

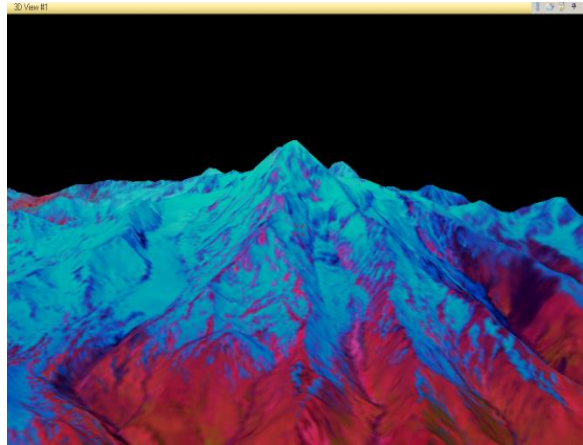
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შიფრი № IHM-17-35-GTU- CD-5259

„ვამტაინცე“
დირექტორი
ტექ. აკად. დოქტორი

----- თ. ცინცაძე

25 დეკემბერი 2017



შპს: 551.501.7

საქართველოს მყინვარების ევოლუციის
კვლევა თანამგზავრული დისტანციური მეთოდოლოგიების და მიწისპირა
დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე კლიმატის თანამედროვე
ცვლილების ფონზე

პროექტის ხელმძღვანელი ლარისა შენგელია
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი. ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი

(დასკვნითი ანგარიში)

ამინდის პროგნოზირების, ბუნებრივი
და ტექნოგენური კატასტროფების
მოდელირების განყოფილების გამგე
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი

მარიკა ტატიშვილი

თბილისი
2015 – 2017

სამეცნიერო პროექტი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში.

პროექტის ხელმძღვანელი

ლარისა შენგელია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი

პასუხისმგებელი შემსრულებელი

გიორგი კორძახია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
მეცნიერი თანამშრომელი,
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი,
გარემოს ეროვნული სააგენტოს
ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტის
უფროსის მოადგილე

შემსრულებელი

გენადი თვაური

ივ. ჯავახიშვილის თბილისის
სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის
ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი,
ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი

შემსრულებელი

მურმან ძაძამია

გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჰიდრომეტეოროლოგიის
დეპარტამენტის საველე-ექსპედიციური სამმართველოს უფროსი

კონსულტანტი

ვასილ ცომბაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
მთავარი სპეციალისტი,
გეოგრაფიის დოქტორი,
პროფესორი

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი -----	4
თავი 1. პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობის მიმოხილვა -----	5
თავი 2. მყინვარების შესასწავლად GLIMS-ის და Landsat-ის მონაცემთა ბაზის გამოყენებით თანამგზავრული სურათების მოპოვება და დამუშავება -----	9
თავი 3. საქართველოს ცალკეული მყინვარების არეალის კონტურების დადგენა -----	17
თავი 4. ცალკეული მყინვარების მახასიათებლების (ფართობის, სიგრძის, ჰიპსომეტრიის, ფირნის ხაზის, მინიმალური და მაქსიმალური სიმაღლის) განსაზღვრა -----	20
თავი 5. საქართველოს მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შესაფასებლად, დისტანციური ზონდირებით მიღებული რიცხვითი მახასიათებლების შედარება მყინვარების კატალოგის მონაცემებთან -----	23
თავი 6. მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენებით, საქართველოს მყინვარების დროში ცვლილების დინამიკის შესწავლა -----	51
თავი 7. შედეგების ვიზუალიზაცია, ვალიდაცია და ანალიზი -----	80
დასკვნა -----	97
ლიტერატურა -----	99

შესავალი

მყინვარებს დიდი მნიშვნელობა გააჩნიათ კაცობრიობისათვის, რადგან ისინი არიან მტკნარი წყლის მნიშვნელოვანი რესურსი. გამყინვარება ბუნების მეტად დინამიურად განვითარებადი ელემენტია და ამიტომ ის ძალიან მგრძობიარეა ბუნებრივი და ანტროპოგენური ზემოქმედების მიმართ. მყინვარების ევოლუციის კანონების შესწავლა გლობალური ცვლილებების პერიოდში არის მომავალზე ორიენტირებული ამოცანა.

ცნობილია, რომ თანამედროვე მყინვარები პროდუქტია წარსულში არსებული კლიმატის, როცა თვის საშუალო ტემპერატურები უფრო დაბალი იყო, ხოლო მყარი ნალექების რაოდენობა მეტი, ამიტომ მყინვარებს აქვთ ტენდენცია შეიცვალონ კლიმატის ცვლილების შესაბამისად. ამრიგად კლიმატის ცვლილების ერთერთი ეფექტური ინდიკატორია მყინვარების ევოლუცია ისტორიულ და მიმდინარე ჭრილში.

საქართველოს მყინვარების შესახებ მონაცემები გამოცემულია ყოფილი საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგში, რომლის ბოლო გამოცემაში შესული მასალები დაახლოებით 50 წლის წინანდელია. საქართველოს მყინვარების თანამედროვე მდგომარეობის შესწავლისათვის მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრების, აერო-ფოტო გადაღებების, საექსპერტო ცოდნისა და მიწისპირა დაკვირვებების კომპლექსური გამოყენების საფუძველზე დადგენილია (გავლებულია) საქართველოს მყინვარების კონტურები, რის საფუძველზეც განსაზღვრულია მყინვარების მახასიათებელი სიდიდეები და შედგენილია შესაბამისი ცხრილები [1–10].

თანამგზავრული დისტანციური მეთოდოლოგიების და მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე ზემოთაღნიშნულის და დამატებითი მახასიათებლების განსაზღვრით შესაძლებელი გახდა კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე საქართველოს მყინვარების ევოლუციის შესწავლა მცირე მყინვარების დეგრადაციის (დნობა, გაქრობა) და დიდი მყინვარების უკანდახვევის საფუძველზე [11–13].

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე მყინვარების კვლევისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მყინვარის ენის ბოლოს ზუსტი განსაზღვრა, რადგან მყინვარების ძირითადი მახასიათებლების (კერძოდ, მყინვარის სიგრძის, მინიმალური სიმაღლის, უკანდახვევის მანძილის და სხვა) დადგენა სწორედ ამ ათვლის წერტილიდან ხდება. ექსპერტული ცოდნის გამოყენება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როდესაც მყინვარის ენა მორენებით და/ან ნაშალი მასალითაა დაფარული.

მყინვარების კონტურების გავლება ჩატარდა ინოვაციური მეთოდოლოგიის საფუძველზე მანუალური დიგიტალიზაციის გამოყენებით. ამ პროცესში მნიშვნელოვანია საექსპერტო ცოდნის გამოყენება. შესასწავლი მყინვარების იდენტიფიცირებისათვის და კონტურების დასაზუსტებლად გამოყენებულია რელიეფის ციფრული მოდელები (DEM), მყინვარების შესასწავლად შექმნილი ყოფილი საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგის სქემები და გასული საუკუნის 60-იანი წლების ტოპოგრაფიული რუკები, რომლებიც გამოყენებული იყო მყინვარების კატალოგის შექმნისას [1–4].

თავი 1. პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობის მიმოხილვა

საქართველოში გამყინვარების ძირითადი კერაა კავკასიონის ქედი. დასავლეთ საქართველოს ფარგლებში გამყინვარების კერას კავკასიონის სამხრეთი ფერდობი მიეკუთვნება, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში გარდა სამხრეთ ფერდობისა იგი ჩრდილოეთ ფერდობზეცაა წარმოდგენილი.

კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედი მთლიანი გამყინვარებით ხასიათდება იმ უბანზე, რომელიც მდინარე ბზიფის სათავეებიდან მამისონის უღელტეხილის მიდამოებამდე აღწევს. ამ უბნის დასავლეთით და აღმოსავლეთით მდებარე ქედებზე მხოლოდ მყინვართა განცალკევებული ჯგუფები არსებობენ. კავკასიონის ჩრდილოეთ გვერდით ქედზე და ტოტებზე ფართოდ არის წარმოდგენილი მყინვარები და მუდმივი თოვლი, რაც საქართველოს ფარგლებში გამოსატყულებას ჰპოვებს ხოხისა და პირიქითის ქედებზე, აგრეთვე ყუროს, შავანის, კიდევანისა და ხევსურეთის მერიდიანულ ქედებზე.

კავკასიონის სამხრეთ გვერდით ქედებზე მნიშვნელოვანი გამყინვარება გამოსატყულია სვანეთის ქედზე, სადაც ათობით დიდი და პატარა მყინვარია თავმოყრილი. ნაკლები სიდიდის მყინვარები გვხვდება კოდორის, ეგრისისა და ლეჩხუმის ქედებზე, კიდევ უფრო ნაკლები კი ბზიფისა და ჩხალთის ქედებზე. კავკასიონის გამყინვარება ალპურ ანუ მთის ტიპს მიეკუთვნება.

საქართველოს აღმოსავლეთი ნაწილის ტერიტორია ძირითადად გაშლილია კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედის (კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედი – უწყვეტი ქედი, კავკასიონის სისტემის ოროჰიდროგრაფიული ღერძი, რომელიც ყოფს ჩრდილო და სამხრეთ კავკასიის მდინარეთა აუზებს) სამხრეთით, თუმცა მცირე ნაწილი მთავარი წყალგამყოფის ჩრდილოეთითაც გადადის. ეს არის საქართველოს ის ნაწილი, რომელიც მოქცეულია მთების ზილგახოხისა (დასავლეთით) და შავიკლდის (აღმოსავლეთით) შორის. ამ ნაწილს უჭირავს მდინარე პირიქითა ალაზნის (დაღესტანში ჰქვია ანდის ყოისუ) ზემო აუზი – თუშეთი, აგრეთვე მდინარეების: თერგის, ასას და არღუნის ზემო დინებათა აუზები.

კავკასიონის ჩრდილოეთ გვერდით ქედზე და შტო ქედებზე (ტოტებზე) ფართოდ არის წარმოდგენილი მყინვარები და მუდმივი თოვლი, რაც საქართველოს ფარგლებში გამოსატყულებას ჰპოვებს ხოხისა და პირიქითის ქედებზე, აგრეთვე ყუროს, შავანის, კიდევანისა და ხევსურეთის მერიდიანულ ქედებზე.

ჯავახეთის ქედის აღმოსავლეთ კალთებზე არის მუდმივი ფირნის მინდვრები (მუდმივი თოვლნარები*, ჩვ. შენიშვ.), რომლებიც „კლიმატურად გაუმართლებელი მყინვარების“ ტიპს მიეკუთვნებიან, მდებარეობენ მუდმივი თოვლის საზღვარზე ერთი კილომეტრით დაბლა და საზრდოობენ ქარის მიერ ჩამოხვეტილი თოვლით [14].

კავკასიონზე უკანასკნელი სტადიალური გამყინვარება დაიწყო XVI ს.-ში და XIX ს.-ის დასაწყისში განვითარების მაქსიმალურ საზღვარს მიაღწია. XIX ს.-დან დედამიწის ზედაპირზე კლიმატური პირობები შეიცვალა დაიწყო დათბობა, რომელიც დღესაც გრძელდება. ამ პროცესს მოჰყვა მყინვარების უკანდახვევა. ამდენად საქართველოს მყინვარების თანამედროვე მდგომარეობის განსაზღვრა ფრიად აქტუალური პრობლემაა. არანაკლებ მნიშვნელოვანია მყინვართა დეგარადაციის შესწავლა კლიმატის თანამედროვე ცვლილების გამო.

XIX საუკუნეში დაწყებულმა გლობალურმა დათბობამ მძლავრი ზემოქმედება მოახდინა კავკასიის მყინვართა სისტემაზე. გლობალური დათბობის პირობებში მყინვარების უკან დახევის გაძლიერებამ და დეგრადაციამ, ასევე მასთან დაკავშირებულმა მყინვარული ჩამონადენის ცვლილებამ დღის წესრიგში დააყენა ამ პროცესების დეტალური შესწავლის აუცილებლობა. მყინვარების ჩამონადენს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მყინვარული აუზების მქონე რეგიონების ეკონომიკის ძირითადი სექტორების (სოფლის მეურნეობა, ენერჯეტიკა, ტრანსპორტი, ტურიზმი, წყალმომარაგება) განვითარებისათვის. ძალიან დიდ მნიშვნელობას იძენს არსებული წყლის რესურსების დაზუსტება, მყინვარული წყლის მარაგის შეფასება, მათი მოსალოდნელი ცვლილების დადგენა, მყინვარული ჩამონადენის შესწავლა და პროგნოზი.

გასულ საუკუნეში მყინვარების შესასწავლად ძირითადად გამოიყენებოდა მიწისპირა დაკვირვებები. მიწისპირა დაკვირვებების და შესაბამისი ექსპედიციების მოწყობა ძვირადღირებულია და გარკვეულ რისკებთანაა დაკავშირებული. ამასთან ერთად სრულყოფილი გლაციოლოგიური დაკვირვებების საწარმოებლად აუცილებელია გლაციოლოგებს გააჩნდეთ მაღალი დონის ალპინისტური კვალიფიკაცია. უნდა აღინიშნოს, რომ გარკვეულ მყინვარებზე, საერთო რაოდენობის ძალზედ მცირე რიცხვზე, მათი დიდი სოციალურ-ეკონომიკური მნიშვნელობის გამო ორგანიზებული იყო სტაციონალური დაკვირვებები მაშინდელი პიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის ფარგლებში.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულის გამო შეიქმნა მყინვარების მახასიათებლების სხვადასხვა დროითი ჭრილების რიგები. ამ პერიოდში მყინვართან მიახლოება და მით უმეტეს მათზე გადაადგილება არ იყო ხელმისაწვდომი. ამდენად არაა გასაკვირი, რომ მყინვარების დისტანციური კვლევა ანუ მყინვარებზე შორიდან დაკვირვებები ფართოდ გამოიყენებოდა, რაც ძლიერ ამცირებდა ამ კვლევებთან დაკავშირებულ რისკებს. გარდა ამისა, მყინვარები, ზომებში ძალიან დიდია და რთულად მისადგომი. ეს ართულებს და თანაც შეუძლებელს ხდის მიწისპირა დაკვირვებების საფუძველზე მიღებული იყოს საჭირო სივრცითი გარჩევადობის მონაცემები. დისტანციური ზონდირება საჰაერო საფრენი აპარატებიდან და აეროფოტო გადაღებები წარმოადგენენ საიმედო წყაროს მყინვარების მონაცემების მახასიათებლების განსაზღვრისათვის. უნდა შევნიშნოთ, რომ საჰაერო საფრენი აპარატებიდან რეგულარული დაკვირვებების წარმოება საჭირო დროითი და სივრცითი გარჩევადობით შეუძლებელია ამ მონიტორინგის სიძვირის გამო.

ამჟამად, როდესაც თანამგზავრული მაღალი დროითი და სივრცითი გარჩევადობის დაკვირვები ხელმისაწვდომია, მყინვარების კვლევისათვის დისტანციური ზონდირება განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს.

* თოვლნარი – ქარისა და მზის სხივებისაგან მოფარებულ ადგილებში შემორჩენილი თოვლის, ფირნისა და ყინულის გროვა. თოვლნარი სეზონურია, თუ ირგვლივ დადებულ თოვლზე უფრო მეტხანს ინახება, ხოლო მუდმივია, თუ მთელი წლის განმავლობაში არ დნება. თოვლნარი ხშირად მიიღება მყინვარის დეგრადაციით.

მყინვარების კვლევისათვის არცერთი თანამგზავრი სპეციალურად არაა შექმნილი. ამავდროულად ერთი და იგივე თანამგზავრით, უფრო სწორად ერთი და იგივე სენსორით მიღებული ინფორმაცია იქნება ეს სურათი, თუ რიცხვითი მონაცემები თანაბრადაა შესაძლებელი გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა ამოცანის გადასაწყვეტად, მათ შორის მყინვარების კვლევისათვის. ამდენად ეს აიაფებს თანამგზავრულ ინფორმაციას, მეტიც, ხშირად მყინვარების კვლევისათვის საჭირო ინფორმაცია ხელმისაწვდომია ინტერნეტის საშუალებით. ამრიგად ფაქტობრივად თანამგზავრული დისტანციური მონიტორინგის (სურათები/გამოსხივების სპექტრების რიცხვითი მონაცემები) ინფორმაცია იაფია და გამოყენებადი. ამ ინფორმაციის საფუძველზე მყინვართა მახასიათებლების რიცხობრივად გაანგარიშებაა შესაძლებელი.

ამგვარად, მყინვარების შესასწავლად ექსპედიციების მოწყობა დიდ თანხებთან არის დაკავშირებული, ხოლო საველე დაკვირვების შედეგები მხოლოდ მეცნიერთა ვიწრო წრისათვის არის ხელმისაწვდომი. ამისგან განსხვავებით თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემები ფართოდ ხელმისაწვდომია.

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით მყინვარების კვლევა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საქართველოსათვის, რადგან:

- **მყინვარები**
შეადგენენ საქართველოს მტკნარი წყლის მარაგის 31%, რაც რაოდენობრივად შეადგენს 23.8 კმ³ [15];
- **კლიმატის**
თანამედროვე გლობალური დათბობა 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;
- **საქართველოს**
სახელმწიფოს ამჟამად გააჩნია მწირი რესურსები ძვირადღირებული ექსპედიციების გამართვისათვის;
- **ექსპედიციის**
გზით, ერთდროულად მხოლოდ ცალკეული (2-3) მყინვარის შესწავლაა შესაძლებელი და დიდი მყინვარების შემთხვევაში მათი გარშემოვლა შეუძლებელია. თანამგზავრული დისტანციური ზონდირება საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე დიდი მყინვარების ერთდროული შესწავლის საშუალებას იძლევა, ამასთან სხვადასხვა რაკურსით;
- **დღესდღეობით**
მცირე მყინვარების მდგომარეობის გარკვეული რეგულარობით გაშუქება მიწისპირა დაკვირვებებით ფაქტობრივად შეუძლებელია. ამ მყინვარების შესწავლა დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით ეფექტური ალტერნატივაა მათი კვლევებისათვის და სხვადასხვა სამეცნიერო-პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრისათვის;
- **საქართველოს**
ტერიტორიაზე მდებარე მყინვარების კვლევა თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით შესაძლებლობას იძლევა დაზუსტდეს მყინვარების

მახასიათებლები, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ძნელად მისადგომ და მწირი დაკვირვებების მქონე მყინვარებისათვის. საქართველოში ასეთი მყინვარები დიდი რაოდენობითაა;

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 [16]. დევდორაკის მყინვარი ჩამოიქცა, რაც გადაიზარდა დიდი მასშტაბის დვარცოფულ კატასტროფაში ადამიანთა მსხვერპლით და დიდი ეკონომიკური ზარალით. იმავე წლის 20 აგვისტოს მეწყერი ჩამოწვა დარიალის ხეობაში, მდინარეების თერგისა და დევდორაკის შეერთების უბანზე, დვარცოფის გავლისას. დევდორაკის ხეობაში მოსული უხვი ნალექის შედეგად, მოზავადა სამი თვის წინ მომხდარი დვარცოფულ-მეწყერული მოვლენების შედეგად დარჩენილი ინერტული მასა;

ამდენად

თანამგზავრული ინფორმაცია განსაკუთრებით მიზანშეწონილია სტიქიური მოვლენების და კატასტროფების სწრაფი იდენტიფიცირებისთვის, და შერბილების ღონისძიებების დროული გატარებისათვის, რაც საქართველოს მდგრადი განვითარებისათვის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია.

თავი 2. მყინვარების შესასწავლად GLIMS-ის და Landsat-ის მონაცემთა ბაზის გამოყენებით თანამგზავრული სურათების მოპოვება და დამუშავება

მთელ მსოფლიოში თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით მყინვარების კვლევა სულ უფრო ფართო გამოყენებას ჰპოვებს. მყინვარებზე დაკვირვების მიზნით იყენებენ დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებს, რომლებიც ალტურვილი არიან რადიოლოკაციური (Radarsat, ERS-1, ERS-2, Radarsat-1, Radarsat-2, ENVISAT), ელექტრომაგნიტური სპექტრის ოპტიკურ, ინფრაწითელ, მიკროტალღოვან უბნებში მომუშავე სენსორებით (IRS, SPOT, Landsat, IKONOS, QuickBird, TERRA Aster, ALOS, SAR [17–21]).

მყინვარების შესახებ სტანდარტიზებული ინფორმაცია მოყვანილია მსოფლიო მყინვარების კატალოგში (World Glacier Inventory – WGI*), რომელიც დაცული და წარმოდგენილია მსოფლიო მყინვარების მონიტორინგის სამსახურის (World Glacier Monitoring Service – WGMS) ვებ გვერდზე: www.wgms.ch. WGMS მდებარეობს შვეიცარიაში. მას მჭიდრო ურთიერთობა აქვს ქ. ბოულდერში (აშშ) თოვლისა და ყინულის ეროვნულ ცენტრში (National Snow and Ice Data Center – NSIDC) არსებულ გლაციოლოგიის მსოფლიო მონაცემთა ცენტრთან და პროექტთან, რომლის სახელწოდებაცაა „მიწისპირა ყინულების გლობალური გაზომვები კოსმოსიდან“ (Global Land Ice Measurements from Space – GLIMS).

მყინვარების შესახებ ინფორმაცია წარმოდგენილია აგრეთვე სსრკ მყინვარების კატალოგში (რედ. ო.ნ. ვინოგრადოვი). 80 წიგნად გამოცემულ კატალოგში მოყვანილია მყინვარების მდგომარეობა 1957-80 წ.წ. აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების შესახებ ინფორმაცია წარმოდგენილია [22–24]-ში, ხოლო დასავლეთ საქართველოს შესახებ [25]-ში.

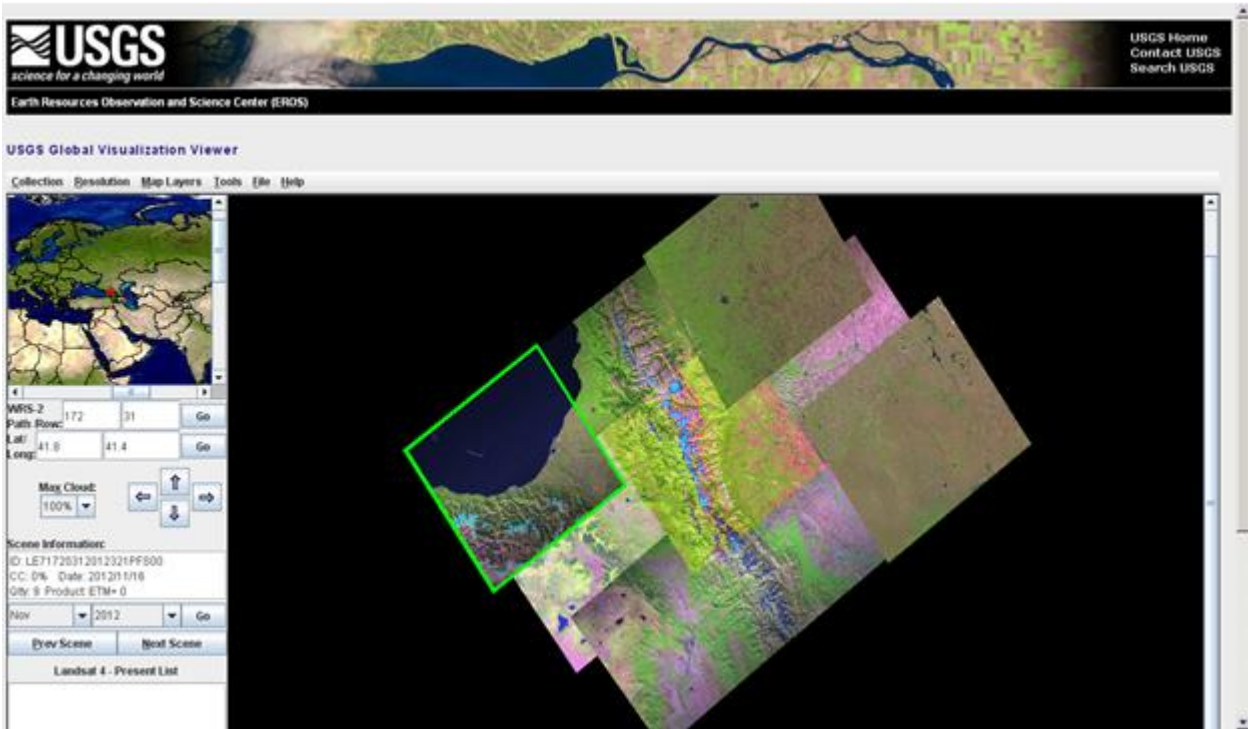
სსრკ მყინვარების კატალოგის ციფრული ვერსია დაცულია აგრეთვე რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტის გეოგრაფიულ პორტალზე (<http://webgeo.ru>, Раздел: Каталог ледников СССР), სადაც 2008-2009 წლებში კორექტირებული კატალოგია წარმოდგენილი. 1980-იან წლებში ამ კატალოგის ნაწილი გამოყენებულ იქნა მყინვარების მსოფლიო კატალოგის ნაწილის შესაქმნელად და იგი ხელმისაწვდომია აშშ-ს, ყინულისა და თოვლის მონაცემთა ნაციონალური ცენტრის 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

* WGI – მსოფლიო მყინვარების კატალოგის ელექტრონული ვერსია ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიისათვის შედგენილია მყინვარების კატალოგის ნაბეჭდი ვერსიის საფუძველზე.

სამინისტროს დაქვემდებარებაში იმყოფება, დაცულია Landsat-ის თანამგზავრებით მოპოვებული მონაცემები, აგრეთვე NASA-ს განკარგულებაში არსებული თანამგზავრული სურათები.

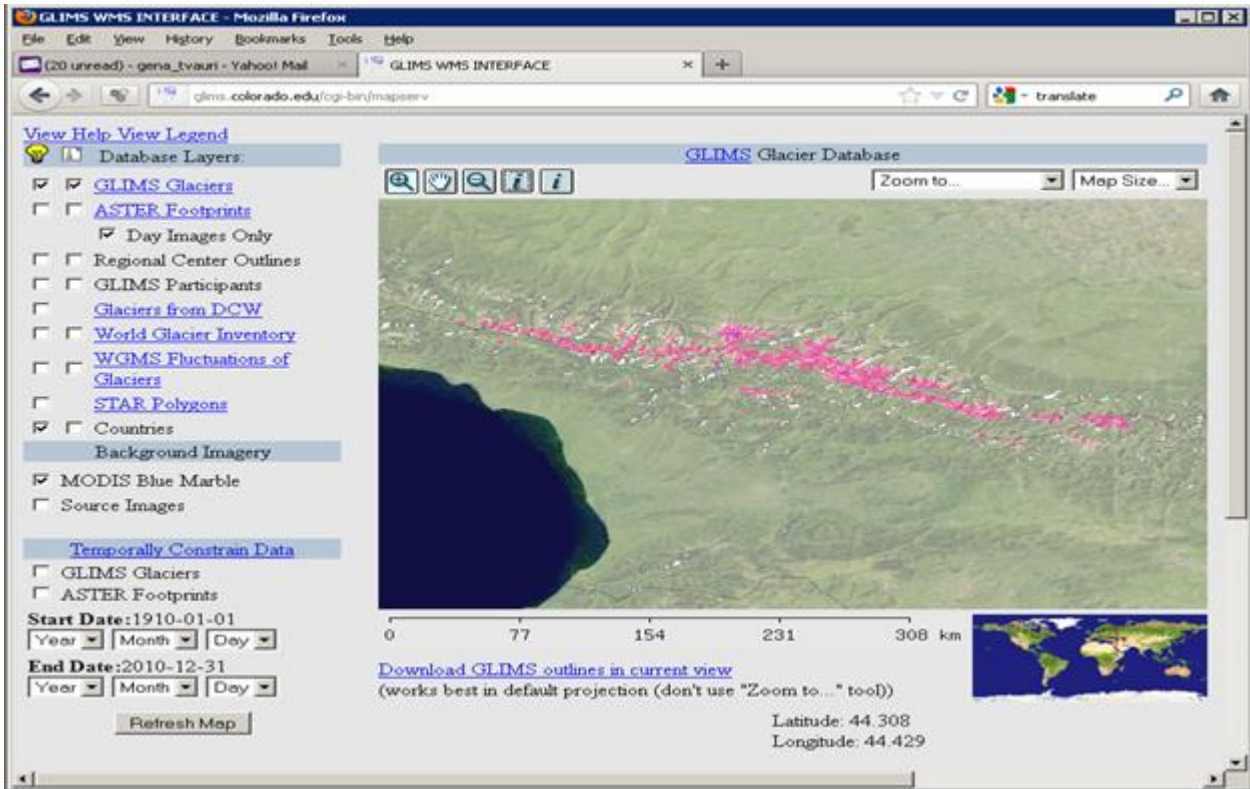
სურათზე 2.1 წარმოდგენილია აშშ-ის გეოლოგიური სამსახურის თანამგზავრული სურათების საძიებო სისტემის ინტერფეისი, სადაც შესაძლებელია Landsat-ის თანამგზავრული სურათების შერჩევა. Landsat-ის მონაცემთა ბაზაში დაცულია თანამგზავრული სურათები, დაწყებული 1990 წლიდან, რაც მყინვარების სივრცის ცვლილების დასადგენად შეიძლება იქნეს გამოყენებული. Landsat-ის თანამგზავრული სურათების დასამუშავებლად ვიყენებთ VISAT BEAM პროგრამულ პაკეტს Google Earth-თან ერთად.



სურ. 2.1. აშშ-ის გეოლოგიური სამსახურის თანამგზავრული სურათების საძიებო სისტემის ინტერფეისი

მყინვარების მდგომარეობის შეფასების თვალსაზრისით ერთერთი ყველაზე პერსპექტიურია GLIMS პროექტის ფარგლებში მიღებული მონაცემთა ბაზა. ეს ბაზა შექმნილია თანამგზავრ TERRA-ს ASTER (Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) სენსორის მონაცემთა საფუძველზე [18]. ეს სენსორი ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონებში მოიპოვებს მონაცემებს და მისი მაქსიმალური სივრცითი გარჩევადობა 15 მ-ს შეადგენს.

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზის საძიებო სისტემის ვებ ინტერფეისის სურათი კავკასიონის მყინვარების კონტურების გამოსახულებით წარმოდგენილია 2.2 სურათზე.



სურ. 2.2. GLIMS–ის მონაცემთა ბაზის საძიებო სისტემის ვებ ინტერფეისის სურათი კავკასიონის მყინვარების კონტურების გამოსახულებით

სენსორ ASTER-ის მონაცემების საშუალებით შესაძლებელია 30 მ სივრცითი გარჩევადობის რელიეფის ციფრული მოდელის (Digital Elevation Model – DEM) გენერირება. მულტისპექტრულ თანამგზავრულ მონაცემებთან ერთად ASTER DEM მყინვარების შესწავლის საუკეთესო საშუალებად იქცა [26, 27].

თანამგზავრული მონაცემების დამუშავებისათვის გამოიყენება GIS სისტემები – Google Earth, BEAM Visat და Quantum GIS Lisboa.

მაღალი სივრცითი გარჩევადობის თანამგზავრული სურათების ხელმისაწვდომი წყაროა პროგრამა Google Earth. საქართველოს ტერიტორიის უმეტესი ნაწილისათვის ეს პროგრამა 0.5 – 0.8 მ-ის სივრცითი გარჩევადობის სურათებს გთავაზობს, რაც მყინვარების კონტურების დიდი სიზუსტით დადგენის საშუალებას იძლევა. Google Earth-ის გამოყენებით შესაძლებელია მაღალი სივრცითი გარჩევადობის დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების (Spot, IKONOS, Quickbird, RapidEye) მონაცემების მიღება. პროგრამა Google Earth-ის საშუალებით დავამუშავეთ NSIDC-ის მყინვარების მსოფლიო კატალოგის მონაცემები.

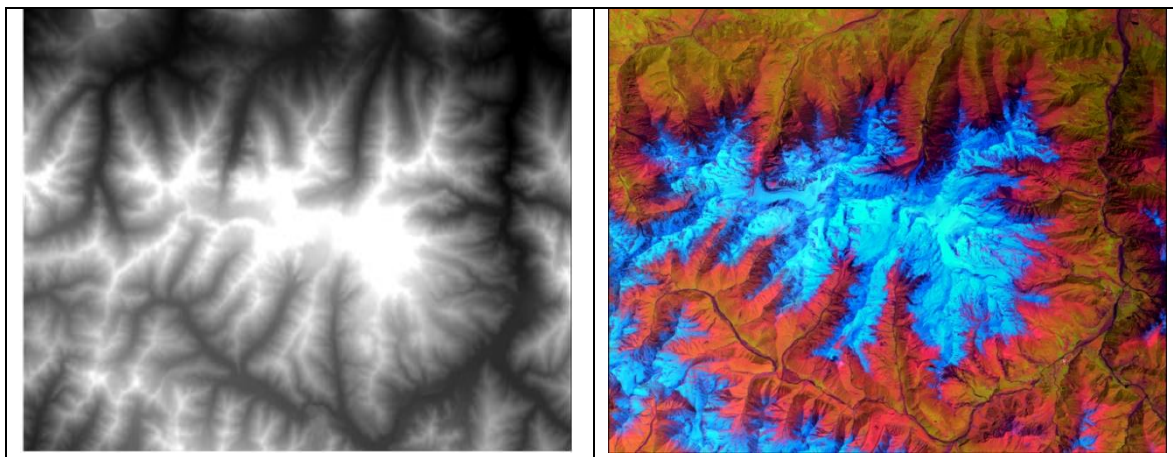
GLIMS–ის მონაცემთა ბაზიდან მიღებული მყინვარწვერის მყინვარების კონტურების ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით მოცემულია 2.3 სურათზე.



სურ. 2.3. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან მიღებული მყინვარწვერის მყინვარების კონტურების ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით

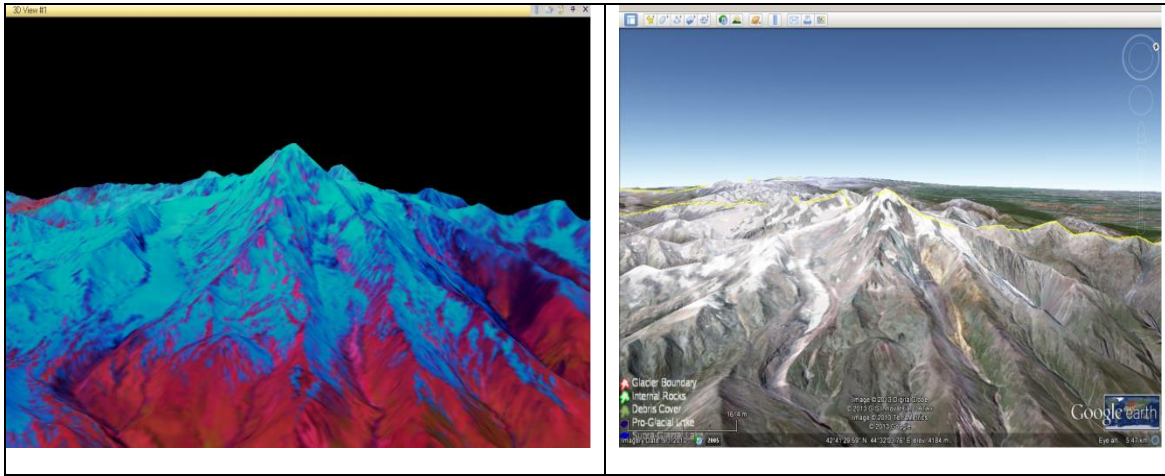
თანამგზავრიდან დედამიწის ზედაპირის მონიტორინგის განხორციელებაზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ამინდის პირობები. კერძოდ, ღრუბლიანობის დროს გადაღებული თანამგზავრული სურათების გამოყენება სხვადასხვა მონაცემის მისაღებად ფაქტობრივად შეუძლებელია. მყინვარებზე დაკვირვებისას ამ შეზღუდვას ემატება თვით მყინვარის ზედაპირის მდგომარეობა. აღსანიშნავია, რომ ამ დროს მყინვარი მაქსიმალურად თავისუფალი უნდა იყოს თოვლის საფრისაგან. კერძოდ, დისტანციური მონიტორინგი უნდა განხორციელდეს აბლაციის დამთავრებიდან პირველი თოვლის მოსვლამდე. თანამედროვე კლიმატის პირობებში საქართველოსათვის ეს დროითი ინტერვალი მოიცავს აგვისტოს ბოლოდან დაახლოებით ოქტომბრის დასაწყისამდე პერიოდს [1-4].

ASTER DEM რელიეფის ციფრული მოდელის და Landsat-ის თანამგზავრული სურათები მყინვარწვერის მყინვარული მასივისათვის მოყვანილია 2.4 სურათზე.



