

უკ. 551.583/551.324

## კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება მდ. ენგურის ჩამონადენზე

ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., შვანგირაძე მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი

გლობალური დათბობის ზეგავლენით, რომელიც 1980-იანი წლების შემდეგ საგრძნობლად გააქტიურდა, მსოფლიოს ყველა რეგიონში, მათ შორის კავკასიის ცენტრალურ ნაწილშიც, აშკარად დაიკვირვება მყინვარების დეგრადაცია. მყინვარების დნობისა და უკან დახვევის პირობებში იზრდება მყინვარული კვების მქონე მდინარეთა ჩამონადენი. ამავე დროს, ეს პროცესი მყინვარების ფართობისა და მათში ყინულის მარაგის შემცირების გამო იწვევს ჩამონადენის დაკლებას, რომელიც მყინვართა სრული გადნობის შემდეგ მხოლოდ ატმოსფერული ნალექებისა და მიწისქვეშა საზრდოობის ჩამონადენად იქცევა. უახლესი შეფასებით [1], კავკასიონის მყინვართა დეგრადაციის ამჟამინდელი ტემპისა და ტემპერატურის პროგნოზირებული ზრდის პირობებში ეს მთიანი სისტემა ყინულოვანი საფარისაგან, სავარაუდოდ, 2150-2160 წლებისთვის გათავისუფლდება.

საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინების ფარგლებში მიღებული შედეგების თანახმად, 2100 წლისთვის ზემო სვანეთის რეგიონში, რომელიც მოიცავს მდ. ენგურის აუზის ზედა ნაწილს, 1986-2010 წწ. პერიოდის საშუალოსთან შედარებით მოსალოდნელია საშუალო წლიური ტემპერატურის მომატება 3.7°C-ით. ეს უდავოდ გავლენას მოახდენს აუზის მყინვარების გეომეტრიულ ზომებსა და მყინვარულ ჩამონადენზე. ამ გავლენის მიახლოებითი შეფასებისათვის გამოვიყენეთ არსებული მონაცემები აუზის მყინვართა უკვე დაფიქსირებული დეგრადაციისა და რეგიონში ტემპერატურის გაზომილი და პროგნოზირებული ცვლილების შესახებ.

ცნობილია, რომ მე-20 საუკუნის მეორე ნახევრისათვის მდ. ენგურის აუზში აღრიცხული იყო 250 მყინვარი, რომელთა საერთო ფართობი 288.3 კმ<sup>2</sup> აღწევდა [2]. მყინვარების უმეტესობა (73%) მცირე ზომის იყო და მათი ფართობი 0.5 კმ<sup>2</sup>-ს არ აღემატებოდა. შედარებით დიდი მყინვარებიდან გამოირჩეოდა ლეხზირი (38,1 კმ<sup>2</sup>), ქვიში (13.8 კმ<sup>2</sup>), ჭალაათი (13.2 კმ<sup>2</sup>) და დოღრა (8.8 კმ<sup>2</sup>). მყინვარული ჩამონადენი მდინარეებიდან ნენსკრა, ნაკრა, დოღრა, მესტიაჭალა, მულხრა და სხვ. იკრიბება ჰიდროლოგიურ საგულშაგო ხაიმთან არსებულ ჩამკეტ კვეთში, სადაც 1937-1980 წწ. მონაცემებით ენგურის საშუალო წლიური ხარჯი შეადგენდა 110 მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო სრული წლიური ჩამონადენი 345 კმ<sup>3</sup>. მყინვარული წილის ჩამონადენის გათვალისწინებით (26,2%), მდ. ენგურის საშუალო წლიური მყინვარული ჩამონადენი ამ პერიოდში ტოლი იყო 0.908 კმ<sup>3</sup>, ანუ 908 მლნ. მ<sup>3</sup>.

იმავე ნაშრომის მიხედვით, 1890-1965 წწ. პერიოდში მდ. ენგურის აუზში მყინვართა საერთო ფართობმა დაიკლო 332 კმ<sup>2</sup>-დან 288 კმ<sup>2</sup>-მდე, რაც 13%-იან შემცირებას შეადგენს. ეს პროცესი შესაბამისობაშია მყინვართა გლობალური მასშტაბით დაფიქსირებულ დეგრადაციასთან, რომელიც 1890 წლიდან მზარდი ტემპით მიმდინარეობს მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში [3].

