

უკ 551.50.501.7

## სუათისის მცინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე

ლ. შენგელია\*, გ. კორმახია\*, გ. თვაური\*\*, ვ. ცომია\*

\* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი.

\*\* ივ. ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი

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

კლიმატის თანამედროვე ცვლილება იწვევს მცინვარების უკანდახევის გაძლიერებას. მცინვარების ინტენსიური დნობის ფონზე იცვლება მცინვარული ჩამონადენი. ეს განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსათვის, რადგან მცინვარები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ მთელი რიგი რეგიონების წყლის მარაგის ფორმირებაში და წყლის ბალანსის რეგულირებაში. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მცინვარები იწვევენ გლაცია-ჰიდროლოგიური ხასიათის კატასტროფებს, როგორცაა: მცინვარების ჩამოქცევა, მდინარეთა კალაპოტის ჩახერგვა და ბუნებრივი კაშხლების წარმოქმნა, მათი გარღვევა და გამანადგურებელი წყალმოვარდნების გავლა და სხვ. აღნიშნული მოვლენები ხასიათდება დიდი ეკონომიკური ზარალით და ხშირად ადგილი აქვს ადამიანთა მსხვერპლს. ამ მოვლენების ბოლო მაგალითია 2014 წლის 17 მაისს ყაზბეგის რაიონში, დარიალის ხეობაში მომხდარი კომპლექსური ხასიათის ფართომასშტაბიანი კატასტროფა. დევდორაკის მცინვარი ჩამოიქცა, რაც გადაიზარდა დიდი მასშტაბის ღვარცოფულ კატასტროფაში ადამიანთა მსხვერპლით და დიდი ეკონომიური ზარალით. ყოველივე ეს დღის წესრიგში აყენებს ამ პროცესების დეტალური კვლევის აუცილებლობას.

მცინვარების კვლევისათვის აქტუალურია მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრული მონაცემების გამოყენება. თანამგზავრული მონაცემები ხელმისაწვდომია დედამიწის რესურსებზე დაკვირვების სისტემის {Earth Resources Observation Systems (EROS)} საშუალებით. მცინვარების მდგომარეობის შეფასების თვალსაზრისით ერთერთი ყველაზე პერსპექტიულია GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) პროექტის ფარგლებში მიღებული მონაცემთა ბაზები. ეს ბაზები შექმნილია თანამგზავრ TERRA-ს ASTER (Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) სენსორის მონაცემთა საფუძველზე [2]. ეს სენსორი ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონებში მოიპოვებს მონაცემებს და მისი მაქსიმალური სივრცითი გარჩევითობა 15 მ-ს შეადგენს.

სენსორ ASTER-ის მონაცემები რელიეფის 30 მ სივრცითი გარჩევითობის ციფრული მოდელის (DEM – Digital Elevation Model) გენერირების შესაძლებლობას იძლევა. მულტისპექტრულ თანამგზავრულ მონაცემებთან ერთად ASTER DEM-ი მცინვარების შესწავლის მძლავრ ინსტრუმენტად იქცა [3,4].

თანამგზავრიდან დედამიწის ზედაპირის მონიტორინგზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ამინდის პირობები, კერძოდ ღრუბლიანობის შემთხვევაში თანამგზავრული სურათების გამოყენება სხვადასხვა მონაცემების მისაღებად ფაქტიურად შეუძლებელია [5]. მცინვარებზე დაკვირვების შემთხვევაში ამ შემოსაზღვრას ემატება თვით მცინვარის ზედაპირის მდგომარეობა, რომელიც თავისუფალი უნდა იყოს თოვლის საფრისგან. კერძოდ დისტანციური მონიტორინგი უნდა წარმოებდეს თვითონ მცინვარის ზედაპირის, რაც ნიშნავს, რომ მონაცემები უნდა იყოს პერიოდისათვის აბლაციის მიწურულიდან ხელახალ გათოვებამდე. თანამედროვე კლიმატის პირობებში საქართველოსათვის ეს დროითი ინტერვალია აგვისტოს ბოლოდან დაახლოებით ოქტომბრის დასაწყისამდე.