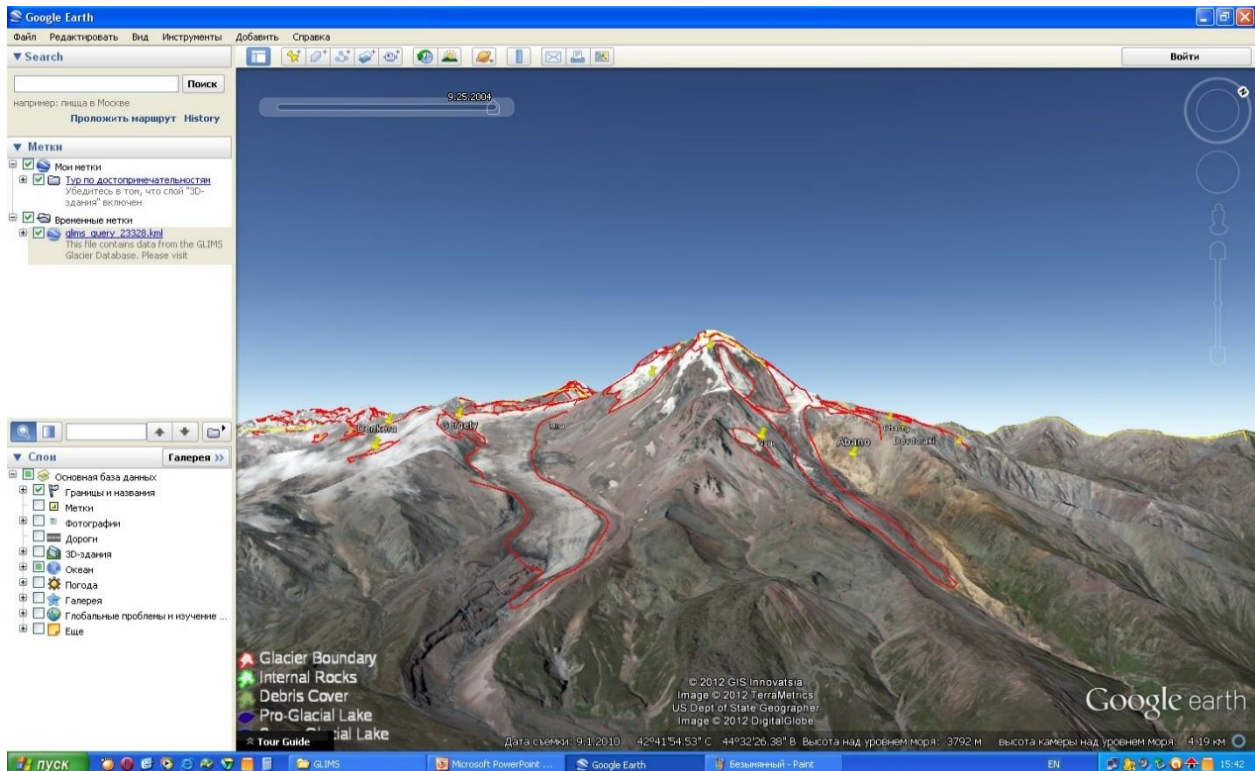
სურ. 2.4. ASTER DEM და Landsat-ის ფსევდო კომპოზიციური სურათი

სურ. 2.5-ზე მოყვანილია მყინვარწვევრის მასივის ASTER DEM-ის და Landsat-ის სურათების სამგანზომილებიანი ვიზუალიზაციის შედეგები, აგრეთვე იგივე ობიექტი Google-ის პროგრამული პროდუქტის, Google Earth-ის საშუალებით.



სურ. 2.5. მყინვარწვევრის მასივი, 3D ვიზუალიზაცია

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან მიღებული მყინვარწვევრის მყინვარების მონაცემების სამგანზომილებიანი ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით მოცემულია 2.6 სურათზე.



სურ. 2.6. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან მიღებული მყინვარწვევრის მყინვარების კონტურების სამგანზომილებიანი ვიზუალიზაცია Google Earth-ის საშუალებით

მყინვარების კონტურების განსაზღვრა შესაძლებელია შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. მყინვარების საზღვრების მისაღები სიზუსტით დადგენისათვის ხშირად აუცილებელია მიწისპირა დაკვირვებები და საკვლევი რეგიონისათვის საექსპერტო გამოცდილების გამოყენება.

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

მულტისპექტრული თანამგზავრული სურათების საშუალებით მყინვარის საზღვრის ავტომატური განსაზღვრის მიზნით სხვადასხვა ალგორითმებს მიმართავენ [20, 28, 29]. თოვლის ნორმალიზებული სხვაობის ინდექსის (Normalised difference snow index – NDSI) და ცალკეული სპექტრალური არხების შეფარდების განსაზღვრის მეთოდი მყინვარების 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 [30]. Landsat-ის შემთხვევაში, გარდა თოვლის ინდექსისა, მიმართავენ აგრეთვე ცალკეული არხების შეფარდებებს ASTER3/ASTER4 და TM4/TM5.

როგორც თოვლის ინდექსი, ასევე ცალკეული არხების შეფარდებები კარგ შედეგებს იძლევა მყინვარების კონტურების განსაზღვრის თვალსაზრისით. თუმცა, თღზ-ის მონაცემების საშუალებით მყინვარების აგეგმვისას (მყინვარების კონტურების განსაზღვრა) ურთულეს პრობლემას ჰქმნის მყინვარებზე ნაშალი მასების არსებობა.

პრაქტიკული გამოსავალი ასეთ შემთხვევებში (მყინვარების საზღვრების მაღალი სიზუსტით დადგენა) მდგომარეობს მიწისპირა დაკვირვებების და საკვლევი რეგიონისათვის საექსპერტო გამოცდილების გამოყენებაში. თუკი არც მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემები და საკვლევი რეგიონისათვის საექსპერტო გამოცდილება არ არსებობს, ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ უფრო მაღალი სივრცით გარჩევადობის სურათებს, აგრეთვე რელიეფის ციფრულ მოდელს [31].

მყინვარების კონტურებისა და რელიეფის ციფრული მოდელის ერთობლივი დამუშავების შედეგად მყინვარების მახასიათებლების განსაზღვრისათვის საჭიროა:

- GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან შეირჩეს მყინვარის კონტური თანამგზავრული სურათიდან, რომელიც გადაღებულია აგვისტო –

სექტემბერში, როცა თოვლის დნობა მაქსიმუმს აღწევს და შესასწავლი მყინვარები არ არის დაფარული ღრუბლის საფრთხით;

- დაზუსტდეს GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან მყინვარების შერჩეული კონტურები. კონტურების დაზუსტების აუცილებლობა გამოწვეულია არა მარტო მყინვარების ცვლილებით, არამედ იმიტაც, 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. მყინვარების კონტურების განსაზღვრა შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით შესაძლებელია როგორც ხელით, ასევე ავტომატურად. კვლევის რეგიონის მცოდნე ოპერატორის მიერ მყინვარების საზღვრების მანუალური დიგიტალიზაცია მყინვარების საზღვრების დიდი სიზუსტით დადგენის შესაძლებლობას იძლევა. სხვადასხვა სპექტრალური არხების კომბინირების საშუალებით მყინვარების კონტურების ავტომატური განსაზღვრა ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონში მყინვარის ყინულის და თოვლის განსხვავებულ სპექტრალურ თვისებებს ეყრდნობა;

გამოვიყენოთ

ASTER DEM-ის რელიეფის ციფრული მოდელი მყინვარის კონტურის დაზუსტების მიზნით. კონტურების დაზუსტება ხდება თანამგზავრული სურათისა და რელიეფის ციფრული მოდელის საფუძველზე შექმნილი სიმაღლის იზოხაზების ზედდებით. 3D გამოსახულების გამოყენებით წყალგამყოფები მაღალი სიზუსტით განისაზღვრება. წყალგამყოფების სიზუსტე გადამწყვეტია მყინვარების კონტურების ზუსტი დადგენისათვის.

მყინვარების

მახასიათებლების დასადგენად გამოვიყენოთ პროგრამა VISAT BEAM. გის-პროგრამა GRASS-ის საშუალებით, დაზუსტებული კონტურის ფაილები VISAT BEAM-თან თავსებად ESRI-shape ფორმატში მოიცემა. VISAT BEAM-პროგრამის საშუალებით გამოითვლება მყინვარების სიმაღლის მიხედვით განაწილების ჰისტოგრამა და აიგება შესაბამისი ჰიქსომეტრიული მრუდი, სადაც აბსცისათა ღერძზე გადაიზომება მყინვარების სიმაღლე ზღვის დონიდან, ხოლო ორდინატთა ღერძზე სიმაღლის შესაბამისი პიქსელების რაოდენობა;

ფირნის ხაზის

სიმაღლის დასადგენად ვისარგებლოთ გეფერის მეთოდით, რისთვისაც მყინვარების კატალოგის და ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემები გამოვიყენოთ (უნდა აღინიშნოს, რომ სსრკ მყინვარების კატალოგშიც გეფერის მეთოდი გამოყენებული). გეფერის მიხედვით, ფირნის ხაზის სიმაღლე არის საშუალო არითმეტიკული ფირნის აუზის შემომფარგველი რელიეფის საშუალო სიმაღლის და მყინვარის ენის ბოლოს სიმაღლეს შორის. მყინვარის აუზის გარშემო ვიღებთ ყველაზე მაღალი (ორი ან რამდენიმე მწვერვალის) საშუალო სიმაღლეს კატალოგის მიხედვით და ვუმატებთ მყინვარის ენის ბოლოს სიმაღლეს ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემებით. ვითვლით ამ ორი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკულს;

- ჰიპსომეტრიული

მრუდის საშუალებით განისაზღვროს მყინვარის აკუმულაციის არის ფართობი [1, 2]. ჰიპსომეტრიულ მრუდზე პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მყინვარის უმაღლეს წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე, იძლევა მყინვარის აკუმულაციის არის ფართობს. შესაბამისად, პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მყინვარის ყველაზე დაბალ წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე იძლევა მყინვარის აბლაციის არის ფართობს. მყინვარის აკუმულაციის და აბლაციის არის ფართობები ჯამში შეადგენენ მყინვარის ფართობს; ამჟამად გეონფორმაციული პროგრამის (მაგ. Google Earth-ის) საშუალებით შესაძლებელია ნებისმიერი კონტურით შემოფარგლული ფართობის მნიშვნელობის გამოთვლა.
- საქართველოს

მყინვარების კონტურების ვალიდაციისათვის ვისარგებლოთ საბჭოთა კავშირის დროინდელი ტოპოგრაფიული რუკებით (1:50000);
- მიღებული

შედეგების რეალური ვალიდაციისათვის, შესაძლებლობების ფარგლებში, გამოვიყენოთ გარემოს ეროვნული სააგენტოს ექსპედიციების მიწისპირა დაკვირვებები. ცხადია, რომ ასეთი დაკვირვებები მოიპოვება გარკვეული მყინვარებისათვის და გარკვეული წლებისათვის;
- ეფექტურად

გამოვიყენოთ საქართველოს მყინვარების მცოდნე ექსპერტების გამოცდილება.

თავი 3 საქართველოს ცალკეული მყინვარების არეალის კონტურების დადგენა

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე შესასწავლი მყინვარების კონტურების და მახასიათებლების დადგენისას ვისარგებლეთ იმ მეთოდოლოგიით, რომელიც დეტალურად არის განხილული [1–13] შრომებში.

განვიხილოთ სუათისის მყინვარების მაგალითზე კონტურების დადგენის შედეგები.

სუათისი ხეობის ტიპის მყინვარია ხევის კავკასიონზე, მდებარეობს ხოხის ქედზე, მდინარე სუათისის (თერგის მარცხენა შენაკადი) აუზში. შედეგება სამი ნაკადისაგან (აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მყინვარები). მათგან უდიდესია აღმოსავლეთის ნაკადი.

GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან შეირჩა სუათისის მყინვარების კონტურები, რომლებიც 2004 წლის 25 სექტემბრითაა დათარიღებული. 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, ხოლო Google Earth-ის სურათების გარჩევადობა 0.5-0.8 მ-ია, რაც კონტურების უფრო ზუსტად გავლების შესაძლებლობას იძლევა.

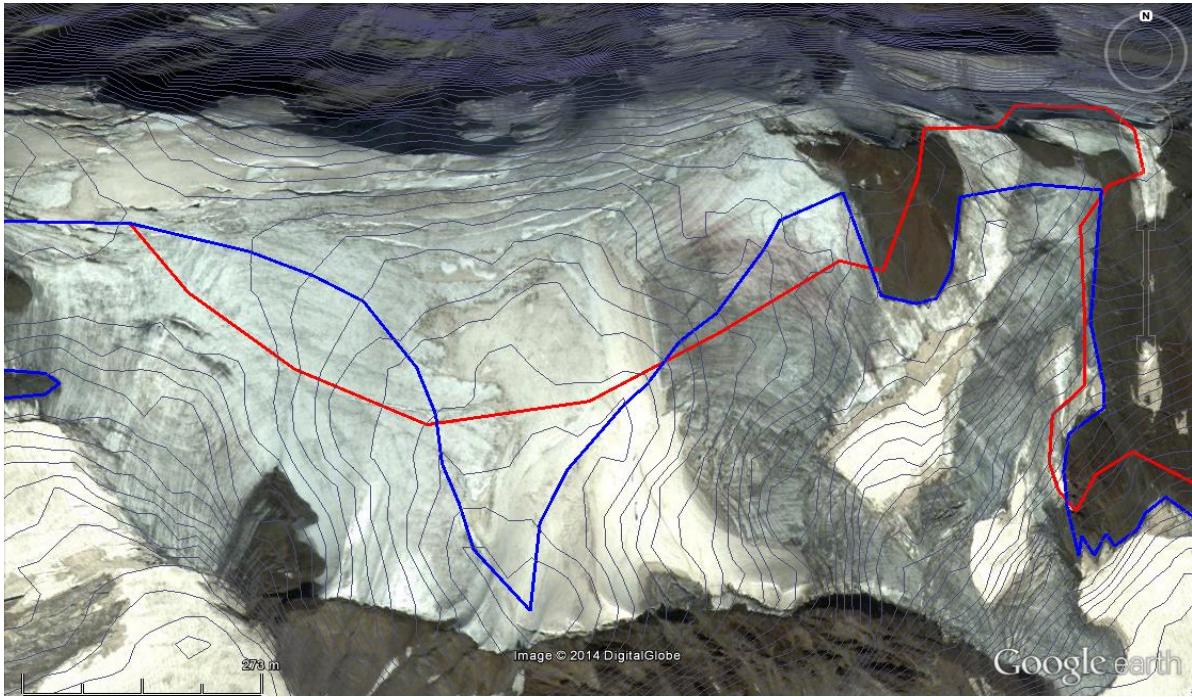
GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული სუათისის მყინვარების კონტურების დასაზუსტებლად გამოვიყენეთ პროგრამა Google Earth-ის მაღალი სივრცითი გარჩევითობის (0,5 – 0,8 მ) და მყინვარების მაქსიმალური აბლაციის პერიოდში (2010 წლის 1 სექტემბერი) გადაღებული თანამგზავრული მონაცემები, რაც მყინვარების კონტურების დიდი სიზუსტით 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 სიმაღლის იზოხაზების ხედვებით. 3D გამოსახულების გამოყენებით დადგინდა წყალგამყოფები, ხოლო ამ უკანასკნელების გამოყენებით დაზუსტდა მყინვარების კონტურები (სურ. 3.1).

თვალსაჩინოებისათვის 3.1 სურათზე 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 სიმაღლის იზოხაზები (10 მ ბიჯით).

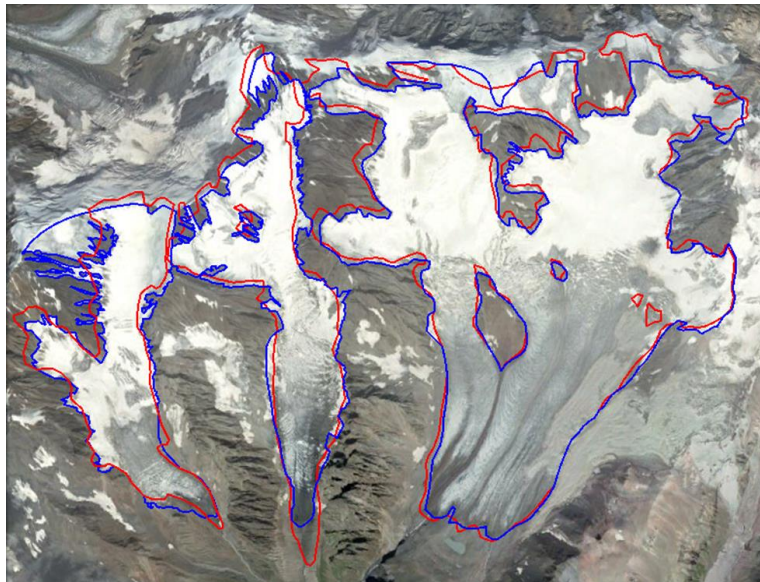
ქვემოთ მოყვანილ სურ. 3.2-ზე ნაჩვენებია სუათისის მყინვარების კონტურები. წითელი ფერით ნაჩვენებია კონტურები GLIMS-ის მონაცემებზე დაყრდნობით, ლურჯი ფერით – დაზუსტებული კონტურები, რომლებიც თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებითაა მიღებული.

სურ. 3.3-ზე მოყვანილია სუათისის მყინვარების 3D გამოსახულების სურათი მიღებული Google Earth-ის საშუალებით, სადაც GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები სურათზე ნაჩვენებია წითელი ფერით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – ლურჯი ფერით.

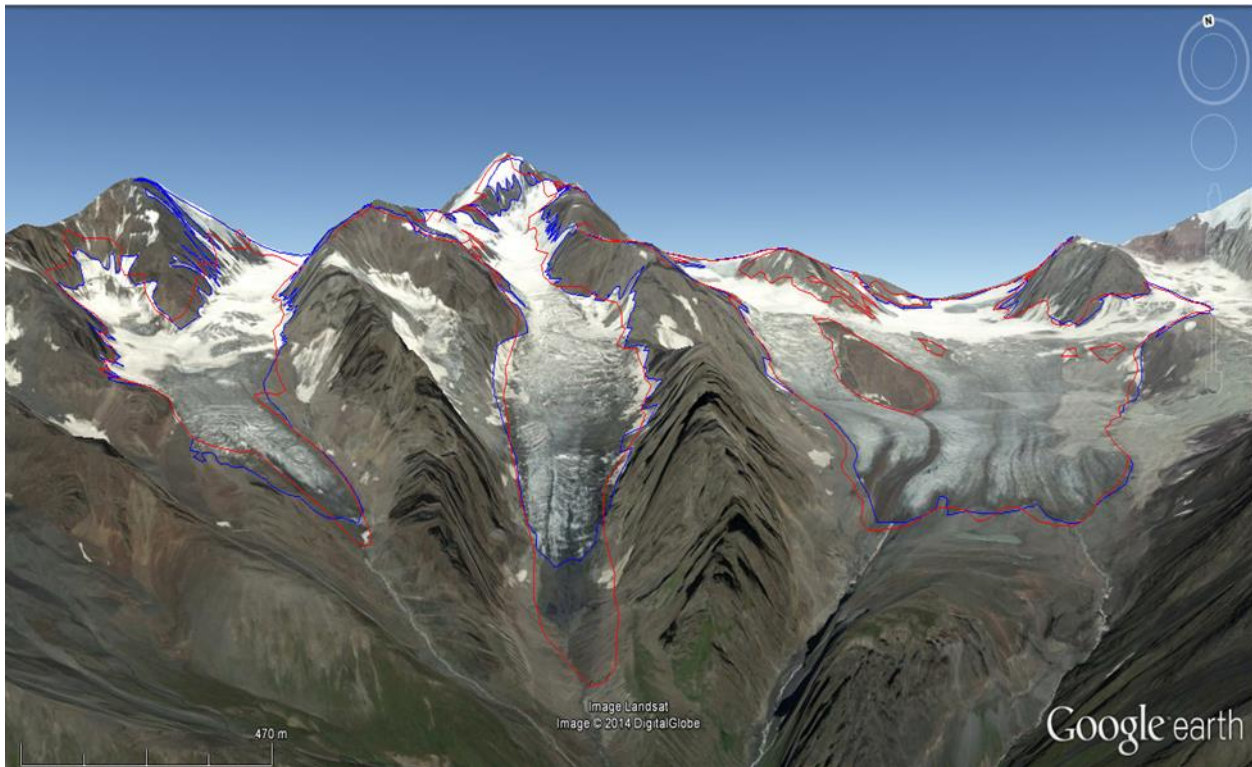


სურ. 3.1. აღმოსავლეთ სუათისის მყინვარის ჩრდილოეთ ნაწილის სიმაღლის იზოხაზები. წითელი ფერით მონაცემულია GLIMS-ის ბაზაში დაცული კონტურები, ხოლო ლურჯი ფერით – დაზუსტებული კონტურები

ამგვარად დავადგინეთ სუათისის მყინვარების კონტურები, რამაც საშუალება მოგვცა გამოგვეთვალა მყინვარების მახასიათებელი სიდიდეების დაზუსტებული მნიშვნელობები.



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



სურ. 3.3. სუათისის მყინვარების ვიზუალიზაცია. GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები სურათზე ნაჩვენებია წითელი ფერით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – ლურჯი ფერით

თაზი 4. ცალკეული მყინვარების მახასიათებლების (ფართობის, სიბრძის, ჰიპსომეტრიის, ფირნის ხაზის, მინიმალური, მაქსიმალური სიმაღლის) განსაზღვრა

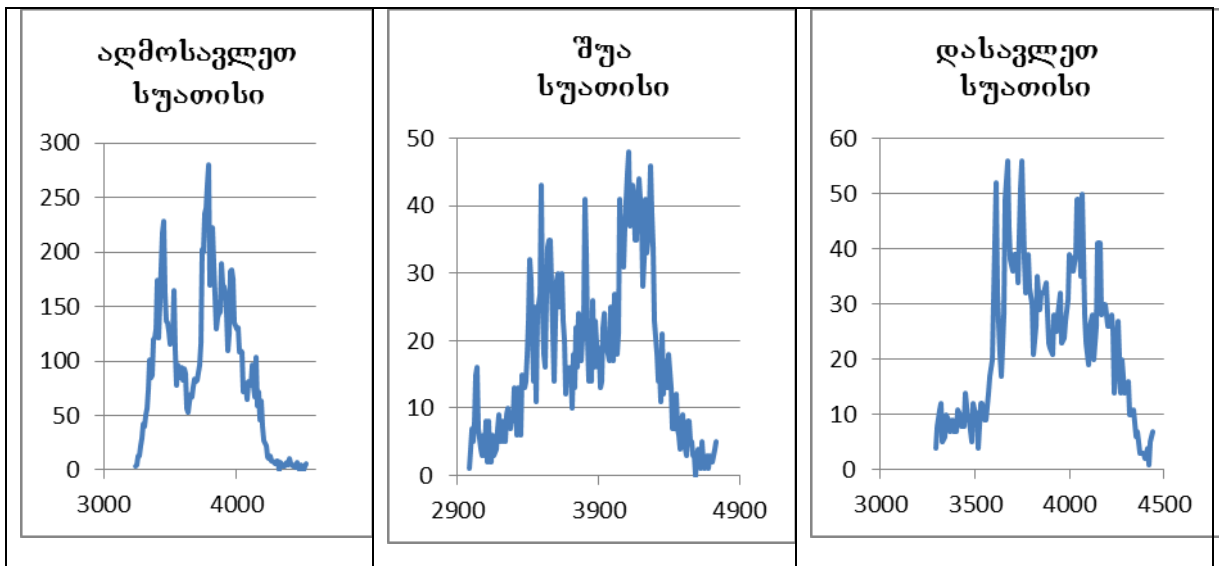
კავკასიონის მყინვარების კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ გასული საუკუნის ბოლო ათწლეულებიდან დაწყებული მყინვარები ძირითადად უკან იხევენ [32]. ეს პროცესი აშკარად გრძელდება და მოსალოდნელია, რომ მომავალ ათწლეულებშიც გაგრძელდება.

როგორც ზემოთ ავლინებთ, მყინვარების კვლევისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მყინვარის ენის ბოლოს ზუსტი განსაზღვრა, რადგან მყინვარების ძირითადი მახასიათებლების (კერძოდ, მყინვარის სიგრძის, მინიმალური სიმაღლის, უკანდახევის მანძილის და სხვა) დადგენა სწორედ ამ ათვის წერტილიდან ხდება.

აღსანიშნავია, რომ მყინვარის ფართობისა და ენის ბოლოს მდებარეობის ცვლილება ბუნებრივი ინდიკატორია კლიმატის ცვლილების დასახასიათებლად.

სუათისის მყინვარების მაგალითზე განვიხილოთ მყინვარების მახასიათებლების დადგენის შედეგები [1].

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. 4.1). აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია მყინვარების სიმაღლე ზღვის დონიდან 10 მ ბიჯით, ხოლო ორდინატთა ღერძზე მოცემულია ამა თუ იმ სიმაღლის შესაბამისი პიქსელების რაოდენობა.



სურ. 4.1. სუათისის მყინვარების ჰიპსომეტრიული მრუდები

ფირნის ხაზის სიმაღლის დასადგენად მყინვარების კატალოგის და ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემების კომპლექსური მეთოდოლოგიური მიდგომა არის გამოყენებული [7, 9].

გლაციოლოგიაში ფირნის ხაზის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდები არსებობს. პირდაპირი მეთოდით ფირნის ხაზის განსაზღვრა ხდება უშუალოდ

ველზე. ზაფხულის ბოლოს გლაციოლოგი აუყვება მყინვარის ზედაპირს. დასაწყისში შეხვდება შიშველი მყინვარი. ზემოთ, მყინვარის 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 განსაზღვრის არაპირდაპირი მეთოდები დამუშავებული აქვთ კუროვსკის, გეფერს, გესს, რეიდს და სხვა. კვლევისთვის მიზანშეწონილია ავირჩიოთ გეფერის მეთოდი, რადგან მყინვარების კატალოგში საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზი განსაზღვრულია ამ მეთოდით.

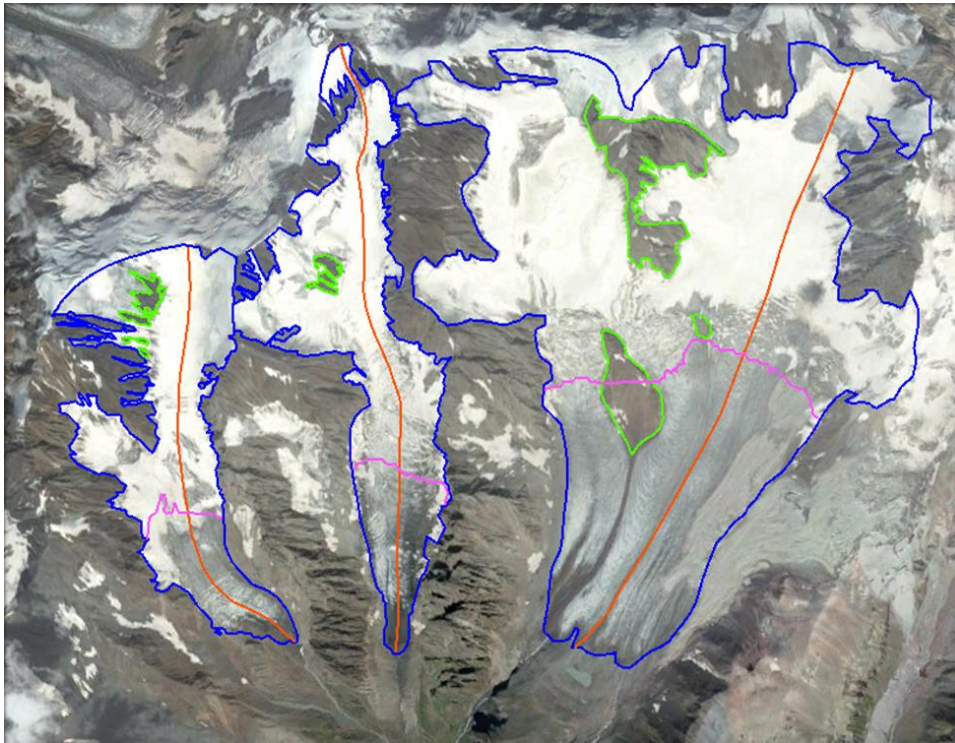
გეფერის მიხედვით, ფირნის ხაზის სიმაღლე არის საშუალო არითმეტიკული ფირნის აუზის შემომფარგველი რელიეფის საშუალო სიმაღლის და მყინვარის ენის ბოლოს სიმაღლეს შორის. მყინვარის აუზის გარშემო ვიღებთ ყველაზე მაღალი (ორი ან რამდენიმე მწვერვალის) საშუალო სიმაღლეს და ვუმატებთ მყინვარის ენის ბოლოს სიმაღლეს. ვითვლით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

ჰიპსომეტრიული მრუდის საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს მყინვარის აკუმულაციის არის ფართობი [33]. ჰიპსომეტრიულ მრუდზე პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მყინვარის უმაღლეს წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე, იძლევა მყინვარის აკუმულაციის არის ფართობს. შესაბამისად, პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მყინვარის ყველაზე დაბალ წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე იძლევა მყინვარის აბლაციის არის ფართობს. მყინვარის აკუმულაციის და აბლაციის არის ფართობები ჯამში შეადგენენ მყინვარის ფართობს.

ამგვარად გამოთვლილია ზემოთმოყვანილი მეთოდოლოგიის საფუძველზე და თანამგზავრული მონაცემების გამოყენებით სუათისის მყინვარების მახასიათებლები: მაქსიმალური სიგრძე და ფართობი; მინიმალური და მაქსიმალური წერტილების და ფირნის ხაზის სიმაღლე; აბლაციის არის ფართობი. ეს მონაცემები შედარდა მყინვარების კატალოგის [24] შესაბამის მონაცემებს.

სურათ 4.2-ზე წარმოდგენილია სუათისის მყინვარები, კერძოდ დასავლეთ, შუა და აღმოსავლეთ სუათისის მყინვარები. მყინვარების დასახასიათებლად გავლებულია: ა) მყინვარების დაზუსტებული კონტურები, რომლებიც შემოხაზულია ლურჯად; ბ) ფირნის ხაზები გამოთვლილი გეფერის მეთოდით და სურათზე ნაჩვენებია იისფრად; და გ) დამატებითი მრუდები მყინვარის სიგრძის გამოთვლისათვის, რომლებიც სურათზე მოცემულია ყავისფრად. ყავისფერი ხაზების გასწვრივ ხდებოდა მყინვარების სიგრძის ათვლა, ხოლო იისფერი ხაზები მიანიშნებს დასავლეთ, შუა და აღმოსავლეთ სუათისის მყინვარების ფირნის ხაზის მდებარეობას.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ 4.1-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 [24].



სურ. 4.2. სუათისის მყინვარები: ა) დაზუსტებული კონტურები (ლურჯი); ბ) ფირნის საზები (იისფერი) და გ) დამატებითი მრუდები მყინვარის სიგრძის გამოთვლისათვის (ყავისფერი)

ცხრილი 4.1. აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მყინვარების მახასითებლები. (1)-ით აღნიშნულ სვეტში მოცემულია შედეგები, რომლებიც მიღებულია დისტანციური ზონდირების საფუძველზე; (2)-ით აღნიშნულ სვეტში მოყვანილია მყინვარების კატალოგის მონაცემები

სახელწოდება	მაქს.სიგრძე (კმ)		ფართობი (კმ ²)		მინ.სიმაღ. (მ)		მაქს.სიმაღ. (მ)		ფირნ.საზ. სიმაღლე (მ)		აბლ. არის ფართობი (კმ ²)	
	(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

თავი 5. საქართველოს მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შესაფასებლად, დისტანციური ზონდირებით მიღებული რიცხვითი მახასიათებლების შედარება მყინვარების კატალოგის მონაცემებთან

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საშუალებით მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე შესაძლებელია გამოვითვალოთ ცალკეული მყინვარის მახასიათებლები: სიგრძე, ფართობი, მინიმალური და მაქსიმალური წერტილების და ფირნის ხაზის სიმაღლე. ეფექტურია ამ მონაცემების შედარება იგივე პარამეტრებთან მყინვარების კატალოგის ძირითადი ცხრილიდან.

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 ჩატარდეს თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების ვალიდაცია. ფაქტობრივად თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენება მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემებთან ერთად საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მყინვარების დაზუსტებული მახასიათებლები, რაც ესოდენ აუცილებელია კლიმატის რეგიონალურ ცვლილებაზე დაკვირვებისათვის.

როგორც აღვნიშნეთ მყინვარის ფართობისა და ენის ბოლოს მდებარეობის ცვლილება კლიმატური პირობების ზემოქმედებაზე მყინვარის რეაგირების ინდიკატორად არის მიჩნეული. ამდენად, საინტერესოა ცალკე განვიხილოთ საქართველოს მყინვარების ფართობების და ენის ბოლოს ცვლილება თანამგზავრული მონაცემების მიხედვით დაახლოებით 50 წლის განმავლობაში დისტანციური ზონდირებით მიღებული რიცხვითი მახასიათებლების შედარებით მყინვარების კატალოგის მონაცემებთან.

მყინვარები ფართობის ზომების მიხედვით სამ ჯგუფად იყოფა: მცირე (ფართობი – 0,1-დან 0,5კმ²-მდე), საშუალო (ფართობი – 0,5-დან 2,0 კმ²-მდე), დიდი ზომის (ფართობი – 2,0კმ² და მეტი)** [34]. დიდი ზომის მყინვარებიდან ცალკე უნდა აღვნიშნოთ ის მყინვარები, რომელთა ფართობი 10კმ²-ს აღემატება. ისინი საქართველოს უდიდეს მყინვარებს წარმოადგენენ.

არაიშვიათია შემთხვევა, როდესაც მყინვარები დანაწევრებისა და დნობის შედეგად გადადიან ერთიდან მეორე კატეგორიაში.

ჩვენს მიერ შედგენილია დასავლეთ საქართველოს მყინვარების მახასიათებლების 12 ცხრილი და აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების მახასიათებლების 6 ცხრილი, სადაც მყინვარების ფართობის (S) მნიშვნელობები და შესაბამისი საიდენტიფიკაციო ნომრები მყინვარების მსოფლიო კატალოგის, სსრკ კატალოგის სქემის და თდზ-ის მიხედვით თვალსაჩინოებისათვის შეფერილია ექვს სხვადასხვა ფერად, კერძოდ:

** [34]-ში მოცემულია საქართველოს მყინვარების დაყოფა სამ ჯგუფად და მათი საზღვრები. მცირე მყინვარების ქვედა საზღვარი ავტორების მიერ არის დამატებული გამომდინარე იქიდან, რომ კატალოგში აღრიცხული ყველა მყინვარის ფართობი 0.1 კმ²-ზე მეტია, ხოლო თოვლნარები არ განიხილება.

1. გამქრალი მყინვარი ($0 \leq S < 0,005$ კმ²-მდე) – წითელი ფერი;
2. თოვლნარი ($0,005$ კმ² $\leq S < 0,1$ კმ²-მდე) – ყვითელი ფერი;
3. მცირე მყინვარი ($0,1$ კმ² $\leq S \leq 0,5$ კმ²-მდე) – მწვანე ფერი;
4. საშუალო ზომის მყინვარი (ფართობი $0,5$ კმ² $< S \leq 2,0$ კმ²-მდე) – ნაცრისფერი;
5. დიდი ზომის მყინვარი ($2,0$ კმ² $< S \leq 10$ კმ²-მდე) – ცისფერი;
6. უდიდესი მყინვარი ($S < 10$ კმ²-ზე მეტი) – იასამნისფერი.

მაგალითისათვის მოგვყავს ცხრილი 5.1. მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადების აუზების №290–№295 მყინვარების მახასიათებლები თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით.

ცხადია, რომ გამქრალი მყინვარების და თოვლნარების შესახებ ინფორმაცია, მიღებულია თღზ-ის მონაცემებით. როგორც არაერთხელ აღვნიშნეთ, კატალოგში 0.1 კმ²-ზე ნაკლები ფართობის მყინვარების მახასიათებლები არ არის მოცემული.

იმ შემთხვევაში, როცა მყინვარი 0.005 კმ²-ზე ნაკლები ფართობის თოვლნარად დეგრადირდა, იგი გამქრალი მყინვარების კატეგორიას მიეკუთვნება.

მყინვარების ფართობების გამოთვლისას, თუ მყინვარს გააჩნია თოვლისგან და ყინულისგან თავისუფალი კლდოვანი უბნები (აღნიშნულია მწვანე ფერის ხაზით), მყინვარის კონტურის (აღნიშნულია ლურჯი ხაზით) შიგნით მოქცეულ ფართობს აკლდება კლდოვანი უბნების ფართობი.

მულტისპექტრული სენსორებით მყინვარების შესწავლისას ძალიან რთულია ნაშალით დაფარული უბნების გამოკვლევა, რაც საშუალებას მოგვცემს თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემებით განვსაზღვროთ არამარტო მთლიანი მყინვარის, არამედ მყინვარის ღია ნაწილიც და მყინვარის მახასიათებლები იმავე სახით წარმოვადგინოთ, როგორც სსრკ მყინვარების კატალოგში არიან წარმოდგენილი.

