

UDC 556.114.6 : 627.8

SCOPUS CODE 2302

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-3-150-156>

## მდინარე ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის შემცველობის დროში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება სავსე გაზომვებისა და ექსპერიმენტული მონაცემების საშუალებით

- ალექსანდრე სურმავა** ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0112, თბილისი, დავით აღმაშენებლის გამზირი 150<sup>ა</sup>  
E-mail: aasurmava@yahoo.com
- ირაკლი როსტომაშვილი** ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69  
E-mail: rostomashviliirakli@yahoo.com
- ჯიმშერ ქერქაძე** გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69  
E-mail: j.kerkadze@gtu.ge

### რეცენზენტები:

**რ. დიაკონიძე**, სტუ-ის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ბუნებრივი კატასტროფების განყოფილების ხელმძღვანელი. ტექნიკის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი, პროფესორი, საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი

E-mail: robertdia@mail.ru

**დ. ერისთავი**, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: d.eristavi@gtu.ge

**ანოტაცია.** მცირე მდინარეთა რევიტალიზაციის საკითხი იმ აქტუალურ პრობლემებს განეკუთვნება რომლებიც თავის მხრივ წარმატებით ხორციელდება დასავლეთ და ცენტრალური ევროპის არაერთ ქვეყანაში. ევროინტეგრაციის გზით მავალი საქართველოსათვის ეს პრობლემა ამაჟამად აქტუალური გახდა.

წარმოდგენილ ნაშრომში სავსე პირობებში ჩატარებული ჰიდროგრაფიული და მორფომეტრიული გაზომვების საფუძველზე მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემებისა და ზედაპირულ წყლებში პასიური ინგრედიენტის გადატანა-დიფუზიის განტოლების გამოყენებით გაანგარიშებულია ქალაქ თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში გამავალი,

მდინარე მტკვრის მარცხენა მიკროშენაკადის, მდინარე ორხევის კალაპოტზე დაკვირვების კუთხით, წინასწარ შერჩეული ოთხი წერტილიდან აღებული ფსკერული დანალექის სინჯებში რკინის შემცველობის ცვლილება დროის მიხედვით, ვინაიდან მდინარე ორხევის წყალში რკინა, სხვა მძიმე მეტალებთან შედარებით, თავისი კონცენტრაციული ჯერადობის მხრივ, ყველაზე დომინანტური შემადგენელია.

სტატიაში ნაჩვენებია, რომ ძირითადი ინგრედიენტის სედიმენტაციის პროცესის რიცხვითი მოდელების მიზნით ჩატარებულ გაანგარიშებათა შედეგად, ფსკერულ დანალექებში რკინის კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მდინარის ფსკერზე მისი დალექვის ძირითად მამოძრავებელ ძალებზე ვერტიკალურ-ტურბულენტურ დიფუზიასა და გრავიტაციული სედიმენტაციის სიჩქარეზე.

**საკვანძო სიტყვები:** გადატანა-დიფუზიის განტოლება; გრავიტაციული სედიმენტაციის სიჩქარე; ვერტიკალურ-ტურბულენტური დიფუზია; მდინარის ფსკერული დანალექი; რკინის შემცველობა.

## შესავალი

მდ. ორხევი აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მდინარეა. ქ. თბილისის ადმინისტრაციულ ფარგლებში იგი მდინარე მტკვრის მუდმივი ჩამონადენის მქონე მარცხენა მიკროშენაკადია. მას სათავე აქვს თბილისის ზღვის აღმოსავლეთით, ივრის ზეგნის დასავლეთ მთაგორიან ნაწილში, ზღვის დონი-

დან 900 მ სიმაღლეზე, მიედინება ივრის ზეგანზე, წარმოიქმნება კახეთის გზატკეცილთან მდინარეების ფორაქანთხევისა და თეთრიხევის შეერთებით. მდინარე მტკვართან მისი შესართავი მდებარეობს გარდაბნის გზატკეცილის მახლობლად ზღვის დონიდან 350 მ-ზე. სიმაღლის ვარდნა შეადგენს 550 მ-ს. მდ. ორხევის სიგრძე 14 კმ-ია, აუზის ფართობი – 33.8 კმ<sup>2</sup>, წყლის საშუალო წლიური ხარჯი – 0,07 მ<sup>3</sup>/წმ, წლიური ატმოსფერული ნალექი 608 მმ-ია. იკვებება რა მიწისქვეშა, წვიმისა და თოვლის დნობის წყლებით, მისთვის დამახასიათებელია წყალმოვარდნები გაზაფხულზე, ზაფხულსა და შემოდგომაზე, ხოლო ზამთარში ახასიათებს წყალმარჩხოვა [1].

