

უკ. 551.551.1, 551.575-6

**კლიმატის ცვლილების გავლენა მდინარის ჩამონადენზე
და მის მყინვარულ საზრდოობაზე (მდ. ენგური-საგ.ხაიშის კვეთის მაგალითზე)**
ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ნ.ცინცაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შესავალი. ამოცანის დასმა

როგორც ცნობილია, ბოლო 100-150 წლის განმავლობაში მსოფლიოს ბევრ რეგიონში მიმდინარეობს გამყინვარების დეგრადაცია. კავკასიაში მყინვარების დნობა დაკვირვების ტრადიციული მეთოდებით ფიქსირდება 1850-1965 წლების პერიოდში და გამყინვარების საერთო ფართობის შემცირება საკმაოდ კარგად აღიწერება წრფივი კანონით [1]. ეს პროცესი გრძელდება დღემდე, რასაც ადასტურებენ გასული საუკუნის მეორე ნახევარში დაწყებული დისტანციური ზონდირების, კერძოდ კი თანამგზავრული მონაცემები [2]. იმის გათვალისწინებით, რომ XX საუკუნის 90-იან წლებში დაფიქსირებული გლობალური დათბობის ინტენსივობა დღემდე იზრდება, დიდი ალბათობით შეიძლება ვივარაუდოთ მყინვარების უკან დახევის გაგრძელება ინერციით უახლესი 50 წლის განმავლობაში მაინც.

გამყინვარების დეგრადაციასთან მჭიდრო კავშირშია მყინვარული მდინარის ჩამონადენის ცვლილება, მისი მყინვარული კვების დინამიკა. ამოტომ, ასეთი ტიპის მდინარის ჩამონადენზე დაკვირვების მონაცემები შეიძლება გამოყენებულ იქნას წყალშემკრებზე და საერთოდ რეგიონში კლიმატის ცვლილების ინდიკატორად. მოცემულ ნაშრომში განხილულია მდ.ენგურის-საგუმზაგო ხაიშის კვეთისთვის დამახასიათებელი ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაცია წყალშემკრებზე, რადგან სწორედ ამ შემთხვევაში დაფიქსირებულია მყინვარული საზრდოობის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა კავკასიის და კერძოდ დასავლეთ საქართველოს მდინარეებისათვის [3]. მრავალწლიანი დაკვირვებების მიხედვით ხაიშის კვეთში მდ. ენგურის მყინვარული საზრდოობა შეადგენს მისი სრული ჩამონადენის 20-30%-ს. ასეთ პირობებში მდ. ენგურის მყინვარული კვების სიდიდის გამოყოფა, მისი რყევების და ცვლილების ტენდენციის შესწავლა უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე სხვა მდინარის შემთხვევაში. ნაშრომში [4] მოცემულია ზოგიერთი კვლევის შედეგი, რომელიც ეხება მდ.ენგურის ჩამონადენზე კლიმატის ცვლილების გავლენას. კერძოდ, მყინვარ ჭალათზე ჩატარებული გაზომვების არსებული მონაცემების მიხედვით [4,5], განხილულია დამოკიდებულება ზედაპირულ მოდნობასა და მყინვარულ ჩამონადენს შორის. საკმაოდ გაბედული დაშვებების გათვალისწინებით შეფასებულია 2100 წლისთვის ენგურის აუზში მყინვართა ფართობების, მყინვარული ჩამონადენის და მდინარის სრული ჩამონადენის შემცირების სავარაუდო მაჩვენებლები. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ჩატარებულ კვლევებში საერთოდ არ არის გამოყენებული მდ. ენგურის აუზში ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების, ასევე სრული ჩამონადენის ბუნებრივი (დაკვირვებული) მონაცემები და არ არის განხილული მათი ცვლილება, სრული ჩამონადენის კავშირი მოდნობასა და მყინვარულ კვებასთან, შეიძლება მიუთითოდ მიღებული შედეგების დაბალ საიმედოობაზე. სწორედ აღნიშნული საკითხების გადაწყვეტა წარმოდგენილია მოცემული ნაშრომის კვლევის შედეგებში.

კვლევის მეთოდიკა.

მყინვარული ჩამონადენის განსაზღვრა მოიცავს შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტას:

1. მყინვარული საზრდოობის მქონე მდინარის ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელების შედგენას;
2. მდინარის საერთო ჩამონადენში მყინვარული წყლების წილის შეფასებას;
3. კლიმატის თანამედროვე ცვლილების პირობებში სრული და მყინვარული ჩამონადენის დინამიკის გამოკვლევას.

უფრო დაწვრილებით წარმოვადგინოთ მყინვარული ჩამონადენის განსაზღვრის მეთოდოლოგია მდ. ენგური – ს. ხაიშის ჩამკეტი კვეთის მაგალითზე.

მცინვარული ჩამონადენის გამოკვლევა შეიძლება შესრულდეს მდინარის საერთო ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. მოდელი შეიძლება ასახავდეს R ჩამონადენის ემპირიულ – სტატისტიკურ კავშირს ტემპერატურა – ნალექების (t, P) კომპლექსთან, ანუ უნდა მოიძებნოს ფუნქცია $R = f(t, P)$. ამისათვის გამოყენებული იქნება ხაიშის მეტეოსადგურისა და ჰიდროლოგიური საგუშაგოს ისტორიული მონაცემები, ასევე წყალშემკრებზე ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის სხვადასხვა დროს არსებული პუნქტების ინფორმაცია. ჰიდრომეტეოროლოგიური მახასიათებლების რიგებში გამოტოვებული ელემენტების განსაზღვრა და რიგების მიყვანა ერთი და იგივე პერიოდამდე (ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია) შესრულებულია ემპირიული ფუნქციის ორთოგონალურ მდგენელებად (ვექტორებად) დაშლის მეთოდით.

მეორე ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს, წყალბალანსური ტიპის მოდელების აგებით, რომელთა ზოგადი წარმოდგენა დაიყვანება განტოლებაზე

$$R = R_{გრ} + R_{ნალ} + R_{მყ} . \quad (1)$$

აქ R – მდინარის სრული ჩამონადენია, $R_{გრ}$ – მიწისქვეშა (გრუნტის წყლების) ჩამონადენი, $R_{ნალ}$ – ატმოსფერული ნალექებით ფორმირებული ჩამონადენი, ხოლო $R_{მყ}$ – მცინვარული ჩამონადენი. განტოლებაში შემავალი მცინვარული ჩამონადენის კომპონენტი

$$R_{მყ} = R - R_{გრ} - R_{ნალ} , \quad (2)$$

შეიძლება შეფასდეს დანარჩენი წევრების განსაზღვრით ჰიდრომეტეოროლოგიურ მონაცემთა რიგების საფუძველზე. კერძოდ, R განსაზღვრება უშუალოდ გაზომვებით მიღებული მახასიათებლებით და რეგრესიული მოდელის $R = f(t, P)$ გამოყენებით, $R_{გრ}$ აიღება, როგორც ზამთრის თვეების მინიმალური ჩამონადენის სიდიდე [6], ხოლო $R_{ნალ} = (P - E) \cdot K$ გამოითვლება ერთის მხრივ, მდნარი მყარი და თხევადი ნალექებისა და მეორეს მხრივ, აორთქლების სიდიდეთა სხვაობით, ასევე აუზისა და კვეთისთვის დამახასიათებელი K ჩამონადენის კოეფიციენტის მიხედვით.

მცინვარის აბლაციის პერიოდში წარმოქმნილი მოდნობის სიდიდის განსაზღვრა შეიძლება, მაგალითად, არსებულ ემპირიულ გამოსახულებათა საფუძველზე [3]:

$$Q = 0.038 F (1 + t_{გ}) \exp (1.37 k_1^2) \quad (3)$$

ან

$$Q = 0.051 F (1 + t_{გ}) (0.75 + 2.2 k_1^3) . \quad (4)$$

აქ Q მ³/წმ – ნადნობი წყლების საშუალო დღეღამური ხარჯია აბლაციის პერიოდში (აპრილი – ოქტომბერი), F კმ² მცინვარის ზედაპირის ფართობია, $t_{გ}^{\circ}C$ – ფირნის ხაზზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურა აღნიშნულ პერიოდში, k_1 – მცინვარის ენისა და მისი სრული ფართობების შეფარდება. ეს იძლევა საშუალებას დავადგინოთ ჩამკეტ კვეთისთვის მდინარის მცინვარული ჩამონადენის $R_{მყ}$ მ³/წმ წილი მცინვარული აუზის R მ³/წმ სრულ ჩამონადენში:

$$K_2 = R_{მყ} / R \times 100\% . \quad (5)$$

მეორე ამოცანის საბოლოო გადაწყვეტა შეიძლება მოხდესა ჩამონადენის მათემატიკური მოდელების გამოყენებით, რომელთა დახმარებით შეიძლება განვსაზღვროთ მცინვარული ჩამონადენის კოეფიციენტის ყოველწლიური მნიშვნელობები.

