

უაკ 551.484.4

ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, ნ.ა.ბეგალიშვილი

**კლიმატის ცვლილების პირობებში მდინარეული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება მათემატიკური მოდელის საფუძველზე**

როგორც ცნობილია, ჩამონადენი წარმოადგენს წყალშემკრებზე კლიმატური ფაქტორებისა და ბუნებრივი ლანდშაფტის ელემენტთა ერთობლივი მოქმედების ინტეგრალურ შედეგს. უცვლელი ლანდშაფტის პირობებში ჩამონადენის მნიშვნელობა მთლიანად განისაზღვრება კლიმატური ფაქტორებით. ამიტომ, კლიმატის ცვლილება იწვევს ჩამონადენის ცვლილებას.

მოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილია კლიმატური პარამეტრების ცვლილებათა მიმართ მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასების მეთოდიკა [1]. განსაზღვრულია, აგრეთვე, აღმოსავლეთ საქართველოს გვალვიან რაიონებში მდინარე მტკვრის მაგალითზე ჩამონადენის მოსალოდნელ ცვლილებათა სცენარები განხილული მეთოდიკის საფუძველზე.

შემოვიტანოთ წყალშემკრების, როგორც ფიზიკური სისტემის, მგრძობიარობის ცნება, თუ მისი ინტეგრალური მახასიათებელი (მაგალითად, ჩამონადენი)  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  რეაგირებს მასში შემავალი  $x_1, x_2, \dots, x_n$  პარამეტრების (მაგალითად, ნალექები, ტემპერატურა და სხვ.) ცვლილებაზე. რაოდენობრივად მგრძობიარობა შეიძლება დავახასიათოთ წარმოებული

$$\left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x_i=x_{i0}, \dots, x_n=x_{n0}}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

სადაც ნულოვანი ინდექსით აღნიშნულია სისტემის შემავალი პარამეტრების საბაზისო მნიშვნელობები, რომლებიც შეესაბამებიან კლიმატური ცვლილების საწყის მომენტს.

ამრიგად, ფიზიკური სისტემის ინტეგრალური მახასიათებლის ცვლილება შეიძლება განვსაზღვროთ მისი სრული დიფერენციალით

$$dy = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_0 dx_i, \quad (2)$$

სადაც თითოეული  $\left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_0$  წარმოებულის მნიშვნელობა განსაზღვრავს სისტემის მგრძობიარობას  $i$ -ურ

პარამეტრის ცვლილების მიმართ, ხოლო  $dx_i$  მოიცემა, მაგალითად, კლიმატის ცვლილების სცენარის მიხედვით ან დაკვირვებათა მონაცემების ანალიზის საფუძველზე.

განვიხილოთ ჩამონადენის განსაზღვრისათვის მისი უმარტივესი მათემატიკური მოდელი, ცნობილი, როგორც დ.ტიურკის მოდელი - იგი ემყარება წყლის ბალანსის განტოლებას და ფართოდ გამოიყენება რეგიონალური წყლის ბალანსის და რესურსების დადგენისას [2].

ამ შემთხვევაში  $R$  ჩამონადენის გამსაზღვრელ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$R = P \left[ 1 - \frac{L}{\sqrt{cL^2 - P^2}} \right], \quad (3)$$

სადაც  $P$  - წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამია (მმ),  $L=300+25T_1+0.05 T_1^3$ . აქ  $T_1$  ჰაერის ტემპერატურაა ( $^{\circ}C$ ), ხოლო  $c$ -მოდელის საკალიბრო მუდმივი. თუ კონკრეტული აუზისათვის გვეცოდინება წყალშემკრებზე მოსული  $P$  ნალექთა ჯამები, მისი დამახასიათებელი  $T_1$  ჰაერის ტემპერატურისა და ჩამკვეტ კვეთში  $R$  ჩამონადენის ფენის საშუალო წლიური კლიმატური მნიშვნელობები, მაშინ მოდელის საკალიბრო მუდმივი შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

$$c = \frac{P^2 (L - P + R)(L + P - R)}{L^2 (P - R)^2}. \quad (4)$$

დ.ტიურკის მოდელის შემთხვევაში (2) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$dR = \left( \frac{\partial R}{\partial P} \right)_0 dP + \left( \frac{\partial R}{\partial T_1} \right)_0 dT_1 \quad (5)$$

სადაც (1) და (3)-ის გათვალისწინებით ვღებულობთ

$$\frac{\partial R}{\partial P} = I - \frac{L}{(cL^2 + P^2)^{1/2}} + \frac{LP^2}{(cL^2 + P^2)^{3/2}}. \quad (6)$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_1} = - \frac{(cL^2 + P^2)^{1/2} - cL^2(cL^2 + P^2)^{-1/2}}{cL^2 + P^2} P(25 + 0.15T_1^2). \quad (7)$$