საკვლევ ობიექტზე მდინარე ორხევეზე განხორციელებული საველე გასვლებით, მდინარის კალაპოტის განსხვავებული მდებარეობის ოთხ წერტილში, წინასწარ შეირჩა მონიტორინგული დაკვირვების ოთხი პუნქტი, რომლიდანაც შემდგომში, ასევე საველე პირობებში, ავიღეთ მდინარის წყლისა და ფსკერული დანალექების სინჯები და გავზომეთ მათი სხვადასხვა ჰიდროგრაფიული, მორფომეტრიული, ფიზიკურ-ქიმიური და ქიმიური მაჩვენებლები.

როგორც საველე პირობებში ჩატარებული გაზომვები აჩვენებს, მდ. ორხევის ზედაპირული წყალი გაჯერებულია სხვადასხვა მინარევით, მათ შორის – მძიმე მეტალებით. მათი კონცენტრაციები იცვლება გარკვეულ დიაპაზონში და ამ მაჩვენებლით ისინი ხშირად აღწევს და აჭარბებს კიდევ ზღვრულად დასაშვებ დონეს. სხვა მეტალებთან შედარებით, მდ. ორხევიდან აღებული წყლის სინჯებში კონცენტრაციული ჯერადობის მხრივ, დო-

მინანტურობით განსაკუთრებულად გამოირჩევა რკინის შემცველობა.

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებულ ჰიდროგრაფიულ და ჰიდროლოგიურ მონაცემებზე [2] დაყრდნობით, ზედაპირულ წყლებში ნივთიერებათა გადატანა-დიფუზიის განტოლებისა და სავლე პირობებში ჩატარებული გაზომვებითა და ექსპერიმენტულად მიღებული მონაცემების გამოყენებით, რიცხობრივად იქნას მოდელირებული მდ. ორხევზე სავლე დაკვირვების ოთხი პუნქტიდან აღებული ფსკერული დანალექის სინჯებში რკინის შემცველობის დროის მიხედვით ცვლილება.

### ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ საკვლევი მდინარის მოკლე მონაკვეთი. მონაკვეთის წერტილებში ცნობილია მდინარის წყალში არსებული რკინის კონცენტრაცია, რომლის სიდიდე დროის მიხედვით იცვლება. მაშინ მდინარის ფსკერის თითოეულ წერტილში, ზედაპირულ წყლებში მინარევის გადატანა-დიფუზიის განტოლების [3], [4] გამოყენებით, შეიძლება დავწეროთ ფსკერზე დალექილი მინარევის დროის მიხედვით ცვლილების განტოლება:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} = \frac{\partial w q_i}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial q_i}{\partial z_i}, \quad (1)$$

სადაც  $t$  არის დრო,  $z$  – ვერტიკალური კოორდინატი,  $i$  – მდინარეზე შერჩეული დაკვირვების პუნქტის ნომერი,  $q_i$  – მდინარის წყალში მინარევის კონცენტრაცია დაკვირვების  $i$ -ურ პუნქტში,  $w$  – სედიმენტაციის სიჩქარე, რომელიც, თავის მხრივ, განისაზღვრება სტოქსის ფორმულით,  $\nu$  – ვერტიკალური

ტურბულენტობის კოეფიციენტი. (1) განტოლებაში დაშვებულია, რომ მდინარის პუნქტებს შორის მანძილი საკმარისად მცირეა, რაც საშუალებას იძლევა პირველ მიახლოებაში უგულებელვყოთ კონცენტრაციის ადვექციური და ჰორიზონტალური ტურბულენტური ცვლილება. ასევე, თუ გავითვალისწინებთ მდინარის მცირე სიღრმეს და შედარებით მაღალ ვერტიკალურ ტურბულენტობას [5], (1) განტოლება ფსკერის მიდამოებში შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial q_{s,i}}{\partial t} = \frac{w q_i}{H} + C |u_i| \frac{(q_i - q_{s,i})}{H^2}, \quad (2)$$

სადაც  $q_{s,i}$  არის მინარევის კონცენტრაცია ფსკერულ დანალექში, ხოლო  $u_i$  – მდინარის დინების სიჩქარე.

