

# მდინარე მტკვრის ამონიუმის იონით დაბინძურების თეორიული გამოკვლევა

ა.სურმავა, ვ. კუხალაშვილი

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდისა

გეოფიზიკის ინსტიტუტი

[aasurmava@yahoo.com](mailto:aasurmava@yahoo.com);

ანოტაცია - მდ. მტკვარში დამაბინძურებელი ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების გამოყენებით მოდელირებულია მდ. მტკვარზე განლაგებული ქალაქებიდან ჩაშვებული ამონიუმის იონის ( $NH_4^+$ ) გავრცელება. რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებულია მდ. მტკვარში ამონიუმის იონის კონცენტრაციის განაწილების სურათი. ნაჩვენებია, რომ მათემატიკური მოდელირებით მიღებული კონცენტრაციების მნიშვნელობები დასაშვები სიზუსტით ემთხვევა ნატურული დაკვირვებების მონაცემებს.

საკვანძო სიტყვები — მდ. მტკვრის დაბინძურება; ამონიუმის იონი; რიცხვითი მოდელირება;

## I შესავალი

მდ. მტკვრის ეკოსისტემის დაცვა წარადგენს საქართველოსა და აზერბაიჯანის სახელმწიფოებისათვის ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას. ამ ქვეყნების გარემოსდაცვითი ორგანიზაციები და სამეცნიერო კვლევითი დაწესებულებები ატარებენ მრავალრიცხოვან დაკვირვებებს მდ. მტკვრის სისუფთავეზე და ანტროპოგენური დაბინძურების კვლევას [1-5]. სამუშაოები მეტად მნიშვნელოვანია და იძლევა მდინარის დაბინძურების სტატიკურ სურათს. ამასთან არსებობენ ამოცანები, რომელთა გადაწყვეტა შეუძლებელია მხოლოდ დაკვირვების მასალებზე დაყრდნობით.

განვითარებული ქვეყნების გარემოსდაცვითი და წყალთა მეურნეობის ორგანიზაციები საქმიანობაში ფართოდ იყენებენ მდინარეებში დამაბინძურებელი ნივთიერების დიფუზიის რიცხვით მოდელსა და წყლის რესურსების მართვის კომპიუტერულ სისტემებს [6-9]. ისინი წარმოადგენენ თანამედროვე ინფორმა-

ციულ-გამოთვლით კომპლექსებს და გამოიყენებენ მრავალი პრაქტიკული საკითხების გადასაწყვეტად. ეს პროგრამები მოითხოვენ, ასევე, შესაბამისი სიმძლავრის კომპიუტერულ ბაზასა და მომუშავე პერსონალის სათანადო მომზადებას. სტატიაში [10] დამუშავებულია მდ. მტკვარში დაბინძურების გავრცელების შედარებით მარტივი, წრფივი სამგანზომილებიანი რიცხვითი მოდელი. მოდელირებით მიღებულია პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერებით მდ. მტკვრის დაბინძურების კინემატიკური სურათი მოცემული ჰიდროლოგიური პირობებისათვის სტაციონალური და არასტაციონალური წყაროების შემთხვევებში. ნაჩვენებია, რომ მოდელი იძლევა მდინარის დაბინძურების თვისებრივად სწორ სურათს. ამასთან, ხშირად ლიტერატურაში [8-10] არაა რაოდენობრივად შედარებული გამოთვლებით მიღებული შედეგები დაკვირვების მონაცემებთან, რაც ამ სტატიის ძირითადი ნაკლს წარმოადგს.

წარმოდგენილ სტატიის მიზანია მოდელირებით შესწავლილი იქნას მდ. მტკვრის დაბინძურება ნივთიერებისათვის, რომლისათვისაც შეიძლება განისაზღვროს დამაბინძურებელი წყაროების სიმძლავრეები და არსებობს კონცენტრაციების გაზომილი მნიშვნელობები. ასეთ ნივთიერებას წარმოადგენს ამონიუმის იონი.

