია მყინვარ ბოკოსის ცენტრალურ ნაწილში, 5 მ ბიჯით გავლებული იზოხაზების საშუალებით დაზუსტებული კონტურის სურათი.

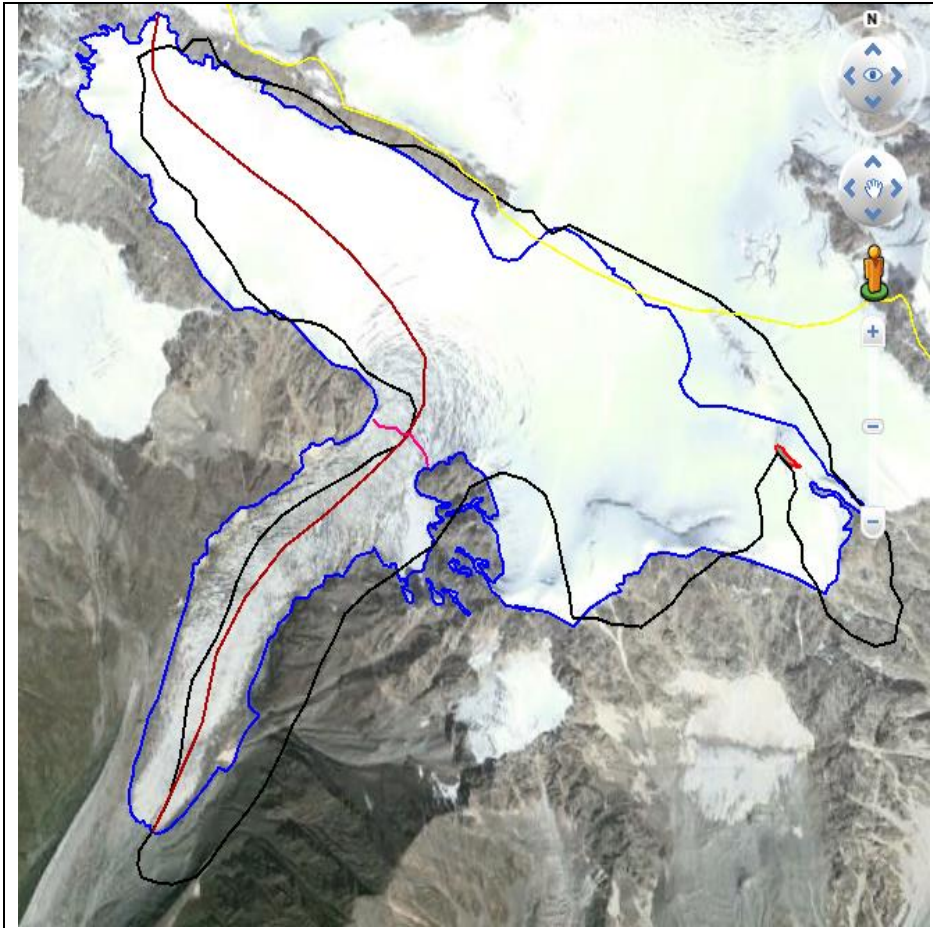




მცინვარ ბოკოსის მცინვარი მორენებით და ნაშალით ნაკლებად არის დაფარული და შესაბამისად, სხვაობა მცინვარის სრულ და ღია ფართობებს შორის დიდი არ არის. სურ. 4.56-ზე მოყვანილია მცინვარის ღია ნაწილის კონტურის სურათი. მცინვარის სრული კონტური შედარებით წვრილი ლურჯი ფერის კონტურით არის შემოფარგლული.