ასევე გარკვეული დაშვების გზით, დროის საწყის მომენტად არჩეულია მომენტი წყალდიდობის შემდეგ, როდესაც ჩარეცხილია უკვე არსებული დანალექი, დამყარებულია გარკვეული კვაზისტაციონარული მდგომარეობა და ფსკერულ დანალექში საკვლევი ინგრედიენტის – რკინის კონცენტრაცია ნულის ტოლია  $q_{s,i}(0) = 0$ .

ყოველივე ამის გათვალისწინებით განტოლება (2) ინტეგრირდება რიცხობრივად

$$q_{s,i}^{n+1} = q_{s,i}^n + \Delta T \frac{w q_i^n}{H} + \Delta T C |u_i| \frac{(q_i^n - q_{s,i}^n)}{H^2},$$

ალგორითმით  $t = n \Delta t$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, n-1, N$ ) რიცხვით ბადეზე, აქ  $\Delta t$  დროითი ბადის ბიჯია. ინტეგრირებისათვის გამოყენებულია პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობები:  $H = 0.5$  მ,  $C = 1.26 \times 10^{-5}$  მ, სადაც  $H$  მდინარის სიღრმეა, ხოლო  $C$  – ტურბულენტური დიფუზიის მასშტაბის დამახასიათებელი პარამეტრი. ამასთანავე, თავის მხრივ,  $C |u_i|$  ტურ-

ბულენტური დიფუზიის კინემატიკური კოეფიციენ-  
ტია ( $m^2/წმ$ ); საველე დაკვირვების 1-4 პუნქტებზე  
ჩატარებული ჰიდროგრაფიული და მორფომეტრუ-  
ლი გაზომვებით დადგენილი და სათანადო გამოთვ-  
ლებით მიღებული, მდინარის წყალში რკინის მოცუ-

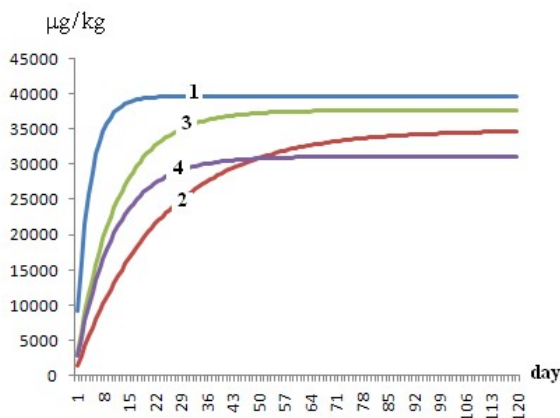
ლობითი კონცენტრაციის, მდინარის ჰორიზონ-  
ტალური დინების სიჩქარეებისა და ფსკერულ დანა-  
ლექში რკინის მასური კონცენტრაციის მნიშვნელო-  
ბები მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი

მდინარე ორხეზე საველე დაკვირვების 1-4 პუნქტებიდან აღებულ წყლის სინჯებში რკინის  
მოცულობითი კონცენტრაციის, ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციისა და ამავე  
პუნქტებში მდინარის ჰორიზონტალური დინების სიჩქარეთა მნიშვნელობები

დაკვირვების პუნქტის №	$q_i$ (მგ/ლ)	$u_i$ (მ/წმ)	$Q_i$ (მკგ/კგ) გაზომილი	$Q_i$ (მკგ/კგ) გამოთვლილი
1	1.0871	0.60	39 642	39 667
2	0.1611	0.10	38 606	34 637
3	0.3652	0.21	37 045	37 704
4	0.4135	0.22	31 493	31 404

განგარიშებათა შედეგები. გამოთვლები ჩატარ-  
და  $\Delta t = 60$  წმ რიცხვითი ბიჯით ოთხი თვის ფიზი-  
კური დროისათვის. მიღებული შედეგები მოცემუ-  
ლია სურათზე.



ფსკერულ დანალექში რკინის მასური კონცენტრაციების  
ცვლილება 1, 2, 3 და 4 დაკვირვების პუნქტებში.

სურათზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული  
რკინის მასური კონცენტრაციის  $Q_i = q_{s,i} / \rho$  (მკგ/კგ)  
ცვლილება 120 დღის განმავლობაში, სადაც  $\rho$  ფსკე-  
რული დანალექის სიმკვრივეა. სურათიდან ჩანს,  
რომ რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობების  
დროის მიხედვით ცვლილება მიმდინარეობს თვი-  
სებრივად ერთნაირად, მაგრამ რაოდენობრივად –  
განსხვავებულად. განხილულ ოთხივე პუნქტში  
მყარდება რკინის კონცენტრაციის კვაზისტაცი-  
ონარული განაწილება, რომლის შემდგომაც რკინის  
კონცენტრაციების მნიშვნელობები ფსკერულ დანა-  
ლექებში უკვე აღარ იცვლება. განსხვავებულია მხო-  
ლოდ რკინის სტაციონარული კონცენტრაციის დამ-  
ყარების დრო და რკინის კონცენტრაციის ცვლილე-  
ბის სიჩქარეები დაკვირვების პუნქტებში.

რკინის კონცენტრაციის მუდმივი მნიშვნელობა ფსკერულ დანალექში ყველაზე სწრაფად (დაახლოებით 20 დღის განმავლობაში) მყარდება დაკვირვების 1-ელ პუნქტში. ამ პუნქტისათვის დამახასიათებელია ზედაპირულ წყალში რკინის დიდი კონცენტრაცია და მდინარის დინების მომატებული სიჩქარე. პროცესის კინეტიკა შემდეგია: დალექვის საწყის ეტაპზე პრიორიტეტულია რკინის გრავიტაციული დალექვა. დალექვას ხელს უწყობს ასევე ტურბულენტური დიფუზიის პროცესი, ვინაიდან რკინის კონცენტრაცია წყალში მეტია, ვიდრე ფსკერულ დანალექში; შედეგად სწრაფად იზრდება რკინის კონცენტრაცია ფსკერულ დანალექში. როდესაც ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაცია გადააჭარბებს წყალში მისსავე კონცენტრაციას, ტურბულენტური დიფუზია იწვევს საპირისპირო პროცესს – ნივთიერების გადატანას ფსკერული დანალექიდან წყალში. ამ დროს სწრაფად იზრდება ტურბულენტური დიფუზიით ინგრედიენტის გადატანა ფსკერიდან მდინარის წყალში. მყარდება ისეთი მდგომარეობა, როდესაც ინგრედიენტის ფსკერისკენ მიმართული გრავიტაციული ნაკადი გაუტოლდება ტურბულენტური დიფუზიის ნაკადს ფსკერიდან წყალში ანუ მყარდება წონასწორული მდგომარეობა ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაციის მუდმივობით. ასევე აღსანიშნავია მდინარის დინების სიჩქარის უკვე მომატებული მნიშვნელობა ინგრედიენტის სედიმენტაციის პროცესში.

ყველაზე გვიან (110 დღე) ფსკერულ დანალექში რკინის მუდმივი კონცენტრაციის მნიშვნელობა მიიღწევა მე-2 პუნქტში, რომლისთვისაც მცირეა როგორც რკინის კონცენტრაცია მდინარის წყალში, ასე-

ვე მდინარის დინების სიჩქარე და, შესაბამისად, მდინარის წყლის ტურბულენტობა. რაც შეეხება დაკვირვებათა მე-3 და მე-4 პუნქტებს, მათგან აღებულ ფსკერულ დანალექთა სინჯებში რკინის მუდმივი კონცენტრაციების მნიშვნელობები შესაბამისად მყარდება დაახლოებით მე-60 და 65-ე დღეს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაციის ექსპერიმენტულად გაზომილ და გამოთვლებით მიღებულ სიდიდეებს შორის თანხვედრა დამაკმაყოფილებელია. მათ შორის მაქსიმალური განსხვავება მიღებულია მე-2 პუნქტში და ის დაახლოებით 10 %-ის ფარგლებშია, რაც სავსებით დასაშვებია.

### დასკვნა

1. სავსე პირობებში ექსპერიმენტული გაზომვებით შეგროვებული მონაცემების გამოყენებითა და რიცხვითი მოდელირების ჩატარების გზით პირველად იქნა გამოთვლილი მდ. ორხევზე სავსე დაკვირვებისათვის შერჩეული ოთხი პუნქტის ფსკერულ დანალექებში რკინის შემცველობა;
2. გაანალიზებულია ფსკერულ დანალექში რკინის კონცენტრაციის დროის მიხედვით ცვლილება. მიღებულია, რომ იგი ხასიათდება რკინის კონცენტრაციის სტაციონარული განაწილების დამყარებით;
3. დადგინდა, რომ ფსკერულ დანალექებში ზოგადად მოქმედებს რკინის კონცენტრაციის კვაზისტაციონარული განაწილების პრინციპი, როდესაც რკინის მუდმივი კონცენტრაციის მიღწევა ხდება ერთმანეთისაგან განსხვავებულ