## II ამოცანის დასმა.

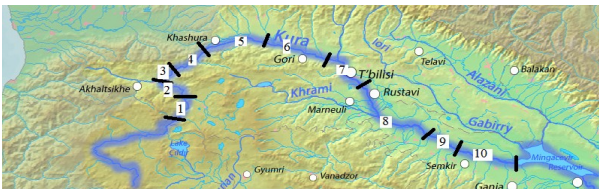
მოკლდ დავახასიათოთ მდ. მტკვარში ჩაშვებული დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელების მათემატიკური მოდელი. მოდელში მდ. მტკვარი, საქართველო-თურქეთის სახელმწიფო საზღვრიდან მინგეჩაურის წყალსაცავამდე, დაყოფილია 10 პირობით ერთგვაროვან უბნად

[11]-ის შესაბამისად (ნახ. 1). დაშვებულია, რომ თითოეული უბანი წარმოადგენს წრფივ არხს რომლის გასწვრივ მდინარის მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრები არ იცვლება. პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები აღებულია [11]-დან. გათვალისწინებულია მდ. მტკვარში შენაკადების მიერთება. ის აისახება წყლის ხარჯის ზრდაში მდინარის უბნის დასაწყისში.

განტოლება, რომელიც ამ პროცესს აღწერს ჩაიწერება ასე [12]:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + w_0 \frac{\partial C_i}{\partial z} = \mu_x \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \mu_y \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} + \mu_z \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2}$$

სადაც  $t$  დროა;  $x, y$  და  $z$  დეკარტეს კოორდინატა სისტემის ღერძებია;  $x$  ღერძი მიმართულია მდინარის დინების მიმართულებით ჰორიზონტალურად,  $y$  ღერძი მიმართულია ჰორიზონტალურად დინების მართობულად;  $z$  ღერძი მიმართულია მდინარის ფსკერიდან ვერტიკალურად ზევით; ინდექსი  $i$  მდინარის უბნის ნომერია;  $u_i$  მდინარის დინების სიჩქარეა  $x$  ღერძის გასწვრივ  $i$  - ურ უბანზე; მდინარის დინების სიჩქარე  $y$  ღერძის გასწვრივ ნულის ტოლია;  $w_0$  - დამაბინძურებელი ინგრედიენტის ვერტიკალური დაღეჭვის სიჩქარეა;  $\mu_x, \mu_y$  და  $\mu_z$  ტურბულენტური სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტებია  $x, y$  და  $z$  ღერძების გასწვრივ, შესაბამისად;  $C_i$  - დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციაა მდინარის  $i$ - ურ უბანზე;



ნახ. 1. მდ. მტკვრის პირობით ერთგვაროვან უბნებად დაყოფის სქემა.

განტოლება (1)-ის საწყისი და სასაზღვრო პირობები, ჰიდროლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობები და მისი რეალიზაციის ალგორითმი

გაღმოცემულია [10]-ში. მოვიყვანო მხოლოდ რიცხვითი მოდელირების შედეგებს.

### III. რიცხვითი ექსპერიმენტების შედეგები

ამონიუმის იონი მდ. მტკვრის საქართველოს მონაკვეთში შეიძლება მოხვედეს საყოფაცხოვრებო და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ფეკალური წყლების საშუალებით. ვინაიდან, მდინარის აუზში არაა განლაგებული  $NH_4^+$ -ის გამომყოფი მსხვილი სამრეწველო ობიექტები, მრავალრიცხოვანი მესაქონლეობის ფერმები და მეცხოველეობის კომპლექსები, ამიტომ სასოფლო-სამეურნეო წარმოების გავლენა ამონიუმის იონით მდინარის დაბინძურებაზე შეიძლება უგულებლო იყოს. შესაბამისად, მდ. მტკვრის აუზში ამონიუმის იონის ძირითად წყაროდ შეიძლება ჩათვალოს მის ნაპირებზე განლაგებული ქალაქების ფეკალური ჩანადენი წყლები.

საქართველოს ქალაქების ფეკალურ წყლებში ამონიუმის კონცენტრაციის ნატურული გაზომვებით მიღებული საიმედო მონაცემის მოძიება დღეისათვის შეუძლებელია. ამიტომ, მდ. მტკვარში ჩაშვებული ამონიუმის განსასაზღვრავად გამოვიყენეთ შემდეგი რაოდენობრივი შეფასება: გამოკვლევებით დადგენილია, რომ თანამედროვე ქალაქის მცხოვრები 1 ადამიანი დღე-ღამეში საშუალოდ გამოყოფს 7-8 გ  $NH_4^+$ -ს [12], და 1 ლ საყოფაცხოვრებო ფეკალური წყლები შეიცავს 10 მგ-მდე ამონიუმის იონს [13]. მაშინ, მდ. მტკვრის ნაპირებზე განლაგებული საქართველოს ქალაქების ფეკალური წყლებით მდ. მტკვარში 1 წმ-ში შეტანილი  $NH_4^+$ -ის რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით

$$Q = \frac{7 \times N}{3600 \times 24} \quad (\text{გ/წმ}).$$

აქ,  $Q$  არის ჩაღვრის ინტენსივობა,  $N$  - მცხოვრებთა რაოდენობაა.