თუ ჩავთვლით, რომ მცინვარული აუზიდან ჩამონადენი სრულად ქმნის ჩამკეტ კვეთში მდინარის მცინვარულ ჩამონადენს, ე.ი. $R_{მყ} = Q$ (რაც ასევე დასადაგენია), მაშინ კოეფიციენტის განსაზღვრა შეიძლება შემდეგი გამოსახულებით:

$$K_2 = 0.274 n Q / R = 0.01 n F (1 + t_{გ}) \exp (1.37 k_1^2) / R, \quad (6)$$

სადაც n აბლაციის პერიოდში დღეთა რიცხვია, Q და R საშუალო წლიური ხარჯებია შესაბამისად მცინვარული აუზიდან და მდინარის ჩამკეტ კვეთში.

რადგან მოდელების საშუალებით განსაზღვრება მდინარის ყოველწლიური მცინვარული და სრული ჩამონადენის ხარჯები, ამიტომ შესაძლებელი ხდება მესამე ამოცანის გადაწყვეტა – მო-

ნაცემთა რიგების საფუძველზე შესაბამისი ტრენდების აგება. ასევე კლიმატის ცვლილების კონკრეტული სცენარებისათვის მოდელის გამოყენებით შეიძლება დავადგინოთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება, როგორც [7]:

$$dR = (\partial R/\partial t) dt + (\partial R/\partial P) dP. \quad (7)$$

აქ $\partial R/\partial t$ და $\partial R/\partial P$ – წარმოადგენენ ჩამონადენის კერძო წარმოებულებს ტემპერატურისა და ნალექების მიმართ და ფიზიკური არსით გამოხატავენ ჩამონადენის მგრძობიარობას ცალ-ცალკე ტემპერატურისა და ნალექთა ცვლილების პირობებში [7]. ამ სიდიდეთა განსაზღვრა ხდება ჩამონადენის მათემატიკური მოდელის საფუძველზე, ხოლო dt და dP მოიცემა კლიმატური სცენარით. ანალოგიურად განისაზღვრება მყინვარული ჩამონადენის ცვლილება კლიმატური პარამეტრების ვარირების დროს.

თანამედროვე გლობალური დათბობის პირობებში სრული და მყინვარული ჩამონადენის დინამიკის მახასიათებლების შეჯერება მოხდება თანამგზავრული დაკვირვების, მყინვართა დინამიკის ცვლილების და ჩამონადენის ფორმირების მოდელების საფუძველზე მიღებულ მონაცემებთან.

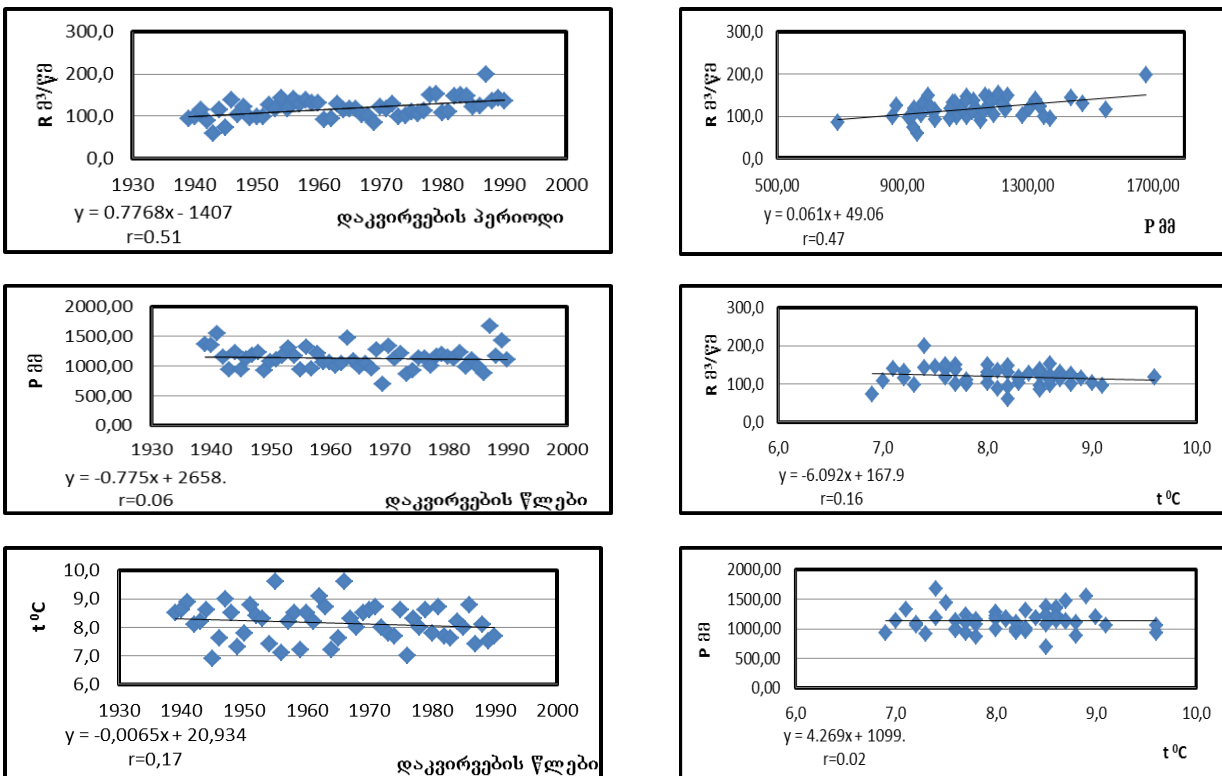
თანამგზავრული მონაცემებით და მოდელებით მიღებული მყინვარული ჩამონადენის რეჟიმის და მისი ცვლილების პარამეტრები შეიძლება შედარებული იქნას ჰიდროგრაფის დანაწევრებით მიღებულ მახასიათებლებთან.

კვლევის შედეგები.

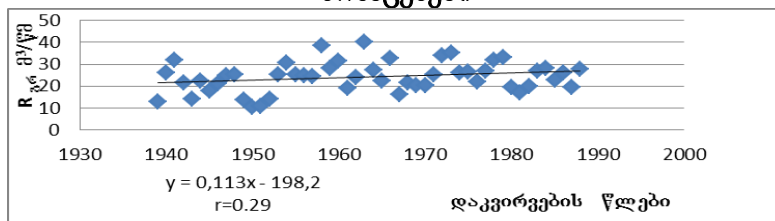
მდ. ენგურის-საგუშაგო ხაიშის კვეთის მიმართ აუზის ფართობია 2780 კმ², მისი საშუალო სიმაღლე-2320 მ ზღვის დონიდან. 1938-1990 წლებში წყალშემკრებზე სხვადასხვა დროს ფუნქციონირებდა ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების დამდგენი 8 მეტეოსადგური და საგუშაგო: ხაიში, ნაკი, ლახამულა, დიზი, ბეჩო, ლახამი, მესტია, ჩოლაში. კლიმატურ ცნობარში, რომელშიც შესულია ინფორმაცია ჰაერის ტემპერატურის შესახებ, წარმოდგენილია მხოლოდ 3 პუნქტის - ხაიშის, ბეჩოსა და მესტიის მონაცემები. ამ მონაცემების მიხედვით წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობა შეადგენს $t=7.6^{\circ}\text{C}$. წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების წლიური საშუალო სიდიდე აღნიშნული 8 მეტეოპუნქტის მიხედვით ტოლია $P=1116$ მმ. მდ. ენგურის საშუალო წლიური ჩამონადენის მნიშვნელობა ხაიშთან 1938-1990 წლებში შეადგენდა $R=110$ მ³/წმ=1248 მმ=3.469კმ³. უკვე ამ მონაცემებიდან ჩანს შეუსაბამობა დაფიქსირებულ ნალექთა ჯამებსა და ჩამონადენს შორის - $R>P$. ამიტომ, ყოველწლიურ მონაცემებზე გადასვლისას, უმეტეს შემთხვევაში ჩამონადენის კოეფიციენტი $K=R/P$ ერთზე მეტი აღმოჩნდა. ამან განაპირობა შემდეგ შეფასებებში გვესარგებლა ჩამონადენის კოეფიციენტის კლიმატური მნიშვნელობით $K=0.75$, რომელიც აღებული იქნა მდ. ენგურის აუზის ამ ნაწილისათვის ვ.ვლადიმეროვის და სხვების კავკასიისა და საქართველოს წყლის ბალანსის კვლევების შედეგების მიხედვით [8,9,10]. აღსანიშნავია, რომ აუზში ნალექთა ჯამების განაწილება სიმაღლის მიხედვით არატიპიურია- ნალექები მცირდება მაქსიმუმით ხაიშში (1301 მმ) და ნაკში (1343 მმ), მინიმუმით მესტიაში (918 მმ). ყველა მეტეოპუნქტი განლაგებულია 1600 მ-ზე ქვემოთ, რაც ბევრად ნაკლებია, ვიდრე აუზის საშუალო სიმაღლე (2320 მ). საქმეს არც მეზობელი აუზების - მდინარეების კოდორის და რიონის წყალშემკრებებზე არსებული პუნქტების მონაცემებმა უშველა. მცდელობა მიგველო ნალექთა ჯამების სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკული და ანალიზური სახე უშედეგოდ დასრულდა. ამან კი არ მოგვცა საშუალება ნალექთა ჯამები წყალშემკრებზე დაგვეკავშირებინა აუზის საშუალო სიმაღლესთან და შესაბამისი კორექცია შეგვეტანა ნალექთა ყოველწლიურ მნიშვნელობებში. ასეთ ვითარებაში იძულებული გაგხდით კვლევის მეორე ნაწილში ნალექთა ჯამების ყოველწლიური სიდიდეები წყალშემკრებზე აღგვედგინა ჩამონადენისა და ჩამონადენის კოეფიციენტის კლიმატურ მნიშვნელობათა დახმარებით, რაც ფიზიკურად სავსებით მისაღებია [8-10].