იმ შემთხვევაში, თუ კატალოგის მიხედვით მყინვარის მთლიანი და ღია არის ფართობების მნიშვნელობები ერთმანეთს არ ემთხვევა ეს ნიშნავს, რომ მყინვარის ზედაპირი ფერდობებიდან ჩამოშლილი ნაშალი მასალითა და მორენებით არის დაფარული. ამ შემთხვევაში თანამგზავრული მონაცემების მიხედვითაც მყინვარის მთლიანი და ღია არის ფართობების მნიშვნელობები, უმეტეს შემთხვევაში განსხვავდება. ხოლო თუ მყინვარის მთლიანი და ღია არის ფართობების მნიშვნელობები ერთნაირია, რამდენიმე გამონაკლისის გარდა, ასევე ერთნაირია თანამგზავრული მონაცემებით მიღებული მთლიანი და ღია არის ფართობების მნიშვნელობები. გამონაკლისია მაგალითად მყინვარი ჰადიში (№286), რომლის მთლიანი და ღია არის ფართობები კატალოგის მიხედვით ერთნაირია (9.9 კმ²), მაგრამ თანამგზავრული მონაცემებით მთლიანი არის ფართობია 9.3 კმ², ხოლო ღია არის 8.9 კმ²; ასევე ერთნაირია კატალოგის მიხედვით მყინვარ თბილისას (№396) მთლიანი და ღია არის ფართობები (3.1 კმ²), მაგრამ თანამგზავრული მონაცემებით მთლიანი არის ფართობია 3.6 კმ², ხოლო ღია არის 3.2 კმ².

ცხრილი 5.1. მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადების აუზების №290–№295 მყინვარების მახასიათებლები
 თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით

№	სსრკ და მსოფლიო კატალოგების მიხედვით მყინვარების სახელწ. და ლოკალ. №	მყინვარების მსოფლიო კატალოგში საინდენტ. №, ID	№ სსრკ კატალ. სქემის მიხედ.	№ თღზ-ის მიხედ.	მაქს. სიგრძე (კმ)				ფართობი (კმ ²)				მინ. სიმაღლე (მ)				მაქს. სიმაღლე (მ)		ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ)		აბლაციის არის ფართობი (კმ ²)					
					მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწ.		მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწ.		მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწ.						მთლიან. მყინვ.		ღია ნაწ.			
					(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
47	ხალდე, 255d	SU5T09105290	290	290a	7.5	8.4	5.0	7.1	10.4	11.0	7.0	10.3	2501	2450	2962	2650	4970	4100	3466	3440	4.7	3.8	1.4	3.1		
				290b	0.4		0.4		0.15		0.15		3290		3290		3483		3466	3440						
				290c					0.09																	
48	კარტა, 255e	SU5T09105291	291	291		1.7		1.7	0	0.7		0.7		3100		3100		3550		-	-	-	-			
49	255f	SU5T09105292	292	292		1.0		1.0	0.08	0.5		0.5		3210		3210		3500		-	-	-	-			
50	256a	SU5T09105293	293	293	1.6	0.8	1.3	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	3230	3220	3314	3220	4190	3720		-	-	-	-			
51	შხარა, 256b	SU5T09105294	294	294a	4.1	5.1	2.3	4.4	3.9	5.2	2.5	4.8	2521	2520	3116	2620	4564	4400	3411	3410	2.4	1.7	0.8	1.3		
				294b	0.8		0.8		0.3		0.3		4355		2898		5152		3411	3410						
				294c	0.7		0.7		0.1		0.1		4065		3005		4532		3411	3410						
				294d	0.7		0.7		0.1		0.1		3798		3798		4396		3411	3410						
				294e	0.5		0.5		0.1		0.1		4504		4504		5034		3411	3410						
				294f	0.6		0.6		0.1		0.1		3798		3798		5174		3411	3410						
52	ნამყვამი, 258	SU5T09105295	295	295a	2.9	3.4	2.3	2.8	2.8	3.9	1.7	3.5	2895	2630	3073	2830	4146	3780	3483	3350	1.5	1.2	0.6	0.8		
				295b	0.6		0.6		0.1		0.1		3660				4184									

თღზ-ის მონაცემების საშუალებით მყინვარების აგეგმვისას (მყინვარების კონტურების განსაზღვრა) ურთულეს პრობლემას ჰქმნის მყინვარებზე ნაშალი მასების არსებობა. პრაქტიკული გამოსავალი ასეთ შემთხვევებში (მყინვარების საზღვრების მაღალი სიზუსტით დადგენა) მდგომარეობს მიწისპირა დაკვირვებების და საკვლევი რეგიონისათვის საექსპერტო გამოცდილების გამოყენებაში. თუკი არც მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემები და არც საკვლევი რეგიონისათვის საექსპერტო გამოცდილება არ არსებობს, ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ უფრო მაღალი სივრცით გარჩევითობის სურათებს, აგრეთვე რელიეფის ციფრულ მოდელებს [31].

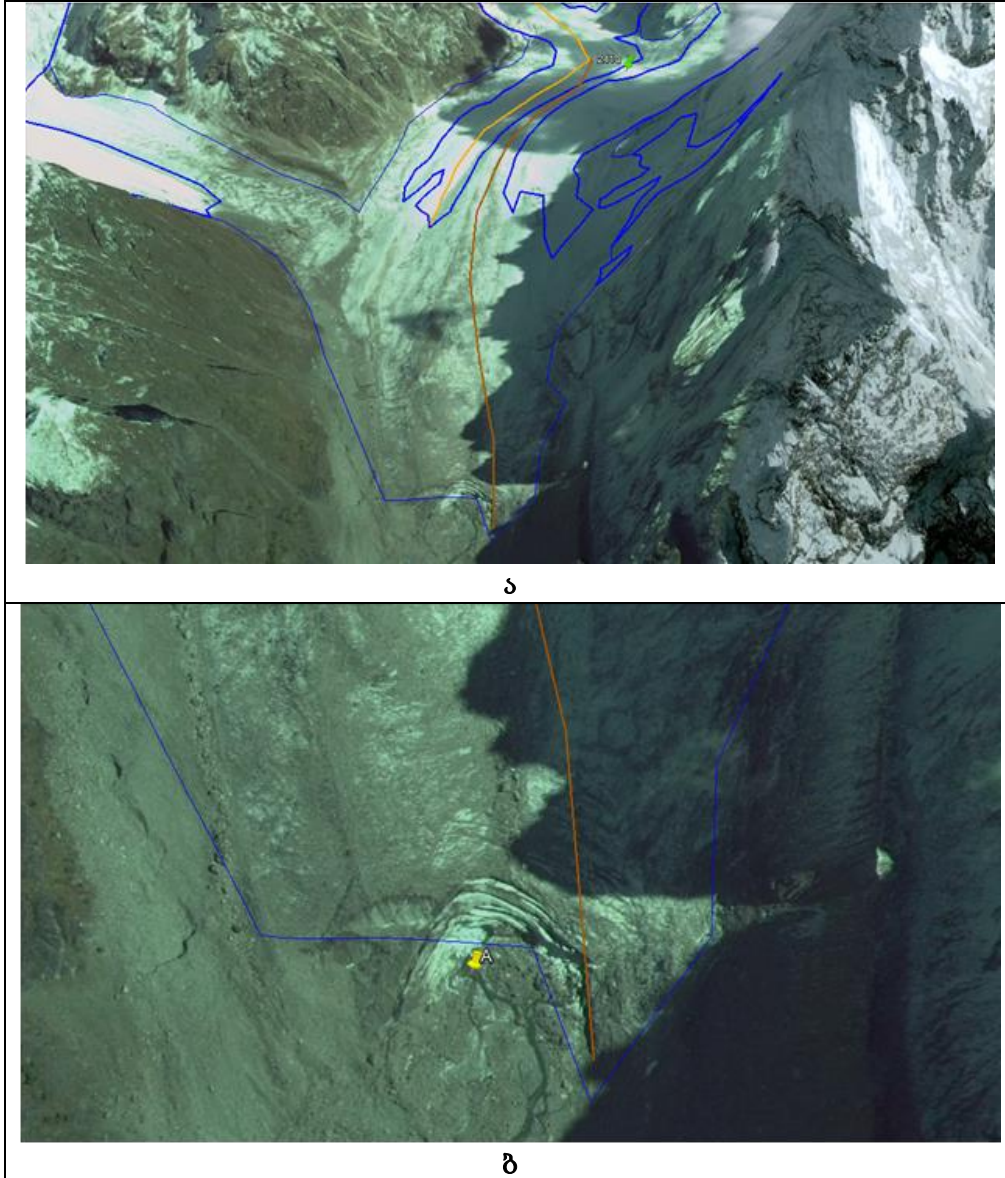
უნდა აღინიშნოს, რომ **თანამგზავრულ სურათზე გროტის მოძებნის შემთხვევაში, დარწმუნებით შეიძლება დადგინდეს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა.**

მაგალითად, №241 (უშბა) მყინვარის მთლიანი და ღია არის ფართობების მნიშვნელობები განსხვავდება, რაც ნიშნავს, რომ ეს მყინვარები ნაშალისაგან თავისუფალი არ არიან და მათი ენის ბოლოს ზუსტი დადგენა მოითხოვს უფრო მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრულ სურათის დამუშავებას. თუმცა, ისიც უნდა ითქვას, რომ Google Earth-ის საშუალებით ხელმისაწვდომი DigitalGlobis მაღალი სივრცითი გარჩევითობის თანამგზავრული მონაცემები, ხშირ შემთხვევაში ნაშალით დაფარული მყინვარების გარჩევის შესაძლებლობას იძლევა.

ამ მყინვარისათვის შესაძლებელი გახდა Google Earth-ის პროგრამის საშუალებით მაღალი სივრცითი გარჩევადობის 2014 წლის 4 ოქტომბრის თანამგზავრული სურათის მოძიება. 5.1 სურათზე კარგად ჩანს №241 (უშბა)-ს მყინვარის ა და ბ (სურათის მარცხენა მხარეს) ნაკადები, ღია ყავისფერი ხაზით გავლებულია ღია არის, ხოლო მუქი ყავისფერით მთლიანი არის სივრცის გასაზომად გავლებული დამატებითი ხაზი. თანამგზავრულ სურათზე კონტურები გავლებულია **Landsat 8 OLI-TIRS სენსორის 2016 წლის 9 სექტემბრის სურათის მიხედვით.** სურათის ქვედა ნაწილში ჩანს გროტიდან ჩამონადენი წყალი. 30 ბ სურათზე უფრო დიდი მასშტაბით წარმოდგენილია გროტი, რომელიც ქინძისთავით და A ასოთია აღნიშნული.

მნიშვნელოვანი სასაზღვრო დონე, რომელიც განსაზღვრავს მყინვარების არსებობას თოვლის ხაზია. **თოვლის ხაზი ანუ მუდმივი თოვლის საფრის ქვედა საზღვარი** ეს არის მიჯნა, რომლის ზემოთ დედამიწის ზედაპირზე მყარი ატმოსფერული ნალექების დაგროვება ჭარბობს მათ დნობასა და აორთქლებას ანუ მარტივად, რომ ვთქვათ, ეს არის საზღვარი, რომლის ზემოთ დევს თოვლი.

ჭეშმარიტი თოვლის ხაზი არის თოვლის ხაზის უმაღლესი მდებარეობა ზაფხულის ბოლოს (ანუ მყინვარების აბლაციის მიწურულს). მყინვარის ზედაპირზე მდებარე **ჭეშმარიტ თოვლის ხაზს, ფირნის ხაზს უწოდებენ.**



სურ. 5.1. №241 (უშბა)-ს მყინვარის 1914 წლის 4 ოქტომბრის Google Earth-ის საშუალებით მიღებული მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრული სურათი. ა – მყინვარის ნაკადები და გროტი (სურათის ქვედა ნაწილში); ბ – გროტი, რომელიც ქინძისთავით და A ასოთია აღნიშნული

როგორც აღინიშნა მყინვარების მონიტორინგი თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით უნდა წარმოებდეს დროის ისეთ შუალედში, როცა მინიმალურია თოვლის საფარი ანუ პერიოდისათვის აბლაციის მიწურულიდან ხელახალ გათოვებამდე. თანამედროვე კლიმატურ პირობებში საქართველოსათვის ეს დროითი ინტერვალია აგვისტოს ბოლოდან დაახლოებით ოქტომბრის დასაწყისამდე

მაშასადამე თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით მყინვარების აბლაციის მიწურულს მიღებული ფირნის ხაზი შეესაბამება ჭეშმარიტი თოვლის ხაზს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივი თოვლნარის ქვედა საზღვარი ოროგრაფიული თოვლის მიჯნა, ზოგან ჭეშმარიტ თოვლის მიჯნაზე ბევრად უფრო დაბლაა.

მყინვარზე ფირნის ხაზის მდებარეობა დამოკიდებულია მყარი ატმოსფერული ნალექების რაოდენობაზე. ზღვიური ნოტიო ჰავის უხვნალექიან რეგიონებში ფირნის ხაზი დაბლა მდებარეობს, ხოლო კონტინენტური ჰავის რეგიონებში მაღლა. ამიტომ საქართველოს მყინვარების თოვლის ხაზი დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მაღლდება, რაც დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ნალექების შემცირებასა და ჰავის კონტინენტურობის ზრდასთან არის დაკავშირებული.

ლიტერატურული წყაროების [34, 35] მონაცემებით (ცხრ. 5.1) ფირნის ხაზი ყველაზე დაბლა (3030 მ) მდინარე ბზიფის ხეობაში (დასავლეთ საქართველო) მდებარეობს, ხოლო ყველაზე მაღალ ნიშნულს (3500 მ) აღწევს მდინარე არაგვის აუზში (აღმოსავლეთ საქართველო). ცხრილში 5.2 მოყვანილია საქართველოში მდინარეთა აუზების მიხედვით ფირნის ხაზის სიმაღლე 1946-1950 წწ. პერიოდისათვის.

ცხრილში წარმოდგენილია მდინარეთა აუზების მიხედვით ფირნის ხაზის საშუალო სიმაღლეები. საქართველოს ტერიტორიაზე დასავლეთის მხრიდან პირველი მყინვარები მდინარე ბზიფის ხეობაშია და აქ ფირნის ხაზის ყველაზე დაბლა 3000 მ-ზე მდებარეობს [34].

ცხრილი 5.2. ფირნის ხაზის სიმაღლე საქართველოში მდინარეთა აუზების 1946-1950 წლების მდგომარეობით

№	მდინარის აუზი	ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ)
1	ბზიფი	3030
2	კოდორი	3070
3	ენგური	3320
4	რიონი	3380
5	ღიახვი	3480
6	არაგვი	3500
7	თერგი	3450
8	ასა	3460
9	არღუნი	3460
10	პირიქითი ალაზანი	3480

თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენებით შესწავლილია მყინვარების კატალოგის მიხედვით დასავლეთ საქართველოს 409 მყინვარი [25] და აღმოსავლეთ საქართველოს 130 მყინვარი [22–24]. თანამგზავრული ინფორმაციით მიღებული მყინვარების მახასიათებლები, შედარებულია მყინვარების კატალოგის შესაბამის მონაცემებთან.

თანამგზავრული მონაცემებით მიღებული დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლეების შედარება კატალოგის მონაცემების მნიშვნელობებთან შესაბამისად მოყვანილია ცხრილებში 5.2 და 5.3. ამ ცხრილებში მოცემულია გეგერის მეთოდით დათვლილი ფირნის ხაზების სიმაღლეების მნიშვნელობები. აქვე ავღნიშნავთ, რომ თანამგზავრული ინფორმაციით ფირნის ხაზის გამოსათვლელად გამოიყენება ფირნის ხაზის მნიშვნელობა კატალოგის მიხედვით, რომელიც ყველა მყინვარისთვის არ არის განსაზღვრული [7, 9]. ამიტომ ფირნის ხაზის სიმაღლის მნიშვნელობა თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენებით დათვლილია, მხოლოდ იმ მყინვარებისათვის, რომელთათვისაც არსებობს შესაბამისი კატალოგის მონაცემი.

დასავლეთ საქართველოში (ცხრ. 5.3):

- თღზ-ის მიხედვით ფირნის ხაზის მინიმალური სიმაღლეა 2168 მ (მყინვარი SU5T09104134 №132-ხაჯალი), ხოლო კატალოგის მონაცემებით 2700 მ (მყინვარები SU5T09102012-№12-ხიმსა და SU5T09104021-№21-მარუხი);
- ფირნის ხაზის მაქსიმალური სიმაღლეა 3824 მ (მყინვარი SU5T09105296-№296a-ლასილი). ხოლო კატალოგის მონაცემებით ფირნის ხაზის მაქსიმალური სიმაღლეა 3650 მ (მყინვარი SU5T09105296-№296-ლასილი).

აღმოსავლეთ საქართველოში (ცხრ. 5.4):

- თღზ-ის მიხედვით ფირნის ხაზის მინიმალური სიმაღლეა 3267 მ (მყინვარი SU5V09107008-№8-ჩერო). ხოლო კატალოგის მონაცემებით – 3200 მ (მყინვარი SU5V09107008-№8-ჩერო);
- ფირნის ხაზის მაქსიმალური სიმაღლეა 4011 მ (მყინვარი SU4G08011047-№47a), ხოლო კატალოგის მონაცემებით ფირნის ხაზის მაქსიმალური სიმაღლეა 3820 მ (მყინვარი SU4G08011058- №58).

ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ ბოლო 50 წლის განმავლობაში დასავლეთ საქართველოში ფირნის ხაზის მინიმალური სიმაღლე 2700 მ-დან 2774 მ-მდე, ხოლო ფირნის ხაზის მაქსიმალური სიმაღლე 3650 მ-დან 3824 მ-მდე გაზრდილი. აღმოსავლეთ საქართველოში ფირნის ხაზის მინიმალური სიმაღლე 3200 მ-დან 3267 მ-მდე, ხოლო ფირნის ხაზის მაქსიმალური სიმაღლე 3820 მ-დან 4011 მ-მდე გაზრდილი (ცხრ. 5.4), რაც ნიშნავს, რომ:

- აღმოსავლეთ საქართველოში ფირნის ხაზის, როგორც მინიმალური, ისე მაქსიმალური სიმაღლეები უფრო დიდი მნიშვნელობისაა, ვიდრე დასავლეთ საქართველოს მყინვარების;
- მათი ცვლილებაც ბოლო 50 წლის განმავლობაში მყინვარების ფირნის ხაზის მინიმალური მნიშვნელობა დასავლეთ საქართველოში უფრო ინტენსიურად გაიზარდა, ვიდრე აღმოსავლეთ საქართველოში, რადგან დასავლეთ საქართველოში მყინვარები უფრო დაბლა მდებარეობენ, ვიდრე აღმოსავლეთ საქართველოში და შესაბამისად მათი დნობის პროცესიც დასავლეთ საქართველოში უფრო აქტიურად მიმდინარეობს.
- ამავე დროს ფირნის ხაზის სიმაღლის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღმოსავლეთ საქართველოში გაცილებით ინტენსიურად გაიზარდა, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში, რაც კლიმატის თანამედროვე ცვლილებასთან არის კავშირში.

ცხრილი 5.3. თანამგზავრული მონაცემებით მიღებული დასავლეთ საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლეების შედარება კატალოგის მონაცემების მნიშვნელობებთან

№	სსრკ და მსოფლიო კატალოგის მიხედვით მყინვარების სახელწ. და ლოკალ. №	მყინვარების მსოფლიო კატალოგში საინდენტ. №, ID	№ სსრკ კატალ. სკემის მიხედ.	№ თღზ-ის მიხედ.	ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ) თღზ-ის მიხედვით	ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ) კატალოგის მიხედვით
1	ხიმსა, 13a	SU5T09102012	12	12	2774	2700
2	კელასური, 13c	SU5T09103014	14	14	2774	2800
3	მარუხი, 21	SU5T09104021	21	21a	2894	2700
4	სამხ. სოფრუჯუ, 25	SU5T09104037	37	37	3035	3250
5	ხუტია, 67	SU5T09104067	67	67	2943	2900
6	გენცვიში, 69	SU5T09104069	69	69	3107	3030
7	აჩაპარა, 73a	SU5T09104075	75	75	3014	3000
8	კლიჩი, 77	SU5T09104080	80	80	3070	2850
9	ნახარი, 88a	SU5T09104091	91	91	2971	2930
10	გვანდრა, 100	SU5T09104102	102	102a	3036	2960
11	საკენი, 120a	SU5T09104118	118	118	2967	2900
12	ჩეპარა, 125	SU5T09104125	125	125a	3042	3000
13	ხაჯალი, 132	SU5T09104134	134	134	2988	2900
14	ხარხარა, 143a	SU5T09105137	137	137	3097	3020
15	ხარხარა, 143b	SU5T09105138	138	138	3132	3020
16	ცხვანდირი, 149b	SU5T09105153	153	153a	3168	3010
17	151b	SU5T09105159	159	159	3034	3010
18	151c	SU5T09105160	160	160a	3058	3010
				160b	3058	3010
19	152	SU5T09105161	161	161a	3003	3010
20	154a	SU5T09105164	164	164	3388	3160
21	154b	SU5T09105165	165	165	3357	3160
22	შთავლერი, 177	SU5T09105187	187	187	3107	3080
23	193b	SU5T09105200	200	200a	3240	3050
				200b	3240	3050
24	ჩრდ. ლეადაშტი, 206	SU5T09105211	211	211	3099	3080
25	სამხ. ლეადაშტი, 207	SU5T09105212	212	212a	3227	3120
26	ბაკი, 223b	SU5T09105222	222	222a	3191	3050
				222b	3191	3050
27	ლაღვალი, 222c	SU5T09105225	225	225a	3301	3150
28	ცალგმილი, 221	SU5T09105226	226	226a	3159	3120
				226b	3159	3120
29	ლაკრა, 220	SU5T09105227	227	227a	3307	3100
30	ქვიში, 215	SU5T09105229	229	229a	3441	3240
31	დოღრა, 219a	SU5T09105234	234	234a	3516	3310
				234b	3516	3310
32	უშბა, 229	SU5T09105241	241	241a	3339	3290
33	ჭალათი, 231b	SU5T09105245	245	245	3016	2980
34	234a	SU5T09105246	246	246	3196	3060
35	ლეხზირი, 234b	SU5T09105247	247	247a	3186	3090
				247b	3186	3090
36	მურყვამი, 237a	SU5T09105253	253	253a	3375	3230
				253b	3466	3230

37	237b	SU5T09105254	254	254	3236	3230
38	ტვიბერი, 241a (ტვიბერი-ასმაში)	SU5T09105260	260	260a	3247	3150
	სერი			260b	3247	3150
	ირითი			260c	3247	3150
	ძინალი			260d	3247	3150
	ლიტადი (ლიხათი)			260e	3247	3150
	თოთი			260f	3247	3150
39	ყვითლოდი, 24li	SU5T09105268	268	268a	3235	3160
40	წანერი, 245c	SU5T09105275	275	275a	3175	3190
				275b	3175	3190
				275c	3175	3190
41	ნაგება, 251a	SU5T09105279	279	279a	3369	3160
42	პადიში, 252c	SU5T09105286	286	286	3475	3430
43	ხალდე, 255d	SU5T09105290	290	290a	3466	3440
				290b	3466	3440
44	შხარა, 256b	SU5T09105294	294	294a	3411	3410
				294b	3411	3410
				294c	3411	3410
				294d	3411	3410
				294e	3411	3410
				294f	3411	3410
45	ნამკვამი, 258	SU5T09105295	295	295a	3483	3350
46	ღასილი, 259	SU5T09105296	296	296a	3824	3650
47	ღაილა, 275a	SU5T09105314	314	314a	3100	3050
48	ღაილა, 275c	SU5T09105321	321	321a	3230	3050
				321b	3230	3050
				321c	3230	3050
49	ქორულდაში	SU5T09106344	344	344a	3324	3330
50	ქენა,329	SU5T09106362	362	362a	3364	3180
51	ზოფხიტო,332b	SU5T09106366	366	366a	3147	3140
52	კირტიშო,350	SU5T09106382	382	382	3233	3150
53	ბოყო,359	SU5T09106394	394	394	3463	3380
54	თბილისა,362	SU5T09106396	396	396	3525	3400

ცხრილი 5.4. თანამგზავრული მონაცემებით მიღებული აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლეების შედარება კატალოგის მონაცემების მნიშვნელობებთან

№	სსრკ და მსოფლიო კატალოგის მიხედვით მყინვარების სახელწ. და ლოკალ. №	მყინვარების მსოფლიო კატალოგში საინდენტ. №, ID	№ სსრკ კატალ. სქემის მიხედ.	№ თღზ-ის მიხედ.	ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ) თღზ-ის მიხედვით	ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ) კატალოგის მიხედვით
1	92ა	SU4G09301006	6	6	3720	3540
2	ჩერო 92	SU4G09301008	8	8	3603	3560
3	აღმ.დიკლო,93	SU4G09301011	11	11	3706	3590
4	დას. დიკლო, 94	SU4G09301012	12	12	3425	3410
5	ჩიგოს მყინ.№4,97	SU4G09301014	14	14	3683	3610
6	ჩიგოს მყინ.№1,100	SU4G09301015	15	15	3689	3650
7	ცენტ. დიდხევი,101ც	SU4G09301018	18	18	3691	3640
8	დას. დიდხევი, 101	SU4G09301019	19	19	3659	3610
9	169	SU4G08012002	2	2	3654	3530
10	168	SU4G08012003	3	3	3728	3650
11	დაკეხის მყინვარი,106	SU4G09301021	21	21a	3837	3730
				21b	3972	3730
12	დასავლეთ თებულო,106ა	SU4G09301022	22	22	3798	3700
13	აცუნტა,107	SU4G09301023	23	23	3705	3650
14	6	SU5V09107006	6	6	3418	3350
15	391	SU5V09107008	8	8	3267	3200
16	396	SU5V09107022	22	22	3313	3300
17	აბუღელაური, 399	SU5V09107026	26	26	3335	3310
18	ჭაჭი, 242	SU4G08011046	46	46	3665	3660
19	242ბ	SU4G08011047	47	47a	4011	3720
				47b	3821	3720
20	ღვეღორაკი,241	SU4G08011048	48	48	3326	3260
21	აბანო, 240	SU4G08011049	49	49	3735	3700
22	გურგაბი	SU4G08011052	52	52	3771	3650

23	35	SU4G08011056	56	56	3889	3680
24	ღენკერა, 234	SU4G08011057	57	57	3848	3770
25	234ა	SU4G08011058	58	58	3818	3820
26	233ა	SU4G08011059	59	59	3765	3760
27	მნა, 233	SU4G08011060	60	60	3568	3480
28	232	SU4G08011061	61	61	3681	3700
29	ადმ. სუათისი 231	SU4G08011062	62	62	3615	3500
30	შუა სუათისი,230	SU4G08011063	63	63	3583	3520
	დას. სუათისი,229	SU4G08011064	64	64	3707	3600
31	223	SU4G0811071	71	71	3552	3480
32	222	SU4G0811072	72	72	2592	3490
33	217ა	SU4G0811075	75	75	3541	3500
34	216	SU4G0811078	78	78	3569	3510
35	სივერაუტი, 215	SU4G0811079	79	79	3606	3560
36	213	SU4G0811081	81	81	3441	3390
37	212	SU4G0811083	83	83	3453	3310
38	212ბ	SU4G0811084	84	84	3328	3280
39	211ა	SU4G0811085	85	85a	3440	3400
				85b	3409	3400
40	211	SU4G0811086	86	86a	3384	3240
				86b	3326	3240
41	207	SU4G0811088	88	88	3473	3440
42	193	SU4G08011096	96	96	3588	3580
43	197	SU4G08011097	97	97	3610	3600
44	კიბიშა,185	SU4G0811106	106	106a	3400	3350
45	184	SU4G0811109	109	109	3688	3590

ლიტერატურული წყაროების [36] მიხედვით დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ აგრეთვე მალღება მყინვარების მდებარეობა ზღვის დონიდან (ანუ ე.წ. მყინვარების მინიმალური სიმაღლე, ან სხვანაირად, მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა, ჩვ. შენიშვ.). მდ. ბზიფის ხეობაში მყინვარები 2600 მ სიმაღლეზე, მდებარეობენ. ენგურისა და რიონის ხეობებში მყინვარები კი ზღვის

დონიდან 2970-2990 მ-ზე მდებარეობენ, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში მყინვარები 3000-3200 მ-ზეა განლაგებული.

თანამგზავრული მონაცემებით მიღებული დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების მინიმალური სიმაღლეები აგრეთვე იზრდებიან დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ.

დასავლეთ საქართველოს მყინვარებიდან ყველაზე დაბლა განლაგებულია მდინარე კოდორის აუზში მდებარე მდინარე კლიხის აუზის №77 მყინვარი, რომელიც მდებარეობს ზღვის დონიდან 1792 მ-ზე. კატალოგის მონაცემების მიხედვითაც ეს მყინვარი მდებარეობს ყველაზე დაბლა, 1740 მ-ზე. ყველაზე დიდი მინიმალური სიმაღლე (4504 მ) გააჩნია მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადების აუზში მდებარე მყინვარ შხარას დანაწევრების შედეგად წარმოქმნილი მცირე მყინვარ №294e-ს. კატალოგის მონაცემების მიხედვით ყველაზე მაღლა 3600 მ (მინიმალური სიმაღლის მაქსიმალური მნიშვნელობა) სიმაღლეზე მდებარეობს მდინარეების მულხრასა და ენგურის აუზში, მდინარე მესტიჭალას აუზის №251 მყინვარი.

აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარებიდან ყველაზე დაბლა განლაგებულია მყინვარწვერის მასივში მდებარე დევდორაკის №48 მყინვარი, რომელიც მდებარეობს ზღვის დონიდან 2392 მ-ზე. კატალოგის მონაცემების მიხედვითაც ეს მყინვარი ყველაზე დაბლა, 2260 მ სიმაღლეზე მდებარეობს. ყველაზე მაღლა 4031 მ-ის სიმაღლეზე მდებარეობს მყინვარწვერის მასივში განლაგებული №47a მცირე მყინვარი. კატალოგის მონაცემების მიხედვით ყველაზე მაღლა 3760 მ სიმაღლეზე მდებარეობდა მყინვარწვერის მასივის №45 მცირე მყინვარი, რომელიც ამჟამად გამქრალია.

ამგვარად, ბოლო 50 წლის განმავლობაში დასავლეთ საქართველოში მყინვარების მდებარეობა ზღვის დონიდან ანუ მყინვარების მინიმალური სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობა 1740 მ-დან 1792 მ-მდე, ხოლო მინიმალური სიმაღლის მაქსიმალური მნიშვნელობა 3600 მ-დან 4504 მ-მდე გაიზარდა. აღმოსავლეთ საქართველოში მინიმალური სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობა 2260 მ-დან 2392 მ-მდე, ხოლო მინიმალური სიმაღლის მაქსიმალური მნიშვნელობა 3760 მ-დან 4031 მ-მდე გაიზარდა (ცხრ.5.6), რაც ნიშნავს:

- აღმოსავლეთ საქართველოში მინიმალური სიმაღლის როგორც მინიმალური, ისე მაქსიმალური მნიშვნელობები უფრო დიდია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოს მყინვარების.
- რაც შეეხება მნიშვნელობების ცვლილების ინტენსივობას, ბოლო 50 წლის განმავლობაში მყინვარების მინიმალური სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობები აღმოსავლეთ საქართველოში უფრო ინტენსიურად გაიზარდა, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში.
- ამავე დროს მინიმალური მნიშვნელობების მაქსიმალური მნიშვნელობები დასავლეთ საქართველოში გაცილებით ინტენსიურად გაიზარდა, ვიდრე აღმოსავლეთ საქართველოში, რაც დათბობის შედეგად მყინვარების

დანაწევრების პროცესებს უკავშირდება. დასავლეთ საქართველოში მყინვარები უფრო დაბლა მდებარეობენ, ვიდრე აღმოსავლეთ საქართველოში და შესაბამისად მათი დანაწევრების პროცესიც დასავლეთ საქართველოში უფრო აქტიურად მიმდინარეობს.

ცხრილებში 5.5 და 5.6 მოგვყავს საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის და ზღვის დონიდან მდებარეობის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები.

ცხრილი 5.5. საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები

საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები						
	დასავლეთ საქართველო			აღმოსავლეთ საქართველო		
	კატალოგიით (მ)	თღზ-ით (მ)	Δ (მ)	კატალოგიით (მ)	თღზ-ით (მ)	Δ (მ)
მინიმალური	2700	2774	74	3200	3267	67
მაქსიმალური	3650	3824	174	3820	4011	191

ცხრილი 5.6. საქართველოს მყინვარების მდებარეობა ზღვის დონიდან (მინიმალური სიმაღლის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები)

საქართველოს მყინვარების მდებარეობა ზღვის დონიდან (მინიმალური სიმაღლის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები)						
	დასავლეთ საქართველო			აღმოსავლეთ საქართველო		
	კატალოგიით (მ)	თღზ-ით (მ)	Δ (მ)	კატალოგიით (მ)	თღზ-ით (მ)	Δ (მ)
მინიმალური	1740	1792	52	2260	2392	132
მაქსიმალური	3600	4504	904	3760	4031	271

კლიმატის გლობალური დათბობა, ზოგადად ნეგატიურ ზემოქმედებას ახდენს მყინვარებზე. განსაკუთრებით ნათლად ეს ვითარება ვლინდება მცირე მყინვარების შემთხვევაში [3–6, 8, 11, 13].

ცალკე საკითხია, თუ როგორ უნდა ჩატარდეს მცირე მყინვარების ზომისა და სხვა პარამეტრების ცვლილების განსაზღვრა დროში. 1960 – 1970-იან წლებში საბჭოთა კავშირში საკმაოდ დიდი სამუშაო ჩატარდა, მყინვარების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის შესაგროვებლად, რის საფუძველზეც შეიქმნა მყინვარების კატალოგი. მყინვარების კატალოგში საქართველოს მყინვარები ცალკე არ არის გამოყოფილი. ისინი ყოფილი საბჭოთა კავშირის კავკასიის მყინვარულ სისტემაშია მოქცეული. საქართველოს მყინვარები განხილულია 1975 [22, 25] და

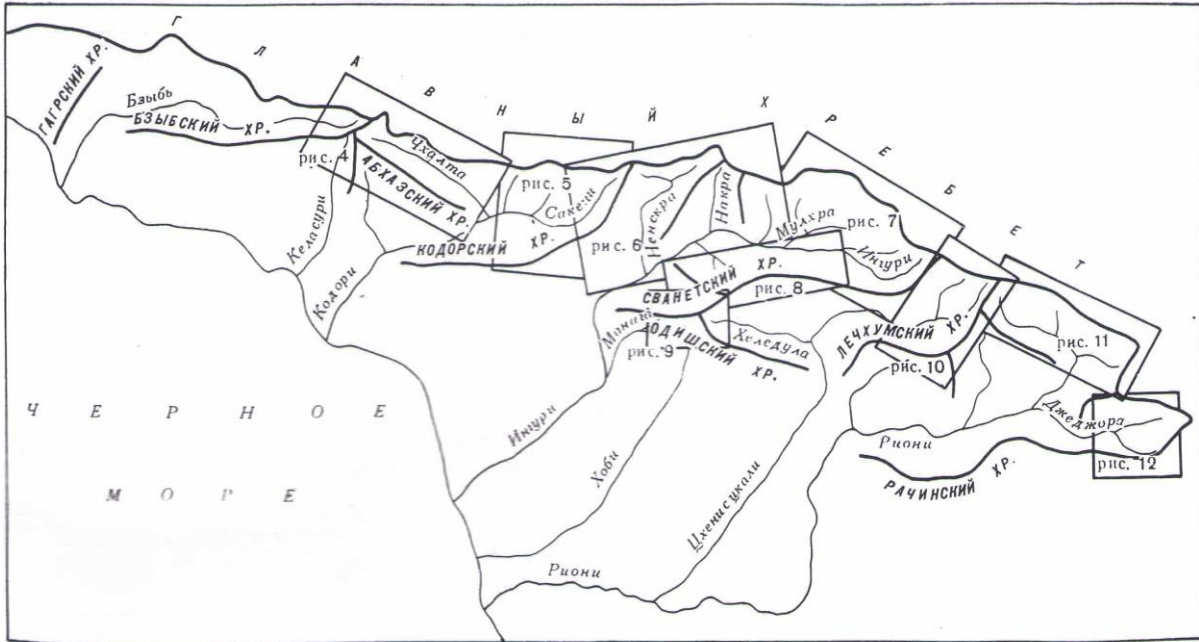
1977 [23, 24] წლებში გამოცემულ კატალოგებში. ფაქტობრივად საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგი 50 წლის წინათაა შექმნილი, ხოლო დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით მცირე მყინვარების კვლევა მხოლოდ ამ და წინათწლებლების მონაცემებითაა შესაძლებელი. დროში ეს სხვაობა წინაპირობას ქმნის მყინვარების დინამიკის შესასწავლად. ცხადია მიღებული შედეგები ასახავს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ზეგავლენას მყინვარების მდგომარეობაზე.