#### ცხრილი 1.

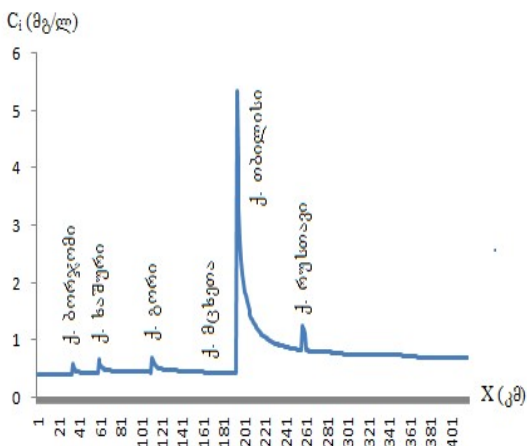
საქართველოს ქალაქებიდან მდ. მტკვარში ჩაღვრილი ამონიუმის იონის ინტენსივობა (გ/წმ)

№	1	2	3	4	5	6
ქალაქი	ბორჯომი	ხაშური	გორი	მცხეთა	თბილისი	რუსთავი
მოსახლეობა (ათასი)	14.4	28.5	46.7	7.7	1 200.	122.0
$NH_4^+$ ჩანადენი	1.17	2.31	3.78	0.62	97.20	9.88

(გ/წმ)						
--------	--	--	--	--	--	--

ცხრილ 1-ში მოცემულია მდ. მტკვარზე მდებარე ქალაქებიდან მდინარეში ჩაშვებული  $NH_4^+$ -ის ინტენსივობა.  $NH_4^+$  ფონური მნიშვნელობისათვის აღებულია საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ საქართველო - თურქეთის სახელმწიფო საზღვრის მახლობლად ნატურული გაზომვებით განსაზღვრული ამონიუმის იონის კონცენტრაციის სიდიდე  $C_{1,0} = 0.4$  მგ/ლ.

გამოთვლებით მიღებული შედეგები ნაჩვენებია ნახ.2-ზე. საიდანაც ჩანს რომ ქ. ბორჯომამდე მდ. მტკვარში ამონიუმის იონის კონცენტრაცია ფონური მნიშვნელობის ტოლია. ქ.ბორჯომიდან დაწყებული ქ.თბილისამდე ადგილი აქვს ერთდროულად ორ ურთიერთ საპირისპირო პროცესს – კონცენტრაციის გაზრდას ქალაქებიდან მდინარეში ამონიუმის იონის ჩაშვების შედეგად და მის შემცირებას გადატანა-დიფუზიისა და მდინარეში ჩამდინარე სუფთა შენაკადების მიერ განზავების შედეგად. თანაც პირველი პროცესი ძირითადად აჭარბებს მეორეს. გამონაკლისს წარმოადგენს მეშვიდე უბანი სადაც ქ. მცხეთის მიდამოებში მდ. არაგვის სუფთა, შედარებით დიდი მოცულობის წყლებით ხდება მცხეთის ჩანადენის განზავება და ვლებულობთ კონცენტრაციის შემცირებას.



ნახ. 2. ამონიუმის იონის კონცენტრაციის განაწილება მდ. მტკვრის საქართველოს მონაკვეთში

ქ. თბილისის წარმოადგენს დაბინძურების ძირითად წყაროს. მისი საკანალიზაციო სისტემიდან ჩაშვებული ამონიუმის იონი ინვეს მდინარის დაბინძურების მკვეთრ ზრდას. მიღებულია, რომ

ჩაშვების პუქტის უშუალო სიახლოვეს კონცენტრაცია აღწევს 5.4 მგ/ლ-მდე.

ზოგადად, გამოთვლები გვიჩვენებენ, რომ მცირე ქალაქების შემთხვევებში ამონიუმის კონცენტრაცია განსაკუთრებით მაღალია ჩაღვრის წერტილებიდან 5-8 კმ მანძილზე. ქ. თბილისის შემთხვევაში ეს მანძილი დაახლოებით 20-25 კმ-ის ტოლია. საქართველოს ჩანადენების ჯამური მოქმედების შედეგად საქართველო-აზერბაიჯანის საზღვრის მიდამოებში ამონიუმის იონის კონცენტრაციის მნიშვნელობები 2-ჯერ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობას. და იცვლება 0.8 – 0.9 მგ/ლ ფარგლებში.

ცხრილი 2.