იმის გამო, რომ ზევით ნახსენები 8 პუნქტიდან უმეტესობას ახასიათებს დაკვირვების ძალიან მოკლე რიგები, ისინი დროში სინქრონული არ არიან, ამიტომ შემდგომი ანალიზისათვის

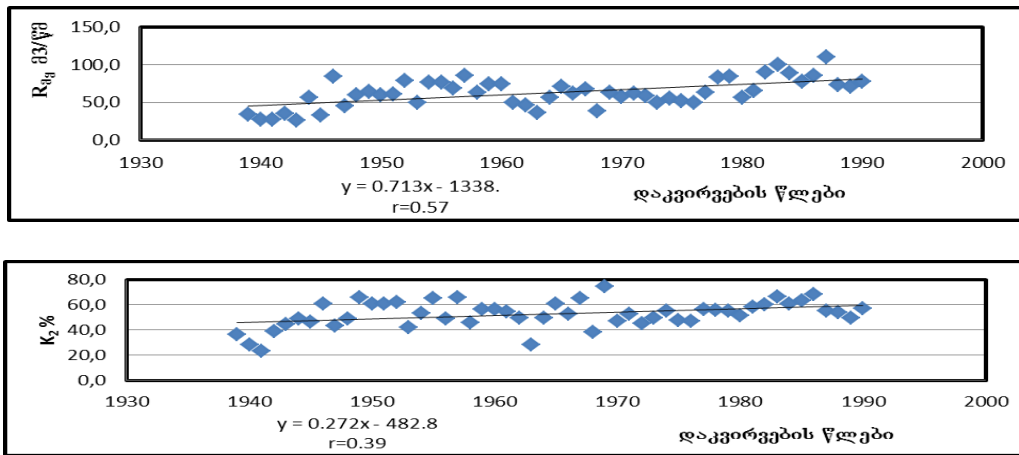
განხილული იქნა მხოლოდ ორი მეტეოსადგურის - ხაიშის და მესტიის მონაცემები. ნახ.1-ზე წარმოდგენილი მდ. ენგურის-ს.ხაიშის კვეთში ჩამონადენის, წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების და ჰაერის ტემპერატურის მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზის შედეგები. ნახაზის მარცხენა ნაწილში მოცემულია ამ პარამეტრების დინამიკა 1938-1990 წლებში შესაბამისი ტრენდებით, ხოლო მარჯვენა ნახევარში წარმოდგენილია დამოკიდებულებები: ჩამონადენისა ნალექთა ჯამებზე; ჩამონადენისა ჰაერის ტემპერატურაზე; ნალექთა ჯამების ტემპერატურაზე. როგორც ვხედავთ, განხილულ პერიოდში ჩამონადენი საგრძნობლად იზრდება დაახლოებით $R=100$ -დან $R=150$ მ³/წმ-მდე, რასაც თან ახლავს წყალშემკრებზე პრაქტიკულად ნალექთა ჯამების უცვლელი სიდიდე $P=1135$ მმ და ჰაერის ტემპერატურის შემცირება დაახლოებით $t=8.5^{\circ}$ -დან $t=8^{\circ}C$ -მდე. უნდა ვიფიქროთ, რომ ასეთ მდგომარეობაში ჩამონადენის მატება უნდა იყოს გან-პირობებული მიწნარული და მიწისქვეშა ჩამონადენის ზრდით (იხ.ნახ.1.ა. და 2.).



ნახ.1.მდ.ენგურის აუზის დაკვირვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი, ჰიდროლოგიური კალენდარული წლის მიხედვით – წლიური მონაცემები



ნახ.1.ა. მდ.ენგური – ს.ხაიშის კვეთში დაფიქსირებული მიწისქვეშა ჩამონადენის დინამიკა



ნახ.2. მცინვარული ჩამონადენის დინამიკა 1938 - 1990 წლებში

ცხრ.1-ში მოცემულია მდ. ენგურის-ს.ხაიშის კვეთისთვის მიღებული ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი, რომელიც აკავშირებს ჩამონადენის მნიშვნელობებს წყალშემკრებზე აღნიშნულ ნალექთა ჯამებსა Pმმ და ჰაერის ტემპერატურასთან t°C.

ცხრილი 1. მდ.ენგურის აუზის დაკვირვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი და მოდელირება, ჰიდროლოგიური კალენდარული წლის მიხედვით – წლიური მონაცემები

| პარამეტრები | | | სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი | | | | | |
|---|-------------------|------|---|------------------------------|---------------------------------------|---|------------|-----------|
| | | | R=0.03127P-6.7276t+137.65 r=0.29; σ _R =23.49; S _R =22.47 | | | | | |
| მდ.ენგურის ჩამონადენის გაანგარიშება - საგ.ხაიშთან | | | | | | | | |
| n | დაკვირვების წლები | | მდ.ენგურის აუზში | | | ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მ ³ /წმ | ცდომილება | |
| | | | დაკვირვებული სრული ჩამონადენი R, მ ³ /წმ | საშუალო წლიური ნალექები P მმ | ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t°C | | აბსოლუტური | ფარდობითი |
| | | | | | | ΔR , მ ³ /წმ | ΔR /R % | |
| 1 | 1938 | 1939 | 93,6 | 1370,50 | 8,5 | 123,32 | 29,704 | 0,317 |
| 2 | 1939 | 1940 | 98,3 | 1350,50 | 8,6 | 122,33 | 24,073 | 0,245 |
| 3 | 1940 | 1941 | 115,9 | 1548,00 | 8,9 | 126,00 | 10,128 | 0,087 |
| 4 | 1941 | 1942 | 88,5 | 1150,00 | 8,1 | 119,27 | 30,800 | 0,348 |
| ... | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| ... | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 50 | 1987 | 1988 | 135,6 | 1178,00 | 8,1 | 120,13 | 15,451 | 0,114 |
| 51 | 1988 | 1989 | 143,8 | 1437,50 | 7,5 | 131,86 | 11,961 | 0,083 |
| 52 | 1989 | 1990 | 136,2 | 1103,50 | 7,7 | 120,19 | 15,959 | 0,117 |
| საშუალო | | | 118,30 | 1134,63 | 8,15 | 118,30 | 16,68 | 0,15 |
| მაქსიმუმი | | | 198,60 | 1677,00 | 9,57 | 140,39 | 58,21 | 0,89 |
| მინიმუმი | | | 59,54 | 693,50 | 6,91 | 102,01 | 0,04 | 0,00 |

ცხრილში შესულია მოდელის გამოცდის შედეგები. როგორც ვხედავთ საშუალო ფარდობითი ცდომილება აღწევს 15%-ს. მიღებული სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლების

კორელაციის კოეფიციენტი დაბალია და შეადგენს $r=0.29$, საშუალო კვადრატული გადახრა აღწევს $\sigma_R=23.5$ მ³/წმ, ხოლო ცდომილება რეგრესიის წრფის მიმართ $S_R=22.5$ მ³/წმ. მიღებული მოდელი ასახავს სიტუაციას გლობალური დათბობის ინტენსივობის გაზრდამდე, რომელიც დაიწყო 90-იან წლებში. მიღებული მონაცემები არ ეწინააღმდეგებიან ინფორმაციას, შესულს კლიმატის ცვლილების პირველ ეროვნულ შეტყობინებაში [11]. რადგან ბოლო კვლევების შედეგების მიხედვით 20 წლიანი პერიოდის მონაცემების გათვალისწინება (1991-2010) იძლევა დასავლეთ საქართველოში ტემპერატურის მატებას და არა შემცირებას [12-14], მიღებული მოდელის გამოყენება კლიმატის ცვლილების რაიმე საპროგნოზო შეფასებებში უნდა შესრულდეს გარკვეული სიფრთხილით. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ მოდელში ნალექთა განაწილება წყალშემკრებზე მხოლოდ მიახლოებით ასახავს სინამდვილეს.