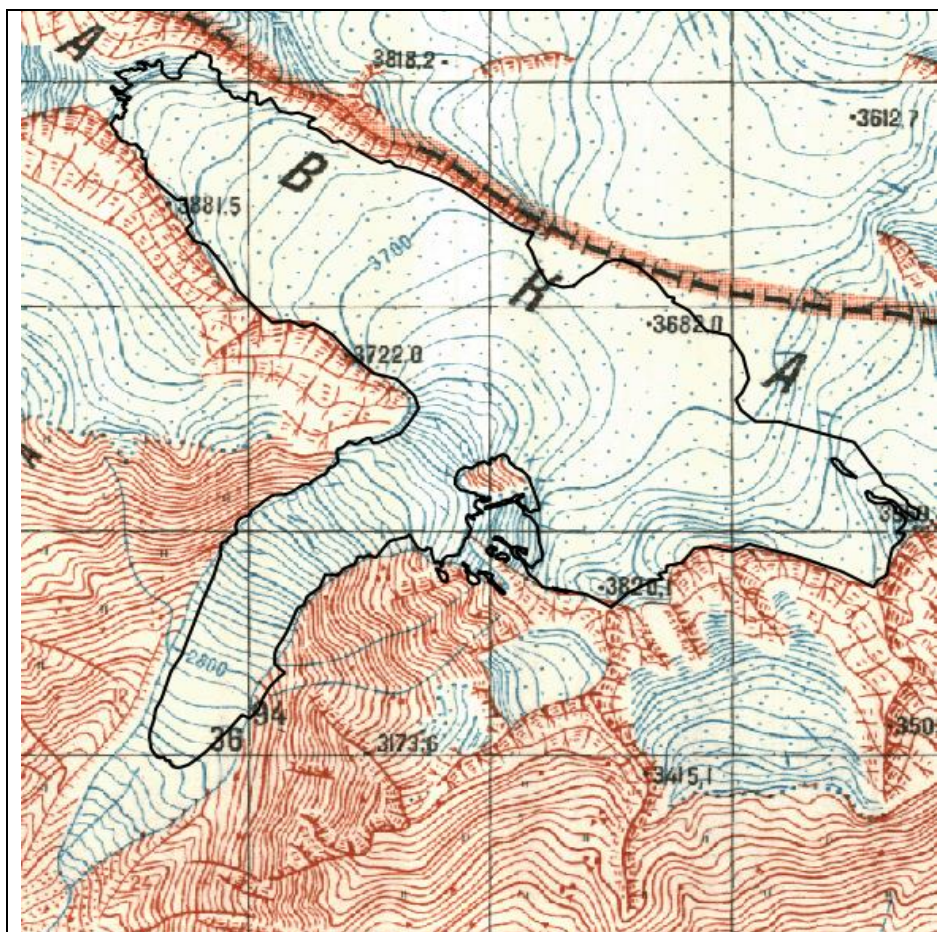


შემდეგ სურათებზე მოყვანილია მყინვარ ბოკოსის ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტურის შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულ კონტურებთან (სურ. 4.57) და საბჭოთა ტოპოგრაფიულ რუკასთან (სურ. 4.58).



სურ. 4.57. ბოკოსის მყინვარის კონტურის (ლურჯი ფერი) შედარება GLIMS-ის მონაცემთა ბაზის (შავი ფერი) კონტურთან.