მდ. მტკვრის პუნქტებში ამონიუმის იონის კონცენტრაციის (მგ/ლ) ლაბორატორიული გაზომვის მონაცემები (გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები)

თარიღი	ბორჯომი	გორი
2007-2010 წწ. საშ. მრავალწლ. კონცენტრაცია	0.490	0.520
2013 წ. აგვისტო	0,420	0,358
2013 წ. სექტემბერი	0,482	0,513

მცხეთა	თბილისი	რუსთავი
0.530	0.580	0.880
0,350	0,365	0,350
0,474	1,019	0,715

IV. დასკვნა

რიცხვითი მოდელის [10] საშუალებით თეორიულად გამოკვლეულია მდ. მტკვრის ამონიუმის იონით დაბინძურების სურათი საშუალო წლიური ჰიდროლოგიური პირობების შემთხვევაში. შეფასებულია ცალკეული ქალაქების გავლენა მდინარის დაბინძურებაზე. ნაჩვენებია ქ. თბილისის განსაკუთრებით დიდი წვლილი მდ. მტკვარის ამონიუმის იონით დაბინძურებაში.

თუ შევადარებთ გამოთვლების (ნახ. 2) 2007-2010 წწ. და 2013 წ. ჩატარებული ქიმიური ანალიზის

შედეგებს (ცხრ. 2), ვნახავთ მათ დამაკმაყოფილებელ თანხვედრას. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ 2013 წ. აგვისტოს თვეში გაზომვებით მიღებული მონაცემები, რომლებიც ქვ. თბილისის და რუსთავეისათვის 2-2.5 – ჯერ ნაკლებია თეორიულად მიღებულ მნიშვნელობებზე. აღნიშნული თანხვედრა გვაძლევს საშუალებას დავსკვნათ, რომ მდ. მტკვრის დაბინძურების დონის თეორიული შეფასებისათვის მოდელი პირველ მიახლოებაში შეიძლება გამოვიყენოთ სხვა ინგრედიენტებისათვისაც.

#### ლიტერატურა

- [1] Гаччиладзе Г.А. Гидрологические аспекты химической денудации в горных регионах. Л.Гидрометеоиздат, 1989.
- [2] Супаташвили Г.Д. Гидрохимия Грузии (Пресные воды). Изд-во ТГУ, Тбилиси, 2003.
- [3] Чантладзе З.И. Условия формирования и гидрохимическая характеристика поверхностных вод Грузии. Автореферат, Тбилиси, 1968.
- [4] Чантладзе З.И. Гидрохимия речных вод Грузинской ССР в условиях антропогенного воздействия, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1987.
- [5] Н. А. Абдулов, Р. А. Исмаилов. Роль реки Куры в загрязнении Каспийского моря. Географический вестник. Экология и природопользование. 2012 3(22). [www.geo-vestnik.psu.ru/.../342\\_Abduev\\_Ismailov](http://www.geo-vestnik.psu.ru/.../342_Abduev_Ismailov).
- [6] A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins – GWP, INBO, 2009. 104 p.
- [7] Loucks D. P. and Eelco van Beek. Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications / Daniel P. Loucks and Eelco van Beek with contributions from Jerry R. Stedinger, Jozef P.M. Dijkman, Monique T. Villars. Paris: UNESCO Publishing – ISBN 92-3-103998-9, 2005. 680 p.
- [8] Пряжинская В.Г., Ярошевский Д.М., Левит-Гуревич Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 496 с.
- [9] Пушистов П.Ю., Вторушин М.Н., Романенко Р.Д., Земцов В.А. Разработка электронного реестра-справочника информационно-вычислительных средств для планирования и управления системой водных ресурсов // Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения / : сб. науч. тр. Барнаул: ООО «Агентство рекламных технологий», 2009 а, ц. 546-557. лительные комплексы водных объектов бассейна Оби. Часть 1 – ИВК «Северная Сосьва. Часть 2 – ИВК «Телецкое озеро». <https://www.lap-publishing.com/catalog/>.
- [10] ა.სურმაგა, ლ. ინკირველი, ნ. ბუაჩიძე. მდ. მტკვარში ჩაღვრილი ნივთიერების გავრცელების რიცხვითი მოდელი და დაბინძურების გამოკვლევა სტაციონალური წყაროს შემთხვევაში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2014, ტ.120.
- [11] Ресурсы поверхностных вод СССР. 1974. Т. 9, Закавказье и Дагестан. Ленинград: Гидрометеоиздат. 579 с
- [12] Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л. Гидрометеоиздат. 1974 303 с.
- [13] Жуков Б. Д. Состав сточных вод. <http://www.water-tec.ru/paper/outwater>.