დღესდღეობით მცირე მყინვარების მდგომარეობის მიწისპირა დაკვირვებებით გარკვეული რეგულარობით გაშუქება ფაქტობრივად შეუძლებელია. ამ მყინვარების შესწავლა დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით ეფექტური ალტერნატივაა მათი კვლევებისათვის და სხვადასხვა სამეცნიერო-პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრისათვის.

სამუშაოების შესასრულებლად გამოყენებულია მეთოდოლოგია, რომელიც ავტორების მიერ არის შემუშავებული [2–6]. მცირე მყინვარების კვლევისას წამოიჭრება ხოლმე სხვადასხვა ტიპის სირთულე, რომელთაგან ერთ-ერთი ძირითადია თანამგზავრულ სურათზე ასახული მცირე მყინვარების იდენტიფიცირება მათი მცირე ზომების გამო. ამ პრობლემის გადასაჭრელად გამოყენებულია მყინვარების კატალოგში მოყვანილი სქემები, სადაც ნაჩვენებია მყინვარების და შესაბამის მდინარეთა აუზების მდებარეობა.

მცირე მყინვარების ცვლილების შეფასება შესაძლებელია თანამგზავრული ინფორმაციით მიღებული მახასიათებლების შედარებით მყინვარების კატალოგის მონაცემებთან. დასავლეთ საქართველოს მყინვარები კატალოგის 9 სქემაზე (კატალოგის სურ. 4–12-ზე) არიან წარმოდგენილი [25], ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარები – კატალოგის 6 სქემაზე [22–24].

სურათზე 5.2 წარმოდგენილია დასავლეთ საქართველოს მყინვარული აუზების განლაგების საერთო სქემა, რომლის საზღვრებშიც განლაგებული არიან კატალოგში წარმოდგენილი 4–12 სურათებზე ნაჩვენები მყინვარები. სულ 409 მყინვარი.



სურ. 5.2. დასავლეთ საქართველოს მყინვარული აუზების განლაგების საერთო სქემა, რომლის საზღვრებშიც განლაგებული არიან კატალოგის 4–12 სურათებზე ნაჩვენები მყინვარები. სურ.4 – მყინვარები №1–61, სურ.5 – მყინვარები №62–136, სურ.6 – მყინვარები №137–243, სურ.7 – მყინვარები №244–295, სურ.8 – მყინვარები №296–325 და №335–342, სურ.9 – მყინვარები №326–334, სურ.10 – მყინვარები №343–360, სურ.11 – მყინვარები №361–400, სურ.12 – მყინვარები №401–409.

მყინვარების კატალოგში საერთო სქემის სურათის წარწერის ქვეშ მითითებაა: სურ.4 – მყინვარები №1–61, სურ.5 – მყინვარები №62–136, სურ.6 – მყინვარები №137–247, სურ.7 – მყინვარები №248–310, სურ.8 – მყინვარები №311–341 და №351–358, სურ.9 – მყინვარები №342–350, სურ.10 – მყინვარები №359–376, სურ.11 – მყინვარები №377–418, სურ.12 – მყინვარები №419–427. ე.ი სულ სქემებზე წარმოდგენილია 427 მყინვარი. ეს არ შეესაბამება კატალოგის შესაბამის სქემებზე მოცემულ ნომრებს, სადაც საბოლოო ჯამში მყინვარების რაოდენობა არის 409. სურ. 2.1-ზე წარწერის ქვეშ მითითება დაზუსტებულია ჩვენს მიერ.

დასავლეთ საქართველოს მყინვარების იდენტიფიცირებისათვის ძირითადად გამოყენებულია მყინვარების კატალოგში მოყვანილი სქემები, სადაც ნაჩვენებია მყინვარების და შესაბამის მდინარეთა აუზების მდებარეობა. დასავლეთ საქართველოს მყინვარები იდენტიფიცირებულია კატალოგის 9 სქემების მიხედვით, სადაც მე-7 სქემა აუზების მიხედვით სამად დავყავით, ხოლო მე-8 სქემა ორად და საბოლოოდ მივიღეთ 12 სქემა და შესაბამისად 12 ცხრილში თანმიმდევრულად წარმოვადგინეთ დასავლეთ საქართველოს მყინვარების მახასიათებლები. ეს ცხრილებია:

- ცხრილი 1. მდინარეების ბზიფის, კელასურის და კოდორი-ამტკელის შენაკადების და ჩხალთის აუზების მყინვარები №1-61, სულ 61 (კატალოგის სურ. 4);
- ცხრილი 2. მდინარე კოდორის ზემო წელის მყინვარები №62-136, სულ 75 (კატალოგის სურ. 5);
- ცხრილი 3. მდინარეების ნენსკრას, ნაკრას და დოღრას (მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადი) აუზების მყინვარები №137-243, სულ 107 (კატალოგის სურ. 6);
- ცხრილი 4. მდინარეების მულხრასა და ენგურის აუზში მდებარე მდინარე მესტიჭალას აუზის მყინვარები №244-259, სულ 16 (კატალოგის სურ. 7);
- ცხრილი 5. მდინარე ენგურის აუზში მესტიჭალას შესართავის ზევით მდებარე მდინარე მულხრას აუზის მყინვარები №260-282, სულ 23 (კატალოგის სურ. 7);
- ცხრილი 6. მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადების აუზების მყინვარები №283-295, სულ 13 (კატალოგის სურ. 7);
- ცხრილი 7. სვანეთის ქედის ჩრდილოეთ ფერდობის მყინვარები №296-325, სულ 30 (კატალოგის სურ. 8);
- ცხრილი 8. აღიშის ქედის ჩრდილოეთ კალთის მყინვარები №326-334, სულ 9 (კატალოგის სურ. 9);
- ცხრილი 9. სვანეთის ქედის სამხრეთ ფერდობის მყინვარები №335-342, სულ 8 (კატალოგის სურ. 8);
- ცხრილი 10. მდინარეების ყორულდაშის, ცხენისწყლის, მდინარე რიონის მარჯვენა შენაკადების აუზები მყინვარები №343-360, სულ 18 (კატალოგის სურ. 10);
- ცხრილი 11. მდინარე რიონის ზემო წელის აუზის მყინვარები №361-400, სულ 40 (კატალოგის სურ. 11);
- ცხრილი 12. მდინარე ჯეჯორას (მდინარე რიონის მარცხენა შენაკადი) აუზის მყინვარები №401-409 სულ 9 (კატალოგის სურ. 12).

აღმოსავლეთ საქართველოს საიდენტიფიკაციო მყინვარები მყინვარების კატალოგის ექვს სქემაზეა დატანილი [22-24] და შესაბამისად შედგენილია მყინვარების მახასიათებლების 6 ცხრილი (სულ 130 მყინვარი):

- ცხრილი 1. გაკოსა და პირიქითა ალაზნის მდინარეთა აუზების მყინვარები №6-№19, სულ 14;
- ცხრილი 2. მდ. ასას (საქართველოში მდ. არხოტისწყლის) აუზის მყინვარები №1-№3, სულ 3;
- ცხრილი 3. პირიქითა ალაზნის აუზის, პირიქითი ქედის სამხრეთი კალთის და აცუნტას ქედის აღმოსავლეთ კალთის მყინვარები №20-№33, სულ 14;

ცხრილი 4. მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადების აუზების მყინვარები №1–№27, სულ 27;

ცხრილი 5. მდინარეების ფიაგდონის, გიზელდონის და მდინარე თერგის ზემო წელის აუზების მყინვარები (№44–№109), სულ 66;

ცხრილი 6. მდინარე არღუნის აუზის მყინვარების მახასიათებლები (№10–№15), სულ 6.

აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების განხილვისას კატალოგის მონაცემებმა საშუალება მოგვცა შეგვედარებინა ისინი თღზ-ით მიღებულ შესაბამის მონაცემებს, რადგან მდინარეთა აუზების მიხედვით აღრიცხულ მყინვარების საექვო მონაცემები თითქმის არ შეგვხვდა ან მათი გამოსწორება შესაძლებელი გახდა სწორი იდენტიფიკაციის და საექსპერტო ცოდნის გამოყენებით.

აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარებისაგან განსხვავებით, დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების შესწავლისას გამოვრიცხეთ ის მყინვარები, რომელთა მონაცემები კატალოგის მიხედვით საექვოა და სანდო მონაცემებისათვის დავთვალეთ მცირე მყინვარების რაოდენობა დაახლოებით 50 წლის შემდეგ თღზ-ის მიხედვით. ცხრილში 5.7 წარმოდგენილია დასავლეთ საქართველოს მყინვარების კატალოგის 12 სქემის მიხედვით მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის ფართობის სანდო მონაცემების და თღზ-ის მიხედვით.

ცხრილი 5.7. დასავლეთ საქართველოს მყინვარების კატალოგის 12 სქემის მიხედვით შედგენილ ცხრილებში მოყვანილი მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის ფართობის სანდო მონაცემების და თღზ-ის მიხედვით

სქემა №	მცირე მყინვარები კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით იდენტიფიცირებული მცირე მყინვარები			
		მცირე მყინვარი	თოვლნარი	გამჭრალი მყინვარი	სულ
1	25	8	32	0	40
2	42	16	52	1	69
3	46	11	82	2	95
4	10	4	9	1	14
5	11	5	13	0	18
6	4	2	3	0	5
7	13	4	24	1	29
8	6	2	13	2	17
9	5	1	3	2	6
10	11	4	9	1	14
11	12	8	7	0	15
12	2	0	1	1	2
სულ	187	65	248	11	324

ამრიგად, დასავლეთ საქართველოს მყინვარების 12 სქემების მიხედვით შედგენილ ცხრილებში მოყვანილია 187 მცირე მყინვარის კატალოგის მიხედვით ფართობის შესახებ სანდო მონაცემი (სულ კატალოგში აღრიცხულია 265 მცირე მყინვარი). თღზ-ის საფუძველზე ყველა მათგანის შესაბამისი მონაცემი განსაზღვრულია. მყინვარების დანაწევრებისა და დნობის შედეგად მცირე მყინვარების რაოდენობა შეიცვალა. თღზ-ის მონაცემების მიხედვით დასავლეთ საქართველოში 324 მცირე მყინვარი, თოვლნარი და გამქრალი მყინვარია, რომელთაგან

- დარჩენილია 65 მცირე მყინვარი ანუ თღზ-ით მიღებულის 20.1%;
- გადნა და თოვლნარად იქცა 248 ანუ თღზ-ით მიღებულის 76.5%;
- გაქრა ე.ი მთლიანად გადნა 11, ანუ თღზ-ით მიღებულის 3.4%.

კატალოგში აღრიცხული დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების ფართობის შესახებ სანდო მონაცემები გააჩნია 187-ს. ამჟამად ამ მყინვარებიდან თღზ-ის მიხედვით დარჩენილია 65 მცირე მყინვარი (34.8%), რაც იმას ნიშნავს, რომ დანარჩენი 122 (64.2%) მცირე მყინვარი გადნა და თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა.

აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების შესწავლისას დავადგინეთ, რომ მცირე მყინვარების 70% მეტი მთლიანად ან ნაწილობრივ გადნა კლიმატის რეგიონული ზემოქმედების შედეგად [3–6, 8, 11, 13]. ცხრილში 5.8 წარმოდგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების კატალოგის 6 სქემების მიხედვით შედგენილ ცხრილებში მოყვანილი მცირე მყინვარების რაოდენობა თღზ-ის და მყინვარების კატალოგის მიხედვით.

ცხრილი 5.8. აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების კატალოგის 6 სქემის მიხედვით შედგენილ ცხრილებში მოყვანილი მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის და თღზ-ის მიხედვით

სქემა/ ცხრილი ი №	მცირე მყინვარები კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით იდენტიფიცირებული მცირე მყინვარები			
		მცირე მყინვარი	თოვლნარი	გამქრალი მყინვარი	სულ
1	13	10	4	0	14
2	2	2	0	0	2
3	12	3	6	3	12
4	24	2	9	13	24
5	48	12	31	11	54
6	6	1	8	0	9
სულ	105	30	58	27	115

აღმოსავლეთ საქართველოში, საბჭოთა კავშირის კატალოგის მიხედვით, აღრიცხულია 105 მცირე მყინვარი. მყინვარების დანაწევრებისა და გაღებვის შედეგად მცირე მყინვარების რაოდენობა შეიცვალა. თანამგზავრული მონაცემებით აღმოსავლეთ საქართველოში იდენტიფიცირებულია 115 მცირე მყინვარი, თოვლნარი და გამდნარი მყინვარი, რომელთაგან

- დარჩენილია 30 მცირე მყინვარი, ანუ იდენტიფიცირებულის 26.1%;
- გადნა და თოვლნარად იქცა 58, ანუ იდენტიფიცირებულის 50.4%;
- გაქრა ე.ი. მთლიანად გადნა 27, ანუ იდენტიფიცირებულის 23.5%;

ამგვარად, მყინვარების კატალოგში აღრიცხული აღმოსავლეთ საქართველოს 105 მცირე მყინვარიდან ამჟამად კლიმატის გლობალური დათბობის გამო დარჩა მხოლოდ 30 მცირე მყინვარი (28.6%), რაც ნიშნავს, რომ 75 (71.4%) მცირე მყინვარი ან თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა.

მაშასადამე, აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების დნობის პროცესი უფრო აქტიურია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში.

რაც შეეხება საქართველოს უდიდეს მყინვარებს. აღმოსავლეთ საქართველოში მხოლოდ ერთი მყინვარია აღმ. სუათისი (10.2 კმ²), რომლის ფართობი კატალოგის მიხედვით მეტია 10 კმ²-ზე, თუმცა თღზ-ის მონაცემით მისი ფართობი გახდა 7.927 მ². ამდენად თანამგზავრული მონაცემებით აღმოსავლეთ სუათისი, მართალია დიდი მყინვარების გრადაციასა, მაგრამ აღარ მიეკუთვნება საქართველოს უდიდეს მყინვარებს.

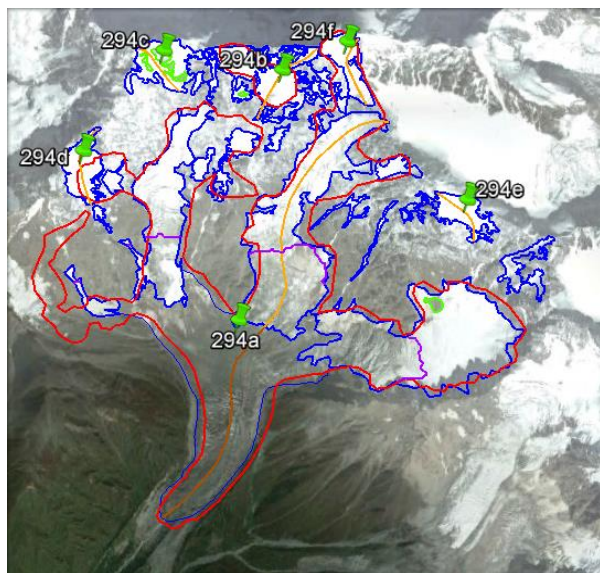
მოვიყვანოთ დასავლეთ საქართველოს უდიდესი მყინვარების ჩამონათვალი და მთლიანი ფართობის მნიშვნელობები კმ²-ში შესაბამისად თღზ-სა და კატალოგის მიხედვით:

1. №245a – ჭალაათი (11.7, 11.3) (კატალოგის მონაცემი საეჭვოა);
2. №247a – ლეხზირი (24.8, 33.7), თუმცა თუ მთლიან ფართობში გავართიანებთ მისი ნაკადის №247b ფართობსაც (6.5კმ²), რომელიც ამჟამად განცალკავებულია, მათი ჯამური ფართობი 31,3 კმ²-ის ტოლია. ლეხზირი ამჟამად საქართველოს ყველაზე დიდი მყინვარია;
3. №260a – ტვიბერი (6.96, 20.1). ეს არის თღზ-ს მონაცემით ასმაში-ტვიბერის და თოთის (№260a) მყინვარის ფართობი. თუ ამ ფართობს დაუმატებთ სერის (№260b), ირითის (№260c) ძინალის (260d), ლიჭადის (260e), ლასხედარის (№260f) მყინვარების ფართობს ჯამური ფართობი ტოლია 19.26 კმ²-ის.
4. №268a ყვითლოდი (9.9, 11.9);
5. №275a – წანერი (14.7 და 11.6, 28.8). თანამგზავრული სურათის მიხედვით იგი გაიყო ორ ნაკადად: №275a – სამხრეთ წანერი (14.7კმ²) და №275b – ჩრდილოეთ წანერი (11.6 კმ²). მისი ორივე ნაკადის მყინვარების ჯამური ფართობი 26.3 კმ²-ია;
6. №290a – ხაღდე (10.4, 11.0); მისი მაქსიმალური სიმაღლე თღზ-ით 4970 მ-ია, ხოლო კატალოგით 4100 მ;

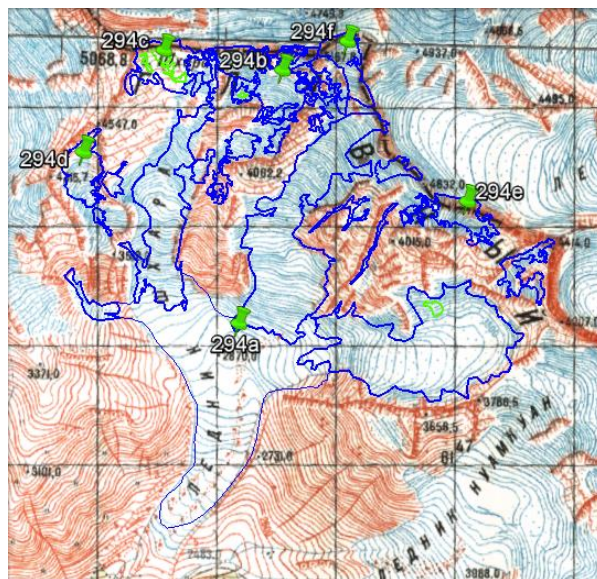
ამგვარად დასავლეთ საქართველოში კატალოგის მიხედვით აღრიცხულია 6 უდიდესი მყინვარი, ხოლო თანამგზავრული მონაცემებით ტვიბერის და ყვითლოდის მყინვარი დიდი მყინვარების კატეგორიას აღარ მიეკუთვნება, ხოლო წანერი დაიყო ორ უდიდეს მყინვარად. ამგვარად თანამგზავრული დისტანციური მონაცემების მიხედვით ამჟამად 5 უდიდესი მყინვარია. უდიდეს მყინვართა შორის უდიდესია №247a – **ლესხირი (24.8, 33.7)**.

საინტერესოა, რომ დასავლეთ საქართველოში კატალოგის მიხედვით მაქსიმალური სიმაღლის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა 4400 მ აქვს დიდ მყინვარს №294 შხარას (5.2 კმ²). თანამგზავრული მონაცემებით შხარას მყინვარი დანაწევრდა ძირითად, 3.9 კმ² ფართობის მყინვარად და ხუთ მცირე მყინვარად. ერთერთი მათგანის (№294f) მაქსიმალური სიმაღლეა 5174 მ ფართობი (0.1 კმ²). ეს მნიშვნელობა მყინვარების მაქსიმალური სიმაღლის მნიშვნელობებს შორის ყველაზე დიდია.

სურათზე 5.3 წარმოდგენილია №294 – შხარას მყინვარული აუზის თანამგზავრული სურათი და ტოპოგრაფიული რუკა. თანამგზავრულ ნათლად ჩანს მცირე მყინვარები, მათ შორის №294f ყველაზე მაღლა მდებარეობს. ტოპოგრაფიულ რუკასთან შედარება კი გვიჩვენებს, რომ იგი აღრე მყინვარ შხარას ძირითად სხეულს ეკუთვნოდა. შხარას მყინვარის დეგრადაციისა და დანაწევრების შედეგად მას გამოეყო მცირე მყინვარები.



ა



ბ

სურ. 5.3. №294 – მყინვარი შხარა. ა – დაზუსტებულია კონტურები Google Earth 2011 წლის 19 სექტემბერის თანამგზავრული სურათის მიხედვით, ბ – მიღებული კონტურების შედარება ტოპოგრაფიულ რუკაზე ასახულ მყინვარების კონტურებთან

აღმოსავლეთ საქართველოში ყველა დიდი მყინვარი კატალოგის მიხედვით მიეკუთვნება მე-5 სქემას – ფიაგდონის, გიზელდონის და მდინარე თერგის ზემო წელის აუზების მყინვარები. საქართველოს მყინვარები მიეკუთვნებიან თერგის ზემო წელის აუზს. კატალოგის მიხედვით აღმოსავლეთ საქართველოში მხოლოდ ერთი უდიდესი მყინვარია – აღმოსავლეთ სუათისი, რომლის ფართობი კატალოგით 10.2 კმ²-ია. თღზ-ის მონაცემით მისი ფართობი გახდა 7.9 კმ². სულ აღმოსავლეთ საქართველოში კატალოგში აღრიცხულია 9 დიდი მყინვარი (ფრჩხილებში მოცემულია თღზ-ის და კატალოგის ფართობის მონაცემები კმ²-ში):

1. №46 – ჭაჭი (2.3, 2.8);
2. №48 – დევდორაკი (6.2, 7.0);
3. №52 – გერგეტი (5.2, 8.3);
4. №57 – დენკერა (0.7, 2.4);
5. №60 – მნა (3.1, 4.6);
6. №61 – (2.4, 2.1);
7. №62 – აღმ. სუათისი (7.9, 10.2);
8. №63 – შუა სუათისი (2.1, 2.5);
9. №64 – დას. სუათისი (1.8, 2.4).

ამგვარად, აღმოსავლეთ საქართველოში თღზ-ით სულ 7 დიდი მყინვარია.

თღზ-ით მიღებული საქართველოს მყინვარების კონტურების შედარებამ ტოპოგრაფიულ რუკებზე ასახულ მყინვარების კონტურებთან საშუალება მოგვცა გამოგვეტანა მნიშვნელოვანი დასკვნა, რომ დაახლოებით ბოლო 50 წლის განმავლობაში საქართველოს ყველა მყინვარის ფართობი შემცირდა.

იგივე დასკვნამდე მივიღვართ საქართველოს მყინვარების მახასიათებლების სტატისტიკური ანალიზის შედეგად, რისთვისაც ჩვენს მიერ შედგენილი ცხრილების მიხედვით შევადგინეთ დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების თანამგზავრული და კატალოგის ფართობების მიხედვით რანჟირებული ცხრილები. ამ ცხრილებმა საშუალება მოგვცა გამოგვეთვალა მყინვარების რაოდენობა და მათ მიერ დაკავებული ფართობები მყინვარების ფართობების (S) გრადაციების მიხედვით (კმ²-ში):

1. $0 \leq S < 0,005$ გამჭრალი მყინვარი;
2. $0,005 \leq S < 0.1$ თოვლნარი;
3. $0.1 \leq S \leq 0.5$ მცირე მყინვარი;
4. $0.5 < S \leq 2$ საშუალო მყინვარი;
5. $S > 2$ დიდი მყინვარი.

გამოვითვალეთ, რომ დასავლეთ საქართველოში თღზ-ით იდენტიფიცირებულია:

1. 15 გამქრალი მყინვარი
2. 449 თოვლნარი;
3. 214 მცირე მყინვარი;
4. 78 საშუალო მყინვარი;
5. 33 დიდი მყინვარი;

სულ იდენტიფიცირებულია 789 მყინვარი: 15 გამქრალი, 449 თოვლნარი და 325 მყინვარი.

დასავლეთ საქართველოში კატალოგის მიხედვით აღრიცხულია:

1. 0 თოვლნარი;
2. 265 მცირე მყინვარი;
3. 108 საშუალო მყინვარი;
4. 36 დიდი მყინვარი;

სულ 409 მყინვარი

შესაბამისად აღმოსავლეთ საქართველოში თღზ-ით იდენტიფიცირებულია:

1. გამქრალია 27
2. 61 თოვლნარი;
2. 44 მცირე მყინვარი;
3. 6 საშუალო მყინვარი;
4. 7 დიდი მყინვარი;

სულ იდენტიფიცირებულია 146 მყინვარი: 27 გამქრალი მყინვარი, 61 თოვლნარი და 57 მყინვარი.

აღმოსავლეთ საქართველოში კატალოგის მიხედვით აღრიცხულია:

1. 0 თოვლნარი;
2. 105 მცირე მყინვარი;
3. 18 საშუალო მყინვარი;
4. 9 დიდი მყინვარი;

სულ 132 მყინვარი

იმასთან დაკავშირებით, რომ კატალოგში აღრიცხული დასავლეთ საქართველოს მყინვარების ფართობების 409 მნიშვნელობიდან 99-ის მნიშვნელობა საეჭვოა, სანდო სტატისტიკური მონაცემების მიღების მიზნით საეჭვო მნიშვნელობის მქონე მყინვარების მახასიათებლები ამოვიღეთ ფართობის მიხედვით რანჟირებული ცხრილიდან და სანდო მონაცემებისათვის გამოვითვალეთ საქართველოს მყინვარების მახასიათებლების (მაქსიმალური სიგრძე, მინიმალური და ფირნის ხაზის სიმაღლე) მაქსიმალური, მინიმალური და მონაცემების გენერალური რიგის საშუალო მნიშვნელობები სამ გრადაციაში (ცხრ. 5.9 და 5.10).

**ცხრილი 5.9. დასავლეთ საქართველოს მყინვარების მაქსიმალური სიგრძე (კმ)
თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით**

მყინვარების გრადაცია	მინიმალური მნიშვნელობა		მაქსიმალური მნიშვნელობა		საშუალო მნიშვნელობა	
	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით
მცირე	0.1	0.1	1.9	1.6	0.7	0.7
საშუალო	0.5	0.4	3.0	3.6	1.7	1.6
დიდი	2.6	1.1	10.8	11.8	5.2	4.9

**ცხრილი 5.10. აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების მაქსიმალური სიგრძე(კმ)
თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით**

მყინვარების გრადაცია	მინიმალური მნიშვნელობა		მაქსიმალური მნიშვნელობა		საშუალო მნიშვნელობა	
	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით
მცირე	0.3	0.2	1.8	1.7	0.8	0.8
საშუალო	1.2	1.4	3.8	4.1	2.2	2.0
დიდი	3.2	2.3	7.1	8.5	4.8	4.7

როგორც 5.9 და 5.10 ცხრილიდან ჩანს საქართველოს ყველაზე გრძელი მყინვარი დასავლეთ საქართველოშია. თღზ-ით მისი სიგრძეა 10.8 კმ და კატალოგით 11.8 კმ. ეს მყინვარია ლეხზირი (№247a). საშუალო და დიდი მყინვარებისათვის მაქსიმალური სიგრძის საშუალო მნიშვნელობები გაზრდილია, როგორც აღმოსავლეთ, ისე დასავლეთ საქართველოში. ამასთან დიდი მყინვარები უფრო გრძელია დასავლეთ საქართველოში, ხოლო საშუალო მყინვარები უფრო გრძელია აღმოსავლეთ საქართველოში.

დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების მინიმალური სიმაღლის მნიშვნელობები გრადაციების მიხედვით თღზ-ის და კატალოგის მონაცემებით შესაბამისად მოყვანილია 5.11 და 5.12 ცხრილებში.

**ცხრილი 5.11. დასავლეთ საქართველოს მყინვარების მინიმალური სიმაღლე (კმ)
თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით**

მყინვარების გრადაცია	მინიმალური მნიშვნელობა		მაქსიმალური მნიშვნელობა		საშუალო მნიშვნელობა	
	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით
მცირე	1792	1740	4504	3600	3031	2901
საშუალო	2286	2100	3246	3240	2871	2786
დიდი	2212	2020	2941	2870	2627	2464

ცხრილი 5.12. აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების მინიმალური სიმაღლე (კმ) თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით

მყინვარების გრადაცია	მინიმალური მნიშვნელობა		მაქსიმალური მნიშვნელობა		საშუალო მნიშვნელობა	
	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით
მცირე	2804	2780	4031	3770	3382	3270
საშუალო	3020	2860	3655	3450	3352	3139
დიდი	2392	2269	3292	3500	3036	2997

5.11 და 25.11 ცხრილებიდან ჩანს თღზ-ის მონაცემებით მყინვარების მინიმალური სიმაღლეების საშუალო მნიშვნელობები ყველა გრადაციისათვის გაზრდილია კატალოგის მნიშვნელობებთან შედარებით. ამასთან აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების მინიმალური სიმაღლეების საშუალო მნიშვნელობები უფრო მაღალია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში.

დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის მნიშვნელობები გრადაციების მიხედვით თღზ-ის და კატალოგის მონაცემებით შესაბამისად მოყვანილია 5.13 და 5.14 ცხრილებში.

ცხრილი 5.13 დასავლეთ საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ) თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით

მყინვარების გრადაცია	მინიმალური მნიშვნელობა		მაქსიმალური მნიშვნელობა		საშუალო მნიშვნელობა	
	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით
მცირე	2168	2700	3516	3000	3197	2855
საშუალო	2774	2900	3824	3020	3150	2994
დიდი	3147	3010	3516	3160	3316	3110

ცხრილი 5.14 აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ) თღზ-ის და კატალოგის მიხედვით

მყინვარების გრადაცია	მინიმალური მნიშვნელობა		მაქსიმალური მნიშვნელობა		საშუალო მნიშვნელობა	
	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით	კატალოგის მიხედვით
მცირე	2592	3060	4011	3860	3565	3503
საშუალო	3313	3200	3844	3760	3696	3480
დიდი	3326	3260	3771	3770	3601	3571

თანამგზავრული მონაცემებით მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის განსაზღვრისათვის გამოვიყენებთ გეფერის მეთოდი [7,9]. გეფერის მეთოდი საიმედო შედეგებს იძლევა ხეობის ტიპის მყინვარებისათვის, ხოლო მცირე

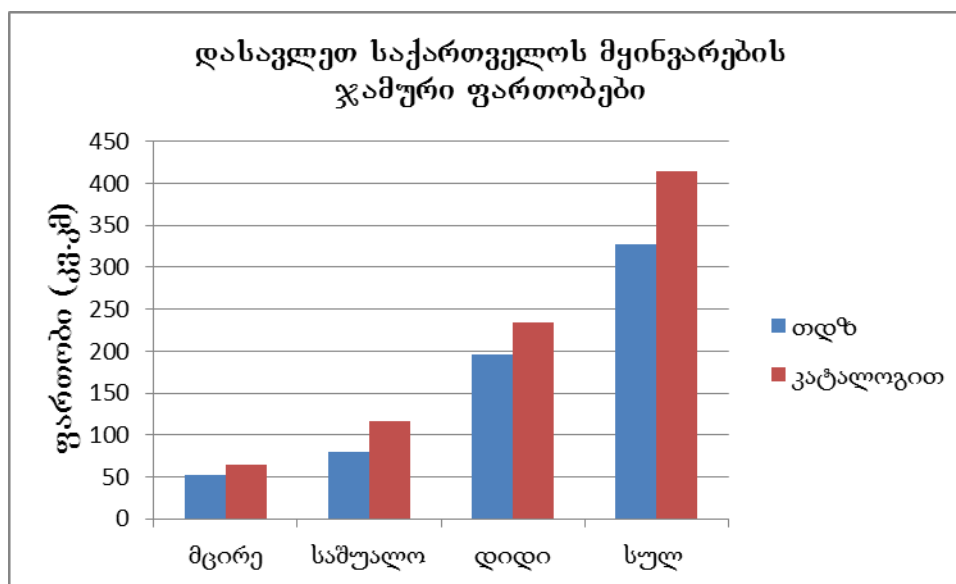
მყინვარებისათვის შედეგები არასაიმედოა, რაც კატალოგის მონაცემებთან შედარებამაც დაგვიდასტურა.

საქართველოს მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის მაქსიმალური და საშუალო მნიშვნელობები ყველა გრადაციის მყინვარისთვის თღზ-ის მიხედვით კატალოგის მონაცემებთან შედარებით გაიზარდა.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საქართველოს მყინვარების ფართობების ჯამური მნიშვნელობების ცოდნა დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოსათვის გრადაციების მიხედვით. ეს მონაცემები მოყვანილია 5.15 და 5.16 ცხრილებში, ხოლო შესაბამისი ჰისტოგრამები – 5.4 და 5.5 სურათებზე.

ცხრილი 5.15. დასავლეთ საქართველოს მყინვარების ფართობების ჯამური მნიშვნელობები (კმ²) გრადაციის მიხედვით გამოვლილი თღზ-ის და კატალოგის მონაცემებით

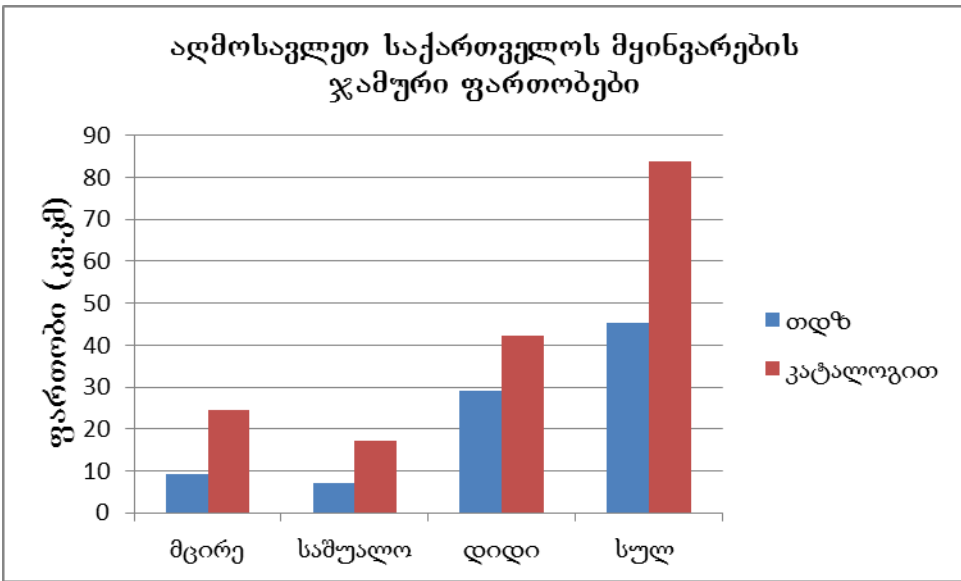
მყინვარების ჯამური ფართობები გრადაციების მიხედვით		
მყინვარების გრადაციები	თღზ	კატალოგით
მცირე	51.7	64.2
საშუალო	79.2	115.9
დიდი	195.7	233.9
სულ	326.6	414



სურ. 5.4. დასავლეთ საქართველოს მყინვარების ფართობების ჯამური მნიშვნელობების ჰისტოგრამა თღზ-ის და კატალოგის მონაცემებით.

ცხრილი 5.16. აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ფართობების ჯამური მნიშვნელობები (კმ²) გრადაციის მიხედვით გამოვლილი თღზ-ის და კატალოგის მონაცემებით

მყინვარების ჯამური ფართობები გრადაციების მიხედვით		
მყინვარების გრადაციები	თღზ	კატალოგით
მცირე	9.1	24.5
საშუალო	7.1	17.1
დიდი	29.2	42.3
სულ	45.4	83.9



სურ. 5.5. აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ფართობების ჯამური მნიშვნელობების ჰისტოგრამა თღზ-ის და კატალოგის მონაცემებით.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ თღზ-ის მიხედვით დასავლეთ საქართველოში თოვლნარებით დაკავებული ფართობია 16.605 კმ², ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში 2.597 კმ². კატალოგში ცალკეული თოვლნარები არ განიხილება.

ამგვარად როგორც დასავლეთ, ისე აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ჯამური ფართობები გრადაციების მიხედვით ყველა გრადაციაში და მთლიანად საქართველოში შემცირდა თღზ-ის მიხედვით კატალოგის მონაცემებთან შედარებით. კატალოგის მონაცემით დასავლეთ საქართველოს მყინვარების მიერ დაკავებული ფართობი უდრის 414 კმ², ხოლო თღზ-ით 326.6 კმ². აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების მიერ დაკავებული ფართობი უდრის 83.9 კმ², ხოლო თღზ-ით 45.4 კმ². ამ ციფრებიდანაც ჩანს, რომ

ადმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების დნობა უფრო ინტენსიურია დასავლეთ საქართველოსთან შედარებით.

განხილულია თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების და GIS ტექნოლოგიების საფუძველზე საქართველოს მყინვარების ცვლილების საკითხები კლიმატის რეგიონული ზემოქმედების შედეგად. დადგენილია, რომ კლიმატის თანამედროვე დათბობის გამო მცირე მყინვარები ინტენსიურად დნებიან, საშუალო მყინვარების გარკვეული ნაწილი მცირე მყინვარებად იქცევიან, ხოლო დიდი მყინვარები დეგრადირებენ და უკან იხევენ.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები ნათლად მიუთითებენ საქართველოს მყინვარებზე კლიმატის რეგიონალური ცვლილების ზემოქმედებას, კერძოდ, დათბობის შედეგად მყინვარების უკანდახევას.