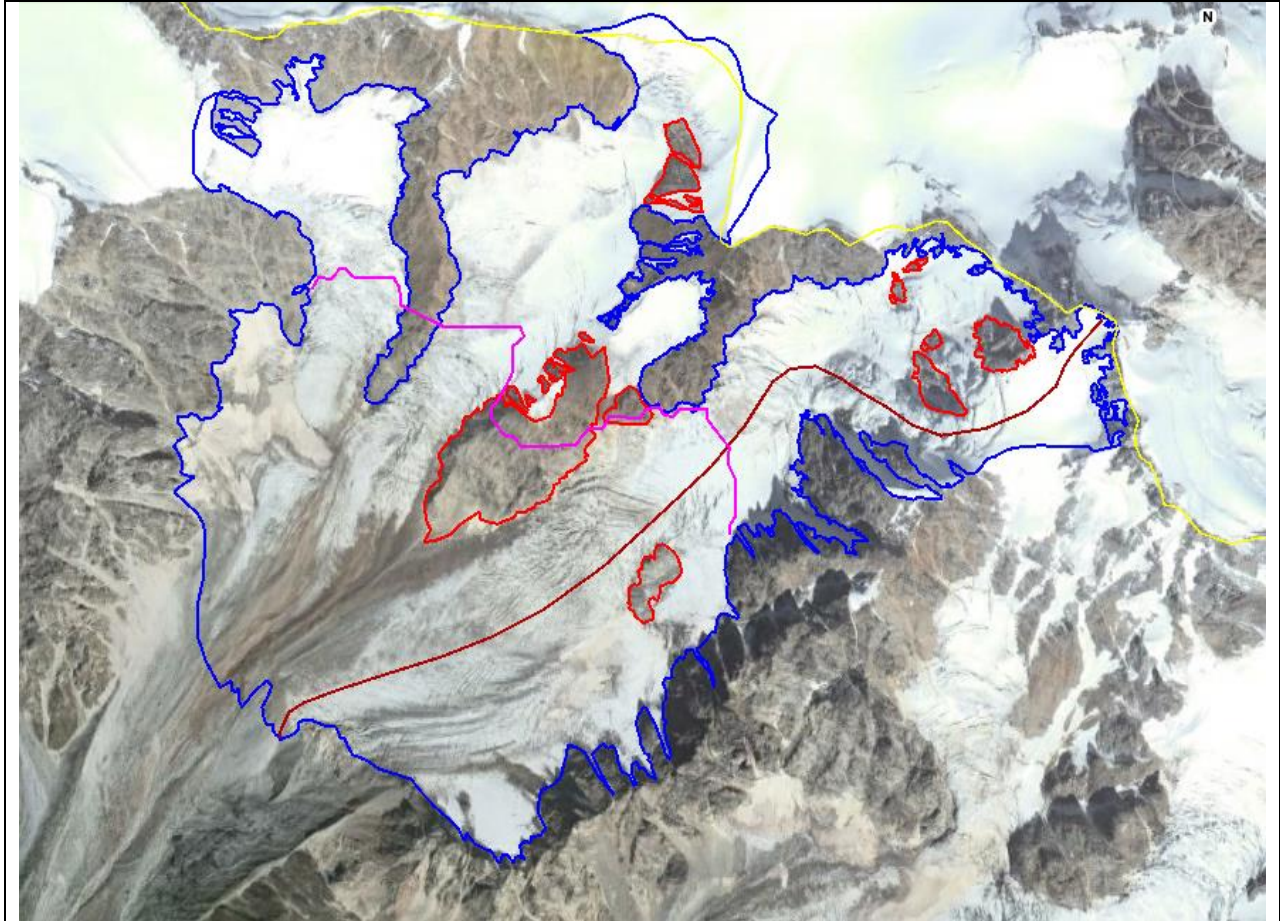




სურ. 4.58. მცინვარ ბოკოსის კონტურის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

**10. მცინვარი თბილისა.** საიდენტიფიკაციო ნომერი მცინვარების მსოფლიო მონაცემთა ბაზაში: SU5T09106396, GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში – G043751E42761N, G043757E42759N, G043762E42752N.

სურ. 4.59-ზე ნაჩვენებია მცინვარ თბილისას კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.