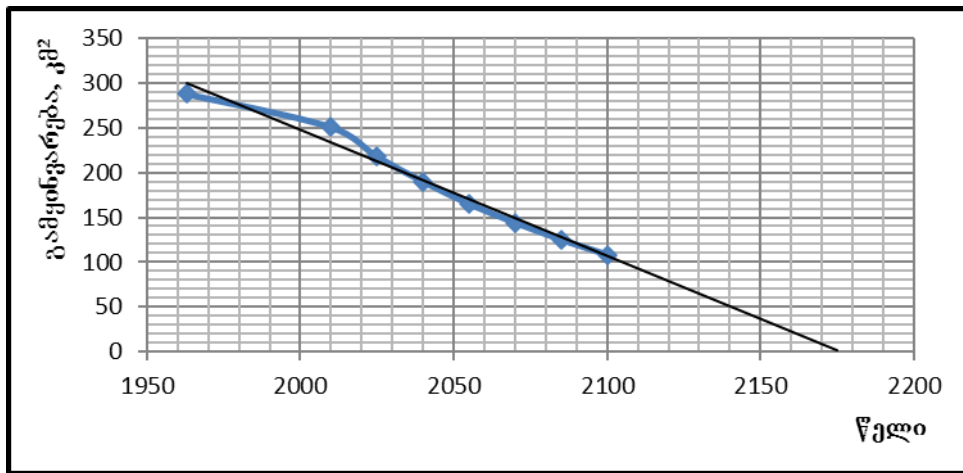
ენგურის აუზში მყინვართა ფართობის შემცირების ტემპერატურული პირობების შესაფასებლად განვიხილეთ დაკვირვების ხანგრძლივი რიგის მქონე, რეგიონში უახლოესი მეტეოსადგურის – ქუთაისის მონაცემები (მესტიაში დაკვირვებები მხოლოდ 1936 წელს დაიწყო), რომელთა თანახმად 1906-1913 და 1954-1963 წწ. ქვეპერიოდებს შორის საშუალო წლიური ტემპერატურა 0.3°C-ით გაიზარდა [4] ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტში არსებული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ 1959-1991 წწ. 33 - წლიან პერიოდში ქუთაისისა და მესტიის მეტეოსადგურებზე საშუალო წლიურ ტემპერატურებს შორის კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 0.882 შეადგენს. ეს შესაძლებელს ხდის საკმაო მიახლოებით ჩავთვალოთ, რომ მე-20 საუკუნის პირველ ნახევარში ქუთაისში დაფიქსირებული საშუალო წლიური ტემპერატურის 0.3 °C -ით მატება ვრცელდება ზემო სვანეთის რეგიონზედაც, რამაც განაპირობა ენგურის აუზში მყინვართა ფართობის ზემოთ ნახსენები შემცირება.

ამრიგად, მდ. ენგურის აუზში დათბობის შედეგად მყინვარების ფართობის შემცირების შეფასებას საფუძვლად შეიძლება დაედოს ის ფაქტობრივად დადგენილი გარემოება, რომ 1890-1965 წწ. პერიოდში მყინვარების საერთო ფართობი 13%-ით შემცირდა, რაც თან სდევდა ზემო სვანეთის რეგიონში საშუალო წლიური ტემპერატურის 0.3°C -ით მომატებას.

მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მესტიაში 1961-2010 წწ. ნახევარსაუკუნოვან პერიოდში საშუალო წლიურმა ტემპერატურამ 0.3°C -ით მოიმატა. თუ დავუშვებთ, რომ ამ პერიოდის ხანგრძლივობა დაახლოებით ტოლია ზემოთ ხსენებული 1906-1963 წწ. პერიოდისა და ორივე მათგანისათვის დამახასიათებელია ტემპერატურის ერთნაირი მატება 0.3°C-ით, გარკვეული მიახლოებაში შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ პირველ პერიოდში დაფიქსირებულ მყინვართა ფართობის 13% -იანი შემცირება იმავე ტემპით გაგრძელდა მეორე, 1961-2010 წწ. პერიოდშიც. ამ შემთხვევაში გასული საუკუნის

მნიშვნელობა 288 კმ<sup>2</sup> შეიცვლება ამჟამინდელი სავარაუდო 251 კმ<sup>2</sup>-ით, ხოლო მცინვარული ჩამონადენი პროპორციულად შემცირდება 908 მლნ მ<sup>3</sup>-დან 790 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე წელიწადში.