ბოლო 50 წლის განმავლობაში საქართველოს მყინვარების

- მაქსიმალური სიგრძე და ფართობი მცირდება;
- მინიმალური სიმაღლე და ფირნის ხაზის სიმაღლე იზრდება;

თავი 6. მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენებით, საქართველოს მყინვარების დროში ცვლილების დინამიკის შესწავლა.

თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე საქართველოს მყინვარების დროში ცვლილების დინამიკა შევისწავლეთ იმ მყინვარებისათვის, რომელთა ენის ბოლო არ არის დაფარული ნაშალით, რაც მულტისპექტრული სენსორების გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა. როგორც აღნიშნეთ, თანამედროვე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენით მყინვარები უკან იხევენ. მყინვარის უკანდახევის სიჩქარის შესწავლის მიზნით ვისარგებლეთ თანამგზავრ Landsat-ის მონაცემებით, რომელთა მიღება შესაძლებელია Earthexplorer-ის ინტერნეტ რესურსის გამოყენებით [37].

აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარის, **გერგეტის** მაგალითზე დაწვრილებით განვიხილოთ მყინვარის დროში ცვლილების დინამიკა, გამოვთვალოთ მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე. მყინვარ გერგეტისათვის ხელმისაწვდომია Landsat-ის სხვადასხვა სენსორის, კერძოდ MSS, TM, ETM+ და OLI-TIRS სენსორების მიერ მოპოვებული მონაცემები.

Landsat MSS (Multispectral Scanner) ოთხ სპექტრალურ არხში მოიპოვებს მონაცემებს. თითოეული არხის სივრცითი გარჩევადობა 60 მ-ია, ამ სენსორით აღჭურვილი იყო Landsat 1, 2, 3 და 4 თანამგზავრები. აღსანიშნავია, რომ თავდაპირველად სენსორის სივრცითი გარჩევადობა იყო 79 მ x 57 მ, მაგრამ შემდეგ მონაცემები 60 მ გარჩევადობაზე იქნა გადათვლილი.

Landsat TM (Thematic Mapper) შვიდ სპექტრალურ არხში მოიპოვებს ინფორმაციას. მე-6 არხის სივრცითი გარჩევადობა 120 მ-ია, დანარჩენი არხებისა – 30 მ. საბოლოო პროდუქტში მე-6 არხის მონაცემები 30 მ სივრცით გარჩევადობაზე არის გადათვლილი. ამ სენსორით აღჭურვილი იყო Landsat 4 და 5 თანამგზავრები.

Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) მისი წინამორბედისაგან იმით განსხვავდება, რომ მე-6 არხის სივრცითი გარჩევადობა შემცირდა 60 მ-მდე და საბოლოოდ გადათვლილია 30 მ გარჩევადობაზე. გარდა ამისა, სენსორს დაემატა კიდევ ერთი, პანქრომატული არხი 15 მ სივრცითი გარჩევადობით. ეს სენსორი გამოყენებული იყო Landsat 6 (რომელიც წარუმატებელი სტარტის გამო დაიკარგა) და Landsat 7 თანამგზავრებზე. Landsat 8 თანამგზავრის სენსორ OLI-TIRS-ის მახასიათებლები 6.1 ცხრილშია წარმოდგენილი. აღნიშნული სენსორები დედამიწის ზედაპირის სკანირებას 11 სხვადასხვა სპექტრალურ არხში ახდენენ.

ცხრილი 6.1. Landsat-8-ზე განთავსებული OLI და TIRS სენსორების სპექტრალური არხები.

სპექტრალური არხები	ტალღის სიგრძე (მკმ)	სივრცითი გარჩევადობა (მ)	დანიშნულება
I არხი	0.43-0.45	30	აეროზოლის და სანაპირო ზოლის კვლევა
II არხი (blue)	0.45-0.51	30	ღურჯი
III არხი (green)	0.53-0.59	30	მწვანე
IV არხი (red)	0.64-0.67	30	წითელი
V არხი (NIR)	0.85-0.88	30	ახლო ინფრაწითელი, მცენარეული საფარის შესწავლა
VI არხი (SWIR1)	1.57-1.65	30	მოკლელტალღოვანი ინფრაწითელი I, მცენარეული საფარს, ნახანძრავების შესწავლა
VII არხი (SWIR2)	2.11-2.29	30	მოკლელტალღოვანი ინფრაწითელი II, მცენარეული საფარის, ნახანძრავების შესწავლა
VIII არხი (Pancromatic)	0.50-0.68	15	15 პანქრომატული. დანარჩენი არხების გარჩევადობის გაზრდა
IX არხი (Cirrus)	1.36-1.38	30	ღრუბლების კვლევა
X არხი (TIRS 1)	10.60-11.19	100	თერმული ინფრაწითელი I, ზედაპირის ტემპერატურის შესწავლა
XI არხი (TIRS 2)	11.50-12.50	100	თერმული ინფრაწითელი II, ზედაპირის ტემპერატურის შესწავლა

6.2 ცხრილში წარმოდგენილია თანამგზავრ Landsat-ის MSS, TM, ETM+ და OLI-TIRS სენსორების მაჩვენებლები.

ცხრილი 6.2. თანამგზავრ Landsat-ის MSS, TM, ETM+ და OLI-TIRS სენსორების
მაჩვენებლები

სენსორი	თანამგზავრი, არხები		ტალღის სიგრძე (მკმ)	სივრცითი გარჩევადობა (მ)
MSS	Landsat 1-3			
	არხი 4	არხი 1	0.5-0.6	60
	არხი 5	არხი 2	0.6-0.7	60
	არხი 6	არხი 3	0.7-0.8	60
	არხი 7	არხი 4	0.8-1.1	60
TM	Landsat 4-5			
	არხი 1		0.45-0.52	30
	არხი 2		0.52-0.60	30
	არხი 3		0.63-0.69	30
	არხი 4		0.76-0.90	30
	არხი 5		1.55-1.75	30
	არხი 6		10.40-12.50	120* (30)
ETM+	Landsat 7			
	არხი 1		0.45-0.52	30
	არხი 2		0.52-0.60	30
	არხი 3		0.63-0.69	30
	არხი 4		0.76-0.90	30
	არხი 5		1.55-1.75	30
	არხი 6		10.40-12.50	60* (30)
	არხი 7		2.08-2.35	30
OLI	Landsat 8			
	არხი 1 – Coastal aerosol		0.43 - 0.45	30
	არხი 2 - Blue		0.45 - 0.51	30
	არხი 3 - Green		0.53 - 0.59	30
	არხი 4 - Red		0.64 - 0.67	30
	არხი 5 – NIR		0.85 - 0.88	30
	არხი 6 - SWIR1		1.57 - 1.65	30
	არხი 7 - SWIR2		2.11 - 2.29	30
	არხი 8 - Panchromatic		0.50 - 0.68	15
TIRS	არხი 9 - Cirrus		1.36 - 1.38	30
	არხი 10 – Thermal 1		10.60 - 11.19	100 * (30)
	არხი 11 – Thermal 2		11.50 - 12.51	100 * (30)

მეინვარ გერგეტის უკანდახევის შესწავლის მიზნით Earthexplorer-ის გამოყენებით თანამგზავრული მონაცემებიდან შევარჩიეთ 1977-2015 წლების

თანამგზავრული მონაცემების 10 სხვადასხვა ფაილი. 6.3 ცხრილში მოყვანილია ამ თანამგზავრული მონაცემების ზოგიერთი მახასიათებელი.

ცხრილი 6.3. მყინვარ გერგეტის უკანდახევის შესასწავლად შერჩეული 1977-2015 წლების თანამგზავრ Landsat-ით მიღებული მონაცემების ზოგიერთი მახასიათებელი

№	თარიღი	თანამგზავრული მონაცემების ფაილის სახელწოდება	თანამგზავრი	სენსორი	მონაცემების დამუშავების დონე	დრუბლიანობა (%)
1	8/25/1977	LM21830301977237AAA05	Landsat 2	MSS	L1T	0%
2	9/26/1984	LT51700301984270XXX02	Landsat 5	TM	L1T	0%
3	8/31/1989	LT41700301989243XXX03	Landsat 4	TM	L1T	0%
4	8/3/1999	LT51700301999215XXX01	Landsat 5	TM	L1T	20%
5	9/1/2001	LE71700302001244SGS00	Landsat 7	ETM	L1T	15%
6	8/30/2006	LE71700302006242ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	5%
7	9/18/2007	LE71700302007261ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	11%
8	8/30/2009	LT51700302009242MOR00	Landsat 5	TM	L1T	13%
9	9/21/2011	LT51700302011264MOR00	Landsat 5	TM	L1T	19%
10	8/28/2014	LC81700302014240LGN00	Landsat 8	OLI- TIRS	L1T	0.08%
11	8/15/2015	LC81700302015227LGN00	Landsat 8	OLI- TIRS	L1T	0,7%

მონაცემები შეირჩა დროისა და დრუბლიანობის მიხედვით. მონაცემები უნდა ყოფილიყო საქართველოს მყინვარების მაქსიმალური აბლაციის პერიოდში. რაც შეეხება დრუბლიანობას, იმის გამო, რომ გვაინტერესებდა მხოლოდ მყინვარ გერგეტის ენის ბოლოს მდებარეობა, საკმაოდ მაღალი დრუბლიანობის (20%) სურათიც სასარგებლო აღმოჩნდა.

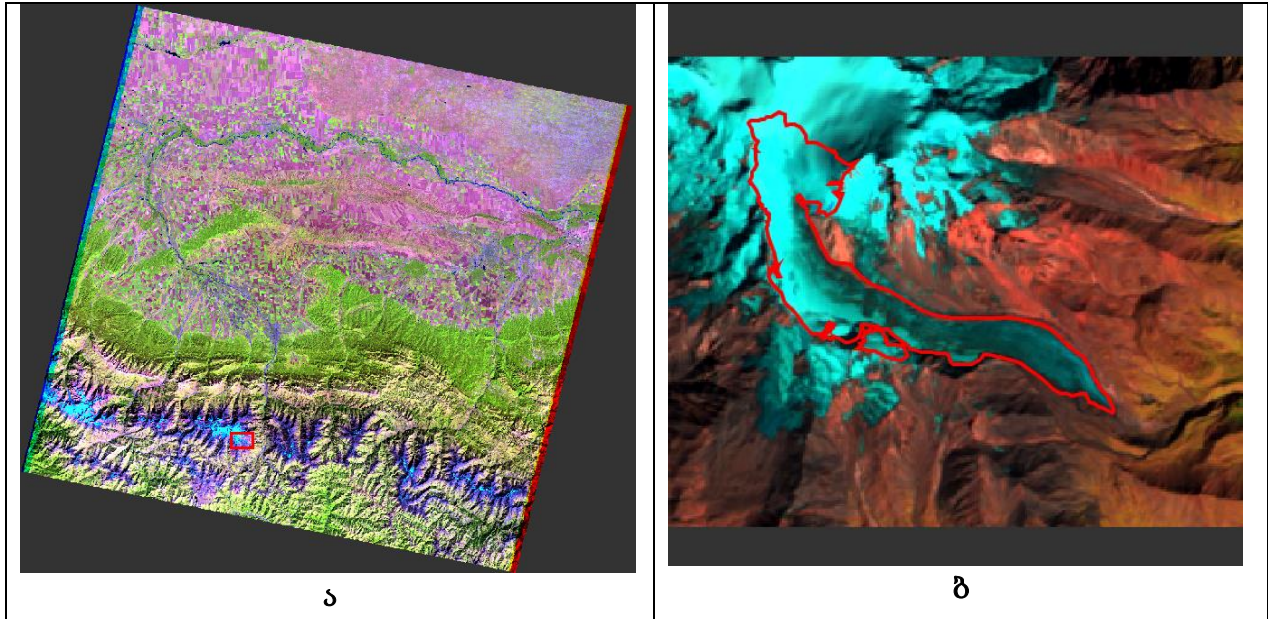
აღსანიშნავია აგრეთვე თანამგზავრული მონაცემების დამუშავების დონე. ეს პარამეტრი სხვადასხვა მნიშვნელობას შეიძლება იღებდეს. L1G (Geometrically corrected) დონე გულისხმობს მონაცემების რადიომეტრულ და გეომეტრიულ (სისტემატურ) კორექტირებას. დამუშავების ეს დონე გულისხმობს, რომ თანამგზავრულ მონაცემებს დართული აქვთ ინფორმაცია კარტოგრაფიული პროექციის, თანამგზავრული სურათის ორიენტაციის შესახებ. Landsat-ის L1G დონის მონაცემები თავისუფალია იმ ხარვეზებისაგან, რაც დაკავშირებულია სენსორის ხედვის კუთხესთან, დედამიწის ზედაპირიდან სენსორის დაშორების ცვალებადობასთან, დედამიწის ბრუნვასა და ზედაპირის სიმრუდესთან. L1G დონის მონაცემები მრავალი ამოცანისათვის თანამგზავრული ინფორმაციის სტანდარტულ წყაროდ არის მიჩნეული. დამუშავების ეს დონე ატმოსფერულ კორექტირებას არ გულისხმობს.

რაც შეეხება L1T (Terrain corrected) დონეს, აბსოლუტური გეოდეზიური სიზუსტის მისაღწევად აღნიშნული დონის თანამგზავრული პროდუქტი გულისხმობს თანამგზავრული მონაცემების გეოკორექტირებას ცნობილი კოორდინატების მქონე საკონტროლო წერტილებისა და რელიეფის ციფრული

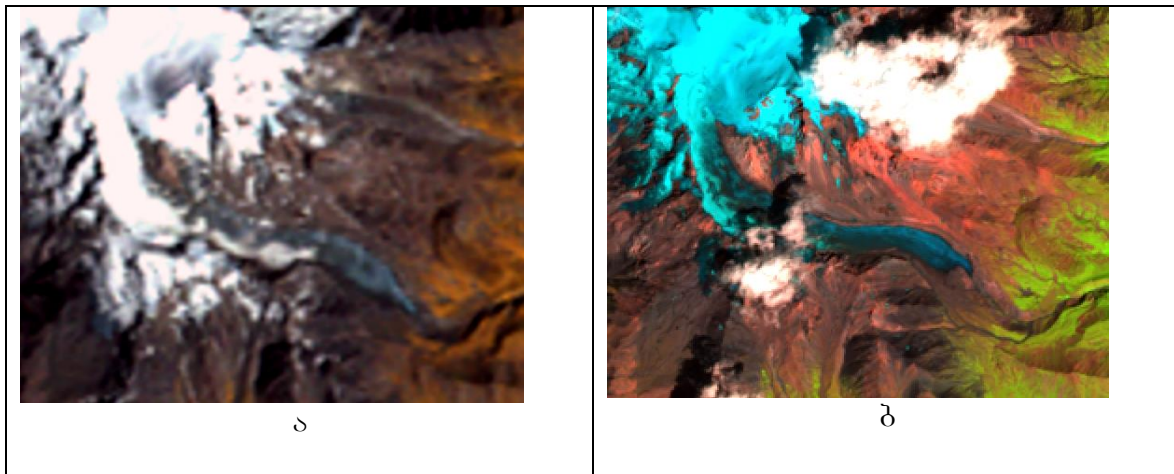
მოდელის გამოყენებით. LIT დონის თანამგზავრული მონაცემების გეოკორექტირება ხდება შატლის რადარული ტოპოგრაფიული მისიის (SRTM) 90 მ სივრცითი გარჩევადობის რელიეფის ციფრული მოდელისა და Landsat Geocover 2000 მონაცემთა ბაზის მიწისხედა საკონტროლო წერტილების საფუძველზე [38]. სწორედ ამიტომ არჩევანი LIT დონის მონაცემებზე შევანერეთ, რადგან ამ შემთხვევაში აღარ არსებობს მონაცემთა შემდგომი გეოკორექტირების აუცილებლობა.

ცხრილში მოყვანილ თანამგზავრული მონაცემებით მოცულ ტერიტორიაზე გარკვეულ წარმოდგენას გვიქმნის ქვემოთ მოყვანილი 6.1 სურათი, სადაც ნიშნის სახით წარმოდგენილია 1984 წლის 26 სექტემბრით დათარიღებული LT51700301984270XXX02 ფაილში მოცემული თანამგზავრული სურათი და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, რომელიც შემოსაზღვრულია ჩ.გ. 42.71 და ჩ.გ. 42.65 პარალელებითა და ა.გ. 44.48 და ა.გ. 44.58 მერიდიანებით. ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი შედგენილია Landsat 5 TM სენსორის V, IV და III არხების კომბინაციით, რომელიც ჩვეულებრივ, მყინვარების შესწავლისათვის გამოიყენება. კერძოდ, წითელ ფერად მივიჩნიეთ OLI სენსორის VI არხი (SWIR 1), მწვანე ფერად – V არხი (NIR), ლურჯ ფერად – IV არხი (RED). მიღებული სურათიდან შევარჩიეთ კვლევის არეები. ამ კომბინაციის შერჩევისას თოვლით დაფარული რეგიონები და მყინვარები იღებს, ცისფერ-ლურჯ ფერებს, ღრუბლები არის თეთრი, მცენარეული საფარით დაფარული უბნები იღებს მწვანე ფერს, ხოლო მცენარეული საფარისა და მყინვარებისაგან თავისუფალი კლდეები – რუხ-მოწითალო ფერს.

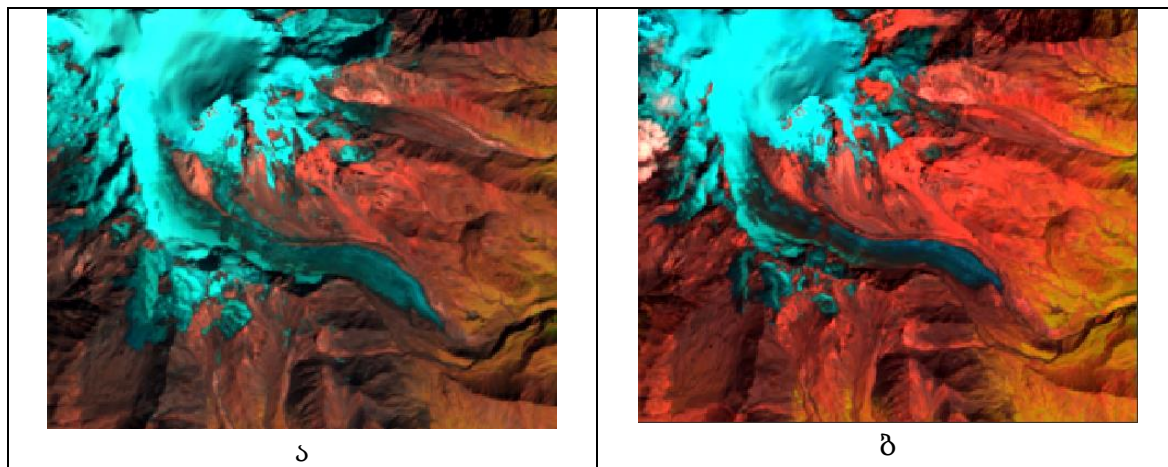
გერგეტის მყინვარის უკანდახევის მასშტაბებზე გარკვეულ თვისობრივ წარმოდგენას გვიქმნის 6.2 და 6.3 სურათები. 6.2 სურათზე გერგეტის მყინვარის მდებარეობა 1977 წლის 25 აგვისტოს შედარებულია 2015 წლის 15 აგვისტოს მდებარეობასთან. შემდეგ 6.3 სურათზე წარმოდგენილი სურათები შერჩეულია მათი მაღალი ხარისხის გამო: 1984 წლის 26 სექტემბრის მდებარეობა შედარებულია 2014 წლის 18 აგვისტოს მდებარეობასთან.



სურ. 6.1. ა – 1984 წლის 26 სექტემბრით დათარიღებული LT51700301984270XXX02 ფაილში მოცემული თანამგზავრული სურათი და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, ბ – თანამგზავრ Landsat 5-ის TM სენსორის მონაცემებით შედგენილი მყინვარ გერგეტის ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი და კონტური.

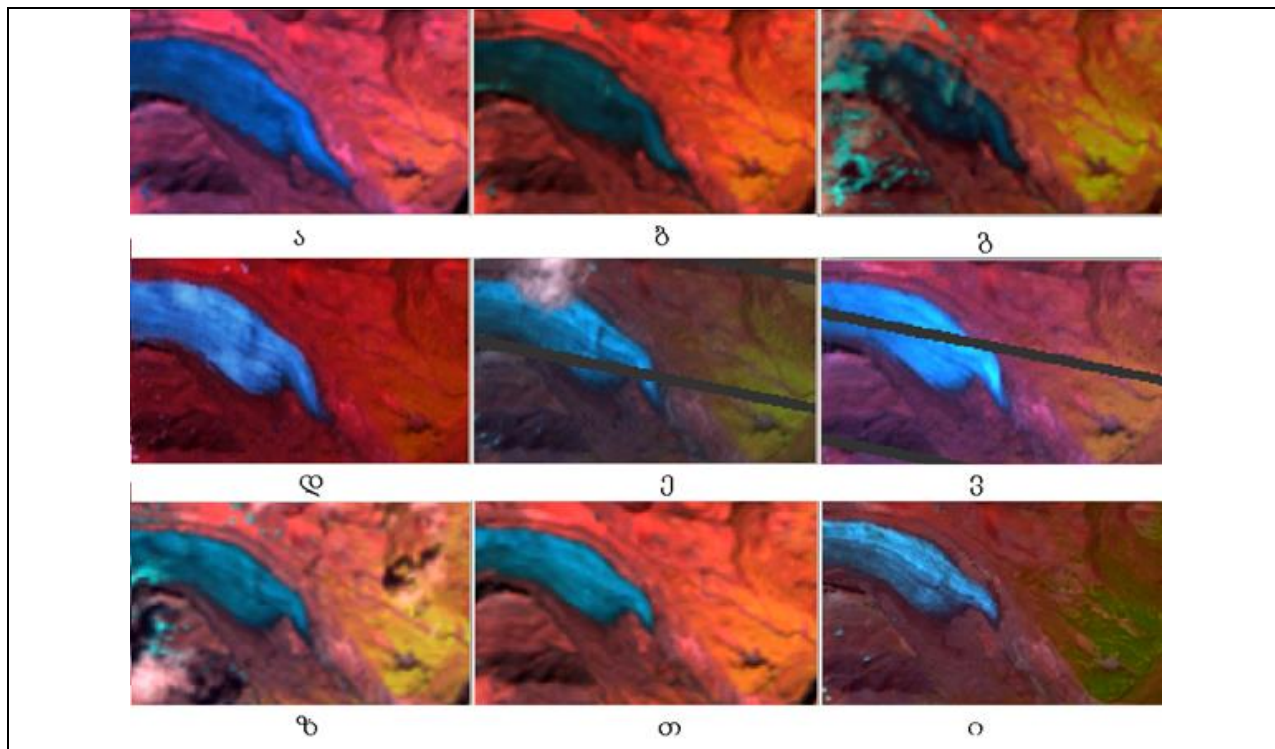


სურ. 6.2. მყინვარ გერგეტის მდებარეობები. ა –Landsat 2 MSS სენსორის 1977 წლის 25 აგვისტოს ფსევდოფერადი სურათი, ბ – Landsat 8 OLI სენსორის 2015 წლის 15 აგვისტოს ფსევდოფერადი სურათი.



სურ. 6.3. მყინვარ გერგეტის მდებარეობები. ა –Landsat 5 TM სენსორის 1984 წლის 26 სექტემბერის ფსევდოფერადი სურათი, ბ – Landsat 8 OLI სენსორის 2014 წლის 28 აგვისტოს ფსევდოფერადი სურათი.

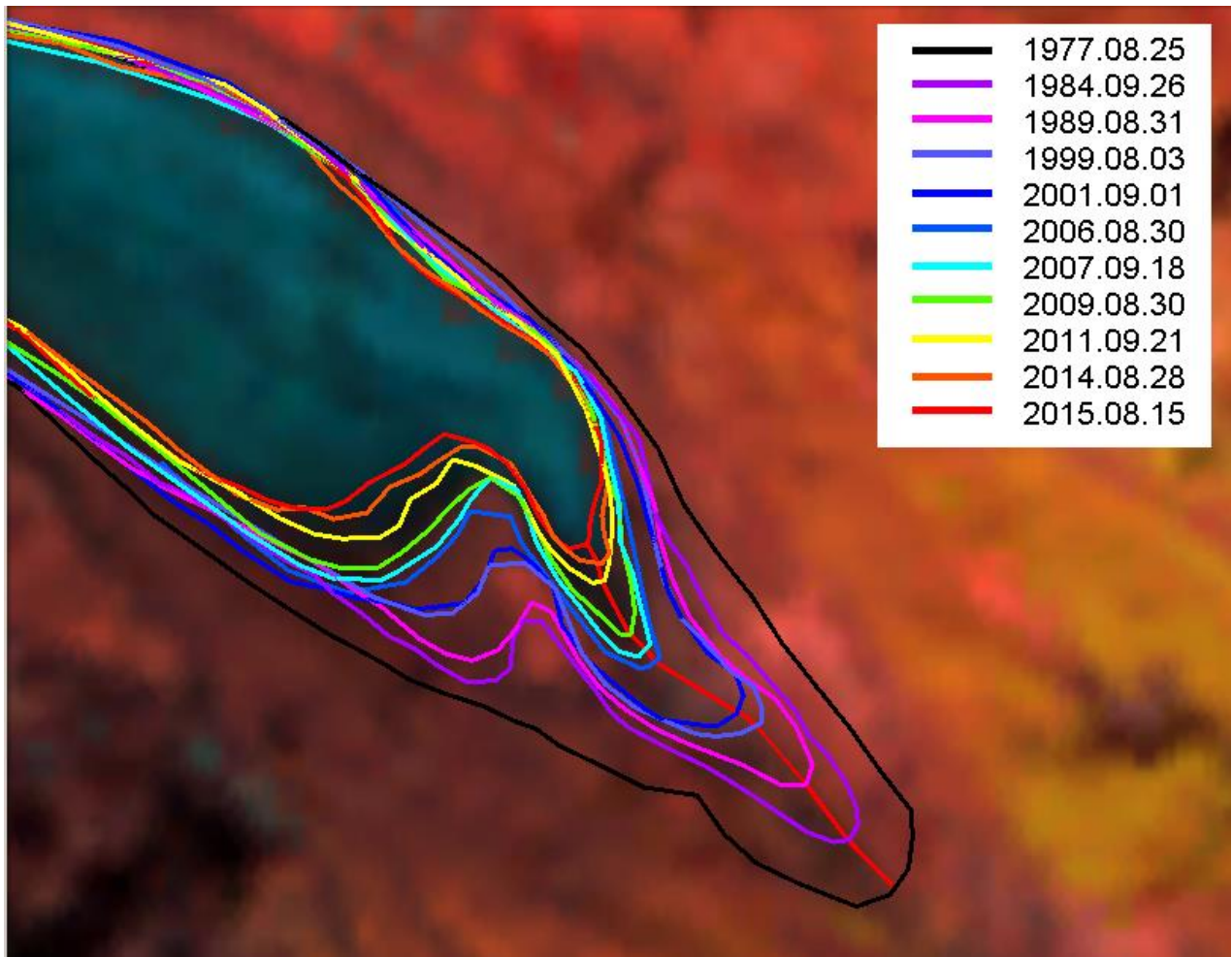
შემდეგ 6.4 სურათზე ნაჩვენებია მყინვარ გერგეტის უკანდახევის დინამიკა 1984-2015 წლებში.



სურ. 6.4. მყინვარ გერგეტის უკანდახევის დინამიკა Landsat-ის თანამგზავრული სურათების მიხედვით. ა – 26. 09.1984, Landsat 5, TM; ბ – 31.08. 1989, Landsat 4, TM; გ – 03.08.1999, Landsat 5, TM; დ – 01.09.2001, Landsat 7, ETM+; ე – 30.08.2006, Landsat 7, ETM+; ვ – 18.09. 2007, Landsat 7, ETM+; ზ – 30.08.2009, Landsat 5, TM; თ – 21.09.2011, Landsat 5, TM; ი – 15.08.2015, Landsat 8, OLI-TIRS

თითოეული თანამგზავრული სურათის მიხედვით დადგინდა გერგეტის მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა, შედგა მონაცემთა ქრონოლოგიური რიგი და გამოთვლილ იქნა მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე.

6.5 სურათზე ნაჩვენებია გერგეტის მყინვარის უკანდახევის სქემატური სურათი 2015 წლის 15 აგვისტოს Landsat 8 თანამგზავრული სურათის ფონზე. სხვადასხვა წელს მყინვარის მდებარეობა სხვადასხვა ფერის კონტურით არის ნაჩვენები. კონტურების გადამკვეთი წითელი ტეხილი ხაზის წარმოადგენს იმ მონაკვეთების ერთობლიობას, რომელთა გასწვრივ ხდება მყინვარების უკანდახევა. მაშასადამე ამ მონაკვეთების სიგრძე არის მყინვარების უკანდახევის სიდიდე შესაბამისი დროითი პერიოდებისათვის. 1977 წლის 25 აგვისტოდან 2015 წლის 15 აგვისტომდე მყინვარების უკანდახევის სიდიდემ მიახლოებით 756.2 მ შეადგინა.



სურ. 6.5. გერგეტის მყინვარის უკანდახევის სქემატური სურათი 2015 წლის 15 აგვისტოს Landsat 8 თანამგზავრული სურათის ფონზე.

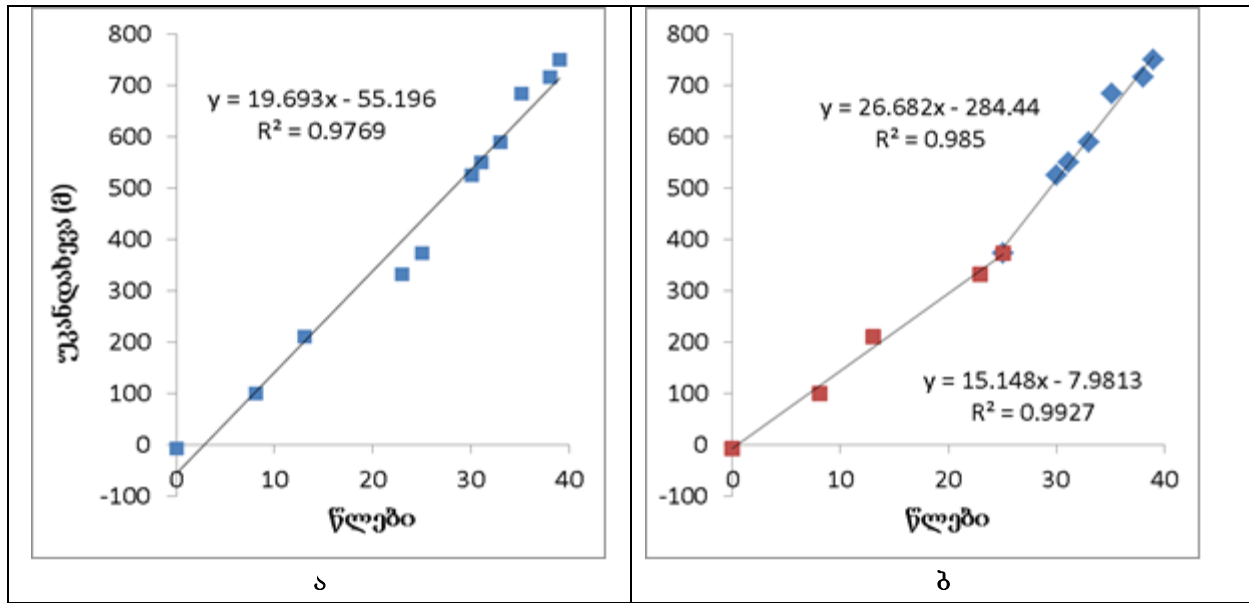
ცხრილში 6.4 შეჯამებულია მყინვარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები. 1977 წლის თანამგზავრული სურათი მიჩნეულია საწყისად. ამდენად გერგეტის მყინვარის უკანდახევა აქედან აითვლება და შესაბამისი სიჩქარე 1977 წლიდან 2015 წლის პერიოდისათვის აითვლება.

ცხრილი 6.4. გერგეტის მყინვარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები

№	თარიღი	კოორდინატები		უკანდახევა წინა ნიშნულის მიმართ (მ)	ჯამური უკანდახევა (მ)
		განედი	გრძელი		
1	8/25/1977	42.664006	44.558418	0	0
2	9/26/1984	42.664683	44.557493	106	106
3	8/31/1989	42.665486	44.556670	111	217
4	8/3/1999	42.666306	44.555701	122	339
5	9/1/2001	42.666503	44.555308	40.6	379.6
6	8/30/2006	42.667224	44.553724	152	531.6
7	9/18/2007	42.667407	44.553513	25.4	557
8	8/30/2009	42.667635	44.553219	38.2	595.2
9	9/21/2011	42.668386	44.552674	94.9	690.1
10	8/28/2014	42.668662	44.552612	31.7	721.8
11	8/15/2015	42.668917	44.552400	34.4	756.2

6.6 სურათზე წარმოდგენილია მყინვარ გერგეტის უკანდახევის ტრენდი. აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია წლები. საწყისი მდგომარეობა შეესაბამება 1977 წელს. ორდინატათა ღერძზე მოცემულია მყინვარის უკანდახევა მეტრებში. მთელი პერიოდის (1977-2015წწ) ანალიზი გვიჩვენებს (6.6 ა), რომ გერგეტის მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს მიახლოებით 20 მ-ს წელიწადში.

მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების უკეთ გაგებისათვის 40 წელი დაიყო ორ პერიოდად: 1977-2001 წწ და 2001-2015 წწ, შესაბამისი წრფივი ტრენდები მოცემულია 6.6 ბ სურათზე. პირველი პერიოდის წრფივი ტრენდის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გერგეტის მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს მიახლოებით 15 მ-ს წელიწადში, ხოლო მეორე პერიოდში 27 მ-ს წელიწადში. ეს ციფრები გვიჩვენებს, რომ ბოლო 15 წელიწადში უკანდახევის ტენდენციამ მნიშვნელოვნად მოიმატა და ამ ორ პერიოდს, შორის სხვაობა მიახლოებით შეადგენს 12 მ-ს წელიწადში. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ მყინვარის დნობა მეორე პერიოდში აჩქარებულია და იგი არაწრფივი ხასიათისაა.



სურ. 6.6. მყინვარ გერგეტის უკანდახვევის ტრენდი: ა – მთლიანი პერიოდისათვის (1977-2015 წწ.) და ბ – I (1977-2001 წწ.) და II (2001-2015 წწ.) პერიოდებისათვის

დროში ცვლილების დინამიკის შესწავლის მიზნით დასავლეთ საქართველოს მყინვარებიდან შევისწავლეთ ბოყოს, ჰადიშის და ქვიშის მყინვარები. ეს მყინვარები შეირჩა იმ მოსაზრებით, რომ მათი ენის ბოლო არ არის ნაშალით დაფარული, რაც მულტისპექტრული სენსორებით დაკვირვების შესაძლებლობას იძლევა. განვიხილოთ თვითოეული მათგანი.

მყინვარის უკანდახვევის სიჩქარის შესწავლის მიზნით ვისარგებლეთ თანამგზავრ Landsat-ის მონაცემებით. როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, Landsat-ის მონაცემების მიღება შესაძლებელია Earthexplorer-ის ვებ-გვერდის საშუალებით [37]. აღნიშნულ ინტერნეტ-რესურსზე მყინვარ ბოყოსთვის ხელმისაწვდომია Landsat-ის სხვადასხვა სენსორის, კერძოდ MSS, TM, ETM+ და OLI-TIRS სენსორების მიერ მოპოვებული მონაცემები.