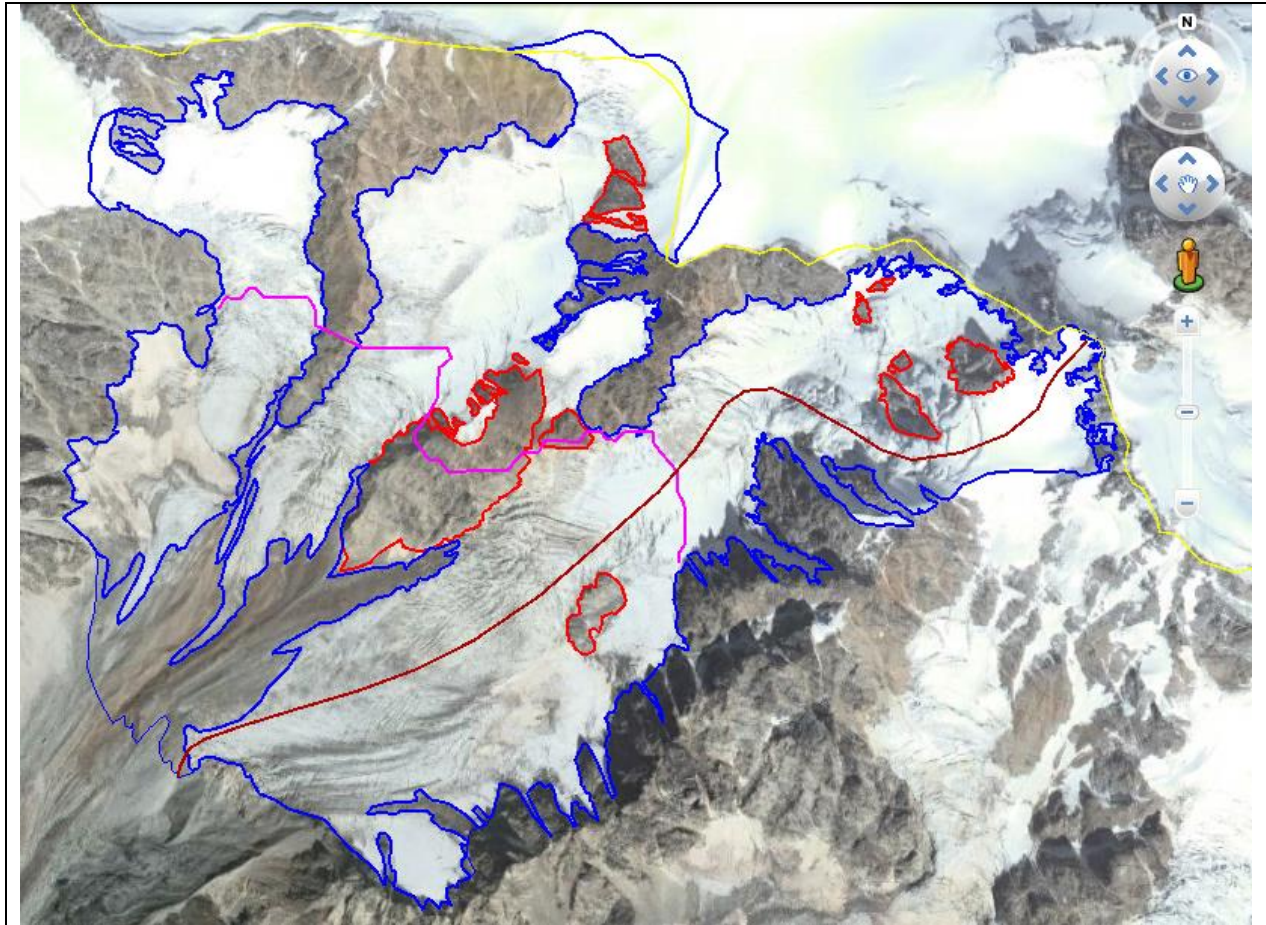
სურ. 4.59. მცხეთის რაიონის ტერიტორიის კონტურის ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით.

მცხეთის რაიონის ტერიტორიის დასავლეთ და ჩრდილოეთ საზღვრების დასაზუსტებლად გამოვიყენეთ Aster სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული იზოხაზები 5 მ-ის ბიჯით (სურ. 4.60).