რაც შეეხება 2100 წლამდე სამომავლო შეფასებას, კლიმატური პროგნოზით 2100 წლისთვის ზემო სვანეთში 1986-2010 წწ. საშუალოსთან მიმართებაში მოსალოდნელია საშუალო წლიური ტემპერატურის 3.7°C-ით მომატება. პროგნოზის თანახმად, 2050 წლამდე ტემპერატურის მატება შედარებით ნელი ტემპითაა ნავარაუდები (1.2°C - ით), ხოლო საუკუნის ბოლოსთვის კიდევ 2.5°C-ით. 2010-2100 წწ. პერიოდში ტემპერატურის ზრდის გამარტივებული წრფივი სახით წარმოდგენის შემთხვევაში დროის მთელ ამ მონაკვეთში ტემპერატურის მატების საშუალო მნიშვნელობად შეგვიძლია ავიღოთ პროგნოზირებული ნაზრდის დაახლოებით ნახევარი, ანუ 1.8°C. ეს სიდიდე დროის აღნიშნულ მონაკვეთში (2010-2100 წწ.) შეიცავს ექვს 0.3°C-იან ნაზრდს და თუ დავუშვებთ, რომ თითოეულ ეტაპზე 0.3 °C-იან მატებას თან სდევს წინა ეტაპზე არსებულ მცინვართა ფართობის 13%-იანი შემცირება, მივიღებთ, რომ 2100 წლისთვის ენგურის აუზში მცინვართა ამჟამინდელი სავარაუდო ფართობი 251 კმ<sup>2</sup> შემცირდება 108 კმ<sup>2</sup>-მდე, ანუ 57%-ით (ნახ. 1). შესაბამისად, მცინვარის ფართობსა და მის ჩამონადენს შორის ზემოთ დაშვებული წრფივი დამოკიდებულების პირობით, აუზში წლიური მცინვარული ჩამონადენიც ამჟამინდელ სავარაუდო 790 მლნ მ<sup>3</sup>-დან, მცინვართა დამატებითი დნობის გაუთვალისწინებლად, 340 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე შემცირდება.



ნახ. 1. ენგურის აუზში მცინვართა ფართობის შემცირების სავარაუდო დინამიკა მიღებული დაშვებების პირობებში

ნახაზიდან ჩანს, რომ მიღებული დაშვებების პირობებში აგებული მრუდის ექსტრაპოლაციით, მდ. ენგურის აუზში მოსალოდნელი იქნება ყინულოვანი საფარის გაქრობა 2170-2175 წლებისთვის. ეს შედეგი ახლოსაა ნაშრომში [1] მიღებულ ზემოთ ხსენებულ სავარაუდო პროგნოზთან.

მცინვარული ჩამონადენის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შესწავლისას ერთ-ერთ საკვანძო საკითხს წარმოადგენს მცინვარის ზედაპირიდან მოდნობის კავშირი ჰაერის ტემპერატურასთან. ამ პროცესს ჩვეულებრივ ახასიათებენ საშუალო დღეღამური ტემპერატურის 1 °C-ით მომატებისას მცინვარის ზედაპირის სიმაღლის ცვლილებით. ტემპერატურის გარდა აღნიშნულ პროცესებზე გავლენას ახდენს მცინვარის ზედაპირის მდგომარეობა და ექსპოზიცია, მზის რადიაცია, ქარი, ნალექები და სხვ. თანახმად [5]-ისა, კავკასიონის პირობებში ტემპერატურის 1°C-ნაზრდზე მოდინების საშუალო სიჩქარე 6.5 მმ შეადგენს.