შევასრულოთ ჩამონადენის სავარაუდო მნიშვნელობის შეფასება მიღებული მოდელით ორი 2015 და 2100 საპროგნოზო წლებისათვის.

ამრიგად მოდელის მიხედვით

$$R=0.03127P-6.7276t+137.65, \quad (8)$$

საიდანაც

$$dR=0.03127dP-6.7276dt. \quad (9)$$

2015 წლისათვის დასავლეთ საქართველოში და კერძოდ მდ.ენგურის აუზში კლიმატური სცენარის მიხედვით ნალექთა ჯამები წყალშემკრებზე შემცირდება 5%-ით, ხოლო ტემპერატურა გაიზრდება 0.03°C -ით ყოველ წელიწადში, ამიტომ

$$dP=-0.05P=-0.05 \times 1134.6 = -56.7 \text{ მმ},$$

$$dt=(2015-1991) \times 0.03 = 24 \times 0.03 = 0.72^{\circ}\text{C}.$$

ჩამონადენის ცვლილების მნიშვნელობისათვის ვღებულობთ:

$$dR=-0.03127 \times 56.7 - 6.7276 \times 0.72 = -6.6 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ (-5\%)}.$$

ამრიგად, 2015 წლისათვის ჩამონადენი შეიცვლება $R=118.3-6.6=111.7$ მ³/წმ-მდე.

2100 წლისათვის კლიმატური სცენარის მიხედვით ნალექთა ჯამები უნდა შემცირდეს 10%-ით, ხოლო ჰაერის ტემპერატურამ უნდა მოიმატოს 3°C -ით.

ამიტომ

$$dP=-0.1P=-0.1 \times 1134.6 = -113.46 \approx -113.5 \text{ მმ},$$

$$dt=3^{\circ}\text{C}.$$

$$dR=-0.03127 \times 113.5 - 6.7276 \times 3 = -23.7 \approx -24 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ (-20\%)}.$$

ამრიგად, 2100 წლისათვის წყალშემკრებზე მოსალოდნელი ნალექთა ჯამების 10%-ით შემცირებისა და ჰაერის ტემპერატურის 3°C -ით მატებისას ჩამონადენი მცირდება დაახლოებით 24 მ³/წმ-ით, რაც შეადგენს ნორმის 20%-ს. საუკუნის ბოლოსთვის ჩამონადენის სავარაუდო მნიშვნელობა შეადგენს $R=118-24=94$ მ³/წმ.

ყოველწლიური მცინვარული ჩამონადენის სიდიდეთა შესაფასებლად ვისარგებლოთ ფორმულით (იხ.კვლევის მეთოდიკა):

$$R_{\text{მც}}=R-R_{\text{გრ}}-(P-E)K, \quad (10)$$

სადაც R -სრული ჩამონადენია, $R_{\text{გრ}}$ -მიწისქვეშა ჩამონადენი, რომელიც აიღება ზამთრის თვეების სრული ჩამონადენის მინიმუმის გათვალისწინებით, P -ნალექთა ჯამებია წყალშემკრებზე.

$$E=34t+383 \quad (11)$$

წლიური აორთქლების სიდიდეა მმ-ში [15], t -წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობა, ხოლო K -ჩამონადენის კოეფიციენტი, რომელიც, როგორც ეს იყო ზემოთ აღნიშნული, აღებულია 0.75-ის ტოლად.

ცხრ.2-ში მოცემულია მცინვარული ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელო-ბები 1938-1990 წლებში, ხოლო ნახ.2 წარმოდგენილია მცინვარული ჩამონადენის და მისი კოეფიციენტის დინამიკა შესაბამისი ტრენდებით.

იმის გამო, რომ (10) განტოლებაში მარჯვენა მხარეს სრული ჩამონადენი R უფრო სწრაფად იზრდება, ვიდრე მიწისქვეშა ჩამონადენი $R_{\text{გ}}$, ხოლო ნალექთა ჯამები P ფაქტიურად არ იცვლება, მცინვარული ჩამონადენი მიჰყვება სრული ჩამონადენის მსვლელობას და ასევე იზრდება. როგორც ვხედავთ, მცინვარული ჩამონადენის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენს დაახლოებით 23%-ს ($27\text{მ}^3/\text{წმ}$), მაქსიმალური-75%-ს ($63\text{მ}^3/\text{წმ}$), ხოლო საშუალო -53%-ს ($63\text{მ}^3/\text{წმ}$). კოეფიციენტის ეს მნიშვნელობა დაახლოებით 2-ჯერ მეტია სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებულ სიდიდეებზე [3,8-10]. რომ გამოგვესწორებინა ეს მდგომარეობა, ნალექთა ჯამების დაკვირვებულ მონაცემების ნაცვლად, როგორც ეს იყო აღნიშნული, გადავდით წყალშემკრებზე ნალექთა აღდგენილ მნიშვნელობებზე: მათი სიდიდეები გამოთვლილ იქნა ჩამონადენის ყოველწლიური მონაცემების საფუძველზე, როგორც $P = R/K$, სადაც $K=0.75$ არის ჩამონადენის კოეფიციენტის კლიმატური მახასიათებელი. ამრიგად, ცხრილებში 1 და 2 შეტანილ იქნა ნალექთა ჯამების გამოთვლილ მონაცემთა მასივი და ყველა გამოთვლება გამეორდა იმავე წესით, კვლავ ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელისა და მცინვარული ჩამონადენის დასადგენად. ცხრილებში 3 და 4 შესაბამისად მოცემულია ჩამონადენის ფორმირების მოდელი და მცინვარული ჩამონადენის ახალი შეფასების შედეგები, ნალექთა ჯამების გამოთვლილ მნიშვნელობათა გათვალისწინებით. ნახაზებზე 3 და 4 წარმოდგენილია ამ შეფასებათა შესაბამისი გრაფიკული ასახვა.

ცხრილი 2. მდ.ენგურის (საგ.ხაიში) აუზის მცინვარული ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობები 1938-1990 წლებში

| t°C | E მმ | Rსაშ | | Rმინ | | თვე | P მმ | (P-E) *0.75 | Rმყ. | | |
|-----------|--------|-------|---------|-------|--------|-----|-------------|----------------|------------|-----------|-----------|
| | | მ³/წმ | მმ | მ³/წმ | მმ | | | | მმ | მ³/წმ | K₂% |
| 1938-1939 | | | | | | | | | | | |
| 8.5 | 672 | 93.6 | 1061.8 | 13.0 | 147.5 | I | 1370.5 | 523.875 | 390.5 | 34.4 | 36.8 |
| 1939-1940 | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | 675.4 | 98.3 | 1115.1 | 26.0 | 294.9 | III | 1350.5 | 506.325 | 313.8 | 27.6 | 28.1 |
| 1940-1941 | | | | | | | | | | | |
| 8.9 | 685.6 | 115.9 | 1314.8 | 32.0 | 363.0 | I | 1548.0 | 646.8 | 305.0 | 26.9 | 23.2 |
| 1941-1942 | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | 658.4 | 88.6 | 1005.1 | 21.4 | 242.8 | II | 1150.0 | 368.7 | 393.6 | 34.7 | 39.1 |
| 1942-1943 | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | 661.8 | 59.5 | 675.0 | 14.1 | 160.0 | II | 948.0 | 214.65 | 300.4 | 26.5 | 44.5 |
| ----- | | | | | | | | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | |
| 1987-1988 | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | 658.4 | 135.6 | 1342.0 | 27.6 | 313.1 | II | 1178.0 | 389.7 | 639.2 | 56.3 | 47.6 |
| 1988-1989 | | | | | | | | | | | |
| 7.5 | 638 | 148.8 | 1545.1 | 19.9 | 225.7 | II | 1437.5 | 599.625 | 719.7 | 63.4 | 46.6 |
| 1989-1990 | | | | | | | | | | | |
| 7.7 | 644.8 | 136.2 | 1538.2 | 27.8 | 315.4 | II | 1103.5 | 344.025 | 878.9 | 77.4 | 57.1 |
| საშუალო | | | | | | | | | | | |
| 8.15 | 660.23 | 118.3 | 1349.33 | 24.13 | 273.78 | | 1134.6 3 | 355.80 | 719.7 4 | 63.4 1 | 51.6 3 |