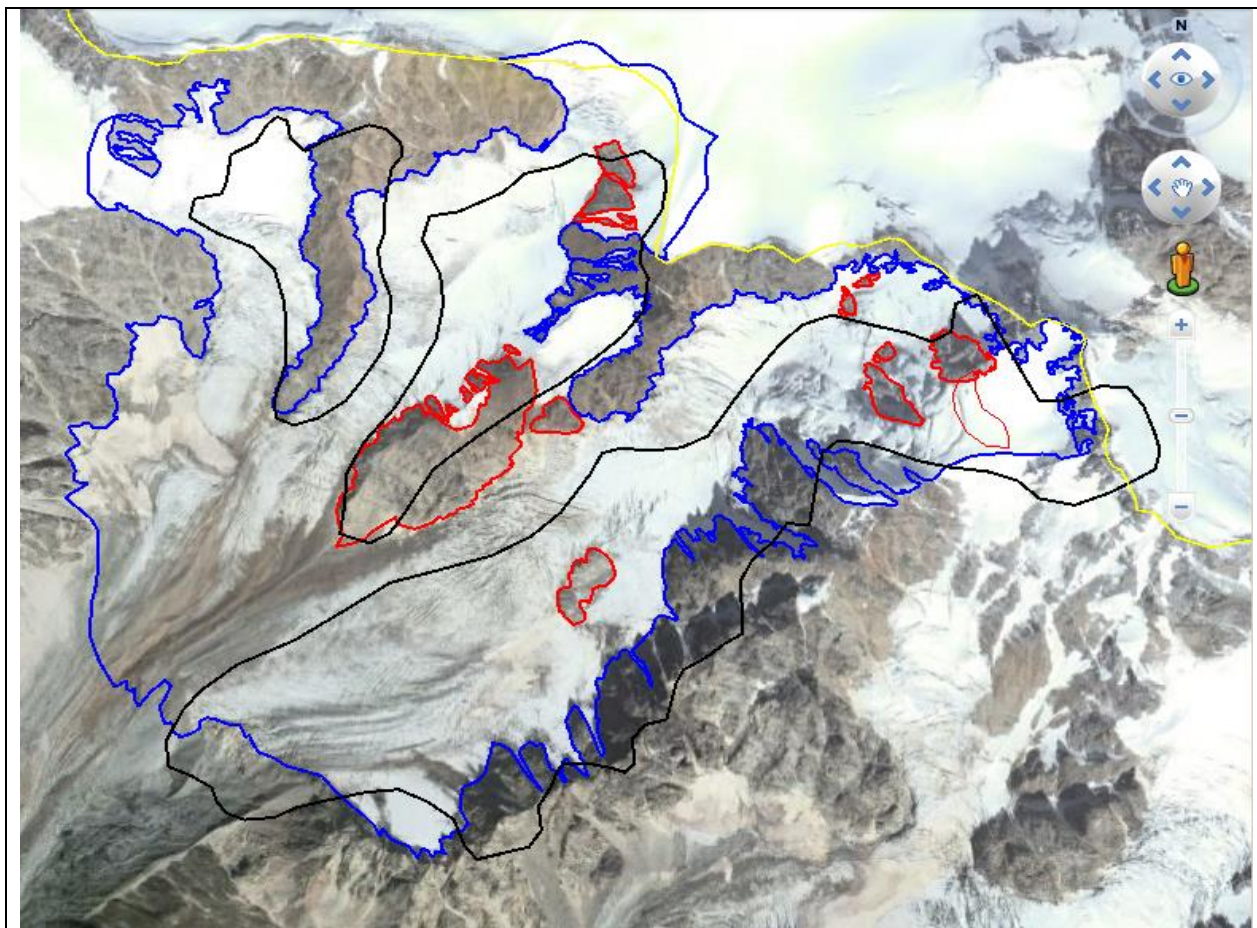






სურ. 4.61. მცინვარ თბილისას ღია არის კონტური.