ცხრილში 1 მოყვანილია მცინვარ ჭალაათზე სხვადასხვა პერიოდში ჩატარებულ გაზომვათა შედეგები ზედაპირულ მოდნობასა (აბლაციასა) და მცინვარულ ჩამონადენს შორის კავშირის დასადგენად.

2011 წელს თსუ გეოგრაფიის ინსტიტუტის გლაციო-ჰიდროლოგიური ექსპედიციის მიერ მიღებული მონაცემების შედარება წინა ორი ექსპედიციის (1959 წ და 2000 წ) შედეგებთან [5,6] ცხადყოფს, რომ მცინვარ ჭალაათზე მოდნობის მახასიათებლებმა იმატა. კერძოდ, თუ აბლაციის წინა სეზონებზე აბლაციის საშუალო სიჩქარე 7-8 სმ/დღე ფარგლებში იცვლებოდა, ბოლო სეზონზე ამ სიდიდემ დღეში 9 სმ გადააჭარბა. იგივე ითქმის 1 მმ მოდნობაზე მცინვარული ჩამონადენის შესახებაც, რომელმაც 1959 წლის 9 100 მ<sup>3</sup>/მმ-დან 2011 წელს იმატა 12 100 მ<sup>3</sup>/მმ-მდე. ეს გარემოება როგორც ჩანს დაკავშირებულია მცინვარის დეგრადაციის ტემპის დაჩქარებასთან, რაც გამოიხატება მისი ზომების შემცირებაში და მისი ზედაპირის ნაშალი მორენული მასალით დაფარულობის ზრდაში.

ცხრილი 1. კავშირი ზედაპირულ მოდნობასა (აბლაციასა) და მყინვარულ ჩამონადენს შორის მყინვარ ჭალაათზე ჩატარებული გაზომვების სხვადასხვა სერიების მიხედვით

გაზომვების ჩატარების თარიღი	პერიოდი	ზედაპირული მოდნობა (აბლაცია), სმ	მოდნობის, (აბლაციის) საშუალო სიჩქარე, სმ/დღე	მყინვარული ჩამონადენის საშ. ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	მყინვარული ჩამონადენი, მლნ მ <sup>3</sup>	ჩამონადენი 1მმ მოდნობაზე, 10 <sup>3</sup> მ <sup>3</sup> /მმ	საშ. ტემპერატ. გადახრა ნორმიდან მესტიაში, °C
1959 წ. [5].	0.9.0.7-01.08	186.2	8.4	-	18.417	9.9	+0.8
	01.08-01.09	229.4	7.4	-	19.094	8.3	-1.6
	ჯამი	415.6			37.511		
	<b>საშუალო</b>		<b>7.9</b>	<b>-</b>		<b>9.1</b>	<b>-0.4</b>
2000 წ. [6]	16.06-05.07	138	6.9	7.1	12.269	.9.	+3.8
	15.07-01.08	218	8.7	8.4	18.144	8.3	+4.9
	01.08-01.09	188	6.1	10.9	29.194	15.5	+1.6
	01.09-15.10	218	4.8	5.8	22.550	10.3	+0.4
	ჯამი	762			82.1		
	<b>საშუალო</b>		<b>6.6</b>	<b>8.0</b>		<b>10.7</b>	<b>+2.7</b>
2011 წ.	08.07-14.07	74	12.3	15.5	8.035	10.8	+2.1
	14.07-20.07	56	9.3	14.6	7.569	13.5	
	20.07-28.07	71	8.9	14.7	10.161	14.3	
	28.07-04.08	73	10.4	15.1	9.132	12.5	+0.6
	04.08-14.08	97	9.7	9.7	8.381	9.6	
	14.08-23.08	56	5.6	8.4	7.258	13.0	
	ჯამი	427			50.536		
	<b>საშუალო</b>		<b>9.4</b>	<b>13.0</b>		<b>12.1</b>	<b>+1.4</b>

გასული ნახევარი საუკუნის მანძილზე მყინვარ ჭალაათზე ჩატარებული სხვადასხვა გამოკვლევების შედეგები საშუალებას იძლევა პირველ მიახლოებაში შეფასდეს კლიმატის მიმდინარე დათბობის მოსალოდნელი გავლენა მდ. ენგურის ჩამონადენზე. ეს შეფასება დაეყრდნობა იგივე დაშვებებს, რაც გამოყენებული იყო მყინვართა ფართობების მოსალოდნელი ცვლილების შეფასებისას.