- დროსა და რკინის კონცენტრაციის ცვლილების სიჩქარის პირობებში;
4. მდ. ორხევზე დაკვირვების თითოეულ შერჩეულ პუნქტში რკინის კონცენტრაციის სტაციონარული განაწილების დამყარება დამოკიდებულია ორ პროცესზე – გრავიტაციულ სედიმენტაციასა და ვერტიკალურ-ტურბულენტურ დიფუზიაზე;
  5. სათანადო გათვლების ჩატარების გზით გამოვლინდა ფსკერულ დანალექებში რკინის კონცენტრაციული სტაბილურობის ყველაზე სწრაფი (20 დღე) და ყველაზე ხანგრძლივი (110 დღე) დამყარების პუნქტები;
  6. ჩატარებული გამოთვლების შედეგები შედარებულია გაზომვების მონაცემებთან და, მიღებულია დამაკმაყოფილებელი შედეგი.

### ლიტერატურა

1. Janelidze, Ch. (2019). *Hazards of Disastrous Flooding in the city of Tbilisi. Orkhevi river*. Tbilisi, CENN, pp. 51-52.
2. Resources of surface waters of the USSR. (1974). Volume 09. (Ed. V. Tsomaya). *Transcaucasia and Dagestan*. Issue 1. Western Transcaucasia. Leningrad: Hydrometeoizdat, 578 p.
3. Surmava, A. (2015). Numerical Simulation of Distribution of Contaminants Discharged to Kura river. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 9(1), pp. 78-84.
4. Surmava, A., Gverdtsiteli L., Bagrationi N. (2016). *Numerical Simulation of Distribution of Arsenic Discharged to Tskhenistskali and Lukhuni Rivers from Industrial Waste*. Proceedings of the Georgian National Academy of Sciences – Chemical Series, 42 (3), pp. 413-415.
5. Obukhov, A. M. (1988). *Turbulence and dynamics of the atmosphere*. Leningrad: Hydrometeoizdat, 414 p.

UDC 556.114.6 : 627.8

SCOPUS CODE 2302

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-3-150-156>

## Numerical Simulation of Changes in Iron Content in the Bottom Sediments of the Orkhevi River on the Basis of Field Measurements and Experimental Data

**Alexsandre Surmava** Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, Georgia, 0112, Tbilisi, 150<sup>b</sup>, David Aghmashenebeli ave.

E-mail: aasurmava@yahoo.com

**Irakli Rostomashvili** Department of Chemical and Biological Technology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.

E-mail: rostomashviliirakli@yahoo.com

**Jimsher Kerkadze** Department of Environmental Engineering and Ecology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.

E-mail: j.kerkadze@gtu.ge

### Reviewers:

**R. Diakonidze**, Head of the Department of Natural Disasters, Institute of Water Management named after Tsoetne Mirtskhulava, GTU; Academic Doctor of Technical Sciences, Professor, Academic of Georgian Academy of Ecological Sciences

E-mail: robertdia@mail.ru

**D. Eristavi**, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: d.eristavi@gtu.ge

**Abstract.** The issue of revitalization of small rivers belongs to those actual problems, which in turn are successfully implemented in many countries of Western and Central Europe. This problem of Georgia, which is going through European integration, has become urgent now. Based on the conducted hydrographic and morphometric measurements, experimental data and the transfer-diffusion equation of a passive ingredient in surface waters, the change of iron content in bottom sediment samples taken from four pre-selected points over time was calculated, in terms of observing the bed of the Orkhevi River, the left microtributary of the Mtkvari River within the administrative limits of the city of Tbilisi, since iron is the most dominant component in the water of the Orkhevi river, compared to other heavy metals, in terms of its concentration.

It is showed that as a result of the calculations performed for numerical modeling of the sedimentation process of the main ingredient, the concentration of iron in bottom sediments significantly depends on the main driving forces of the course of its sedimentation process, on vertical turbulent diffusion and on the rate of gravitational sedimentation.

**Keywords:** bottom sediments of river; gravitational sedimentation rate; iron content; transfer-diffusion equation; vertical-turbulent diffusion.

*განხილვის თარიღი 27.05.2022*

*შემოსვლის თარიღი 02.06.2022*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 23.09.2022*