შემდეგ სურათზე (სურ. 4.62) შედარებისათვის წარმოდგენილია მცინვარ თბილისას ჩვენს მიერ დაზუსტებული კონტურები და GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები. როგორც სურათიდან ჩანს GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში მცინვარი თბილისა სამი დამოუკიდებელი მცინვარული კონტურით არის წარმოდგენილი. მსოფლიო მცინვარების მონაცემთა ბაზაში სამივე კონტური მოხსენებულია SU5T09106396 საიდენტიფიკაციო ნომრით. Google Earth-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული, 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებულ მაღალი სივრცითი გარჩევითობის თანამგზავრულ სურათზე გარკვევით ჩანს, რომ სამივე მცინვარული ველი ერთი მთლიანი მცინვარის ნაწილია.

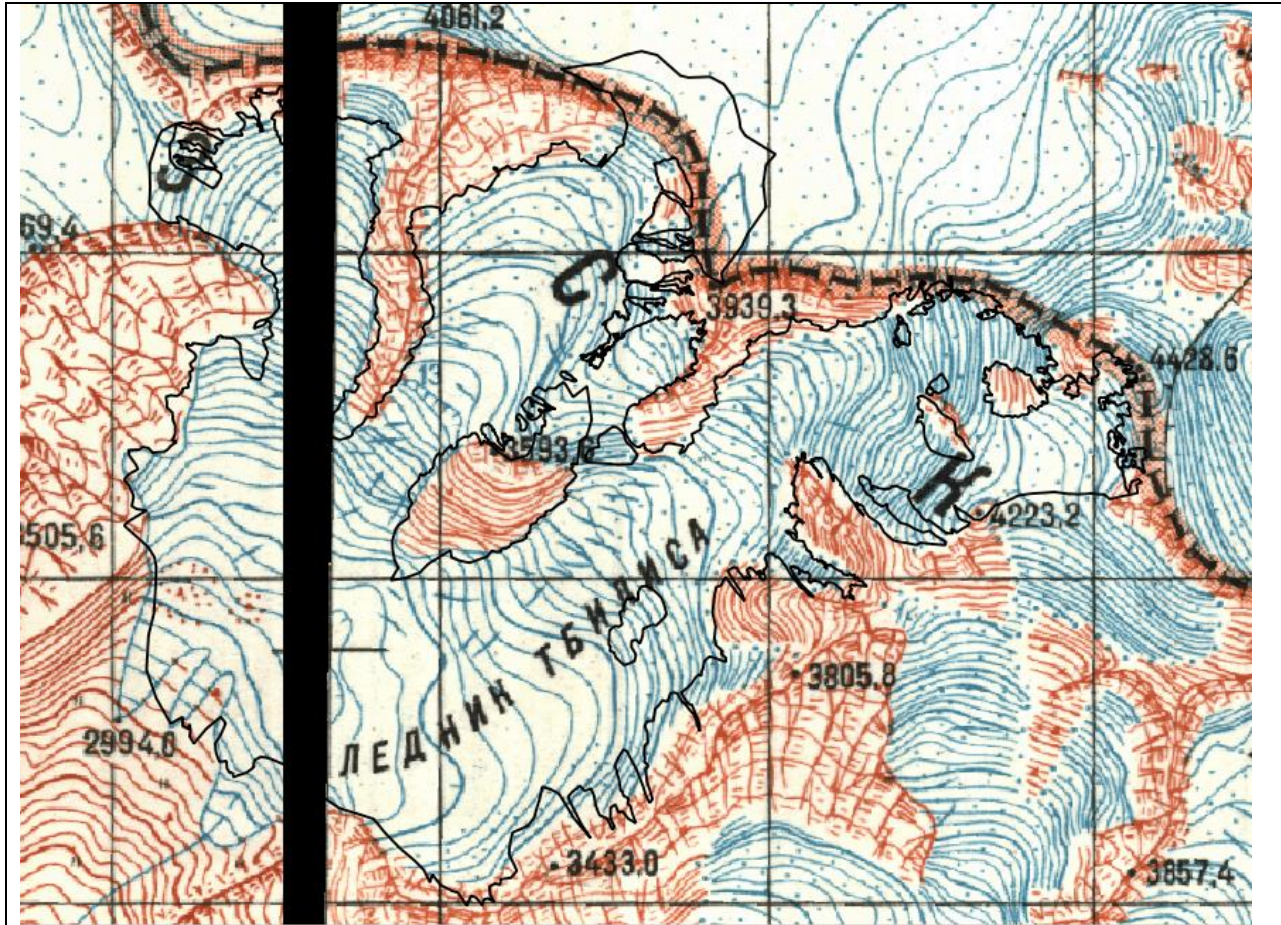


სურ. 4.62. მყინვარ თბილისას GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული (შავი ფერი) და Google Earth-ის თანამგზავრული მონაცემების მიხედვით დაზუსტებული კონტურები.

აღსანიშნავია ისიც, რომ მყინვარის ქვედა ნაწილი ნაშალით და მყინვარის მიერ მოტანილი მორენული მასალით არის დაფარული, რაც მხოლოდ თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე მყინვარის ენის დასავლეთ ნაწილში საზღვრის ზუსტად გავლებას ართულებს.

სურ. 4.63-ზე მყინვარ თბილისას დაზუსტებული კონტური შედარებულია გასული საუკუნეების 60-იანი წლების საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიულ რუკასთან. (1:50000)





სურ. 4.63. მცინვარ თბილისის კონტურის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკასთან.

თუ ჩავატარებთ დაწვრილებით შედარებას დისტანციური ზონდირების საფუძველზე მიღებული შედეგების მცინვარების კატალოგის მონაცემებთან (გამონაკლისს წარმოადგენენ ნაშალით დაფარული მცინვარები და ეს გარემოება ტექსტში ახსნილია), შესაძლოა ჩამოვყალიბოთ ქვემოთმოყვანილი დასკვნები:

ბოლო 50 წლის განმავლობაში საქართველოს მცინვარების, როგორც მთლიანი მცინვარის, ასევე ღია ნაწილის