წინამდებარე სამუშაოს მიზანია ჩატარდეს თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით სუათისის მცინვარების კვლევა. სუათისის –ხეობის ტიპის მცინვარია ხევის კავკასიონზე, მდებარეობს ხობის ქედზე, მდინარე სუათისის (თერგის მარცხენა შენაკადი) აუზში. შედგება სამი ნაკადისაგან (აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მცინვარები). მათგან უდიდესია აღმოსავლეთის ნაკადი.

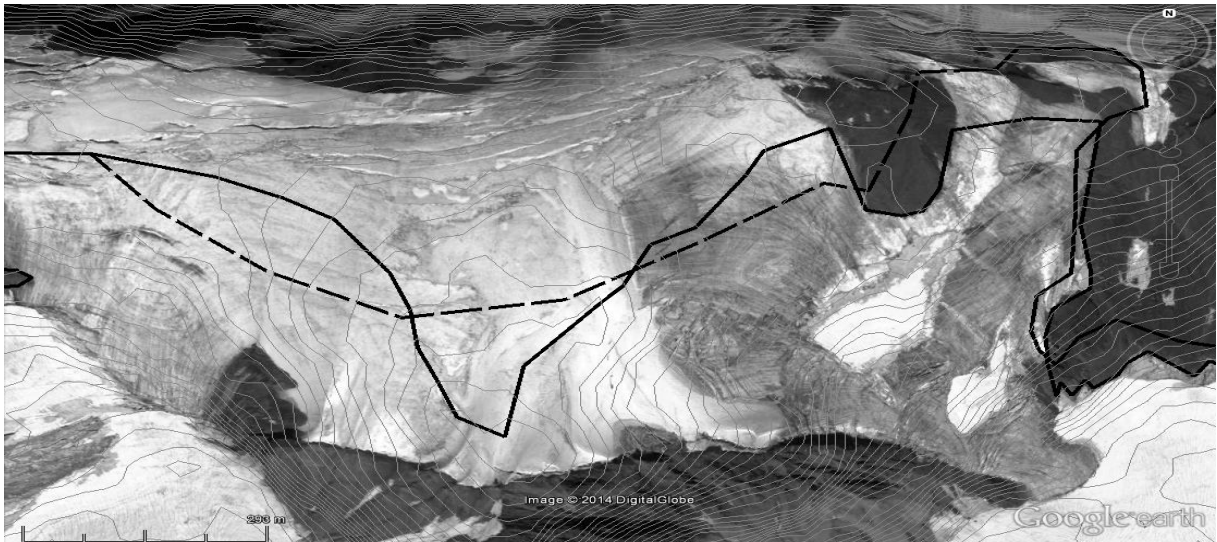
GLIMS-ის მონაცემთა ბაზიდან შეირჩა სუათისის მცინვარების კონტურები, რომლებიც 2004 წლის 25 სექტემბრითაა დათარიღებული. აუცილებელია მოყვანილი მცინვარების კონტურების დაზუსტება, რაც გამოწვეულია არა მარტო მცინვარების ცვლილებით, არამედ იმიტაც, რომ GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები შედგენილია ASTER-ის 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. მცინვარების კონტურების განსაზღვრა შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით შესაძლებელია როგორც ხელით, ასევე ავტომატურად. კვლევის რეგიონის მცოდნე ოპერატორის მიერ მცინვარების საზღვრების მანუალური დიგიტალიზაცია მცინვარების

საზღვრების დიდი სიზუსტით დადგენის შესაძლებლობას იძლევა. სხვადასხვა სპექტრალური არხების კომბინირების საშუალებით მცინვარების კონტურების ავტომატური განსაზღვრა ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილულ და ინფრაწითელ დიაპაზონში მცინვარის ყინულის და თოვლის განსხვავებულ სპექტრალურ თვისებებს ეყრდნობა.

