

ს. მდივანი, ა. სურმავა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

უაკ: 628.54

მდ. მტკვარში ჩაღვრილი ნავთობის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება/

მდ მტკვარი, როგორც საქართველოს წყლის ცენტრალური არტერია განიცდის დიდ ანთროპოგენულ დატვირთვას, განსაკუთრებით ქალაქების თბილისის, რუსთავისა და გაჩიანის ტერიტორიაზე [1, 2]. სხვადასხვა ინგრედიენტებთან ერთად მეტად საყურადღებოა მდინარის ნავთობითა და ნავთობპროდუქტებით დაბინძურების პრობლემა, ვინაიდან მდ მტკვრის გასწვრივ ადგილი აქვს ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ინტენსიურ სარკინიგზო და საავტომობილო გადატანას. იყო შემთხვევები, როდესაც ავარიულად დაღვრილი ნავთობი მოხვდა მდინარის წყალში (მაგ. 1989 წ. ავარია რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში), გავრცელდა დიდ მანძილებზე და მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ზემოქმედა გამოიწვია მდინარის ფლორაზე და ფაუნაზე.

ამ პრობლემის შესწავლისათვის დამუშავდა მდინარეში ნავთობის გადატანის რიცხვითი მოდელი და მისი საშუალებით მოდელირებული იქნა მდ. მტკვარში ნავთობის გავრცელების თავისებურება.

განტოლება, რომელიც აღწერს ნავთობპროდუქტის გავრცელებას მდინარეში შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით [3]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \mu_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \mu_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \mu_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (1)$$

სადაც t დროა; $x, y,$ და z დეკარტეს კოორდინატა სისტემის ღერძებია; x ღერძი მიმართულია მდინარის დინების მიმართულებით ჰორიზონტალურად, $y - x$ ღერძისადმი მართობულად ჰორიზონტალურ სიბრტყეში და z ღერძი ვერტიკალურად ზევით; u, v, w – მდინარის დინების სიჩქარეებია $x, y,$ და z ღერძების მიმართულებით; C - ნავთობპროდუქტების კონცენტრაციაა მდინარეში; μ_x, μ_y და μ_z ტურბულენტობის კოეფიციენტებია x, y და z ღერძების გასწვრივ. მათი მნიშვნელობა ცნობილია.

(1) განტოლებისათვის განვიხილოთ შემდეგი სახის საწყისი და სასაზღვრო პირობები:

$$C = C_0(x_0, y_0, z_0) \text{ როცა } t \geq 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0 \text{ როცა } x = 0, X; \quad \frac{\partial C}{\partial y} = 0 \text{ როცა } y = 0, Y;$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0, \text{ როცა } z = 0, H, \quad (3)$$

სადაც x_0, y_0, z_0 მდინარეში დამაბინძურებელი ინგრედიენტის ჩაშვების კოორდინატებია, X, Y, Z – მდინარის მონაკვეთის სიგრძე, სიგანე და სიღრმეებია.

ამოცანა მდგომარეობს (1) განტოლების ამოხსნაში საწყისი (2) და სასაზღვრო (3) პირობების არსებობისას. განტოლება (1) – ის რიცხვითი ინტეგრირება ხორცილდება კრანკლ-ნიკოლსონის არაცხადი სქემითა და გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით [3]. სასრულ სხვაობათა ბადე შედგება $50 \times 10 \times 5$ წერტილისაგან; x ღერძის მიმართულებით რიცხვითი ბადის ბიჯი 20 მ-ია, y ღერძის მიმართულებით 5 მ, ხოლო z ვერტიკალური ბიჯი ტოლია 0.05 მ. ამრიგად, მოდელირება ხდება მდინარის 1 კმ სიგრძისა და 50 მეტრის სიგანის მონაკვეთზე.

ვისარგებლოთ კრანკლ-ნიკოლსონის სქემით და გამოვიყენოთ განტოლების სივრცული კოორდინატების მიმართ გახლეჩვის მეთოდი. მაშინ, (1) განტოლების ინტეგრირების ალგორითმი, ოპერატორული ფორმით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით :

$$\frac{C_{k,l,m}^{j+1/8} - C_{k,l,m}^j}{\tau/2} + \Delta_x \frac{C_{k,l,m}^{j+1/8} + C_{k,l,m}^j}{2} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{C_{k,l,m}^{j+3/8} - C_{k,l,m}^{j+2/8}}{\tau/2} + \Delta_z \frac{C_{k,l,m}^{j+3/8} + C_{k,l,m}^{j+2/8}}{2} = 0$$

$$\frac{C_{k,l,m}^{j+5/8} - C_{k,l,m}^{j+13/8}}{\tau} = f^{j+1/2}$$

$$\frac{C_{k,l,m}^{j+6/8} - C_{k,l,m}^{j+5/8}}{\tau/2} + \Delta_z \frac{C_{k,l,m}^{j+6/8} + C_{k,l,m}^{j+5/8}}{2} = 0 \quad \frac{C_{k,l,m}^{j+7/8} - C_{k,l,m}^{j+6/8}}{\tau/2} + \Delta_y \frac{C_{k,l,m}^{j+7/8} + C_{k,l,m}^{j+5/8}}{2} = 0$$

$$\frac{C_{k,l,m}^{j+1} - C_{k,l,m}^{j+7/8}}{\tau/2} + \Delta_x \frac{C_{k,l,m}^{j+1} + C_{k,l,m}^{j+7/8}}{2} = 0$$