- მაქსიმალური სიგრძე და ფართობი მცირდება;
- მინიმალური სიმაღლე და ფირნის ხაზის სიმაღლე იზრდება;
- მაქსიმალური სიმაღლე გაზომვის ცდომილების ფარგლებში არ იცვლება.
- აბლაციის არის ფართობი ფაქტიურად არ იცვლება, რადგან ერთის მხრივ დნობის შედეგად მინიმალური სიმაღლე იზრდება, მაგრამ იზრდება აგრეთვე ფირნის ხაზის სიმაღლეც.



ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები ნათლად მიუთითებენ საქართველოს მყინვარებზე კლიმატის რეგიონალური ცვლილების ზემოქმედებას, რაც გამოიხატება დათბობის შედეგად მყინვარების უკანდახევაში.

ამავდროულად უნდა აღინიშნოს, მოყვანილი შედეგები მეტყველებენ, რომ დისტანციური ზონდირების გამოყენებით მყინვარების კვლევა ფრიად ეფექტურია.

### **ლიტერატურა**

- [1] Chris R. Stokes, Stephen D. Gurney, Maria Shagedanova, Victor Popovnin. Late-20th-century changes in glacier extent in the Caucasus Mountains, Russia/Georgia: *Journal of Glaciology*, Vol. 52 No. 176, 2006.
- [2] ლ. შენგელია, გ. კორძაბია, გ. თვაური, ვ. ცომაია. სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2014, ტ. 120, გვ. (გადაცემულია დასაბეჭდად).
- [3] Raup, B.H.; A. Racoviteanu; S.J.S. Khalsa; C. Helm; R. Armstrong; Y. Arnaud (2007). "The GLIMS Geospatial Glacier Database: a New Tool for Studying Glacier Change". *Global and Planetary Change* 56:101--110.
- [4] Bruce H. Raup, Hugh H. Kieffer, Trent M. Hare, and Jeffrey S. Kargel, "Generation of Data Acquisition Requests for the ASTER Satellite Instrument for Monitoring a Globally Distributed Target: Glaciers," *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, vol.38, no. 2, pp. 1105--1112, Mar. 2000.
- [5] Л.И. Маруашвили, Г.М. Курдгелაидзе, Т.А. Лашхи, Ш.В. Инашвили, Д.Д. Табидзе (1975). *Каталог Ледников СССР*, Т. 9, вып. 1. Западное Закавказье: 86.