მდ.მტკვრის მაგალითზე გამოვიკვლიოთ მისი ჩამონადენის მგრძობიარობა კლიმატური ცვლილების მიმართ. ამისათვის განხილული იქნა მდ. მტკვრის – საგუშაგო თბილისის ჩამკეტი კვეთის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განლაგებული ზოგიერთი ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტის მონაცემები [3-5], გამოყენებული ჩამონადენის ცვლილების შეფასებაში. ამ შემთხვევაში წყალშემკრების ფართობი შეადგენს  $S_1=21100$  კმ<sup>2</sup>, აუზის საშუალო სიმაღლე  $H_1=1710$  მ [6]. ამიტომ, ჩამონადენის ფორმირების ზონად მიღებული იქნა ზღვის დონიდან 700-2700 მ სიმაღლეთა შესაბამისი მაღლივი ზოლი [7]. განხილული იყო 6 ძირითადი შენაკადის (მდინარეები ფარავანი, ფოცხოვი, ბორჯომულა, დიდი და პატარა ლიახვი, ქსანი, არაგვი) და თვით მდ. მტკვრის აუზები. ცალ-ცალკე ამ აუზების ჩამონადენის ფორმირების მაღლივ ზონებში განლაგებული პუნქტების მონაცემთა გასაშუალოებით, შემდეგ კი მიღებული სიდიდეების საბოლოო გასაშუალოებით 7 აუზის მიხედვით, განსაზღვრულ იქნა ჩამონადენის ფორმირებისა და მისი ცვლილების მოდელის შემავალი პარამეტრები. ეს პარამეტრებია  $P=795$  მმ და  $T_1=6.7^\circ$ .

მდ.მტკვრის ჩამონადენის ფორმირების ზონისთვის დამახასიათებელი მეტეოპარამეტრების ჩასმით (4), (6) და (7) ფორმულებში ვღებულობთ

$$c=-0.082; \quad \frac{\partial R}{\partial P} = 1.019; \quad \frac{\partial R}{\partial T_1} = -33.228 \text{ მმ/გრად.}$$

როგორც ვხედავთ, ჩამონადენის მგრძობიარობას შესაბამისად ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშანი აქვს. ამავე დროს, მგრძობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ თითქმის 33-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე მგრძობიარობა ნალექთა ვარიაციების მიმართ

$$\left| \frac{\partial R}{\partial T_1} \right| / \left| \frac{\partial R}{\partial P} \right| = 32.6.$$

ამის გამო, ჩამონადენის მგრძობიარობაში დიდი წვლილი შეაქვს ტემპერატურის ცვლილებას, რომლის ეფექტი იმავე რიგისა ხდება, რაც ნალექთა ცვლილებისა. მართლაც, (5)-დან მდ.მტკვრის ჩამონადენის ცვლილებისათვის ვღებულობთ

$$dR=1.019dP-33.228dT_1. \quad (8)$$

განვიხილოთ ჩამონადენის ცვლილების შემდეგი შემთხვევები, გვალვიანი პირობების გათვალისწინებით:

სცენარი 1.  $dP=0.1P=79.5$  მმ (10%);  $dT_1=1^\circ\text{C}$ (15%).

$$dR=1.019 \times 79.5 - 33.228 \times 1 = 47.8 \text{ მმ (15.7\%).}$$

ამრიგად, თუ წყალშემკრებზე მოსალოდნელია ჯამური ნალექის გაზრდა 10%-ით (79.5 მმ) და ტემპერატურის მომატება  $1^\circ$ -ით, მდ. მტკვრის ჩამონადენი გაიზრდება 15.7%-ით (47.8 მმ).

სცენარი 2.  $dP=79.5$  მმ (10%);  $dT_1=2^\circ\text{C}$ (30%).

$$dR=1.019 \times 79.5 - 33.228 \times 2 = 14.3 \text{ მმ (4.8\%).}$$

სცენარი 3.  $dP=39.75$  მმ (5%);  $dT_1=1^\circ\text{C}$ (15%).

$$dR=1.019 \times 39.75 - 33.228 \times 1 = 7.3 \text{ მმ (2.4\%).}$$

სცენარი 4.  $dP=39.75$  მმ (5%);  $dT_1=2^\circ\text{C}$ (30%).

$$dR=1.019 \times 39.75 - 33.228 \times 2 = -26 \text{ მმ (-8.5\%).}$$

ამრიგად, წყალშემკრებზე ჯამური ნალექის 5%-ით (39.75 მმ) გაზრდისას და ტემპერატურის  $2^\circ$ -ით მომატების შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 26 მმ-ით, რაც შეადგენს არსებული ნორმის 8.5 %-ს.

სცენარი 5.  $dP=7.95$  მმ (1%);  $dT_1=1^\circ\text{C}$ (15%).

$$dR=1.019 \times 7.95 - 33.228 \times 1 = -25.1 \text{ მმ (-8.2\%).}$$

სცენარი 6.  $dP=0$  მმ (0%);  $dT_1=2^\circ\text{C}$ (30%).

$$dR=-33.228 \times 2 = -66.5 \text{ მმ (-21.8\%).}$$

თუ წყალშემკრებზე ჯამური ნალექი არ შეიცვლება ტემპერატურის  $2^\circ$ -ით მომატების პირობებში, მაშინ მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 66.5 მმ-ით, ე.ი. დაახლოებით 22%-ით.