სადაც j - დროითი ბიჯის ნომერია; k, l და m – სივრცითი ბადის კვანძებია x, y და z ღერძებზე, შესაბამისად; $\Delta x, \Delta y$ და Δz - სივრცითი ბადის ბიჯებია x, y და z ღერძებზე; τ - დროითი ბიჯია; Λ_x, Λ_y და Λ_z - შესაბამისი დიფერენციალური ოპერატორების სასრულ სხვაობიანი ანალოგებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ სქემის მონოტონურობასა და განისაზღვრებიან შემდეგი ფორმულებით:

$$\Lambda_x = \frac{1}{2\Delta x}(U^- C_{k+1,l,m} - U^0 C_{k,l,m} - U^+ C_{k-1,l,m}) - \frac{\mu_x}{\Delta x^2}(C_{k+1,l,m} - 2C_{k,l,m} + C_{k-1,l,m}), \Lambda_y = \frac{1}{2\Delta y}(V^- C_{k,l,m+1} - V^0 C_{k,l,m} - V^+ C_{k,l,m-1}) - \frac{\mu_y}{\Delta y^2}(C_{k,l,m+1} - 2C_{k,l,m} + C_{k,l,m-1}), \quad (5)$$

$$\Lambda_z = \frac{1}{2\Delta z}(W^- C_{k,l,m+1} - W^0 C_{k,l,m} - W^+ C_{k,l,m-1}) - \frac{\mu_z}{\Delta z^2}(C_{k,l,m+1} - 2C_{k,l,m} + C_{k,l,m-1}),$$

სადაც $U^- = 0.5(u + |u|)$, $U^0 = |u|$, $U^+ = 0.5(u - |u|)$, $V^- = 0.5(v + |v|)$, $V^0 = |v|$, $V^+ = 0.5(v - |v|)$, $W^- = 0.5(W + |w|)$, $W^0 = |w|$, $W^+ = 0.5(W - |w|)$.

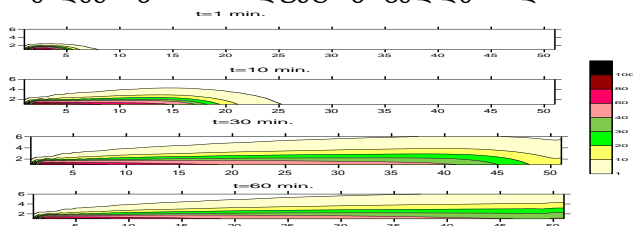
(2) და (3) პირობების სასრულ სხვაობიან ანალოგებს აქვთ სახე:

$$C = C_{k,0,l,m}^0, \quad C_{0,l,m}^j = C_{1,l,m}^j, \quad \Phi_{K-1,l,m}^j = \Phi_{K,l,m}^j, \quad C_{k,l,m}^j = C_{k,1,m}^j, \quad C_{k,L-1,m}^j = C_{k,L,m}^j, \\ C_{k,l,M-1}^j = C_{k,l,M}^j, \quad C_{k,l,0}^j = C_{k,l,1}^j \quad (6)$$

ალგებრული განტოლებათა სისტემა (4)-(6) აპროქსიმირებს (1)-(3) ამოცანას მეორე რიგის სიზუსტით დროს მიხედვით, ხოლო სივრცული კოორდინატების მიხედვით – პირველი რიგის სიზუსტით. ამასთან, მიღებული სქემა აბსოლუტურად მდგრადია და მონოტონურია.

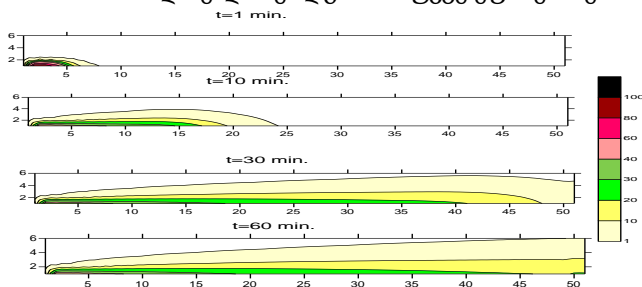
ჩვენს მიერ მოდელირებული იქნა მდ. მტკვარში ჩაშვებული ნავთობპოდუქტების გავრცელება მდინარის კოლექტორიდან ისე, რომ ჩაშვების წერტილში ნავთობპოდუქტების კონცენტრაცია $C = 100$ მგ/მ³, $u = 0.5$ მ/წმ, $W = 0$, $f = -0.02$ მ/წმ.