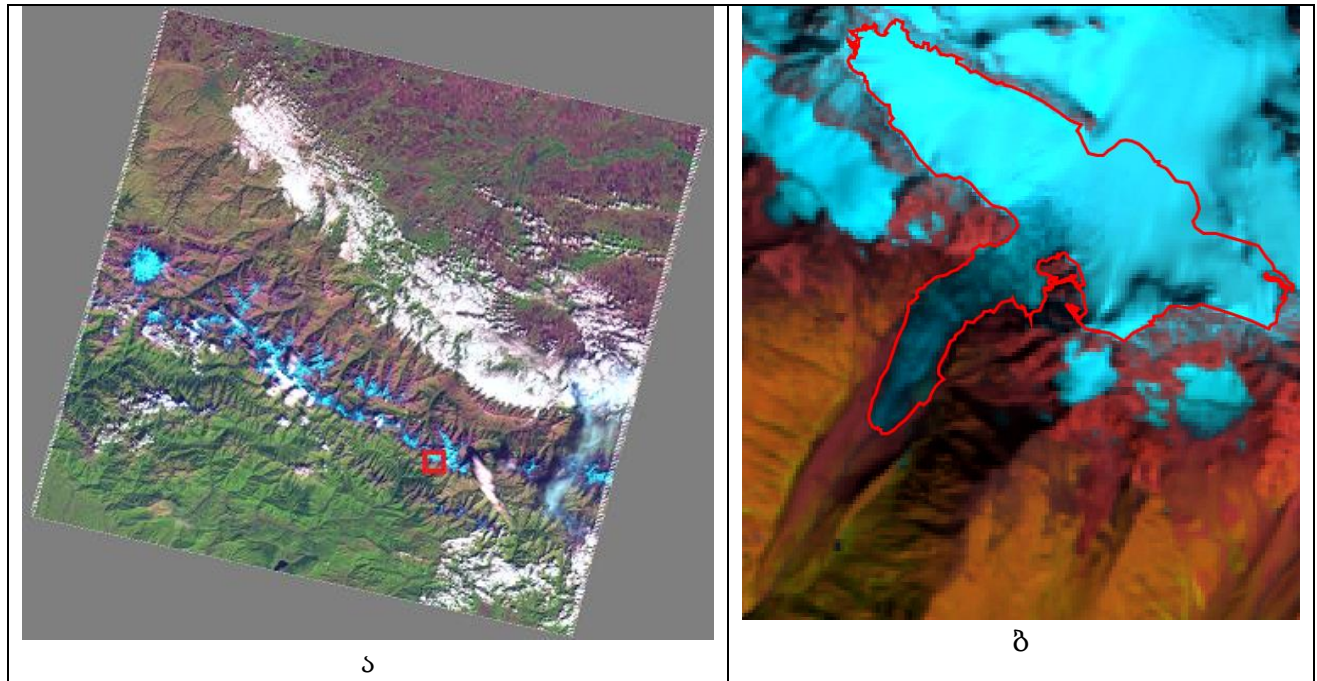
Earthexplorer-ის ინტერნეტ რესურსის ხელმისაწვდომი თანამგზავრული მონაცემებიდან მყინვარ ბოყოს უკანდახვევის შესწავლის მიზნით შევარჩიეთ 1977-2015 წლებში გადაღებული თანამგზავრული მონაცემების 22 სხვადასხვა ფაილი. ცხრილში 6.5 მოყვანილია ამ თანამგზავრული მონაცემების ცალკეული მახასიათებლები.

ცხრილი 6.5. მყინვარ ბოყოს უკანდახევის შესასწავლად შერჩეული 1977-2015 წლების თანამგზავრ Landsat-ით მიღებული მონაცემების ზოგიერთი მახასიათებელი

№	თარიღი	თანამგზავრული მონაცემების ფაილის სახელწოდება	თანამგზავრი	სენსორი	მონაცემების დამუშავების დონე	ღრუბლიანობა (%)
1	9/13/1977	LM21840301977256AAA03	Landsat 2	MSS	L1T	11
2	8/31/1986	LT51700301986243XXX03	Landsat 5	TM	L1T	0
3	9/10/1987	LT51710301987253RSA00	Landsat 5	TM	L1T	23.74
4	9/26/1987	LT51710301987269XXX02	Landsat 5	TM	L1T	0
5	9/23/1989	LT41710301989266AAA02	Landsat 4	TM	L1T	10
6	10/10/1998	LT51710301998283XXX01	Landsat 5	TM	L1T	0
7	8/18/1999	LE71710301999230EDC00	Landsat 7	ETM+	L1T	2.5
8	10/5/1999	LE71710301999278EDC00	Landsat 7	ETM+	L1T	24.5
9	9/5/2000	LE71710302000249SGS00	Landsat 7	ETM+	L1T	10.13
10	9/27/2002	LE71710302002270SGS00	Landsat 7	ETM+	L1T	4.76
11	9/16/2004	LE71710302004260ASN01	Landsat 7	ETM+	L1T	12.02
12	8/29/2006	LT51710302006241MOR00	Landsat 5	TM	L1T	0
13	10/08/2006	LE71710302006281ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	3.65
14	10/3/2007	LT51710302007276MOR00	Landsat 5	TM	L1T	10
15	8/26/2008	LE71710302008239EDC00	Landsat 7	ETM+	L1T	6.59
16	10/16/2009	LE71710302009289ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	0.78
17	9/1/2010	LE71710302010244ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	14.92
18	9/25/2010	LT51710302010268MOR00	Landsat 5	TM	L1T	19.21
19	9/20/2011	LE71710302011263ASN01	Landsat 7	ETM+	L1T	24.58
20	10/6/2014	LC81710302014279LGN00	Landsat 8	OLI-TIRS	L1T	64.55
21	10/14/2014	LE71710302014287SG100	Landsat 7	ETM+	L1T	22.11
22	9/7/2015	LC81710302015250LGN00	Landsat 8	OLI-TIRS	L1T	4.71

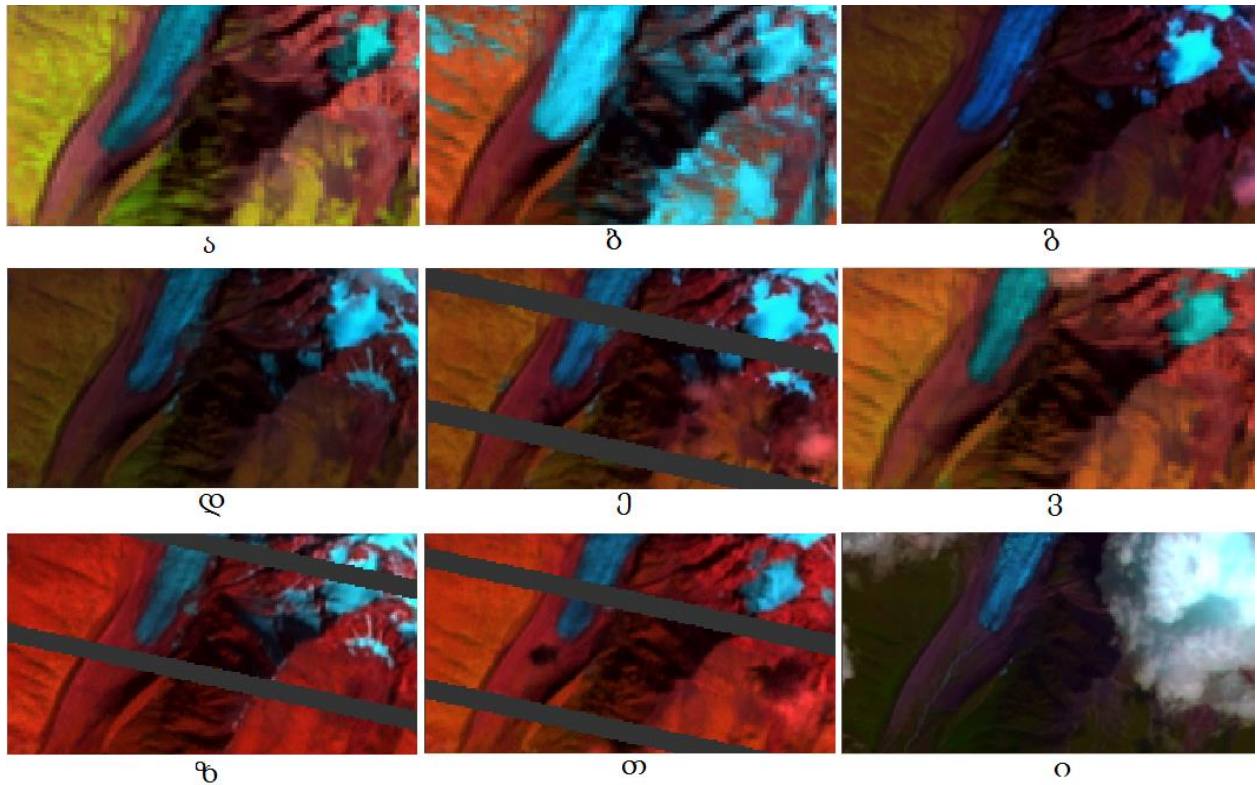
იმის გამო, რომ გვიანტერესებდა მხოლოდ მყინვარ ბოყოს ენის ბოლოს მდებარეობა, საკმაოდ მაღალი ღრუბლიანობის (64.55%) სურათიც სასარგებლო აღმოჩნდა.

ცხრილში მოყვანილ თანამგზავრული მონაცემებით მოცულ ტერიტორიაზე გარკვეულ წარმოდგენას გვიქმნის 6.7 სურათი, რომელზეც ნიმუშის სახით წარმოდგენილია 2010 წლის 1 სექტემბრით დათარიღებული, LE71710302010244ASN00 ფაილში მოცემული თანამგზავრული მონაცემების საშუალებით შედგენილი სურათი და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, რომელიც შემოფარგლულია ჩ.გ. 42.78 და ჩ.გ. 42.74 პარალელებითა და ა.გ. 42.78 და ა.გ. 42.74 მერიდიანებით. ეს რეგიონი ბოყოს მყინვარს მოიცავს. სურათზე იგი ნაჩვენებია წითელი კონტურით. ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი შედგენილია Landsat 7 ETM+ სენსორის V, VI და III არხების კომბინაციით.



სურ. 6.7. ა - 2010 წლის 1 სექტემბრით დათარიღებული, LE71710302010244ASN00 ფაილში მოცემული თანამგზავრული სურათი და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, ბ - თანამგზავრ Landsat 7 ETM+ სენსორის მონაცემებით შედგენილი მყინვარ ბოყოს ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი და კონტური

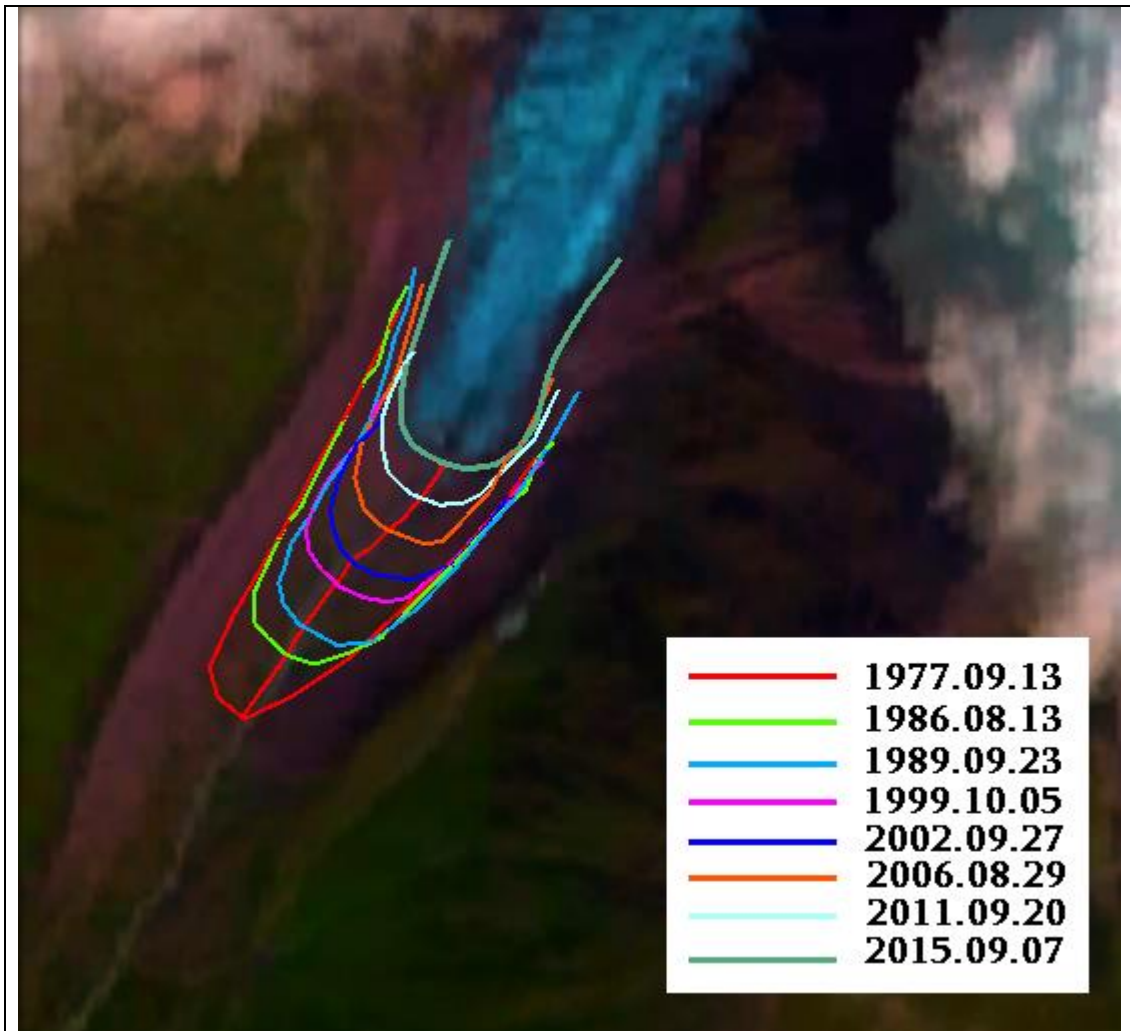
შემდეგ 6.8 სურათზე ნაჩვენებია მყინვარ ბოყოს უკანდახევის დინამიკა 1986-2015 წლებში.



სურ. 6.8. მყინვარ ბოყოს უკანდახევის დინამიკა. ა – 1986.08.31, Landsat 5, TM, ბ– 1998.10.10, Landsat 5, TM, გ– 2000.09.05, Landsat 7, ETM+, დ – 2002.09.27, Landsat 7, ETM+, ე – 2004.09.16, Landsat 7, ETM+, ვ – 2007.10.03, Landsat 5, TM, ზ – 2009.10.16, Landsat 7, ETM+, თ – 2011.09.20, Landsat 7, ETM+, ი – 2015.09.07, Landsat 8, OLI-TIRS

თითოეული თანამგზავრული სურათის მიხედვით დადგინდა ბოყოს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა, შედგა მონაცემთა ქრონოლოგიური რიგი და გამოთვლილ იქნა მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე.

სურათზე 6.9 ნაჩვენებია ბოყოს მყინვარის უკანდახევის სქემატური სურათი 2015 წლის 7 სექტემბრის Landsat 8 თანამგზავრული სურათის ფონზე. სხვადასხვა წელს მყინვარის მდგომარეობა სხვადასხვა ფერის კონტურით არის ნაჩვენები. კონტურების გადამკვეთი წითელი ტეხილი ხაზის საშუალებით შესაძლებელია მყინვარის უკანდახევის სიგრძის გამოთვლა. 1977 წლის 13 სექტემბრიდან 2015 წლის 7 სექტემბრამდე ამ მაჩვენებელმა მიახლოებით 613 მ შეადგინა.



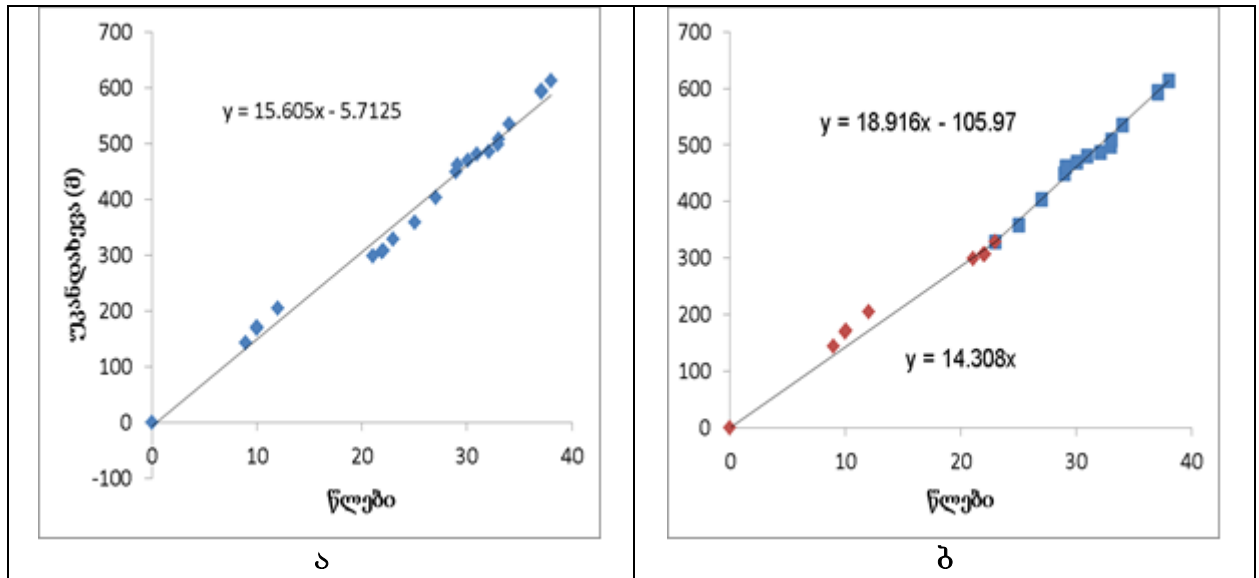
სურ. 6.9. ბოყოს მყინვარის 1977 წლიდან 2015 წლამდე უკანდახევის სქემატური სურათი 2015 წლის 7 სექტემბრის თანამგზავრული სურათის ფონზე.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 6.6 შეჯამებულია მყინვარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები. 1977 წლის თანამგზავრული სურათი მიჩნეულია საწყისად. ამდენად ბოყოს მყინვარის უკანდახევა აქედან აითვლება და შესაბამისი სიჩქარე 1977 წლიდან 2015 წლის პერიოდისთვის აითვლება.

ცხრილი 6.6. ბოყოს მყინვარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები

№	თარიღი	კოორდინატები		უკანდახევა წინა ნიშნულის მიმართ (მ)	ჯამური უკანდახევა (მ)
		განედი	გრძელი		
1	9/13/1977	42.747233	43.695778	0	0
2	8/31/1986	42.748262	43.696815	143	143
3	9/10/1987	42.748452	43.696962	25	168
4	9/26/1987	42.748477	43.696988	3	171
5	9/23/1989	42.748734	43.697210	34	205
6	10/10/1998	42.749407	43.697853	93	298
7	8/18/1999	42.749470	43.697927	8	306
8	10/5/1999	42.749479	43.697938	1	307
9	9/5/2000	42.749628	43.698107	22	329
10	9/27/2002	42.749862	43.698278	29	358
11	9/16/2004	42.750072	43.698735	45	403
12	8/29/2006	42.750353	43.699124	46	449
13	10/08/2006	42.750437	43.699260	13	462
14	10/3/2007	42.750485	43.699335	8	470
15	8/26/2008	42.750536	43.699426	10	480
16	10/16/2009	42.750574	43.699486	6	486
17	9/1/2010	42.750659	43.699593	12	498
18	9/25/2010	42.750723	43.699683	10	508
19	9/20/2011	42.750911	43.699904	35	535
20	10/6/2014	42.751324	43.700284	56	591
21	10/14/2014	42.751349	43.700312	4	595
22	9/7/2015	42.751493	43.700417	18	613

6.10 ა სურათზე წარმოდგენილია ბოყოს მყინვარის უკანდახევის ტრენდი 1977 წლიდან 2015 წლამდე (მთლიანი პერიოდი), ხოლო 6.10 ბ სურათზე 1977-2001 (I პერიოდი) და 2001-2015 წლებში (II პერიოდი).



სურ. 6.10. მყინვარ ბოყოს უკანდახევის ტრენდი: ა – მთლიანი პერიოდისათვის (1977-2015 წწ.) და ბ – I პერიოდისათვის (1977-2001 წწ.) და II პერიოდისათვის (2001-2015 წწ.)

სურათიდან 6.10 ა ჩანს, რომ 1977 წლიდან 2015 წლამდე ბოყოს მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **15.6** მ-ს წელიწადში, ხოლო 6.10 ბ სურათის მიხედვით 1977-2001წწ პერიოდში უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **14.3** მ-ს წელიწადში, ხოლო 2001-2015 წწ – **18.9** მ-ს წელიწადში.

მყინვარების უკანდახევის სიჩქარის განსაზღვრის მიზნით შევარჩიეთ, აგრეთვე დასავლეთ საქართველოს მყინვარი **ჰადიში**. არჩევანი განაპირობა იმ გარემოებამ, რომ მიუხედავად იმისა, ჰადიშის მყინვარის ბოლო დაფარულია ნაშალით, მულტისპექტრული სენსორებით, კერძოდ, თანამგზავრ Landsat-ის სენსორების საშუალებით მაინც არის შესაძლებელი მყინვარის უკანდახევის დაკვირვება.

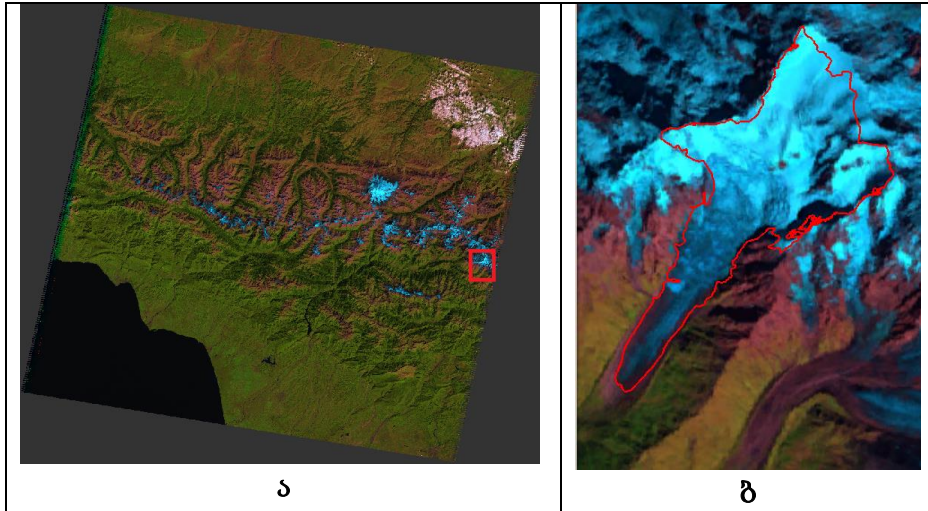
Earthexplorer-ის ინტერნეტ რესურსზე ხელმისაწვდომი თანამგზავრული მონაცემებიდან მყინვარ **ჰადიშის** უკანდახევის შესწავლის მიზნით შევარჩიეთ 1987-2016 წლებში გადაღებული, თანამგზავრული მონაცემების 17 სხვადასხვა ფაილი. ცხრილში (ცხრ. 6.7) მოყვანილია ამ თანამგზავრული მონაცემების ცალკეული მახასიათებლები.

ცხრილი 6.7. მყინვარ ჰადიშის უკანდახევის შესასწავლად შერჩეული 1987-2016 წლებში თანამგზავრ Landsat-ით მიღებული მონაცემების ზოგიერთი მახასიათებელი.

№	თარიღი	თანამგზავრული მონაცემების ფაილის სახელწოდება	თანამგზავრი	სენსორი	მონაცემების დამუშავების დონე	დრუბლიანობა (%)
1	9/01/1987	LT51720301987244XXX02	Landsat 5	TM	L1T	20
2	9/15/1998	LT51720301998258AAA01	Landsat 5	TM	L1T	0
3	8/18/1999	LE71710301999230EDC00	Landsat 7	ETM+	L1T	2
4	9/05/2000	LE71710302000249SGS00	Landsat 7	ETM+	L1T	10
5	9/27/2002	LE71710302002270SGS00	Landsat 7	ETM+	L1T	5
6	8/28/2003	LT51720302003240MTI01	Landsat 5	TM	L1T	0
7	8/15/2004	LE71710302004228ASN01	Landsat 7	ETM+	L1T	5
8	8/18/2005	LE71710302005230ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	18.00
9	10/8/2006	LE71710302006281ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	4
10	8/16/2007	LT51710302007228MOR00	Landsat 5	TM	L1T	20
11	8/29/2009	LE71710302009241ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	15
12	9/17/2010	LE71710302010260ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	14.00
13	9/19/2011	LT51720302011262MOR00	Landsat 5	TM	L1T	8.00
14	8/23/2013	LC81720302013325LGN00	Landsat 8	OLI -TIRS	L1T	0.99
15	8/26/2014	LC81720302014238LGN00	Landsat 8	OLI -TIRS	L1T	26.89
16	9/07/2015	LC81710302015250LGN00	Landsat 8	OLI- TIRS	L1T	4.71
17	8/24/2016	LC81710302016237LGN00	Landsat 8	OLI- TIRS	L1T	25.49

მონაცემების შერჩევისას, ისევე როგორც ზემოთ განხილული მყინვარებისათვის ვხელმძღვანელობდით უპირველეს ყოვლისა, თანამგზავრული მონაცემების მოპოვების დროით. მონაცემების მიღების თარიღი უნდა ყოფილიყო საქართველოს მყინვარების მაქსიმალური აბლაციის პერიოდის – აგვისტო-სექტემბერის. ყურადღებას ვაქცევდით აგრეთვე დრუბლიანობას, თუმცა, იმის გამო, რომ ჩვენ გვაინტერესებდა მხოლოდ მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა, საკმაოდ მაღალი დრუბლიანობის (26.89%) სურათიც სასარგებლო აღმოჩნდა.

ცხრილში მოყვანილი თანამგზავრული მონაცემებით მოცულ ტერიტორიაზე გარკვეულ წარმოდგენას გვიქმნის შემდეგი სურათი, რომელზეც ნიმუშის სახით წარმოდგენილია 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებული, LT51720302011262MOR00 ფაილში მოცემული თანამგზავრული მონაცემების საშუალებით შედგენილი სურათი, და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, რომელიც შემოფარგლულია 43.05 და 42.97 პარალელებითა და 42.96 და 43.03 მერიდიანებით. ეს რეგიონი ჰადიშის მყინვარს მოიცავს. 6.11 სურათზე იგი ნაჩვენებია წითელი კონტურით.

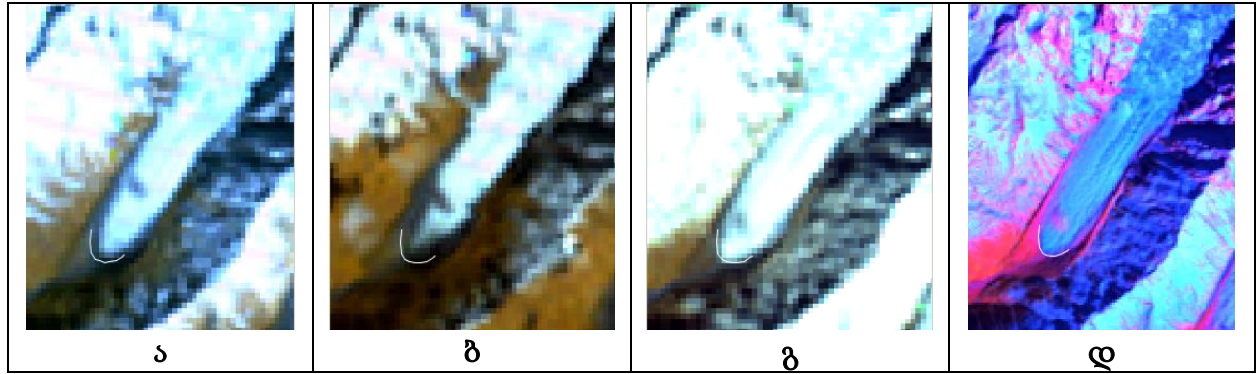


სურ. 6.11. ა – 2011 წლის 19 სექტემბრით დათარიღებული, LT51720302011262MOR00 ფაილში მოცემული თანამგზავრული სურათი და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, ბ – თანამგზავრ Landsat 5 TM სენსორის მონაცემებით შედგენილი მყინვარ ჰადიშის ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი და კონტური.

2011 წლის 19 სექტემბრის ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი შედგენილია Landsat 5 TM სენსორის V (წითელი), IV (მწვანე) და III (ლურჯი) არხების კომბინაციით. Landsat 5 აღჭურვილია ე.წ. TM სენსორით, რომელიც დედამიწის ზედაპირს 7 სხვადასხვა სპექტრალურ არხის საშუალებით იკვლევს.

1976-1986 წლებში მყინვარ ჰადიშისათვის ხელმისაწვდომი იყო მხოლოდ Landsat 2, 3, 4, 5-ის სენსორ MMS-ის თანამგზავრული მონაცემები. ამ სენსორის სივრცითი გარჩევითობა არაუმეტეს 60 მ-ია და როგორც 5.2 სურათიდან ჩანს, იგი საკმარისი არ აღმოჩნდა აღნიშნულ პერიოდში მყინვარის უკანდახევაზე დაკვირვებისათვის. ყოველ შემთხვევაში MSS სენსორის სურათები მყინვარის სივრცის ცვალებადობის საიმედოდ იდენტიფიცირების საშუალებას არ იძლევა.

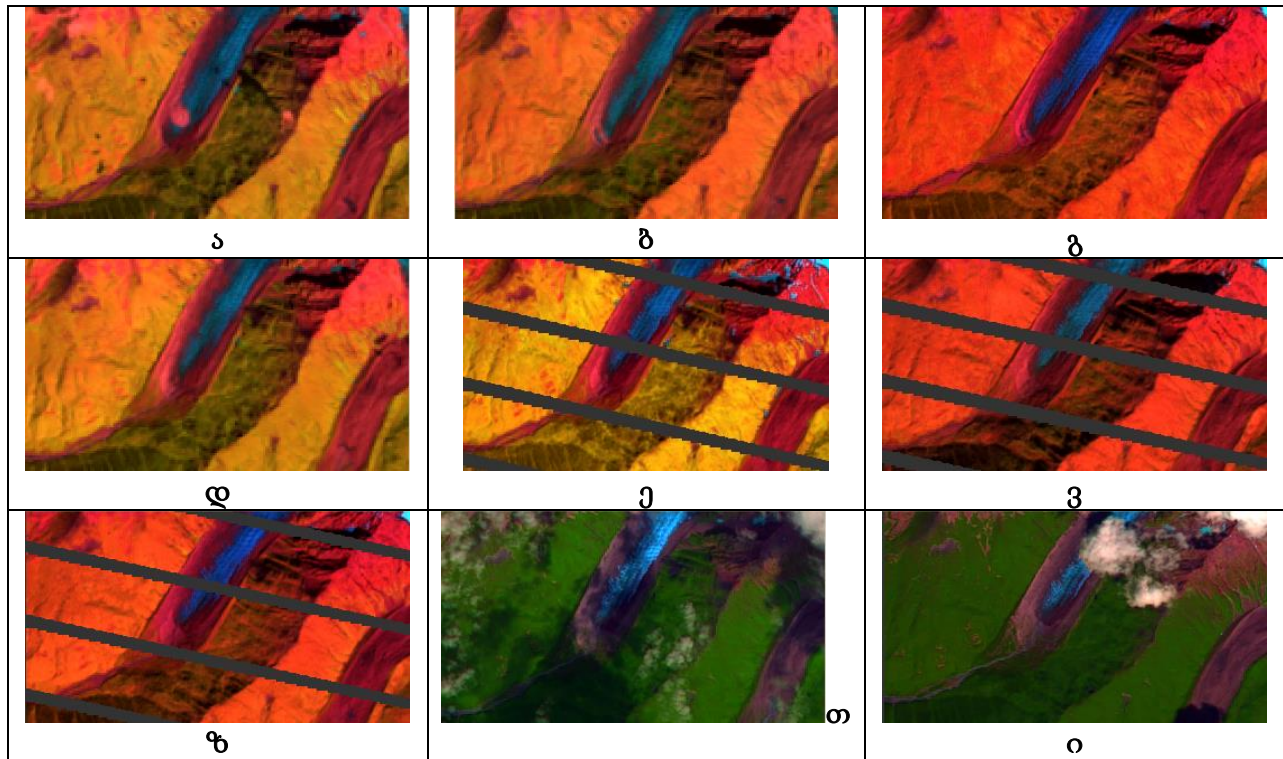
6.12 სურათზე ერთმანეთს არის შედარებული 1976, 1980 და 1986 წლის თანამგზავრული სურათები, გადაღებული MSS (Landsat 2, Landsat 3, Landsat 5) და TM (Landsat 5) სენსორების მიერ. ამასთან, ა, ბ და გ სურათები გადაღებულია MSS სენსორის, ხოლო დ–TM სენსორის მიერ. ამასთან გ და დ სურათების შემთხვევაში MSS და TM სენსორები ერთ თანამგზავრზე, Landsat 5-ზე იყო დამონტაჟებული. MSS სენსორის სივრცითი გარჩევადობაა 60 მ, ხოლო TM სენსორის – 30 მ. ოთხივე სურათზე შედარებისათვის დატანილია Landsat 5 TM სენსორის 1986 წლის 9 ოქტომბრის თანამგზავრული სურათის მიხედვით დაზუსტებული მყინვარის ენის ბოლოს შესაბამისი კონტური. როგორც სურათიდან ჩანს, MSS სენსორის სივრცითი გარჩევითობა მყინვარის ენის მდებარეობის საიმედოდ იდენტიფიცირების საშუალებას არ იძლევა.



სურ. 6.12. ჰადიშის მყინვარის ენის ბოლო თანამგზავრ 1976 წლის 6 ოქტომბრის Landsat 2 MSS, 1980 25 სექტემბრის Landsat 3 MSS, 1986 წლის 9 ოქტომბრის Landsat 5 MSS და TM სენსორების თანამგზავრული სურათების მიხედვით, რომლებზეც შედარებისათვის დატანილია ანდსატ 5 TM სენსორის 1986 წლის 9 ოქტომბრის თანამგზავრული სურათის მიხედვით დაზუსტებული მყინვარის ენის ბოლოს შესაბამისი კონტური.

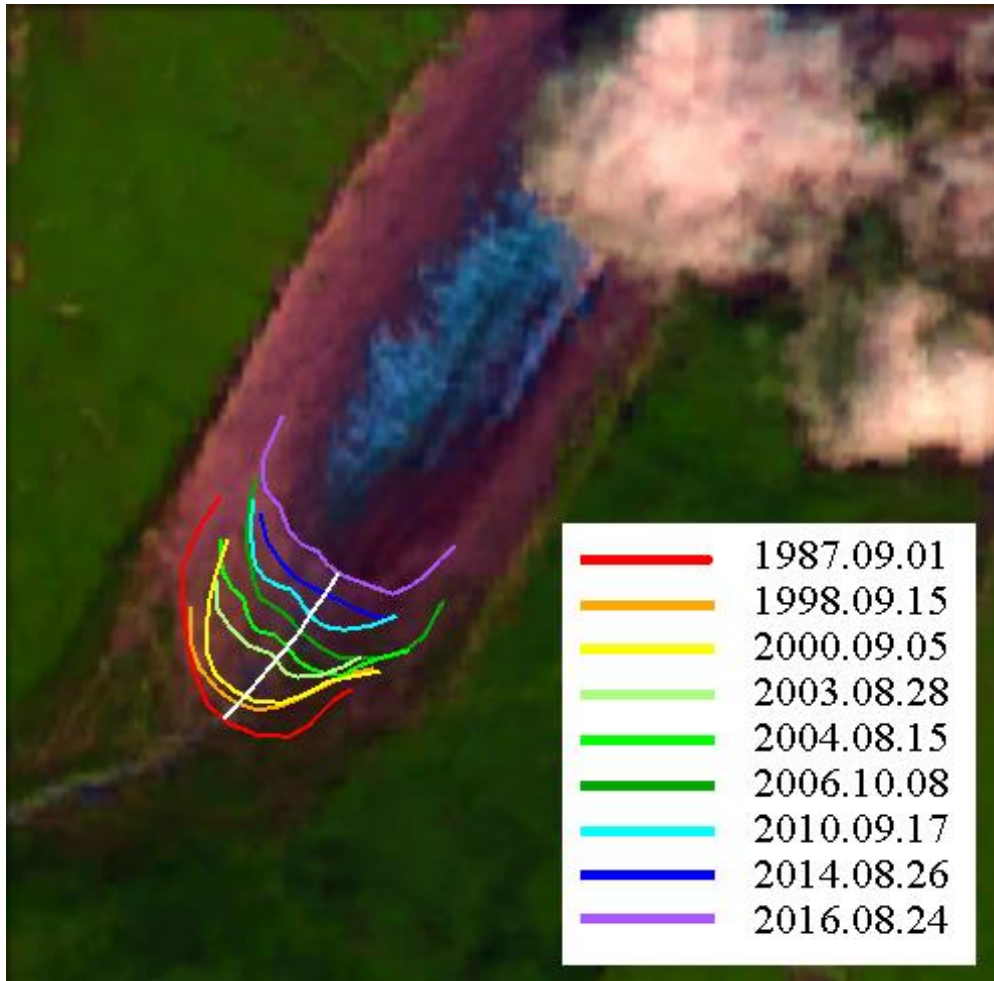
ზემოთქმულიდან გამომდინარე მიზანშეწონილად მივიჩნით ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის შესწავლის მიზნით გვესარგებლა მხოლოდ უფრო მაღალი სივრცითი გარჩევითობის მონაცემებით, კერძოდ, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ და Landsat 8 OLI-TIRS სენსორების მონაცემებით. თანამგზავრული სურათების საშუალებით მყინვარის ბოლოს მდებარეობის განსაზღვრის შემდეგ შესაძლებელია მყინვარის უკანდახევის ქრონოლოგიური რიგის შედგენა და უკანდახევის საშუალო სიჩქარის განსაზღვრა.

შემდეგ სურათზე (სურ. 6.13) ნაჩვენებია თანამგზავრული სურათების ნაწილი, რომლებიც წარმოგვიდგენენ მყინვარ ჰადიშის უკანდახევის დინამიკას 1987-2016 წლების ინტერვალში.