სცენარი 7.  $dP=0$  მმ (0%);  $dT_1=-2^{\circ}C(-30\%)$ .

$$dR=-33.228x(-2)=66.5 \text{ მმ (21.8\%)}$$

მე-6 სცენარით შეფასების საწინააღმდეგოდ, თუ მოსალოდნელია ტემპერატურის კლება  $2^{\circ}$ -ით უცვლელ ნალექთა ფონზე, მაშინ ჩამონადენი უნდა გაიზარდოს 66.5 მმ-ით, ე.ი. 22%-ით.

სცენარი 8.  $dP=-79.5$  მმ (-10%);  $dT_1=-1^{\circ}C(-15\%)$ .

$$dR=1.019x(-79.5)-33.228x(-1)=-47.8 \text{ მმ (-15.7\%)}$$

სცენარი 9.  $dP=-79.5$  მმ (-10%);  $dT_1=1^{\circ}C(15\%)$ .

$$dR=1.019x(-79.5)-33.228x1=-114.2 \text{ მმ (-37.4\%)}$$

ამ გვალვიანი პირობების შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 114 მმ-ით, რაც შეადგენს არსებული ჩამონადენის 37%-ს.

სცენარი 10.  $dP=-79.5$  მმ (-10%);  $dT_1=2^{\circ}C(30\%)$ .

$$dR=1.019x(-79.5)-33.228x2=-147.5 \text{ მმ (-4.8.4\%)}$$

გვალვის ამ ექსტრემალურ შემთხვევაში, როდესაც ტემპერატურის  $2^{\circ}$ -ით მომატების ფონზე წყალშემკრებზე ჯამური ნალექი შემცირებულია 10%-ით (-79.5 მმ), მოსალოდნელია მდინარე მტკვრის ჩამონადენის შემცირება 48%-ით (-147.5 მმ).

### ლიტერატურა-REFERENCES-ЛИТЕРАТУРА

1. Kaczmarek Zd., Krasuski D. Sensivity of Water Balance to Climate Change and Variability. WP-91-047, IIASA, Austria, 1991.
2. Тюрк Д. Баланс почвенной влаги. Л., Гидрометеиздат, 1958, 227 с.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 14. Температура воздуха и почвы. Л., Гидрометеиздат, 1967, 374 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 14. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л., Гидрометеиздат, 1970, 426 с.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. т. VI. Грузинская ССР. Л., Гидрометеиздат, 1987, 416 с.
6. Потолашвили В.В., Цомаია В.Ш. Водные ресурсы р. Куры от госграницы до Мингечаурского водохранилища. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 84(91), М., Гидрометеиздат, 1992, с. 45-57.
7. Цомаია В.Ш. Оценка снегозапасов для гидропрогнозов методом анализа пространственной и временной корреляционной функции. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 84(91), Л., Гидрометеиздат, 1977, с. 71-79.

უკ 551.484.4

**კლიმატის ცვლილების პირობებში მდინარეული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება მათემატიკური მოდელის საფუძველზე.** /ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, ნ.ა.ბეგალიშვილი/...ჰმი-ს შრომათა კრებული. \_ 2001. \_ ტ. 107. \_ გვ. 133-138. \_ ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

წარმოდგენილია წყალშემკრების კლიმატური პარამეტრების ცვლილებათა მიმართ მდინარის ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასების მეთოდიკა. მდ. მტკვრის მაგალითზე განსაზღვრულია კლიმატის ცვლილების შედეგად ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილების სცენარები. კერძოდ, შესრულებულია ჩამონადენის შესაძლო ცვლილების შეფასება გვალვის პირობებში. ლიტ. დას. 7.

UDC 551.484.4

**Evaluation of river flow variability under climate change conditions on the basis of mathematical model.** /N.N.Begalishvili, V.Tsomaia, N.A.Begalishvili/. Transactions of the Institute of Hydrometeorology. 2001.-V.107.-p.133-138.-Georg.; Summ. Georg., Eng., Russ.

Method for the assessment of river run-off sensitivity to variations of the watershed climatic parameters is presented. Scenarios of expected run-off variation caused by climate change are defined for the case study of the River Kura. In particular, the possible alteration of river flow under the conditions of drought is evaluated. Ref. 7.

УДК 551.484.4

**Оценка изменения стока рек в условиях изменения климата на основе математической модели.** /Бегалишвили Н.Н., Цомаиа В.Ш., Бегалишвили Н.А./ Сб. Трудов Института гидрометеорологии АН Грузии. – 2001. – т. 107. – с. 133-138. – Груз.; рез. Груз., Англ., Русск.

Представлена методика оценки чувствительности стока реки относительно изменений климатических параметров водосбора. На примере реки Куры определены сценарии ожидаемого изменения стока в результате изменения климата. В частности, выполнена оценка возможного изменения стока в условиях засухи. Лит. 7.