კერძოდ, თუ საშუალო დღეღამური ტემპერატურის 1°C-ით მომატებას შეესაბამება მყინვარიდან მოდნობის მატება 6.5 მმ-ით, 2010-2100 წწ. პერიოდში ტემპერატურის თანაბარი საშუალო მატება 1.8 °C-ით გამოიწვევს აბლაციის პერიოდში მყინვარ ჭალაათიდან მოდნობის მატებას 12.6 მმ-ით დღეში. 4-თვიანი პერიოდის (120 დღე) განმავლობაში ეს მოგვცემს 120x12.6 მმ=1510 მმ მოდნობის ნამატს. ჭალაათიდან 2000 წელს დაფიქსირებული 7 620 მმ საშუალო ნადნობისათვის ეს სიდიდე 20%-იან ნაზრდს შეესაბამება. თუ დავუშვებთ, რომ ენგურის აუზში ეს შედეგი ყველა მყინვარზე შეიძლება გავრცელდეს, მივიღებთ, რომ 2010-2100 წწ. პერიოდში ტემპერატურის მატებას 3.7 °C-ით შეუძლია მოდნობის ზრდის შედეგად ჩამონადენის გაზრდა დაახლოებით 20%-ით. საბოლოო ჯამში, ეს შედეგი გამოიწვევს მყინვართა ფართობის შემცირებით გამოწვეული მყინვარული ჩამონადენის შემცირებას 2010 წელთან შედარებით 40%-ით. ამასთან დაკავშირებით, მე-20 საუკუნის შუა პერიოდისათვის არსებული 908 მლნ მ<sup>3</sup>-ისა და 2010 წლისთვის შეფასებული 790 მლნ მ<sup>3</sup>-ის ნაცვლად 2100 წელს მოსალოდნელი იქნება მყინვარული ჩამონადენის შემცირება დაახლოებით 470 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე წელიწადში, რაც საგ. ხაიშზე მდ. ენგურის გასულ საუკუნეში საშუალო სრული წლიური ჩამონადენის თითქმის 14% იქნება.

გასული საუკუნის შუა პერიოდში საგ. ხაიშისთვის დადგენილი სრული წლიური ჩამონადენი 3 465 კმ<sup>3</sup> მყინვარული ჩამონადენის გარეშე შეიცავდა 2557 კმ<sup>3</sup> ატმოსფერული ნალექებისა და მიწისქვეშა კვების ჩამონადენს. ზემოთ ჩატარებული შეფასების თანახმად, 2100 წლისთვის მყინვარული ჩამონადენი სავარაუდოდ, იქნება 0.470 კმ<sup>3</sup>. ამის გათვალისწინებით, 2100 წლისთვის მდ. ენგურის სრული ჩამონადენი

შესაძლებელია შემცირდეს  $2.557+0.470 = 3.027$  (კმ<sup>3</sup>/წელი) - მდე, რაც მე-20 საუკუნის შუა პერიოდისთვის არსებული ჩამონადენის 87% შეადგენს.

ამრიგად, 2100 წლისთვის გლობალური დათბობის შედეგად მცინვარული ჩამონადენის 2010 წლის დონესთან შედარებით მოსალოდნელი 40%-იანი შემცირების ეფექტი აისახება საგ. ხაიშზე გასული საუკუნის შუა პერიოდისთვის მდ. ენგურის სრული წლიური ჩამონადენის 13%-ით შემცირებაში.

საბოლოოდ შეიძლება ითქვას, რომ ჩვენს მიერ მდ. ენგურის აუზში კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებით მცინვარის ფართობისა და მცინვარის ჩამონადენის სავარაუდო ცვლილების შეფასებები მიახლოებითი ხასიათისაა და ეყრდნობა მთელ რიგ დაშვებებს, რაც ქმნის ცალკეულ გაურკვეველობებს. მათი არსებითი შემცირებისათვის მსგავსი შეფასებები უნდა ჩატარდეს მოდელური გამოთვლების გზით, რასაც საფუძვლად დაედება თანამგზავრული მონაცემები მდ. ენგურის აუზში მცინვართა რაოდენობისა და ზომების განაწილების შესახებ, ასევე მცინვართა დნობისა და მცინვარული ჩამონადენის ფორმირების პროცესების ამსახველი თანამედროვე მათემატიკური მოდელები და ექსპერიმენტული მონაცემები.

#### ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ცომაია ვ. და სხვ. გამცინვარების საუკუნოვანი დინამიკა კავკასიაში და მცინვართა გაქრობის კლიმატური პროგნოზი გლობალური დათბობის ფონზე. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2013, ტომი 119, გვ. 197-203.
2. Сванидзе Г.Г., Цомаи В.Ш. (ред.) Водные ресурсы Закавказья. Гидрометеиздат, Ленинград, 1988.
3. Climate Change 1995. The Science of climate Change IPCC, 1996, p. 371
4. ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., ჩოგოვაძე ი. გლობალურ დათბობაზე საქართველოში კლიმატის რეაგირების შეფასება. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, 2010. გვ. 59.
5. Владимиров Л.А. Водный баланс Большого Кавказа. " Мещнереба", Тбилиси, 1970,с.3
6. ჯანელიძე პ. (რედ) მცინვარების როლის შეფასება საქართველოში მდინარეული ჩამონადენის ფორმირებაში. საქ. კლიმ. ცვლილ. ეროვნული სააგენტო, თბილისი, 2000.

უკ. 551.583/551.324

**კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება მდ. ენგურის ჩამონადენზე.** /ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., შვანგირაძე მ./ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული-2014.-ტ.120.-გვ.64-68.-ქართ.; რეზ.ქართ.,ინგლ., რუს.

მდინარე ენგურის აუზის მცინვართა უკვე დაფიქსირებული დეგრადაციისა და რეგიონში ტემპერატურის გაზომილი და პროგნოზირებული ცვლილებების საფუძველზე შეფასებულია გლობალური დათბობის სავარაუდო გავლენა მცინვართა ფართობებსა და მცინვარულ ჩამონადენზე. შესწავლილია მცინვარ ჭალაათზე ჩატარებული გაზომვების სხვადასხვა სერიების მიხედვით დამოკიდებულება ზედაპირულ მოდნობასა და მცინვარულ ჩამონადენს შორის. გარკვეული დაშვებების გათვალისწინებით პროგნოზირებულია 2100 წლისთვის ენგურის აუზში მცინვართა ამჟამინდელი სავარაუდო ფართობების, მცინვარული ჩამონადენისა და სრული ჩამონადენის შემცირების რაოდენობრივი მაჩვენებლები.

UDC 551.583/551.324

**Assessment of climate change impact on R. Enguri's runoff.** /Beritashvili B., Kapanadze N., Shvangiradze M./ Transactions of the Institut of Hydrometeorology at the Georgian Technical University. -2014. - v.120. – pp.64-68. - Georg.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

The anticipated impact of global warming on glacier area and glacial runoff of R. Enguri is assessed based upon the actual data on glacier degradation and temperature measured and projected change. According to different series of observations carried out on Chalaati Glacier the relationship between surface melting and glacial runoff is studied. Possible decrease of glacier area, glacial runoff and total discharge of R. Enguri is forecasted to 2100.

УДК 551.583/551.324

**Оценка влияния глобального потепления на сток р.Ингури.** /Бериташвили Б. Ш., Капанадзе Н. И., Швангирадзе М.Я./ Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета. –2014. – т.120. – с.64-68. – Груз.; Рез. Груз., Англ.,Рус.

На основе зафиксированной деградации ледников бассейна р. Ингури и фактического и прогнозируемого изменения температуры в регионе дана оценка возможного влияния глобального потепления на площадь ледников и ледниковый сток. Исследована зависимость между величиной стаивания и ледниковым стоком с использованием различных серий наблюдений, проведенных на леднике Чалаати. При определенных допущениях прогнозированы количественные показатели ожидаемого уменьшения площади ледников, ледникового стока и общего стока р. Ингури к 2100 г.