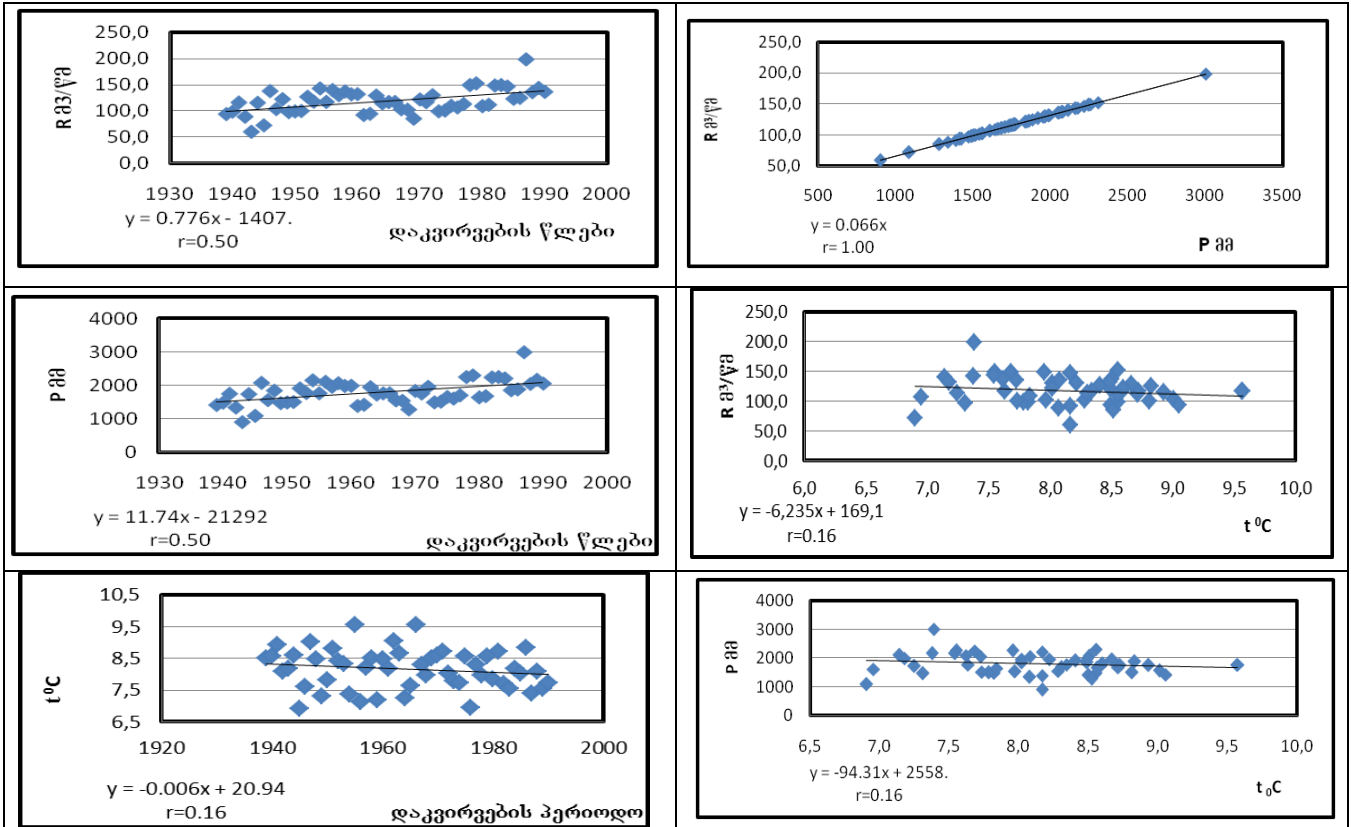
ცხრილი 3. მდ.ენგურის (საგ.ხაიში) აუზის დაკვირვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი და მოდელირება, ჰიდროლოგიური კალენდარული წლის მიხედვით – წლიური მონაცემები აღდგენილია ნალექთა ჯამებით.

| პარამეტრები | | | სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი | | | | | |
|---|-------------------|------|---|---|--|---|--|-------------------------------|
| | | | R=0.07P-0.13t-5.89 r=0.88; σ _R =23,49; S _R =3.31 | | | | | |
| მდ.ენგურის ჩამონადენის გაანგარიშება - საგ.ხაიშთან | | | | | | | | |
| n | დაკვირვების წლები | | მდ.ენგურის აუზში | | | ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა R მ ³ /წმ | აბსოლუტური ცდომილება ΔR მ ³ /წმ | ფარდობითი ცდომილება, ΔR /R % |
| | | | დაკვირვებული სრული ჩამონადენი R მ ³ /წმ | გაანგარიშებული საშუალო წლიური ნალექები P მმ | ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t ⁰ C | | | |
| 1 | 1938 | 1939 | 93.6 | 1415.98 | 8.5 | 92.12 | 1.476 | 0.016 |
| 2 | 1939 | 1940 | 98.3 | 1486.19 | 8.6 | 97.03 | 1.275 | 0.013 |
| 3 | 1940 | 1941 | 115.9 | 1752.65 | 8.9 | 115.64 | 0.262 | 0.002 |
| 4 | 1941 | 1942 | 88.5 | 1338.15 | 8.1 | 86.73 | 1.773 | 0.020 |
| -- | | | | | | | | |
| 50 | 1987 | 1988 | 135.6 | 2050.74 | 8.1 | 136.61 | 1.009 | 0.007 |
| 51 | 1988 | 1989 | 143.8 | 2175.40 | 7.5 | 145.41 | 1.613 | 0.011 |
| 52 | 1989 | 1990 | 136.2 | 2059.31 | 7.7 | 137.26 | 1.061 | 0.008 |
| საშუალო | | | 118.31 | 1789.37 | 8.15 | 118.31 | 1.07 | 0.01 |
| მაქსიმუმი | | | 198.60 | 3003.89 | 9.60 | 203.42 | 4.82 | 0.06 |
| მინიმუმი | | | 59.50 | 900.59 | 6.90 | 56.09 | 0.06 | 0.00 |

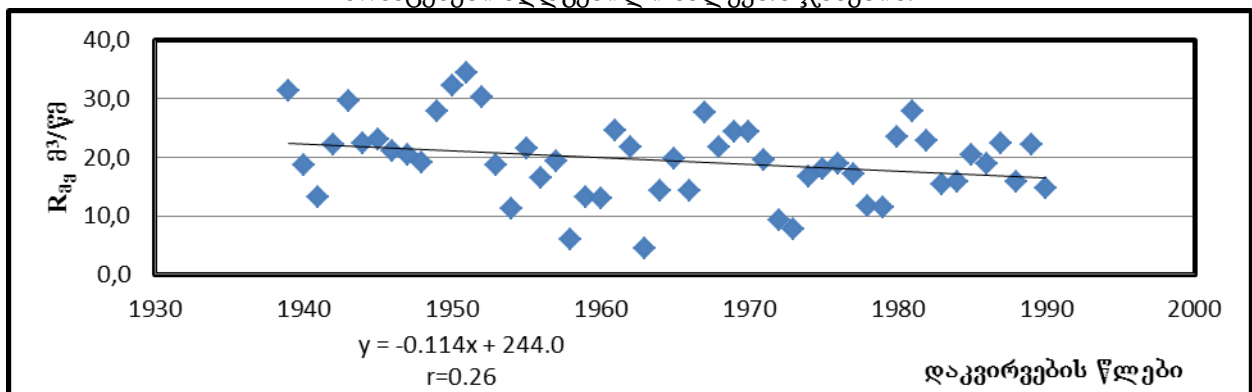
ცხრილი 4.. მდ.ენგურის აუზის (საგ.ხაიში) მყინვარული ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობები 1938-1990 წლებში

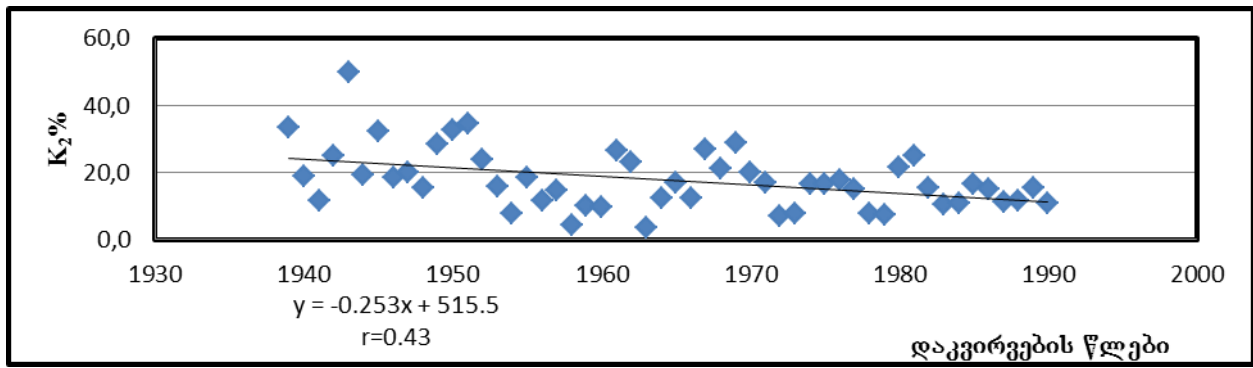
| t ⁰ C | E მმ | R _{საშ} | | R _{მინ} | | თვე | P=R/K მმ | (P-E) *0.75 | R _{მყ.} | | |
|------------------|-------|--------------------|--------|--------------------|-------|-----|----------|-------------|------------------|--------------------|------------------|
| | | მ ³ /წმ | მმ | მ ³ /წმ | მმ | | | | მმ | მ ³ /წმ | K ₂ % |
| 1938-1939 | | | | | | | | | | | |
| 8.5 | 672 | 93.6 | 1062.0 | 13.0 | 147.5 | I | 1416.0 | 557.9875 | 356.5 | 31.4 | 33.6 |
| 1939-1940 | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | 675.4 | 98.3 | 1114.6 | 26.0 | 294.9 | III | 1486.2 | 608.0925 | 211.6 | 18.6 | 19.0 |
| 1940-1941 | | | | | | | | | | | |
| 8.9 | 685.6 | 115.9 | 1314.5 | 32.0 | 363.0 | I | 1752.6 | 800.286 | 151.2 | 13.3 | 11.5 |
| 1941-1942 | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | 658.4 | 88.5 | 1003.6 | 21.4 | 242.8 | II | 1338.1 | 509.809 | 251.0 | 22.1 | 25.0 |
| 1942-1943 | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | 661.8 | 59.5 | 675.4 | 14.1 | 160.0 | II | 900.6 | 179.0907 | 336.4 | 29.6 | 49.8 |
| ----- | | | | | | | | | | | |
| 1987-1988 | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | 658.4 | 135.6 | 1538.1 | 27.6 | 313.1 | II | 2050.7 | 1044.257 | 180.7 | 15.9 | 11.7 |