### **4.3. მიღებული შედეგები.**

საქართველოს მყინვარების კვლევა თანამგზავრული ინფორმაციის და ჩვენ მიერ განვითარებული ინოვაციური ტექნოლოგიების შესაძლებლობების გამოყენებით თვალსაჩინო გარღვევაა საქართველოს მყინვარების სხვადასხვა მახასიათებლების დაზუსტებისათვის/განსაზღვრისათვის. ამ მიმართებაში მიღებულია რიგი მნიშვნელოვანი შედეგები, კერძოდ:

- 1. გამოვლინდა ის თანამგზავრები, რომელთაგან მიღებული ინფორმაცია ეფექტურია მყინვარების კვლევისთვის;
- 2. მიღებული თანამგზავრული ინფორმაციის დამუშავებისათვის, ვიზუალიზაციისათვის და მყინვარების მახასიათებლების განსაზღვრისათვის გამოყენებულია:

- Google-ის პროგრამული პროდუქტის Google Earth-ის საფუძველზე მიღებული თანამგზავრულ სურათები;
  - სენსორ Aster-ის თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე გენერირებული რელიეფის ციფრულ მოდელი (Aster DEM);
  - თანამგზავრული მონაცემების დამუშავებისათვის GIS სისტემები – Google Earth, BEAM Visat და Quantum GIS Lisboa.
3. მცინვარების იდენტიფიკაციისათვის, პირველადი შედარებისათვის გამოვიყენეთ GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული მცინვარების სხვადასხვა მონაცემები, მათ შორის მცინვარების კონტურების და მცინვარების რიცხვითი მახასიათებლები.
  4. ჩატარდა GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურების გენერირება სენსორ Aster-ის მონაცემების საფუძველზე;
  5. მცინვარების კონტურების ვალიდაციისათვის გამოყენებულია საბჭოთა კავშირის დროინდელი ტოპოგრაფიული რუკებით (1:50000);
  6. მიღებული შედეგების ვალიდაციისათვის გამოყენებულია:
    - გარემოს ეროვნული სააგენტოს ექსპედიციების მიწისპირა დაკვირვებები გარკვეული მცინვარებისათვის;
    - ამ მცინვარების მცოდნე ექსპერტების გამოცდილება;
  7. ჩატარდა დისტანციური ზონდირების საფუძველზე მიღებული შედეგების დაწვრილებითი შედარება მცინვარების კატალოგის მონაცემებთან;
  8. საქართველოს მცინვარებისათვის მივიღეთ ქვემოთმოყვანილი დასკვნები:
    - მცინვარების მაქსიმალური სიგრძე და ფართობი მცირდება;
    - მცინვარების მინიმალური სიმაღლე და ფირნის ხაზის სიმაღლე იზრდება;
    - მცინვარების მაქსიმალური სიმაღლე გაზომვის ცდომილების ფარგლებში არ იცვლება;
    - აბლაციის არის ფართობი ფაქტიურად არ იცვლება;
  9. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები ნათლად მიუთითებენ კავკასიის, კერძოდ საქართველოს მცინვარებზე კლიმატის რეგიონალური ცვლილების ზემოქმედებას, რაც გამოიხატება დათბობის შედეგად მცინვარების უკანდახევაში;
  10. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას მცინვარების ჩამონადენის განსაზღვრისათვის;

მიღებული შედეგები მეტყველებენ დისტანციური ზონდირების გამოყენებით მცინვარების კვლევის ეფექტურობაზე.