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

მცინვარის კონტურის დაზუსტების მიზნით, აგრეთვე გამოვიყენეთ ASTER DEM-ის რელიეფის ციფრული მოდელი. კონტურების დაზუსტება ხდებოდა თანამგზავრული სურათისა და რელიეფის ციფრული მოდელის საფუძველზე შექმნილი იზოხაზების ზედდებით. 3D გამოსახულების გამოყენებით დადგინდა წყალგამყოფები, ხოლო ამ უკანასკნელების გამოყენებით დაზუსტდა მცინვარების კონტურები (სურ. 1).

თვალსაჩინოებისათვის სურ. 1-ზე მოყვანილია აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარის ჩრდილოეთ ნაწილში, ხობის ქედის წყალგამყოფების დასადგენად ASTER DEM-ის საფუძველზე გავლებულია სიმაღლის იზოხაზები (10 მ ბიჯით). GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები სურათზე ნაჩვენებია წყვეტილი ხაზით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – უწყვეტი ხაზით.

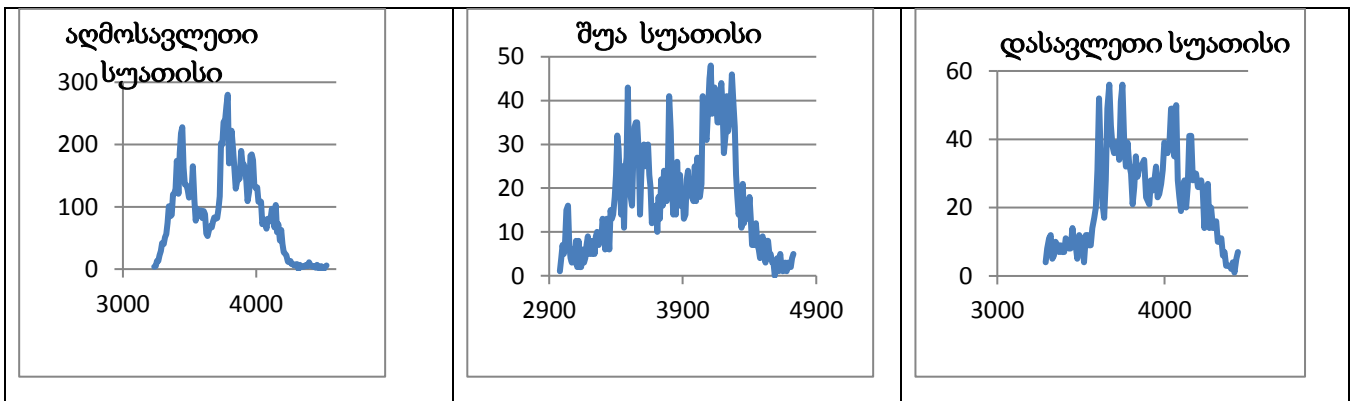


სურ.1. აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარის ჩრდილოეთ ნაწილის სიმაღლის იზოხაზები (10 მ ბიჯით). GLIMS-ის მონაცემთა ბაზაში დაცული კონტურები სურათზე ნაჩვენებია წყვეტილი ხაზით, ხოლო დაზუსტებული კონტურები – უწყვეტი ხაზით.

ქვემოთ მოყვანილ სურ. 2-ზე ნაჩვენებია სუათისის მცინვარების კონტურები. წყვეტილი ხაზით ნაჩვენებია კონტურები Glims-ის მონაცემებზე დაყრდნობით, უწყვეტი ხაზით – დაზუსტებული კონტურები, რომლებიც თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებითაა მცინვარების 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 მცინვარების სიმაღლის მიხედვით განაწილების ჰისტოგრამა და აიგოს შესაბამისი ჰიპსომეტრიული მრუდი (სურ.3). აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია მცინვარების სიმაღლე ზღვის დონიდან 10 მ ბიჯით, ხოლო ორდინატთა ღერძზე მოცემულია ამა თუ იმ სიმაღლის შესაბამისი პიქსელების რაოდენობა. მიღებული.



სურ. 2. აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მცინვარების კონტურების თავდაპირველი (წყვეტილი ხაზი) და დაზუსტებული სახე (უწყვეტი ხაზი).