ნახ.1-ზე ნაჩვენებია ნავთობპოდუქტების გავრცელება და მისი კონცენტრაცია $t = 1, 10, 30$ წთ-ისა და 1 საათის შემდეგ. როგორც ნახაზიდან ჩანს, დამაბინძურებელი ინგრედიენტის კონცენტრაცია პირველი 10 წთ-ის განმავლობაში ლოკალიზირებულია მდინარის 400-მეტრიან მონაკვეთზე და მისი სიგანის ნახევარზე. კონცენტრაცია მაქსიმალურია ჩაღვრის წერტილის მიდამოებში და თანდათანობით მცირდება მისგან გაშორებით. 30 წთ-ის შემდეგ ნავთობპოდუქტი ვრცელდება მდინარის მთელ სიგანეზე ჩაღვრის წერტილიდან დაახლოებით



ნახ.1. ნავთობპოდუქტების კონცენტრაციის C (მგ/მ³) განაწილება მდინარის ზედაპირზე როცა $t = 1, 10, 30$ და 60 წთ-ს.

700მ მანძილზე და შემდგომ ის უკვე ეფინება მდინარის მთელ ზედაპირს.



ნახ. 2. ნავთობპოდუქტების კონცენტრაციის C (მგ/მ³) განაწილება მდინარის სიღრმეში ფსკერიდან 30 სმ სიმაღლეზე როცა $t = 1, 10, 30$ წთ და 60 წთ-ს.

თვისებრივად ანალოგიური სივრცული განაწილება მიღებული მდინარის ფსკერის სიახლოვეს (ნახ.2), მხოლოდ იმგანსხვავებით, რომ ჩაღვრის წერტილიდან მოშორებით ფსკერის სიახლოვეს კონცენტრაციის

მნიშვნელობა დაახლოებით მესამედია იმ მნიშვნელობისა, რომელიც მას აქვს წყლის ზედაპირზე შესაბამის წერტილში.

მიღებული შედეგი მიუთითებს იმას, რომ მიუხედავად ნავთობპროდუქტების ნაკლები სიმკვრივისა, ვერტიკალური ტურბულენტური აღრევა იწვევს მდინარის წყლის ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებას სიღრმეში. აღნიშნული ეთანხმება მოსაზრებას, რომ ვერტიკალური ტურბულენტობა თამაშობს მნიშვნელოვან როლს წყლის ობიექტების დაბინძურებისა და დამაბინძურებელი ინგრედიენტების სივრცული განაწილების პროცესში.

ამრიგად, მიღებული შედეგები გვიჩვენებს რომ, გამოყენებული მოდელი თვისებრივად სწორედ აღწერს ფიზიკურ პროცესს და მისი საშუალებით შეიძლება შესწავლილი იქნეს ნივთიერებების განაწილება მდინარეებში სხვადასხვა სახის ჩაღვრების შემთხვევებში. ასეთი გამოკვლევები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იქნება მდ. მტკვარის და სხვა მდინარეების იმ უბნებისათვის სადაც მათი სიღრმე რამდენიმე მეტრია, ან მდინარეებზე მოწყობილი წყალსაცავებისათვის.

A

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ლ. ინწკირველი, ნ. ბუაჩიძე, მ. ნიკოლაიშვილი ლ. ციციშვილი. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური (ISTC) პროექტი G-1294. მდ. მტკვრის აუზის რადიონუკლიდებითა და სხვა ტოქსიკური ელემენტებით დაჭუჭყიანების შესწავლა და რადიაციული და ჰიდროქიმიური მონიტორინგის სისტემის შექმნა. საქსპედიციო-ანალიტიკური ჯგუფი თბილისი 2009.
2. ნ. ბუაჩიძე, ლ. ინწკირველი, გ. კუჭავა, მ. მჭედლიშვილი. მდინარე მტკვრის ქიმიურ-ეკოლოგიური გამოკვლევა (თბილისის ფარგლებში). თბილისი, 2002 წ.
3. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат. 1974

უაკ: 628.54

მდ. მტკვარში ჩაღვრილი ნავთობის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება/ს. მდივანი, ა. სურმავა/საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული -2011.-ტ.117.-გვ. 158-159.- ქართ.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

დამუშავებულია მდინარეში ჩაღვრილი დამაბინძურებელი ნივთიერების გადატანის რიცხვითი მოდელი და შესწავლილია მდ. მტკვრის წყლებში ავარიულად ჩაღვრილი ნავთობპროდუქტების გავრცელება.

UDC 628.54

Numerical modelling of an oil spreading in the Mtkvari River/S. Mdivani, A. Syrmava/Transactions of the Institute of Hydro-meteorology, Georgian Technical University.-2011.-т.117.-pp.158-159. - .Georg.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

The numerical model of polluting substance spreading in a river is developed and the oil spill diffusion in the River Mtkvari is investigated

УДК 628.54

Численное моделирование распространения нефти в р. Кура./С.Г.Мдивани., А.А.Сурмава/ Сб. Трудов Института Гидрометеорологии, Технического Университета Грузии. –2011. – т.117. – с. 158-159. – Груз.; Рез. Груз., Анг.,Рус.

Разработана численная модель переноса загрязняющего вещества в реке и исследовано распространение аварийного сброса нефтепродуктов в воды р. Кура.