| 1988-1989 | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|-------|--|--------|----------|-------|------|------|
| 7.5 | 638 | 143.8 | 1631.6 | 19.9 | 225.7 | | 2175.4 | 1153.051 | 252.8 | 22.3 | 15.5 |
| 1989-1990 | | | | | | | | | | | |
| 7.7 | 644.8 | 136.2 | 1544.5 | 27.8 | 315.4 | | 2059.3 | 1060.886 | 168.2 | 14.8 | 10.9 |
| საშუალო | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | 660.2 | 118.3 | 1342.0 | 24.1 | 273.8 | | 1789.4 | 846.9 | 221.4 | 19.5 | 17.8 |



ნახ.3. მდ.ენგურის აუზის დაკვირვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი, ჰიდროლოგიური კალენდარული წლის მიხედვით – წლიური მონაცემები აღდგენილი ნალექთა ჯამებით





ნახ.4. მცინვარული ჩამონადენის დინამიკა 1938 - 1990 წლებში

როგორც ვხედავთ, ახალ შეფასებებში მცინვარული ჩამონადენის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 3.5% (4.6 მ³/წმ), მაქსიმალური-50% (29.6 მ³/წმ), ხოლო საშუალო - დაახლოებით 18% (19.5 მ³/წმ), რაც სავსებით მისაღებია. მცინვარული ჩამონადენის დინამიკა ამ შემთხვევაში ხასიათდება დადებითი ტრენდებით, რადგან (10) განტოლებაში ნალექთა როლი მეტად გაზრდილია: ისინი მიჰყვებიან ზრდად სრულ ჩამონადენს, ხდება მათი მატება, რაც ამცირებს მცინვარული ჩამონადენის სიდიდეს და ქმნის დადებით ტრენდს.

იგივე მცინვარული ჩამონადენის შეფასება მოვახდინოთ განსხვავებული მიდგომით, რისთვისაც გამოვიყენოდ (3) ან (4) განტოლებები. შერჩეული იქნა ოთხი წელი: 1965, 1990, 2015 და 2100. პირველი ორი წელი აღებულია იმისთვის, რომ შევადაროთ არსებულ მონაცემებს და ზევით მოყვანილ კვლევის შედეგებს.

1965 წლის მცინვარული ჩამონადენის შეფასება შესრულდა თანახმად მონაცემების მონოგრაფიიდან [3].

მცინვართა სრული ფართობი ენგურის აუზში $F=288.3\text{კმ}^2$, ჰაერის ტემპერატურა ფირნის ხაზზე 4.6°C . აბლაციის პერიოდში მცინვარების ზედაპირის მოდნობის შედეგად წარმოქმნილი მცინვარული ჩამონადენის დღელამური სიდიდეა $Q=0.051 \times 288.3(1+4.6) \times 0.99=81.5\text{მ}^3/\text{წმ}$.

აქ მცინვართა ფორმის დამახასიათებელი პარამეტრი აღებულია [3]-ის მიხედვით:

$$m = 0.75 + 2.2K_1^3 = 0.99.$$

4-თვიანი აბლაციის პერიოდში ეს იძლევა მოდნობის მნიშვნელობას

$$Q_1=81.5 \times (1.22 \times 2.4 \times 3.6)\text{მლნ მ}^3=859\text{მლნ მ}^3.$$

საგუშაგო ხაიშის კვეთში მცინვარული ჩამონადენის სიდიდე ტრანსფორმირდება შემდეგ მნიშვნელობაში:

$$Q_2=R_{\text{ფ}}=\frac{859 \times 10^6 \times 10^9 \text{მ}^3}{2780 \times 10^{12} \text{მ}^2}=309 \text{მმ}=27.2 \text{მ}^3/\text{წმ},$$

რაც შეადგენს საშუალო წლიური სრული ჩამონადენის $K_2=27.2/118.3=0.23$, ე.ი. 23%-ს.

1990 წლისათვის მცინვართა საერთო ფართობის ცვლილება შეიძლება დავადგინოთ [1] -ის მიხედვით:

$$F=F_0-0.584(T-T_0)=288.3-0.584(1990-1965)=273.7\text{კმ}^2.$$

მცინვარის ზედაპირის მოდნობის დღელამური სიდიდე შეადგენს:

$$Q=0.051 \times 273.7(1+4.6-0.6) \times 0.99=69.1\text{მ}^3/\text{წმ}.$$

აქ გათვალისწინებულია 1965 წლისათვის არსებული ტემპერატურა ფირნის ხაზზე (4.6°C) და მისი დაკლება ხაზის 100 მეტრით ზევით აწევსას ($0.6^{\circ}\text{C}/100\text{მ}$). მიღებულია დაშვება მცინვართა ფორმის დამახასიათებელი პარამეტრის $m=0.99$ უცვლელია შესახებ.

4-თვიანი აბლაციის პერიოდში მოდნობის სიდიდე შეადგენს:

$$Q_1=69.1 \times 1.22 \times 2.4 \times 3.6 \text{ მლნ მ}^3=728 \text{ მლნ მ}^3.$$

საგუშაგო ხაიშის კვეთში მყინვარული ჩამონადენის სიდიდეა

$$Q_2=R_{\text{მყ}}=\frac{728 \times 10^6 \times 10^9 \text{ მ}^3}{2780 \times 10^{12} \text{ მ}^2}=262 \text{ მმ}=23.1 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

რაც საშუალო წლიური ჩამონადენის

$$R=0.7768 \times 1990-1407=138.8 \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

$$K_2=23.1/138.8=0.166 \approx 17\% \text{-ს შეადგენს.}$$

განხილული პერიოდის ნორმის გათვალისწინებით

$$K_2=23.1/118.3=0.195=19.5\%.$$

2015 წლისათვის მყინვართა ფართობის შემცირება ტოლია

$$F=F_0-0.584(2015-1965)=288.3-0.584 \times 50=259.1 \text{ კმ}^2.$$

უშვებთ, რომ ფირნის ხაზის აწევა ამ დროისათვის შეადგენს 200მ, ამიტომ ტემპერატურა დაიწევს $1.2^\circ\text{C}/200 \text{ მ}$ -ით, ხოლო გლობალური დათბობით გამოწვეული ტემპერატურის მატება ფირნის ხაზზე ტოლია $(2015-1990) \times 0.03^\circ\text{C}/\text{წელი}=0.75^\circ\text{C}$.