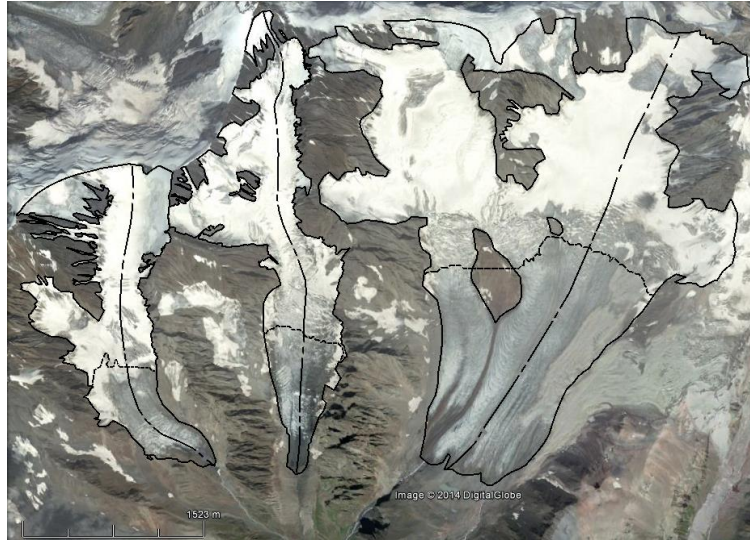
სურ. 3. სუათისის მცინვარების ჰიპსომეტრიული მრუდები.

ფირნის ხაზის სიმაღლის დასადგენად ვისარგებლეთ გეფერის მეთოდით, რისთვისაც მცინვარების კატალოგის და ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემები გამოვიყენეთ. ჰიპსომეტრიული მრუდის საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს მცინვარის აკუმულაციის არის ფართობი [6]. ჰიპსომეტრიულ მრუდზე პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მცინვარის უმაღლეს წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე, იძლევა მცინვარის აკუმულაციის არის ფართობს. შესაბამისად, პიქსელების ჯამური რაოდენობა ფირნის ხაზის სიმაღლიდან მცინვარის ყველაზე დაბალ წერტილამდე გამრავლებული ერთი პიქსელის ფართობზე იძლევა მცინვარის აბლაციის არის ფართობს. მცინვარის აკუმულაციის და აბლაციის არის ფართობები ჯამში შეადგენენ მცინვარის ფართობს.

ამგვარად გამოვითვალეთ სუათისის მცინვარების მახასიათებლები: მაქსიმალური სიგრძე და ფართობი; მინიმალური და მაქსიმალური წერტილების და ფირნის ხაზის სიმაღლე; აბლაციის არის ფართობი. ეს მონაცემები შედარდა მცინვარების კატალოგის [7] მონაცემებს.

სურათ 4-ზე წარმოდგენილია სუათისის მცინვარები, კერძოდ დასავლეთ, შუა და აღმოსავლეთ სუათისის მცინვარები. მცინვარების დასახასიათებლად გავლელბულია: ა) მცინვარების დაზუსტებული კონტურები, (უწყვეტი ხაზი), ბ) ფირნის ხაზები გამოთვლილი გეფერის მეთოდით (წყვეტილი ხაზი); და გ) დამატებითი მრუდები მცინვარის სიგრძის გამოთვლისათვის (პუნქტირის ხაზი). პუნქტირის ხაზის

გასწვრივ ხდებოდა სიგრძის ათვლა, ხოლო წყვეტილი ხაზები მიანიშნებს დასავლეთ, შუა და აღმოსავლეთ სუათისის მყინვარების ფირნის ხაზის მდებარეობას.



სურ. 4. სუათისის მყინვარები: ა) დაზუსტებული კონტურები (უწყვეტი ხაზი); ბ) ფირნის ხაზები (წყვეტილი ხაზი) და გ) დამატებითი რუდები მყინვარის სიგრძის გამოთვლისათვის (პუნქტირის ხაზი).

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 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 [7].

ცხრილი 1. აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთ სუათისის მყინვარების მახასიათებლები.

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

(1)-ით აღნიშნულ სვეტში მოცემულია შედეგები, რომლებიც მიღებულია დისტანციური ზონდირების საფუძველზე; (2)-ით აღნიშნულ სვეტში მოყვანილია მყინვარების კატალოგის მონაცემები.