სურ. 6.13. მყინვარ ჰაღიშის უკანდახევის დინამიკა. ა – 1987.09.01, Landsat 5 TM, ბ – 1998.09.15, Landsat 5 TM, გ – 2000.09.05, Landsat 7 ETM+, დ – 2003.08.28, Landsat 5 TM, ე – 2004.08.15, Landsat 7 ETM+, ვ – 2006.10.08, Landsat 7ETM+, ზ – 2010.0.9.17, Landsat 7 ETM+, თ – 2014.09.20, Landsat 8 OLI-TIRS , ი – 2016.08.24, Landsat 8 OLI-TIRS.

სურათზე 6.14, 2016 წლის 24 აგვისტოს Landsat 8 თანამგზავრული სურათის ფონზე, ნაჩვენებია ჰაღიშის მყინვარის უკანდახევის სქემატური სურათი. სხვადასხვა წელს მყინვარის მდებარეობა სხვადასხვა ფერის კონტურით არის ნაჩვენები (17 მდებარეობიდან ნაჩვენებია 9, რათა სურათი არ გადაიტვირთოს). კონტურების გადამკვეთი თეთრი ხაზის საშუალებით შესაძლებელია მყინვარის უკანდახევის სიგრძის გამოთვლა. 1987 წლის 1 სექტემბრიდან 2016 წლის 24 აგვისტომდე ამ მანძილზე მიახლოებით 437.48 მ შეადგინა.



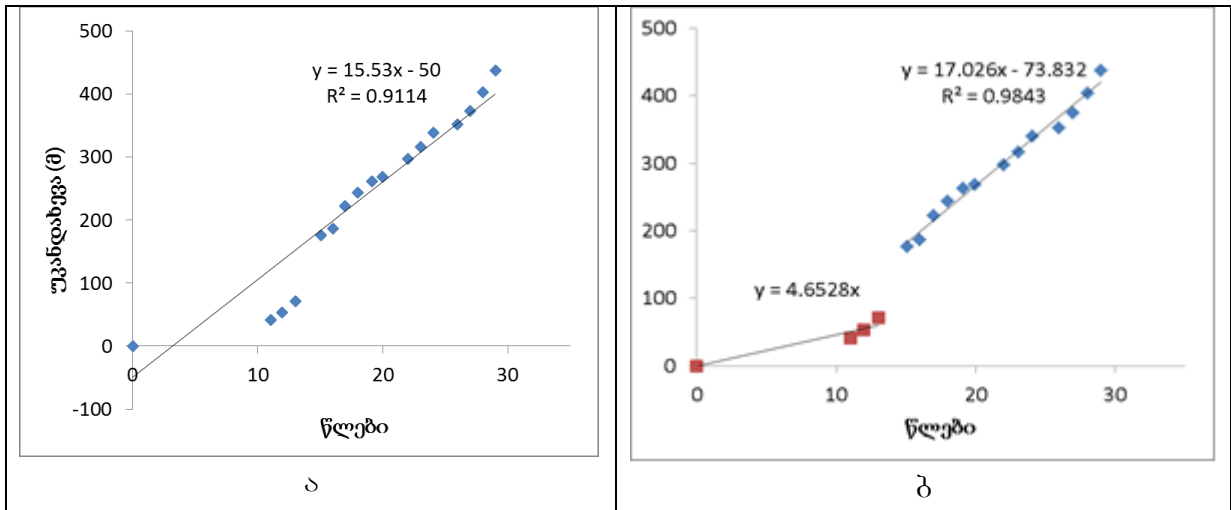
სურ. 6.14. ჰადიშის მყინვარის 1987 წლიდან 2016 წლამდე უკანდახევის სქემატური სურათი 2016 წლის 24 აგვისტოს Landsat 8 თანამგზავრული სურათის ფონზე.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (ცხრ. 6.8) შეჯამებულია მყინვარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები. 1987 წლის თანამგზავრული სურათი მიჩნეულია საწყისად. ამდენად ჰადიშის მყინვარის უკანდახევა აქედან აითვლება და შესაბამისი სიჩქარე 1987 წლიდან 2016 წლის პერიოდისთვის აითვლება.

ცხრილი 6.8. ჰადიშის მცინგარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მცინგარის ენის ბოლოს მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები.

№	თარიღი	კოორდინატები		უკანდახევა წინა ნიშნულის მიმართ (მ)	ჯამური უკანდახევა (მ)
		განედი	გრძელი		
1	9/1/1987	42.747233	43.695778	0	0
2	9/15/1998	42.748262	43.696815	41.5	41.5
3	8/18/1999	42.748452	43.696962	12	53.5
4	9/5/2000	42.748477	43.696988	17.5	71
5	9/27/2002	42.748734	43.697210	105	176
6	8/28/2003	42.990546	42.986400	10.9	186.9
7	8/15/2004	42.749407	43.697853	35.7	222.6
8	8/18/2005	42.749470	43.697927	21.4	244
9	10/8/2006	42.749479	43.697938	18.2	262.2
10	8/16/2007	42.749628	43.698107	6.28	268.48
11	8/29/2009	42.749862	43.698278	28.5	296.98
12	9/17/2010	42.750072	43.698735	19.6	316.58
13	9/19/2011	42.991630	42.987524	22.6	339.18
14	8/23/2013	42.750353	43.699124	13.3	352.48
15	8/26/2014	42.750437	43.699260	21.5	373.98
16	9/7/2015	42.750485	43.699335	29.5	403.48
17	8/24/2016	42.750536	43.699426	34	437.48

6.15 ა სურათზე ნაჩვენებია მცინგარის უკანდახევის ტრენდი 1987 წლიდან 2016 წლამდე (მთლიანი პერიოდი), ხოლო 6.15 ბ სურათზე 1987-2000 (I პერიოდი) და 2002-2016 წლებში (II პერიოდი).



სურ. 6.15. მყინვარ ჰადიშის უკანდახევის ტრენდი: ა – მთლიანი პერიოდისათვის (1987-2016 წწ.) და ბ – I პერიოდისათვის (1987-2000 წწ.) და II პერიოდისათვის (2002-2016 წწ.)

სურათიდან 6.15 ა ჩანს, რომ 1987 წლიდან 2016 წლამდე ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე შეადგენს **15.5** მ-ს წელიწადში, ხოლო 6.15 ბ სურათის მიხედვით 1987-2000 წლებში (I პერიოდი) მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგინს **4.7** მ-ს წელიწადში, ხოლო 2002-2016 წლებში (II პერიოდი) უკანდახევის საშუალო სიჩქარეა **17** მ-ს წელიწადში.

ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია, კერძოდ, II პერიოდში სიჩქარე საგრძნობლად გაზრდილია I პერიოდთან შედარებით.

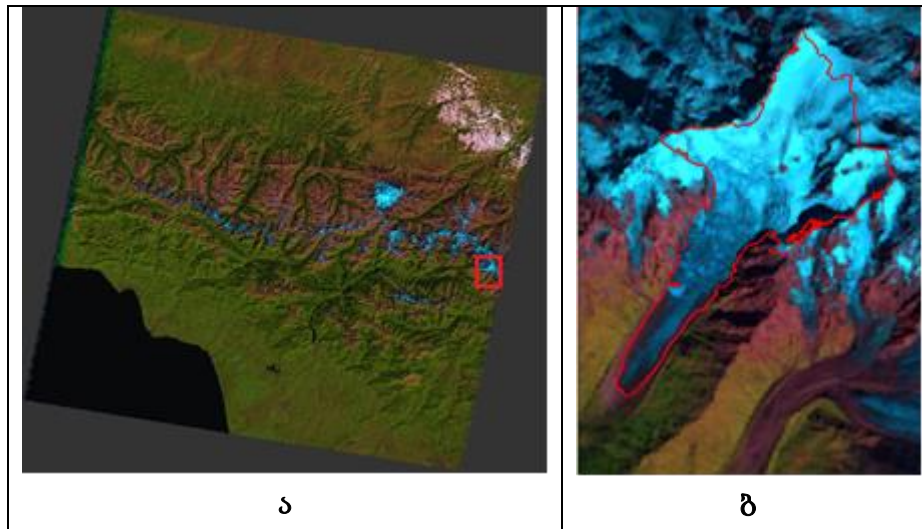
მყინვარ ქვიშის უკანდახევის შესწავლის მიზნით ვისარგებლეთ Earthexplorer-ის [37] ინტერნეტ რესურსზე ხელმისაწვდომი თანამგზავრ Landsat-ის მონაცემებით. მყინვარ ქვიშისათვის შევარჩიეთ 1987-2016 წლებში გადაღებული თანამგზავრული მონაცემების 9 სხვადასხვა ფაილი. 6.9 ცხრილში მოყვანილია ამ თანამგზავრული მონაცემების ცალკეული მახასიათებლები.

ცხრილი 6.9. მყინვარ ქვიშის უკანდახევის შესასწავლად შერჩეული 1987-2016 წლებში თანამგზავრ Landsat-ით მიღებული მონაცემების ზოგიერთი მახასიათებელი

№	თარიღი	თანამგზავრული მონაცემების ფაილის სახელწოდება	თანამგზავრი	სენსორი	მონაცემების დამუშავების დონე	დრუბლიანობა (%)
1	9/10/1987	LT51710301987253RSA00	Landsat 5	TM	L1T	24.00
2	9/15/1998	LT51720301998258AAA01	Landsat 5	TM	L1T	0.00
3	8/20/2000	LE71710302000233NSG00	Landsat 7	ETM+	L1T	29.00
4	9/27/2002	LE71710302002270SGS00	Landsat 7	ETM+	L1T	5.00
5	8/18/2005	LE71710302005230ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	18.00
6	10/4/2008	LE71720302008278ASN00	Landsat 7	ETM+	L1T	4.00
7	9/20/2011	LE71710302011263ASN01	Landsat 7	ETM+	L1T	25.00
8	8/15/2013	LE71720302013227PFS00	Landsat 7	ETM+	L1T	16.00
9	9/9/2016	LC81710302016253LGN00	Landsat 8	OLI-TIRS	L1T	4.35

ისევე როგორც ზემოთგანხილული მყინვარებისათვის, ქვიშის მყინვარის მონაცემების შერჩევას ვხელმძღვანელობდით უპირველეს ყოვლისა, თანამგზავრული მონაცემების მოპოვების დროით. ყურადღებას ვაქცევდით აგრეთვე დრუბლიანობას, თუმცა, იმის გამო, რომ ჩვენ გვანტერესებდა მხოლოდ მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა, საკმაოდ მაღალი დრუბლიანობის სურათებიც (29.0%) სასარგებლო აღმოჩნდა.

ცხრილში მოყვანილი თანამგზავრული მონაცემების მიერ მოცულ ტერიტორიაზე გარკვეულ წარმოდგენას გვიქმნის 6.16 სურათი, რომელზეც ნიშნის სახით წარმოდგენილია 2016 წლის 9 სექტემბრით დათარიღებული, LC81710302016253LGN00 ფაილში მოცემული თანამგზავრული მონაცემების საშუალებით შედგენილი სურათი, და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, რომელიც შემოფარგლულია 42.43 და 43.23 პარალელებითა და 42.58 და 43.19 მერიდიანებით. ეს რეგიონი ქვიშის მყინვარს მოიცავს. სურათზე იგი ნახევნებია წითელი კონტურით.

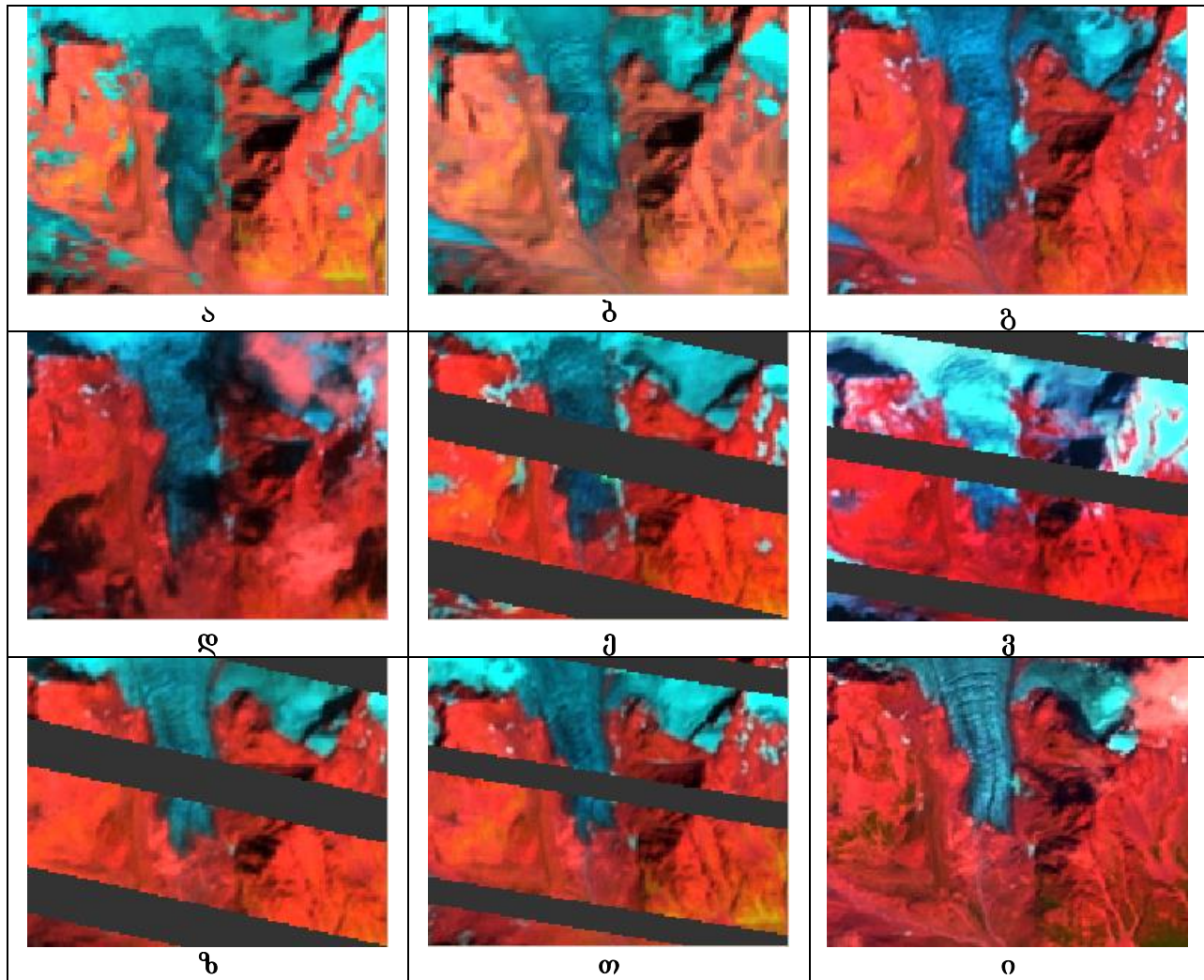


სურ. 6.16. ა - 2016 წლის 9 სექტემბრით დათარიღებული, LC81710302016253LGN00 ფაილში მოცემული თანამგზავრული სურათი და ამ სურათით განსაზღვრული კვლევის რეგიონი, ბ - თანამგზავრ Landsat 8 OLI TIRS სენსორის მონაცემებით შედგენილი მყინვარ ქვიშის ფსევდოფერადი თანამგზავრული სურათი და კონტური.

1976-1986 წლებში მყინვარ ქვიშისათვის ხელმისაწვდომი იყო მხოლოდ Landsat 2, 3, 4, 5-ის სენსორ MMS-ის თანამგზავრული მონაცემები. ამ სენსორის სივრცითი გარჩევადობა არაუმეტეს 60 მ-ია და იგი საკმარისი არ აღმოჩნდა აღნიშნულ პერიოდში მყინვარის უკანდახევაზე დაკვირვებისათვის. ყოველ შემთხვევაში MSS სენსორის სურათები მყინვარის სივრცის ცვალებადობის საიმედოდ იდენტიფიცირების საშუალებას არ იძლევა. გარდა ამისა, 1984-87 წლების თანამგზავრულ სურათებზე ქვიშის მყინვარის რეგიონი ღრუბლებით იყო დაფარული.

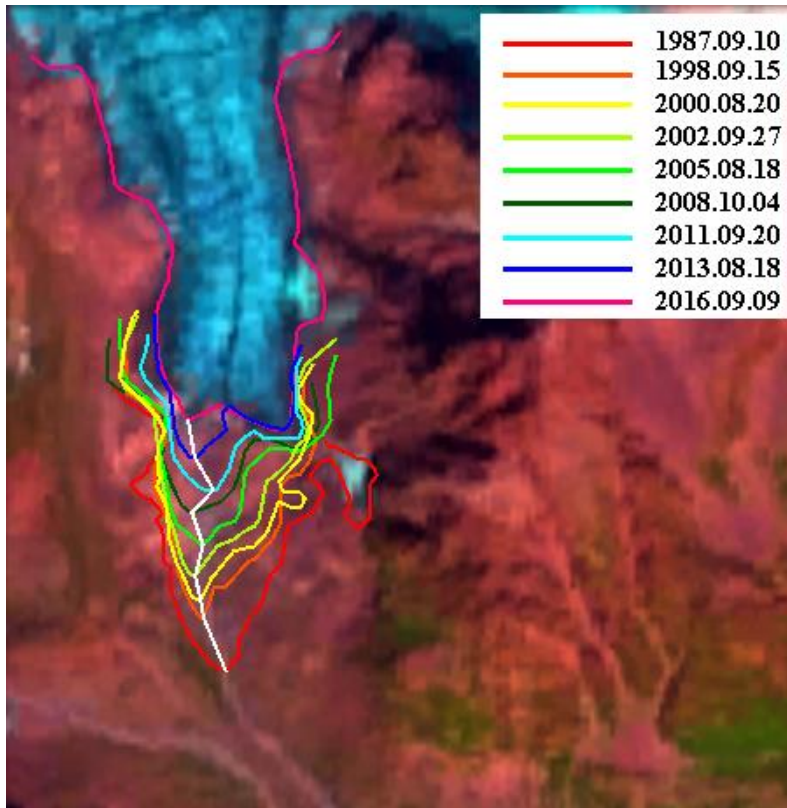
ზემოთქმულიდან გამომდინარე მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ ქვიშის მყინვარის უკანდახევის შესწავლის მიზნით გვესარგებლა მხოლოდ უფრო მაღალი სივრცითი გარჩევადობა მონაცემებით, კერძოდ, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ და Landsat 8 OLI-TIRS სენსორების მონაცემებით. თანამგზავრული სურათების საშუალებით მყინვარის ბოლოს მდებარეობის განსაზღვრის შემდეგ შესაძლებელია მყინვარის უკანდახევის ქრონოლოგიური რიგის შედგენა და უკანდახევის საშუალო სიჩქარის განსაზღვრა.

სურათზე 6.17 ნაჩვენებია თანამგზავრული სურათები, რომლებიც წარმოგვიდგენენ მყინვარ ქვიშის უკანდახევის დინამიკას 1987-2016 წლების ინტერვალში.



სურ. 6.17. მყინვარ ქვიშის უკანდახევის დინამიკა. ა – 1987.09.10, Landsat 5 TM, ბ – 1998.09.15, Landsat 5 TM, გ – 2000.08.20, Landsat 7 ETM+, დ – 2002.09.27, Landsat 7 ETM+, ე – 2005.08.18, Landsat 7 ETM+, ვ – 2008.10.04, Landsat 7 ETM+, ზ – 2011.0.9.20, Landsat 7 ETM+, თ – 2013.08.15, Landsat 7 ETM+, ი – 2016.09.09, Landsat 8 OLI TIRS

6.18 სურათზე, 2016 წლის 9 სექტემბის Landsat 8 თანამგზავრული სურათის ფონზე ნაჩვენებია ქვიშის მყინვარის უკანდახევის სქემატური სურათი. სხვადასხვა წელს მყინვარის მდგომარეობა სხვადასხვა ფერის კონტურით არის ნაჩვენები. კონტურების გადამკვეთი თეთრი ხაზის საშუალებით შესაძლებელია მყინვარის უკანდახევის სიგრძის გამოთვლა. 1987 წლის 10 სექტემბრიდან 2016 წლის 9 სექტემბრამდე ამ მაჩვენებელმა მიახლოებით 639 მ შეადგინა.



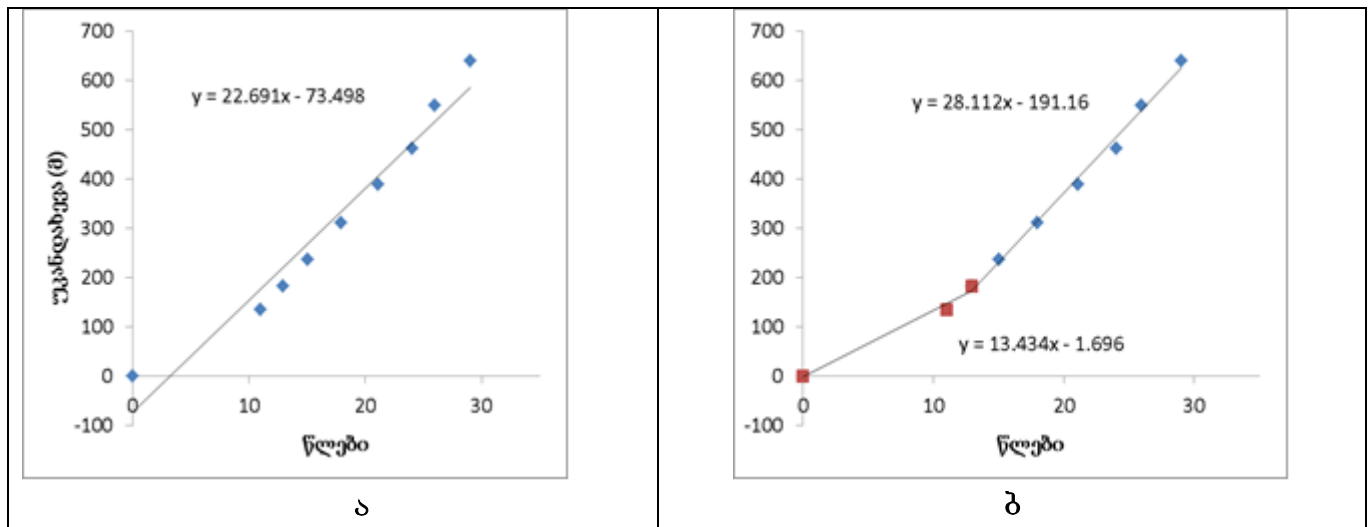
სურ. 6.18. ქვიშის მყინვარის 1987 წლიდან 2016 წლამდე უკანდახევის სქემატური სურათი 2016 წლის 9 სექტემბრის Landsat 8 OLI-TIRS თანამგზავრული სურათის ფონზე.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (ცხრ. 6.10) შეჯამებულია მყინვარის უკანდახევის ტენდენსა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები. 1987 წლის თანამგზავრული სურათი მიჩნეულია საწყისად. ამდენად ქვიშის მყინვარის უკანდახევა აქედან აითვლება და შესაბამისი სიჩქარე 1987 წლიდან 2016 წლის პერიოდისთვის აითვლება.

ცხრილი 6.10. ქვიშის მყინვარის უკანდახევის ტეხილისა და სხვადასხვა წელს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების მახასიათებლები

№	თარიღი	კოორდინატები		უკანდახევა წინა ნიშნულის მიმართ (მ)	ჯამური უკანდახევა (მ)
		განედი	გრძელი		
1	10.09.1987	43.145368°	42.497152°	0	0
2	15.09.1998	43.146502°	42.496455°	135	135
3	20.08.2000	43.146889°	42.496411°	47	182
4	27.09.2002	43.147404°	42.496271°	55	237
5	18.08.2005	43.148023°	42.496410°	74	311
6	04.10.2008	43.148701°	42.496195°	78	389
7	20.09.2011	43.149138°	42.496779°	72	461
8	18.08.2013	43.149878°	42.496254°	88	549
9	09.09.2016	43.150639°	42.496039°	90	639

სურათ 6.22 ა-ზე ნაჩვენებია მყინვარის უკანდახევის ტრენდი 1987 წლიდან 2016 წლამდე (მთლიანი პერიოდი), ხოლო 6.22 ბ-ზე 1987-2000 (I პერიოდი) და 2000-2016 წლებში (II პერიოდი).



სურ. 6.19. ქვიშის მყინვარის უკანდახევის ტრენდი. ა – 1987-2000 წწ (I პერიოდი) და ბ – 2000-2016 წწ (II პერიოდი).

როგორც 6.22 ა სურათიდან ჩანს, 1987 წლიდან 2016 წლამდე ქვიშის მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე შეადგენს **22.7** მ-ს წელიწადში, ხოლო 6.22 ბ სურათის მიხედვით 1987-2000 წლებში (I პერიოდი) უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **13.4** მ-ს წელიწადში, ხოლო 2000-2016 წლებში (II პერიოდი) უკანდახევის საშუალო სიჩქარეა **28.1** მ-ს წელიწადში.

მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების უკეთ გაგებისათვის დაკვირვების მთლიანი პერიოდი ორად გაეყავით. ქვიშის მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია, კერძოდ, II პერიოდში სიჩქარე საგრძნობლად გაზრდილია I პერიოდთან შედარებით.

ზემოთ წარმოდგენილი იყო:

- **გერგეტის** მყინვარის უკანდახევის ტრენდი (სურ. 6.6), რომლის მიხედვით მთლიანი პერიოდისათვის (1977-2015 წწ) მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს მიახლოებით **19.7** მ-ს წელიწადში, ხოლო I პერიოდში (1977-2001 წწ) – **15.1** მ-ს წელიწადში და II პერიოდში (2001-2015 წწ) – **26.7** მ-ს წელიწადში;
- **ბოყოს** მყინვარის უკანდახევის ტრენდი (სურ. 6.10), რომლის მიხედვით მთლიანი პერიოდისათვის (1977-2015 წწ) უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **15.6** მ-ს წელიწადში, ხოლო I პერიოდში (1977-2001 წწ) – **14.3** მ-ს წელიწადში და II პერიოდში (2001-2015 წწ) – **18.9** მ-ს წელიწადში;
- **ჰადიშის** მყინვარის უკანდახევის ტრენდი (სურ. 6.15), რომლის მიხედვით მთლიანი პერიოდისათვის (1987-2016 წწ) უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **15.5** მ-ს წელიწადში, ხოლო I პერიოდში (1987-2000 წწ) – **4.7** მ-ს წელიწადში და II პერიოდში (2001-2016 წწ) – **17.0** მ-ს წელიწადში;
- აგრეთვე, **ქვიშის** მყინვარის უკანდახევის ტრენდი (სურ. 6.22), რომლის მიხედვით მთლიანი პერიოდისათვის (1987-2016 წწ) უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **22.7** მ-ს წელიწადში, ხოლო I პერიოდში (1987-2000 წწ) – **13.4** მ-ს წელიწადში და II პერიოდში (2000-2016 წწ) – **28.1** მ-ს წელიწადში.

ამგვარად, ზემოთ განხილული ყველა მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია, კერძოდ, II პერიოდში სიჩქარე საგრძნობლად გაზრდილია I პერიოდთან შედარებით, რაც თვალნათლივ მიუთითებს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების შემაშფოთებელ ტენდენციაზე. კერძოდ დათბობის ზრდის არაწრფივ ხასიათზე.

თაზო 7. შედეგების ვიზუალიზაცია, ვალიდაცია და ანალიზი

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების ვალიდაციისათვის ვისარგებლეთ:

- მყინვარების კატალოგის ძირითადი ცხრილების მონაცემებით;
- მყინვარების კატალოგის მდინარეთა აუზების მიხედვით მყინვარების განლაგების სქემებით;
- საკვლევი რეგიონის ირგვლივ **საექსპერტო ცოდნით**;
- მყინვარების კონტურების 60-იანი წლების საბჭოთა კავშირის დროინდელი **ტოპოგრაფიული რუკებით (1:50000)**, რომლებიც თავის დროზე გამოყენებული იყო მყინვარების კატალოგის შექმნისას. ტოპოგრაფიული რუკებით ვისარგებლეთ მყინვარების **იდენტიფიკაციისას** და **შედგების ანალიზისათვის**.

თანამგზავრული მონაცემების დამუშავებისა და ვიზუალიზაციისათვის გამოვიყენეთ:

- **GIS სისტემები:** Google Earth, BEAM Visat SAGA-GIS და Quantum GIS Lisboa;
- ASTER სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით მოვახდინეთ მყინვარების 3D ვიზუალიზაცია;
- თანამგზავრული სურათის **3D ვიზუალიზაციის გამოყენებით რელიეფის ანალიზით** დავაზუსტეთ მყინვარის მდებარეობა მდინარეთა აუზების მიხედვით, რიგ შემთხვევაში დავაზუსტეთ აგრეთვე მყინვარის მახასიათებლები: მყინვარის ფართობი, მაქსიმალური სიგრძე, ქვედა და ზედა საზღვრის მდებარეობა;
- ASTER სენსორის რელიეფის ციფრული მოდელის საშუალებით გენერირებული 5 ან 10 მ-ის ბიჯით გავლებული იზონახების საფუძველზე რიგ შემთხვევაში დავაზუსტეთ მყინვარებს შორის საზღვარი.

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების ანალიზის შედეგად დავადგინეთ, რომ:

- თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენება **მიწისპირა დაკვირვებების** მონაცემებთან ერთად საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მყინვარების დაზუსტებული მახასიათებლები;
 - შესასწავლი მყინვარების კონტურების შედარება **ტოპოგრაფიულ რუკაზე** ასახულ მყინვარების კონტურებთან ერთის მხრივ იძლევა კონტურების ვალიდაციის საშუალებას და მეორეს მხრივ ვიზუალურად გვიჩვენებს, თუ რამდენად შეცვლილია ცალკეული მყინვარი;
 - შესასწავლილი მყინვარების თანამგზავრული სურათების საშუალებით ვიზუალიზაციის სურათების შედარებამ ტოპოგრაფიულ რუკებთან თვალნათლივ გვიჩვენებს, რომ
- ა) ტოპოგრაფიულ რუკა, რიგ შემთხვევებში გვიდასტურებს იმ მყინვარების და თოვლნარების არსებობას, რომლებიც თანამგზავრულ სურათზე არიან ასახული, მაგრამ არ არიან დატანილი საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგის სქემებზე;

- ბ) მყინვარები, რომლებიც თანამგზავრულ სურათებზე დეშიფრირდებიან მნიშვნელოვნად არიან შეცვლილნი;
- გ) რიგი მცირე მყინვარებისა, რომლებიც ტოპოგრაფიულ რუკებზე დატანილი აღარ არსებობენ.
- დ) თღზ-ით მიღებული საქართველოს მყინვარების კონტურების შედარებამ ტოპოგრაფიულ რუკებზე ასახულ მყინვარების კონტურებთან საშუალება მოგვცა გამოგვეტანა მნიშვნელოვანი დასკვნა, რომ დაახლოებით ბოლო 50 წლის განმავლობაში საქართველოს ყველა მყინვარის ფართობი შემცირდა.

მყინვარების შესწავლისას თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლისათვის (OA/OC) გამოყენებულია:

- თღზ-ის მონაცემების შეჯერება საველე კვლევების მიწისპირა მონაცემებთან;
 - თღზ-ის მონაცემების შეჯერება აერო-ფოტო გადაღებების მასალებთან;
 - საექსპერტო ცოდნა თანამგზავრული მონაცემების დასახუსტებლად, რაც უადრესად მნიშვნელოვანია.
- ყოველივე საშუალებას იძლევა :
- დაზუსტდეს მყინვარების კონტურები;
 - განისაზღვროს მყინვარ(ებ)ის უკანდახევის დინამიკა და ტენდენცია;
 - დადგინდეს მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობა.

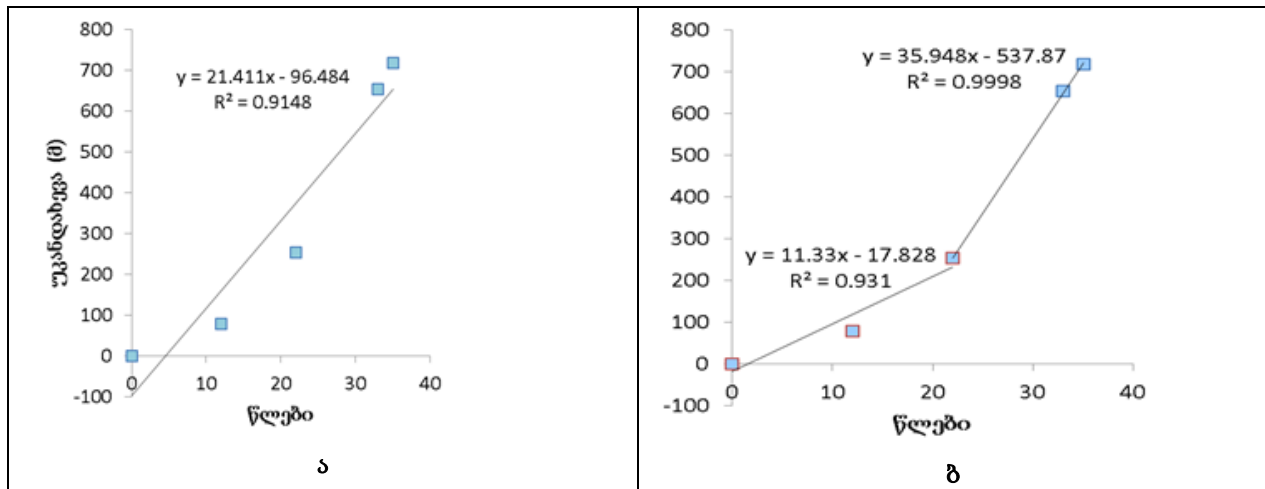
მყინვარების კვლევისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მყინვარის ენის ბოლოს ზუსტი განსაზღვრა, რადგან მახასიათებლების (კერძოდ, მყინვარის სიგრძის, მინიმალური სიმაღლის, უკანდახევის მანძილის და სხვა) დადგენა სწორედ ამ ათვლის წერტილიდან ხდება. ექსპერტული ცოდნის გამოყენება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როდესაც მყინვარის ენა მორენებით და/ან ნაშალი მასალითაა დაფარული.

თღზ-ის მონაცემებით მყინვარის უკანდახევის დინამიკის და ტენდენციის განსაზღვრისას ჩატარდა შედარება საველე ექსპედიციების მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემებთან.

გერგეტის მყინვარის თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის და შეფასების კონტროლისათვის (QA/QC) გამოვიყენეთ 1978-2013 წწ-ის საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემები. ამ მონაცემების (ცხრ. 7.1) საფუძველზე (5 მდებარეობა) განისაზღვრა გერგეტის მყინვარის უკანდახევის დინამიკა (სურ. 7.1).

ცხრილი 7.1. გერგეტის მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობის საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემები

№	თარიღი	კოორდინატები		უკანდახევა წინა ნიშნულის მიმართ (მ)	ჯამური უკანდახევა (მ)
		განედი	გრძელი		
1	1978	42.664162	44.558194	0	0
2	1990	42.664746	44.557606	79	79
3	2000	42.665922	44.556443	174	253
4	2011	42.668103	44.553074	400	653
5	2013	42.668567	44.5527	65	718



სურ. 7.1. ა – გერგეტის მყინვარის უკანდახევის დინამიკა საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემების მიხედვით (1978-2013წწ) და შესაბამისი წრფივი ტრენდი. ბ – გერგეტის მყინვარის უკანდახევის ტენდენცია 1978-2000 წწ (3 მდებარეობა) და 2000-2013 წწ (3 მდებარეობა).2222

7.1-ე სურათზე წარმოდგენილია მიწისპირა მონაცემები. აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია წლები. საწყისი მდგომარეობა შეესაბამება 1978 წელს. ორდინატთა ღერძზე მოცემულია მყინვარის უკანდახევა მეტრებში. მთელი პერიოდის (1978-2013 წწ) წრფივი ტრენდის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გერგეტის მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს 21 მ-ს წელიწადში. შედეგები გვიჩვენებს ანალოგიურ ტენდენციას, რაც მივიღეთ თღზ-ით დაკვირვების შედეგად, უკანდახევის სიჩქარეები თითქმის ერთნაირია. სხვაობა შეიძლება იყოს რეპერების და ასევე პერიოდების ოდნავი განსხვავების შედეგი.