ამრიგად, მოდნობის დღელამური სიდიდეა

$$Q=0.051 \times 259.1 [1+(4.6-1.2+0.75)] \times 0.99=67.4 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

უშუალოდ მყინვარის ბოლოს 4-თვიანი აბლაციის შემდეგ მოდნობის სიდიდე შეადგენს:

$$Q_1=67.4 \times 1.22 \times 2.4 \times 3.6 \text{ მლნ მ}^3=710.5 \text{ მლნ მ}^3.$$

ხაიშის კვეთში მყინვარული ჩამონადენის მნიშვნელობა იქნება

$$Q_2=R_{\text{მყ}}=\frac{710.5 \times 10^6 \times 10^9 \text{ მ}^3}{2780 \times 10^{12} \text{ მ}^2}=255.6 \text{ მმ}=22.5 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

რაც ამ წლისათვის სრული ჩამონადენის (ტრენდის გათვალისწინებით)

$$R=0.7768 \times 2015-1407=158.3 \text{ მ}^3/\text{წმ-ის}$$

$$K_2=22.5/158.3=0.14, \text{ ე.ი. } 14\% \text{-ს შეადგენს.}$$

1938-1990 წლების პერიოდის სრული ჩამონადენის ნორმის გათვალისწინებით

$$K_2=22.5/118.3=0.19=19\%.$$

2100 წლისათვის მყინვართა ფართობი შემცირდება

$$F=F_0-0.584(2100-1965)=288.3-0.584 \times 135=209.5 \text{ კმ}^2 \text{-მდე}$$

ფირნის ხაზის 300 მ-ით აწევა გამოიწვევს ტემპერატურის შემცირებას $0.6 \times 3=1.8^\circ\text{C}$ -ით, ხოლო გლობალური დათბობის ეფექტი გამოიხატება ხაზზე ტემპერატურის 3°C -ით მატებით. ამიტომ, მოდნობის დღელამური სიდიდე იქნება

$$Q=0.051 \times 209.5 [1+(4.6+3-1.8)] \times 0.99=71.9 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

ხოლო 4-თვიანი აბლაციის ეფექტი გამოიხატება მოდნობის სიდიდეში

$$Q_1=71.9 \times 1.22 \times 2.4 \times 3.6 \text{ მლნ მ}^3=757.9 \text{ მლნ მ}^3 \approx 758 \text{ მლნ მ}^3.$$

ხაიშის კვეთში ეს სიდიდე ტრანსფორმირდება

$$Q_2=R_{\text{მყ}}=\frac{758 \times 10^6 \times 10^9 \text{ მ}^3}{2780 \times 10^{12} \text{ მ}^2}=172.7 \text{ მმ}=24 \text{ მ}^3/\text{წმ-მდე}.$$

სრული ჩამონადენის ტრენდის გათვალისწინებით

$$R=0.7768 \times 2100-1407=224.3 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

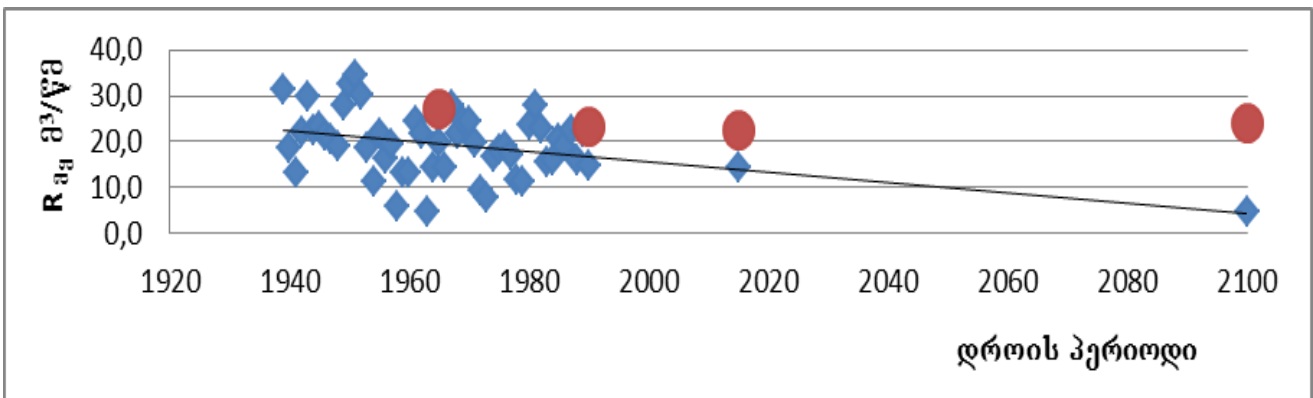
ხოლო მყინვარული ჩამონადენის კოეფიციენტის მნიშვნელობა იქნება $K_2=24/224.3=0.107 \approx 11\%$.

თუ მხედველობაში მივიღებთ სრული ჩამონადენის ნორმას 1938-1990 წლებში- $R=118.3\text{მ}^3/\text{წმ}$, მაშინ $K_2=24/118.3=0.203\approx 20\%$.

ამრიგად, მდ.ენგური-საგ.ხაიშის კვეთში მყინვარული ჩამონადენის სიდიდის სავარაუდო შემცირება შეადგენს $27.2\text{მ}^3/\text{წმ}$ -დან (1965) $23-24\text{მ}^3/\text{წმ}$ -მდე (2015, 2100 წლები), რაც 1938-1990 პერიოდის სრული ჩამონადენის ნორმის გათვალისწინებით ($118.3\text{მ}^3/\text{წმ}$) ტოლფასია მყინვარული ჩამონადენის კოეფიციენტის K_2 -ის კლებისა 23% -დან $19-20\%$ -მდე.

განხილულ წლებში ტრენდით გამოთვლილი სრული ჩამონადენის სიდიდეების მიმართ კი, K_2 -ის შემცირება ხდება 23% -დან 11% -მდე.

ნახ.5-ზე მოცემულია ორი სხვადასხვა მეთოდით გამოთვლილი ჩამონადენის მნიშვნელობები. როგორც ვხედავთ, ეს შეფასებები დიდად არ არიან განსხვავებული ერთმანეთისაგან, რაც მიუთითებს კვლევის შედეგების საიმედოობაზე.



ნახ.5. ორი განსხვავებული მეთოდით გამოთვლილი მყინვარული ჩამონადენის მნიშვნელობები. ♦ - წყალბალანსური მოდელით გამოთვლილი; ● - მოდნობის ემპირიული ფორმულით გამოთვლილი.

2015 და 2100 წლებში წყალბალანსური მოდელით და მოდნობის ემპირიული ფორმულით გამოთვლილი მყინვარული ჩამონადენის სიდიდეებს შორის დაცილება აიხსნება იმით, რომ მოდნობაში გათვალისწინებულია მიმდინარე საუკუნის ბოლოსთვის ტემპერატურის მატება 3°C -ით.

დასკვნა

გამოკვლეულია მდ.ენგური-საგუშაგო ხაიშის კვეთში სრული და მყინვარული ჩამონადენის დინამიკა კლიმატის ცვლილების პირობებში. კვლევის შედეგები შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ.

- 1938-1990 წლებში არსებული დაკვირვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზის შედეგად შესწავლილია წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურის, ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის ცვლილება წლების მიხედვით. მიღებულია, რომ 52 წლის განმავლობაში ფაქტიურად უცვლელი ნალექთა ჯამების პირობებში ($P=1135$ მმ), ჰაერის ტემპერატურის შემცირებისას დაახლოებით 8.5° -დან 8°C -მდე ($\Delta t=0.5^{\circ}\text{C}$), საგუშაგო ხაიშის კვეთში აღინიშნა მდ. ენგურის სრული ჩამონადენის ზრდა $R=100$ მ³/წმ-დან თითქმის $R=150$ მ³/წმ-მდე (ამ პერიოდის ნორმა შეადგენს $R\approx 120$ მ³/წმ). ჩამონადენის ზრდა შეიძლება გამოწვეული იყოს მყინვარული საზრდოობის და მიწისქვეშა ჩამონადენის მატებით.
- აღნიშნული პერიოდის ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების ყოველწლიური მონაცემების საფუძველზე აგებული იქნა მდ.ენგური-საგ.ხაიშის კვეთში სრული ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი $R=f(P,t)$, რომლის კორელაციის

კოეფიციენტი $r=0.29$, საშუალო კვადრატული გადახრა $\sigma_R=23.5\text{მ}^3/\text{წმ}$, ხოლო ცდომილება რეგრესიის წრფის მიმართ $S_R=22.5\text{მ}^3/\text{წმ}$.

მოდელის გამოცდამ არსებულ მასალებზე გვიჩვენა მინიმალური ცდომილება $\Delta R\approx 0.3\text{მ}^3/\text{წმ}$ (0.3%), მაქსიმალური $\Delta R\approx 58.2\text{მ}^3/\text{წმ}$ (89%), საშუალო $\Delta R\approx 17\text{მ}^3/\text{წმ}$ (15%).

მოდელის საფუძველზე შესრულდა მდინარის სრული ჩამონადენის სავარაუდო მნიშვნელობათა შეფასება 2015 და 2100 წლებისათვის. შეფასება განხორციელდა კლიმატის ცვლილების სცენარის მიხედვით, რომლის თანახმად წყალშემკრებზე 2100 წლისათვის ჰაერის ტემპერატურამ უნდა მოიმატოს 3°C -ით, ხოლო ნალექთა ჯამების შემცირება უნდა მოხდეს ნორმის 5–10%-ით.

ამ შეფასებათა თანახმად 2015 წლისათვის სრული ჩამონადენის სიდიდე შემცირდება $6.6\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ით, რაც შეადგენს ნორმის 5%-ს და გახდება დაახლოებით $R=112\text{მ}^3/\text{წმ}$.

2100 წლისათვის ჩამონადენი შემცირდება $24\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ით (20%) და მიაღწევს $R=94\text{მ}^3/\text{წმ}$ სიდიდეს.

- ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელებით შესრულდა მყინვარული ჩამონადენის სავარაუდო სიდიდეთა შეფასება 1938–1990 წლების პერიოდისათვის. კერძოდ აღინიშნა მყინვარული ჩამონადენის კლება $R_{აყ}=31\text{მ}^3/\text{წმ}$ (34%)–დან (1938–1939 წწ) $R_{აყ}=15\text{მ}^3/\text{წმ}$ (11%)–მდე (1989–1990 წწ). საშუალო სიდიდე ამ პერიოდისათვის ტოლია $R_{აყ}=19.5\text{მ}^3/\text{წმ}$ (16.5%) (1964–1965 წწ). ტრენდის გამოყენებით მყინვარული ჩამონადენის სავარაუდო მნიშვნელობამ შეადგინა: $R_{აყ}=14.3\text{მ}^3/\text{წმ}$ (12%)–2015 წელს და $R_{აყ}=4.6\text{მ}^3/\text{წმ}$ (4%)–2100 წელს.
- მყინვარული ჩამონადენის მნიშვნელობები შეფასდა, ასევე, სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული მყინვარის ზედაპირიდან მოდნობის სიდიდის ემპირიული ფორმულების საფუძველზე. ამ განსხვავებული მიდგომით შესრულებულმა შეფასებამ გვიჩვენა ხაიმის კვეთში ჩამონადენის მყინვარული კომპონენტის შემდეგი სავარაუდო მნიშვნელობები:
1965წ. – $27.2\text{მ}^3/\text{წმ}$ ($K_2=23\%$),
1990წ. – $23.1\text{მ}^3/\text{წმ}$ (19.5%),
2015წ. – $22.5\text{მ}^3/\text{წმ}$ (19%),
2100წ. – $24\text{მ}^3/\text{წმ}$ (20%).

ამრიგად, ორი განსხვავებული მეთოდით მიღებული მყინვარული საზრდოობის კომპონენტის მნიშვნელობები ახლოს არიან ერთმანეთთან, რაც მიუთითებს კვლევის შედეგების საიმედოობაზე.

მომავალში მყინვარული ჩამონადენის მნიშვნელობები დაზუსტდება მოდნობის გამოსახულებაში შემავალი მყინვართა საერთო ფართობის, ფირნის ხაზის სიმაღლის, მის დონეზე ჰაერის ტემპერატურისა და მყინვართა ფორმის პარამეტრის (მაგალითად, ენის ფართის შეფარდება საერთო ფართობთან) თანამგზავრული მონაცემების საფუძველზე.

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

- ვ.ცომაია, ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე და სხვ. გამყინვარების საუკუნოვანი დინამიკა კავკასიაში და მყინვართა გაქრობის კლიმატური პროგნოზი გლობალური დათბობის ფონზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ.119, 2013, გვ.197–203.
- ლ.შენგელია, გ.კორმახია, გ.თვაური, თ.დავითაშვილი, ნ.ბეგალიშვილი. კავკასიონის მყინვარებზე კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ზემოქმედების შესაფასებლად დისტანციური დაკვირვების ტექნოლოგიების გამოყენების შესაძლებლობები. საქ. მეცნ.ეროვნ. აკადემიის „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, #4-6, 2012, გვ.24–25.
- Сванидзе Г.Г., Цомаев В.Ш. (ред). Водные ресурсы Закавказья. Гидрометеиздат, Л., 1988, 264с.

4. ბ.ბერიტაშვილი, ნ.კაპანაძე, მ.შვანგირეაძე. კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება მდ.ენგურის ჩამონადენზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ.120, 2014, გვ.69-73.
5. პ.ჯანელიძე (რედ). მყინვარების როლის შეფასება საქართველოში მდინარეული ჩამონადენის ფორმირებაში. საქ. კლიმატის ცვლილების ეროვნული სააგენტო, თბილისი, 2000.
6. Бегалишвили Н.А., Цинцадзе Т.Н., Цомая В.Ш. и др. Исследование подземного стока рек и оценка запасов грунтовых вод в Грузии. Труды Инст. Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета "Актуальные Проблемы Гидрометеорологии и Экологии", т.117, Тбилиси, 2011, с.46-50.
7. Бегалишвили Н.А., Цинцадзе Т.Н., Цомая В.Ш. и др. Влияние изменение климата на сток рек в Грузии. Известия Аграрной Науки, т.9. №4, Тбилиси, 2011.
8. Владимиров Л.А. Водный баланс Большого Кавказа. Мецниереба, Тбилиси, 1970, 140с.
9. Владимиров Л.А., Шакаршвили В.И., Габричидзе Г.И. Водный баланс Грузии. Мецниереба, Тбилиси, 1974, 182с.
10. Владимиров Л.А., Гигинеишвили Г.Н., Джавахишвили А.И., Закаршвили Н.Н. Водный баланс Большого Кавказа и его географические закономерности. Мецниереба, Тбилиси, 1991, 144с.
11. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციაზე. თბილისი, 1999.
12. K.Tavartkiladze, N.Begalisvili, T.Tsintsadze, A.Kikava. Influence of Global Warming on the Near-Surface Air Temperature Field in Georgia. Bulletin of Georgian National Academy of Sciences. Vol.6, №3, 2012, p.55-60.
13. Элизбарашвили Э.Ш., Татишвили М.Р. и др. Создание сеточных массивов климатических данных высокого разрешения для территории Грузии. Метеорология и гидрология, №9, 2013.
14. ე.ელიზბარაშვილი, მ.ტატიშვილი, მ.ელიზბარაშვილი, რ.მესხია, შ.ელიზბარაშვილი. საქართველოს კლიმატის ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში. თბილისი, გამომცემლობა „წიგნის სახელოსნო“, 2013, 128 გვ.
15. Цомая В.Ш., Бегалишвили Н.Н. Гидрометеорологические основы конденсации атмосферной влаги в толще снежного покрова. Труды Инст. Гидрометеорологии АН Грузии "Проблемы Гидрометеорологии и Экологии", т.101, 1998, с.69-92.

უკ. 551.551.1, 551.575-6

კლიმატის ცვლილების გავლენა მდინარის ჩამონადენზე და მის მყინვარულ საზრდოობაზე (მდ.ენგური-საგ.ხაიშის მაგალითზე). /ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ნ.ცინცაძე/სტუ-ს ჰმი-ის სამეცნ. რეგ. შრ. კრებ. - 2016. - ტ.123. - გვ.83-96. - ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს. 1938-1990 წლებში დაკვირვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზის შედეგად შესწავლილია მდ.ენგური-საგ.ხაიშის კვეთისთვის წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურის, ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის ცვლილება. აღნიშნული კვეთისთვის აგებულია სრული ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები. მოდელების საფუძველზე გამოკვლეულია სრული ჩამონადენის ნალექებით ფორმირებული, მიწისქვეშა და მყინვარული კომპონენტების დინამიკა. კლიმატის ცვლილების სცენარის საფუძველზე, რომლის მიხედვით 2100 წლისათვის მოსალოდნელია წყალშემკრებზე ტემპერატურის მატება 3°C-ით და ნალექთა ჯამების შემცირება 5-10%-ით, შეფასებულია სრული ჩამონადენისა და მყინვარული მდგენელის სავარაუდო ცვლილებები.

551.551.1, 551.575-6

Impact of climate change on the river runoff and its glacial component (case study for R.Inguri- village Khaishi). / Begakishvili N. A., Tsintsadze t., Begakishvili N. N., Tsintsadze N./ Transactions of the Institute of

Hydrometeorology at the Georgian Technical University. -2016. - v.123. – pp.83-96. -Georg.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

As a result of statistical analysis of hydrometeorological parameters observed in the period of 1938-1990 the variation of air temperature, precipitation sums and river runoff in the basin are studied for R.Inguri- vil. Khaishi. The empirical-statistical and water-balance models of river runoff are obtained for the given section. The dynamics of total runoff components- formed by precipitation, underground and glacial- are investigated on the basis of models. Using the Climate Change scenario, according to which the increase of air temperature by 3°C and decrease of precipitation by 5-10% are anticipated at the watershed to 2100, the expected alteration of total river runoff and its glacial component is assessed.

УДК 551.551.1, 551.575 -6

Влияние изменения климата на сток реки и его ледниковую составляющую (на примере р.Ингури-с.Хайши)/ Бегалишвили Н. А., Цинцадзе Т.Н.,Бегалишвили Н. Н., Цинцадзе Н.Т./ Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета. –2016. – т.123. – с83-96.- Груз .; Рез. Груз., Англ.,Рус.

В результате статистического анализа наблюдаемых в 1938-1990 годах гидрометеорологических параметров изучены для реки Ингури-с.Хайши изменения на водосборе температуры воздуха, сумм осадков и стока реки. Для указанного створа получены эмпирию-статистические и воднобалансовые модели стока реки. На основе моделей исследована динамика компонентов полного стока-сформированная осадками, подземная и ледниковая составляющие. Используя сценарий изменения климата, согласно которому к 2100 году ожидается на водосборе рост температуры воздуха на 3°C и уменьшение сумм осадков на 5-10%, выполнена оценка возможного изменения полного стока реки и его ледниковой составляющей.