თუ ჩავატარებთ დაწვრილებით შედარებას დისტანციური მონიტორინგის საფუძველზე მიღებული შედეგების მყინვარების კატალოგის მონაცემებთან, შესაძლოა ჩამოვყალიბოთ ღვეთმომოყვანილი დასკვნები:

- ბოლო 50 წლის განმავლობაში სუათისის ყველა მყინვარის
- მინიმალური სიმაღლე და ფირნის ხაზის სიმაღლე იზრდება;
- სიგრძე და ფართობი მცირდება;
- აბლაციის არის ფართობი ფაქტიურად არ იცვლება, რადგან ერთის მხრივ დნობის შედეგად მინ. სიმაღლე იზრდება, მაგრამ იზრდება აგრეთვე ფირნის ხაზის სიმაღლეც.
- მაქსიმალური სიმაღლე გაზომვის ცდომილების ფარგლებში არ იცვლება.

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

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

კვლევა ჩატარებულია სსიპ შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფუნდამენტური კვლევებისათვის სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტის პროექტის FR/586/9-110/13 ფარგლებში.

### ლიტერატურა \_ REFERENCES \_ЛИТЕРАТУРА

1. Chris R. Stokes, Stephen D. Gurney, Maria Shagedanova, Victor Popovnin. Late-20th-century changes in glacier extent in the Caucasus Mountains, Russia/Georgia: Journal of Glaciology, Vol. 52 No. 176, 2006.
2. Bruce, Raup.; Kääh, A.; Kargel, J.S.; Bishop, M.P.; Hamilton, G.; Lee, E.; Paul, Rau, F.; Soltesz, D. Khalsa, S.J.S.; Beedle, M.; Helm, Ch. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project.
3. Frank P.; Huggel, C.; Kääh, A. Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. Remote Sensing of Environment. 2004, 89, 510 – 518.
4. Bolch, T.; and Kamp, U.; Glacier Mapping in High Mountains Using DEMs, Landsat and ASTER Data, 8<sup>th</sup> International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, La Paz, Bolivia, 22 March, 2005.
5. გ. კორძახია, ლ. შენგელია, გ. თვაური. თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება შავი ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის. გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი 2011, 102 გვ.
6. 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;
7. В.Ш. Цома, О.А. Дробышев, Каталог Ледников СССР, Т. 8, Северный Кавказ, Гидрометеиздат, Ленинград 1977.

უკ 551.50.501.7

სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე /ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია/ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2014, ტ.120. გვ.52-56 - ქართ.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

სტატიაში წარმოდგენილია მყინვარ სუათისის სამეცნიერო კვლევის შედეგები. კვლევაში გამოყენებულია მაღალი სივცითი გარჩევადობის თანამგზავრული მონაცემები. სამუშაო შესრულებულია სსიპ შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფუნდამენტური კვლევებისათვის სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტის პროექტის FR /586/9-110/13 ფარგლებში.

UDC 551.50.501.7

**RESULTS OF THE INVESTIGATION OF THE SUATISI GLACIERS BASED ON SATELLITE REMOTE SENSING** / L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, V. Comaia/ Transaction of the Institut of Hydrometeorology, Georgian Technical University.-2043,-T.120. pp.52-56 - Georg. Summ. Georg., Eng., Russ.

In the article results of scientific investigations of the Suatisi Glaciers are presented. The high resolution satellite remote sensing are used in the research. The research is carried in frames of the state research grant FR/586/9-11 for fundamental investigations of the Shota Rustaveli National Research Fund.

УДК 551.50.501.7

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДНИКОВ СУАТИСИ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ** / Л.Д. Шенгелия, Г.И. Кордзахия, Г.А. Тваури, В.Ш. Цома/ Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии.-2014.-т.120.-с.52-56 -Груз., Рез. Груз., Англ., Рус.

В статье представлены результаты научных исследований ледников Суатиси. В работе использованы спутниковые данные высокого пространственного разрешения. Исследование выполнено в рамках государственного научного гранта FR//586/9-11 в области фундаментальных исследований Национального научного фонда им. Шота Руставели.