ისევე, როგორც თღზ-ის დაკვირვებებისათვის, მიწისპირა დაკვირვებების 35-წლიანი მონაცემებიც დავყავით ორ პერიოდად: 1978-2000 წწ და 2000-2013 წწ დაავაგეთ შესაბამისი ტრენდები (იხ. სურ. 7.1 ბ). მიწისპირა დაკვირვებების პირველ პერიოდში გერგეტის მყინვარმა დაიხია 11.3 მ-ით წელიწადში და მიაღწია 35.9 მ-ს წელიწადში მეორე პერიოდის განმავლობაში, ხოლო თღზ-ის

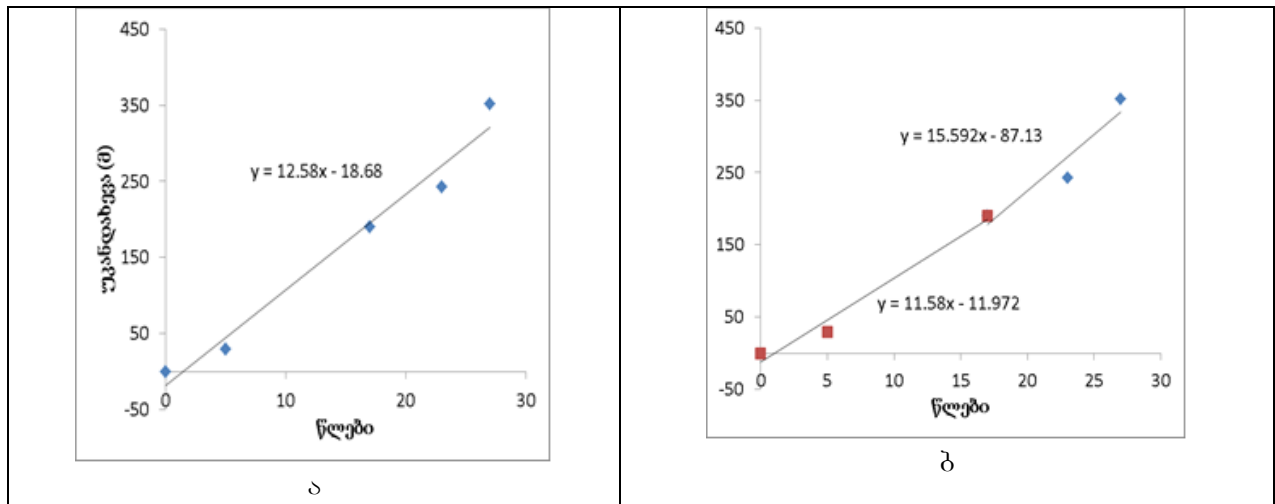
დაკვირვებებით I პერიოდში (1977-2001 წწ) – 15.1 მ-ს წელიწადში და II პერიოდში (2001-2015 წწ) – 26.7 მ-ს წელიწადში;

სხვაობა თღზ-ის მონაცემებთან პირველი პერიოდის განმავლობაში შეადგენს დაახლოებით 4 მ წელიწადში და დაახლოებით 9 მ-ს მეორე პერიოდის განმავლობაში. ეს სხვაობა განპირობებულია თანაგზავრული (40 წელი) და მიწისპირა დაკვირვებების (35 წელი) პერიოდებს შორის სხვაობით, ასევე რეპერული აზომების სხვადასხვაობითაც. გერგეტის მყინვარის უკანდახევა ბოლო 15 წლის განმავლობაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა პირველ პერიოდთან შედარებით.

ჰადიშის მყინვარის თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის და შეფასების კონტროლისათვის (QA/QC) გამოვიყენეთ 1985-2012 წწ-ის საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემები. ამ მონაცემების (ცხრ. 7.2) საფუძველზე განისაზღვრა ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის დინამიკა (სურ. 7.2).

ცხრილი 7.2. ჰადიშის მყინვარის ენის ბოლოს მდებარეობის საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემები.

№	თარიღი	კოორდინატები		უკანდახევა წინა ნიშნულის მიმართ (მ)	ჯამური უკანდახევა (მ)
		განედი	გრძელი		
1	1985	42.989886	42.984383	0	0
2	1990	42.990750	42.985383	29	29
3	2002	42.990950	42.985617	161	190
4	2008	-	-	51	242
5	2012	42.992308	42.986439	111	352



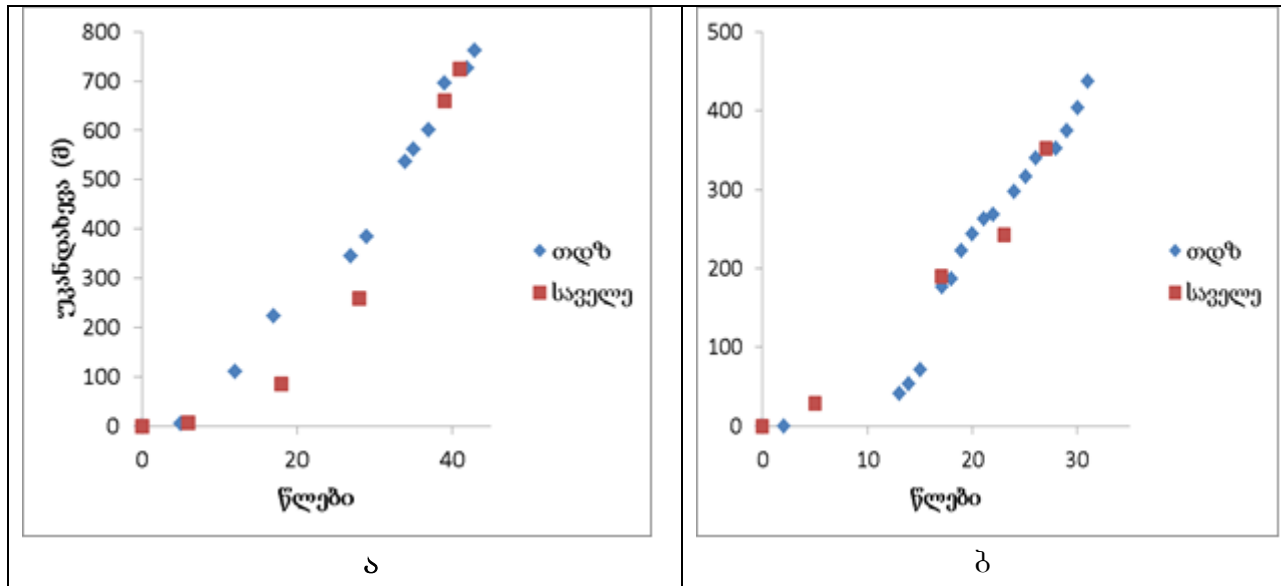
სურ. 7.2. ა. ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის დინამიკა საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემების მიხედვით (1985-2012წწ) და შესაბამისი წრფივი ტრენდი. ბ. ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის ტენდენცია 1985-2002 წწ (3 მდებარეობა) და 2002-2012 წწ (3 მდებარეობა).

7.2 ა სურათზე წარმოდგენილია მიწისპირა მონაცემები. აბსცისათა ღებზე გადაზომილია წლები. საწყისი მდგომარეობა შეესაბამება 1985 წელს. ორდინატათა ღებზე მოცემულია მყინვარის უკანდახევა მეტრებში. მთელი პერიოდის (1985-2012წწ) წრფივი ტრენდის ანალიზი (7.2ა) გვიჩვენებს, რომ ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე შეადგენს **12.6** მ-ს წელიწადში. შედეგები გვიჩვენებს ანალოგიურ ტენდენციას, რაც მივიღეთ თღზ-ით დაკვირვების შედეგად. ჰადიშის მყინვარის უკანდახევის საშუალო სიჩქარე **თღზ-ის** მონაცემებით (1987-2016 წწ.) შეადგენს **15.5** მ წელიწადში. ამგვარად, უკანდახევის სიჩქარეები თითქმის ერთნაირია. სხვაობა შეიძლება იყოს რეპერების და ასევე პერიოდების ოდნავი განსხვავების შედეგი.

ისევე, როგორც თღზ-ის დაკვირვებებისათვის, მიწისპირა დაკვირვებების 27- წლიანი მონაცემებიც დაყვავით ორ პერიოდად: 1985-2002 წწ და 2002-2012წწ და ავარტ შესაბამისი ტრენდები (იხ. სურ. 7.2. ბ). მიწისპირა დაკვირვებების I პერიოდში ჰადიშის მყინვარმა დაიხია **11.6** მ-ით წელიწადში და მიაღწია **15.6** მ-ს წელიწადში II პერიოდის განმავლობაში, ხოლო თღზ-ის დაკვირვებებით I პერიოდში (1987-2000 წწ) – **4.7** მ-ს წელიწადში და II პერიოდში (2001-2016 წწ) – **17.0** მ-ს წელიწადში.

სხვაობა მიწისპირა დაკვირვებებსა და თღზ-ის მონაცემებს შორის I პერიოდის განმავლობაში შეადგენს მიახლოებით 7 მ წელიწადში და მიახლოებით 14 მ-ს II პერიოდის განმავლობაში. ეს სხვაობა განპირობებულია თანაგზავრული და მიწისპირა დაკვირვებების პერიოდებს შორის სხვაობით, ასევე რეპერული აზომვების სხვადასხვაობითაც. ჰადიშის მყინვარის უკანდახევა ბოლო 15 წლის განმავლობაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა პირველ პერიოდთან შედარებით.

მყინვარის თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის და შეფასების კონტროლისათვის (QA/QC) სავსე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემები მხოლოდ ორი დიდი მყინვარისათვის გერგეტისა (აღმოსავლეთ საქართველო) და ჰადიშისათვის (დასავლეთ საქართველო) მოვიპოვეთ. 7.3 სურათზე წარმოდგენილია ამ ორი მყინვარის თღზ-ის და სავსე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემების შედარების გრაფიკები.



სურ. 7.3. თღზ-ის და საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემების შედარების გრაფიკები: ა – გერგეტის მყინვარისათვის, ბ – ჰადიშის მყინვარისათვის

დასკვნა მდგომარეობს შემდეგში:

- გრაფიკების შედარება გვიჩვენებს, რომ თღზ-ის და საველე დაკვირვებების მიწისპირა მონაცემები კარგ თანხმობაშია ერთმანეთთან;
- მიწისპირა დაკვირვებები ადასტურებს თანამგზავრული მონაცემების სიზუსტეს, როგორც დაკვირვების სრული პერიოდისათვის, ასევე მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების უკეთ გაგებისათვის დაკვირვების პერიოდის ორ პერიოდად გაყოფის შემთხვევაშიც;
- სხვაობა, რომელიც დაიკვირვება შეიძლება განპირობებული იყოს თანამგზავრული და მიწისპირა დაკვირვებების პერიოდებს შორის სხვაობით, ასევე რეპერული აზომვების სხვადასხვაობითაც;
- ამგვარად, როგორც თღზ-ის, ასევე მიწისპირა მონაცემები ადასტურებენ, რომ კლიმატის ცვლილების შედეგად მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია, კერძოდ მეორე პერიოდში აჩქარებულია. ბუნებრივია მთლიანობაში მყინვარის დნობა არაწრფივი ხასიათისაა.

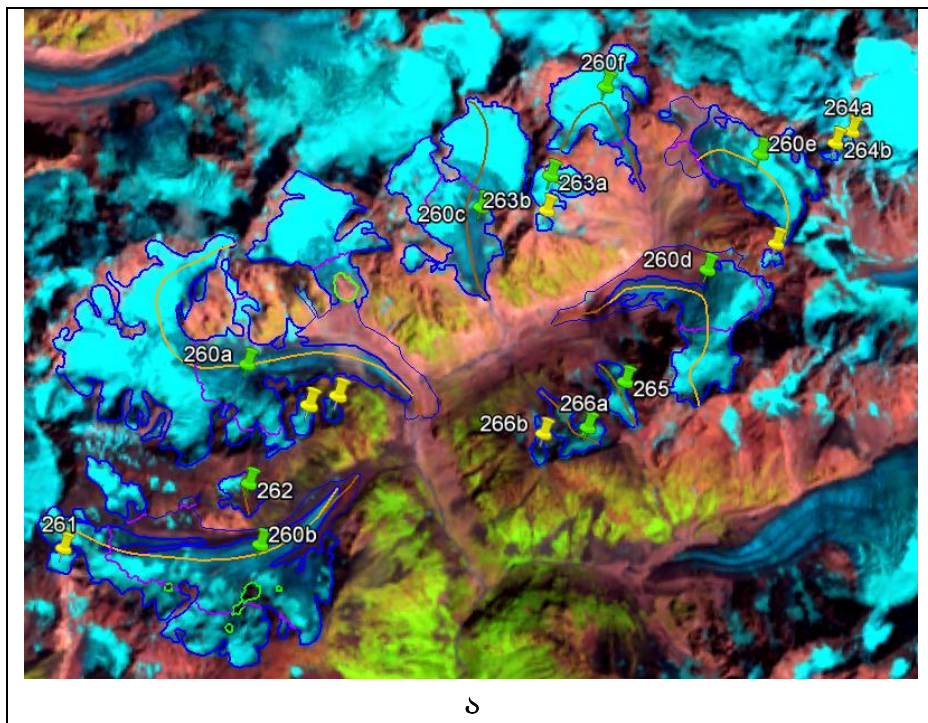
მყინვარების შესწავლისას თანამგზავრული მონაცემების ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლისათვის (OA/OC) გამოყენებულია თღზ-ის მონაცემების შეჯერება აერო-ფოტო გადაღებების შედეგად მიღებულ ფოტოსურათებთან.

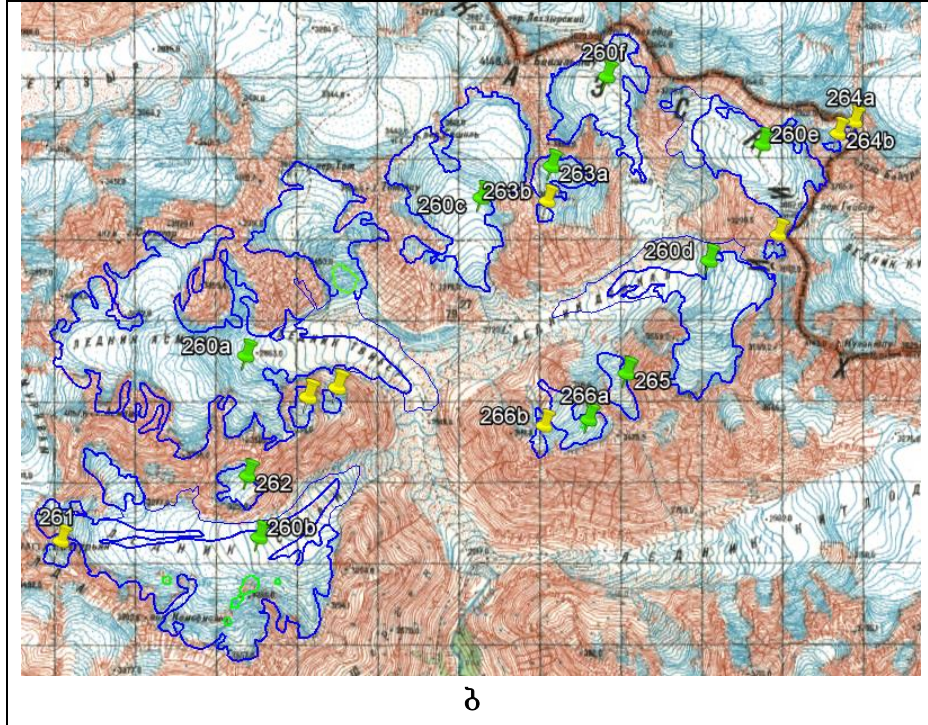
მაგალითად, ტვიბერის მყინვარის შესწავლისას დავადგინეთ, რომ ტვიბერის ხეობის ტიპის პოლისინთეზური მყინვარი ამჟამად რამდენიმე ფრაგმენტად, ნაკადად არის დანაწევრებული (სურ. 7.4). მათგან ფართობით

ყველაზე დიდია № 260a მყინვარი, რომელიც ტოპორუკაზე ორი სახელით, ასმაშით და ტვიბერით არის აღნიშნული. თანამგზავრულ სურათის მიხედვით იგი ამჟამად ერთიანი მყინვარია. №260ა ასმაშის-ტვიბერი მყინვარს უერთდება თოთის მყინვარი, რომელიც ტვიბერის მყინვარის მარცხენა შენაკადია და კლდოვანი ნაწილის გარშემოვლით, ორი ნაკადით უერთდება ტვიბერს.

ტვიბერი ერთადერთი მყინვარია, რომელსაც აქვს სახელდებული ნაკადები. ეს ნაკადები – სერი (№260a), ირითი (№260c) ძინალი (260d), ლიჭადი (260e) და ლასხედარი (№260f) – ფაქტიურად ცალკე მყინვარებად ჩამოყალიბდა, ხოლო ასმაშისა და თოთის ნაკადები უშუალოდ ტვიბერთანაა გაერთიანებული. მყინვარები, რომლებიც ტოპოგრაფიულ რუკაზე ასმაშისა და ტვიბერის სახელწოდებით არიან წარმოდგენილი, ამჟამად ერთიან მყინვარს №260ა-ს წარმოადგენს. ტვიბერთან ჯერ კიდევ არა აქვს კავშირი გაწვევტილი თოთის მყინვარს, რომელიც, როგორც ავლნიშნეთ, ტვიბერის მყინვარის მარცხენა შენაკადია.

თოთის მყინვარს, რომ ჯერ კიდევ არა აქვს კავშირი გაწვევტილი ტვიბერის მყინვართან, ამის დასტურად მოგვყავს გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის დროს, 2016 წლის 3 აგვისტოს გადაღებული ფოტოსურათები (სურ. 7.5, 7.6)





სურ. 7.4. მდინარე ტვიბერის აუზის მცინვარების საერთო სურათი. ა – Landsat 8 OLI სენსორის 2013 წლის 23 აგვისტოს თანამგზავრული სურათი და დაზუსტებული კონტურები, ბ – მიღებული კონტურების შედარება ტოპოგრაფიულ რუკაზე ასახულ მცინვარების კონტურებთან



სურ. 7.5. ტვიბერის მყინვართან თოთის მყინვარის ჩადინების არე. 03.08.2016 6 სთ და 31 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები).

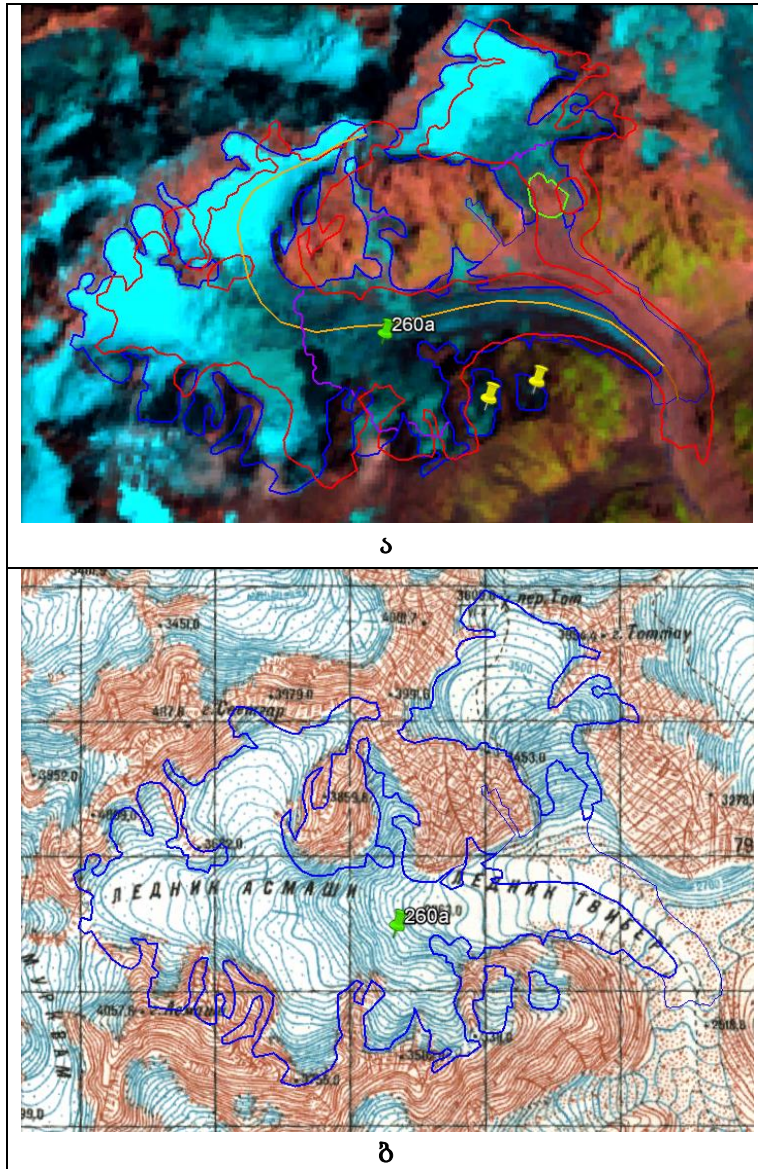
სურათ 7.5-ზე კარგად ჩანს ტვიბერის მყინვარის ენა. თოთის მყინვარი სურათის ზედა ნახევრის შუაგულშია განლაგებული. მისი დიდი ნაწილი ჩრდილშია მოქცეული. იგი კლდოვანი ნაწილის გარშემოვლით, ორი ნაკადით მარცხენა მხრიდან უერთდება ტვიბერს.

კიდევ უფრო კარგად ჩანს მყინვარ თოთის ტვიბერში ჩადინების არე ოდნავ სხვა რაკურსით გადაღებულ სურათ 7.6-ზე.



სურ. 7.6. ტვიბერის მყინვართან თოთის მყინვარის ჩადინების არე, 03.08.2016 6 სთ და 46 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები)

სურათ 7.7-ზე მოცემულია ასმაში-ტვიბერის და თოთის მყინვარი Landsat 8 OLI სენსორის 2015 წლის 29 აგვისტოს სურათი და შესაბამისი ტოპოგრაფიული რუკა. თანამგზავრული სურათის მიხედვით №260ა – ასმაში-ტვიბერის მყინვარის ენის დიდი ნაწილი ნაშალითაა დაფარული. ნაშალი მასალით და მორენებითაა დაფარული, აგრეთვე ტვიბერში თოთის მყინვარის ჩადინების არე. ამას ადასტურებს ზემოთმოყვანილი ფოტოსურათები, რომლებზეც ნათლად ჩანს, რომ თოთის მყინვარს ტვიბერთან ჯერ კიდევ არა აქვს კავშირი გაწყვეტილი.



სურ. 7.7. №260a – ასმაში-ტვიბერი და თოთის მყინვარი. ა – კონტური Landsat 8 OLI სენსორის 2015 წლის 29 აგვისტოს სურათის მიხედვით, ბ – მიღებული კონტურის შედარება ტოპოგრაფიულ რუკაზე ასახულ მყინვარის კონტურთან.

მოვიყვანოთ აგრეთვე გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის დროს, 2016 წლის 3 აგვისტოს გადაღებული აერო-ფოტო გადაღებების შედეგად მიღებული რამდენიმე ფოტოსურათი.

სურათ 7.8-ზე წარმოდგენილია ასმაში-ტვიბერის ერთიანობის დამადასტურებელი ფოტოსურათი შორი ხედით. სურათზე ჩანს ვერტმფრენის

კაბინა. იგივე მყინვარის უფრო ახლო რაკურსით გადაღებული სურათი მოცემულია 7.9 სურათზე.



სურ. 7.8. №260a – ასმაში-ტვიბერის მყინვარი, 03.08.2016, 6 სთ და 28 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები)



6,

სურ. 7.9. №260a – ასმაში-ტვიბერის მყინვარი, 03.08.2016 სთ და 28 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები)

სურათ 7.10 მოცემულია სერის მყინვარი. სურათი გადაღებულია დილის 6 სთ და 28 წთ. ჩრდილის მიხედვით, რომელიც სურათზეა სერის მყინვარი სამხრეთ-დასაღეთის მხრიდან ჩამოედინება, ადრე იგი ტვიბერის მყინვარს მარჯვენა მხრიდან უერთდებოდა. ამჟამად ტვიბერის მყინვარი დნობის შედეგად უკანაა დახეული და სურათზე არ ჩანს. წინა დღეებში იყო დიდი ნალექები, რამაც გამოიწვია სერის მყინვარიდან ნაშალი და/ან მორენული მასალის ჩამოწოლა, რის შედეგადაც ჩაიხერგა ხეობა და გროტებიდან გამომავალი წყალი დაგუბდა. ეს ტბა წარმოიქმნა იმ ადგილას, სადაც ოდესღაც ტვიბერის ყველა ნაკადი (გარდა ყვითლოდისა) ერთიანდებოდა. აქვე ავლნიშნავთ, რომ ტბის წარმოქმნა შენიშნეს მონადირეებმა, შეატყობინეს ხელისუფლებას და სასწრაფოდ, საშიშროების რისკის შესაფასებლად გაგზავნილი იქნა სპეციალისტები, რომლებმაც დაასკვნეს, რომ ამჟამად ეს ტბა მოსახლეობისათვის საშიშროებას არ წარმოადგენს.



სურ. 7.10. №260ხ – სერის მყინვარი, 03.08.2016, 6 სთ და 28 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები).

სურათ 7.11-ზე, ახლო რაკურსით, უფრო კარგად ჩანს სერის მყინვარიდან ჩამოწოლილი ნაშალი და/ან მორენული მასალა.



სურ. 7.11. №260b – სერის მყინვარი, 03.08.2016, 6 სთ და 29 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები).

სურათ 7.12-ზე გადაღებულია №260c – ირითის მყინვარი. სურათზე კარგად იკვეთება მისი წაწვეტებული ფორმის ენის ბოლო.



სურ. 7.12. მყინვარი №260c – ირითი, 03.08.2016, 6 სთ და 26 წთ (გარემოს ეროვნული სააგენტოს გლაციოლოგიური ექსპედიციის მასალები).

სურათ 7.13-ის ზედა ნახევარში ჩანს მყინვარი №260f – ლასხედარი, ხოლო მარჯვენა ქვედა კუთხეში №260d, მყინვარ ძინალის ენა. სურათზე ჩანს, რომ ლასხედარის მყინვარი, რომელიც ოდესღაც ძინალს უერთდებოდა ამჟამად უკანაა დახეული.



სურათ 7.13-ის ზედა ნახევარში ჩანს მყინვარი №260f – ლასხედარი, ხოლო მარჯვენა ქვედა კუთხეში №260d, მყინვარ ძინალის ენა. სურათზე ჩანს, რომ ლასხედარის მყინვარი, რომელიც ოდესღაც ძინალს უერთდებოდა ამჟამად უკანაა დახეული.

დასკვნა

სამეცნიერო კვლევის მიზანია საქართველოს მყინვარების ევოლუციის კვლევა თანამგზავრული დისტანციური მეთოდოლოგიების და მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე. მყინვარების კვლევის აუცილებლობას განაპირობებს ერთის მხრივ მყინვარის მდგომარეობის ცოდნა, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა ვიწინასწარმეტყველოთ წყლის რესურსების მომავალი მდგომარეობა და რეგიონალური კლიმატის შესახებ გაკეთდეს გარკვეული შეფასებები. ამავდროულად თვითონ მყინვარების მდგომარეობის ცვლილების დინამიკა კარგი ინდიკატორია კლიმატის თანამედროვე ცვლილების მდგომარეობის რეგიონალური შეფასებისათვის.

ამ კვლევამ დაადასტურა, რომ:

- თანამგზავრული დისტანციური მეთოდოლოგიების გამოყენება საქართველოს მყინვარების კვლევისათვის რაოდენობისა და ზომის მიუხედავად ეფექტურია;
- ავტორების მიერ შემუშავებული ხარისხის შეფასებისა და ხარისხის კონტროლის პროცედურები წარმატებული აღმოჩნდა მყინვარის ენის ბოლოს ზუსტი განსაზღვრისათვის და მყინვარების ძირითადი მახასიათებლების (კერძოდ, მყინვარის სიგრძის, მინიმალური სიმაღლის, უკანდახევის მანძილის და სხვა) სწორი განსაზღვრისათვის. საქართველოში დაგროვილი ისტორიული მასალა და არსებული ექსპერტული ცოდნის ეფექტური გამოყენება გადამწყვეტი აღმოჩნდა ამ კუთხით.

ამდენად შესაძლებელი გახდა

თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მეთოდოლოგიების და მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე საქართველოს მყინვარების ევოლუციის შესწავლა **მცირე მყინვარების დეგრადაციის** (დნობა, გაქრობა) და დიდი მყინვარების უკანდახევის საფუძველზე.

დადგინდა, რომ:

- თანამგზავრული დისტანციური მეთოდოლოგიების და მიწისპირა დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე საქართველოს მყინვარების ევოლუციის შესწავლა **მცირე მყინვარების დეგრადაციის** (დნობა, გაქრობა) და **დიდი მყინვარების უკანდახევის** საფუძველზე.
- დღესდღეობით მცირე მყინვარების მდგომარეობის გარკვეული რეგულარობით გაშუქება მიწისპირა დაკვირვებებით ფაქტობრივად შეუძლებელია. ამ მყინვარების შესწავლა დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით ეფექტური ალტერნატივაა მათი კვლევებისათვის და სხვადასხვა სამეცნიერო-პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრისათვის;

- კატალოგში აღრიცხული დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების ფართობის შესახებ სანდო მონაცემები გააჩნია 187-ს (265-დან). ამჟამად ამ მყინვარებიდან თღზ-ის მიხედვით დარჩენილია 65 მცირე მყინვარი (34.8%), რაც იმას ნიშნავს, რომ დანარჩენი 122 (64.2%) მცირე მყინვარი გადნა და თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა;
- კატალოგში აღრიცხული 105 აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარიდან ამჟამად თღზ-ის მიხედვით დარჩენილია მხოლოდ 30 მცირე მყინვარი (28.6%), რაც ნიშნავს, რომ 75 (71.4%) მცირე მყინვარი ან თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა;
- ამგვარად თანამედროვე კლიმატის ცვლილება აქტიურ ზეგავლენას ახდენს მყინვარების დნობაზე, ამასთან მყინვართა დეგრადაციის პროცესი უფრო აქტიურია, აღმოსავლეთ საქართველოში, ვიდრე ის თავს იჩენს დასავლეთ საქართველოში;
- დიდი მყინვარების უკანდახევის ტრენდის შესწავლის შედეგად დადგინდა:
 - ა) მიწისპირა დაკვირვებები ადასტურებს თანამგზავრული მონაცემების სიზუსტეს, როგორც დაკვირვების სრული პერიოდისათვის ასევე მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების უკეთ გაგებისათვის დაკვირვების პერიოდის ორ პერიოდად გაყოფის შემთხვევაში;
 - ბ) თღზ-ის, ასევე მიწისპირა მონაცემები ადასტურებენ, რომ კლიმატის ცვლილების შედეგად მყინვარის უკანდახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია, კერძოდ მეორე პერიოდში აჩქარებულია და იგი არაწრფივი ხასიათისაა, რაც თვალნათლივ მიუთითებს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების შემაშფოთებელ ტენდენციაზე, კერძოდ დათბობის ზრდის არაწრფივ ხასიათზე;
- კლიმატის ცვლილების ერთერთი ეფექტური ინდიკატორია მყინვარების ევოლუცია ისტორიულ და მიმდინარე ჭრილში, კერძოდ კლიმატის რეგიონალური ცვლილება ასახვას ჰპოვებს საქართველოს მყინვარების ევოლუციაზე, კლიმატის თანამედროვე დათბობის გამო მცირე მყინვარები ინტენსიურად დნებიან, ხოლო დიდი მყინვარები დეგრადირებენ და უკან იხევენ.

ლიტერატურა

1. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია (2014). სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 120: 52-56.
2. Kordzakhia G., Shengelia L., Tvauri G., Tsomaia V., Dzadzamia M. (2015). Satellite Remote Sensing Outputs of the Certain Glaciers in the Territory of East Georgia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences - Elsevier, Vol. 18(1): Supplement 1: S1–S7.
3. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია (2014). სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 120: 52-56.
4. Шенгелия Л. Д., Кордзахия Г. И., Тваури Г. А (2015). Методология и результаты исследования некоторых ледников Грузии на основе дистанционного зондирования. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXVIII Герценовские чтения „География: развитие науки и образования“. 22-25 апреля 2015 года, посвященной 70-летию создания ЮНЕСКО, С.-П. : 117–124.
5. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია, მ. ძაძამია (2015). თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების კვლევა. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 121: 104-111.
6. George Kordzakhia,, Larisa Shengelia, Genadi Tvauri, Murman Dzadzamia (2016). Application of Remote Sensing and GIS Technologies for the Inventory of Small Glaciers in Eastern Georgia. 2016. 4th International Geography Symposium, May 23-26, Kemer. Antalya, Turkey, Book of Proceedings: 505-514.
7. Шенгелия Л. Д., Кордзахия Г. И., Тваури Г. А., Дзадзамия М. Ш. (2016). Определение фирновой линии горных ледников по данным спутникового дистанционного зондирования. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXIV Герценовские чтения „География: развитие науки и образования“. 21-23 апреля 2016 года, С.-П. : 199-205.
8. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია (2016). კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარებზე. სამეცნიერო-რეფერირებადი ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, 1 (721): 9-14.
9. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია (2016). თანამგზავრული მონაცემებით მთის მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის განსაზღვრა გეფერის მეთოდის გამოყენებით. თბილისი: „ჰიდრომეტეოროლოგიის და ეკოლოგიის აქტუალური პრობლემები“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 123: 77-82.

10. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია, მ. ძაძამია (2017). დისტანციური ზონდირების (თანამგზავრული და აერო-ფოტო გადაღებების) გამოყენებით მდინარე ტვიბერის აუზის მყინვარების შესწავლის შედეგები. თბილისი: „ჰიდრომეტეოროლოგიის და ეკოლოგიის აქტუალური პრობლემები“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 124: 97-106.
11. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია (2016). საქართველოს მყინვარების ცვლილების ნეგატიური ტენდენციები კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე. სამეცნიერო-რეფერირებადი ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, 3 (723): 29-35.
12. Kordzakhia, G., Shengelia, L., Tvauri, G., Tsomaia, V., and Dzadzamia, M. (2016). Research of Glaciers Variation Dynamics in East Georgia Under the Impact of Modern Climate Change. Proceedings of the Fourth Plenary Conference and Field Trips of UNESCO–IUGS–IGCP 610 project „From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary“ (2013-2017), 2-9 October, 2016: 96-100.
13. G. Kordzakhia, L. Shengelia, G. Tvauri, M. Dzadzamia (2016). Impact of Modern Climate Change on Glaciers in East Georgia. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Vol. 10, 4: 56-63.
14. მარუაშვილი ლ., საქართველოს ფიზიკური გეოგრაფია (ორ ნაწილად). თბ., 1969-1970.
15. კონსტანტინე იორდანიშვილი. მიწის კალაპოტის არხების ფუნქციონირების საიმედოობის შეფასება (საქართველოს პირობებისათვის), საქართველოს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, დისერტაცია (2006): 165.
16. Kordzakhia, G., Shengelia, L., Tvauri, G., Tsomaia, V., and Dzadzamia, M. (2015). Research of Devdoraki Glacier Based on Satellite Remote Sensing Data and Devdoraki Glacier Falls in Historical Context. Volume 4, Issue 3-1, Pages: 14-21.
17. 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.
18. Khalsa, S.J.S. Dyrurgerov, 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.
19. Bruce, Raup.; Käab, 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.
20. 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 fromSpace, Bern, March 11 – 13, 2002.

21. Konig, M.; Winther, J-G.; Isaksson, E.; Measuring snow and Glacier Ice Properties from Satellite Reviews of Geophysics, 2001, 39, 1, 1–27.
22. В.Ш. Цомая (1975). Каталог Ледников СССР, Т. 9, вып. 3, ч. 1, Закавказье и Дагестан, Гидрометеиздат, Ленинград: 95.
23. В.Д. Панов Э.С. Боровик (1977). Каталог Ледников СССР, Т. 8, ч. 12, Северный Кавказ, Гидрометеиздат, Ленинград: 52.
24. В.Ш. Цомая, О.А. Дробышев (1977). Каталог Ледников СССР, Т. 8, ч. 11, Северный Кавказ, Гидрометеиздат, Ленинград: 71.
25. Л.И. Маруашвили, Г. М. Курдгелайдзе, Т.А. Лашхи, Ш.В. Инашвили, Д.Д. (1975). Каталог Ледников СССР, Т. 9, вып. 1, ч. 2-6, Закавказье и Дагестан, Гидрометеиздат, Ленинград: 86.
26. Frank P.; Huggel, C.; Käab, A. Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. Remote Sensing of Environment. 2004, 89, 510 – 518.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. C.R. Stokes, S.D. Gurney, M. Shahgedanova and V. Popovnin. Late-20th-century changes in glacier extent in the Caucasus Mountains, Russia / Georgia. „Journal of Glaciology“, 52 (176), 2006.
33. 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.
34. რ. გობეჯიშვილი, ვ. კოტლიაკოვი (2005). გლაციოლოგია. გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი: 292.
35. ლევან ტიელიძე. საქართველოს მყინვარები (2014). გამომცემლობა „კოლორი“, თბილისი: 254.
36. ნ. ბერუჩაშვილი, ნ. ელიზბარაშვილი (2003). საქართველოს გეოგრაფია, გამომცემლობა "საქართველოს მაცნე", თბილისი: 57.
37. Earthexplorer. last accessed 04.02.2015 (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).
38. Landsat TM/ETM+ CEOS/ESA Products Format Specification (https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/IDEAS-GAE-IPF-SPE-0393.pdf).