

უკ 551

საქართველოს ატმოსფეროში გაფრქვეული და მდინარეში ჩაღვრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების რიცხვითი მოდელების შექმნა

ა.სურმავა, ლ. ინწკირველი, ნ.გიგაური

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

მოდელების შექმნისა და მათი საშუალებით ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების მიზანს წარმოადგენს დამაბინძურებელი ნივთიერების მათემატიკური მოდელები, რომლებიც საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება საქართველოს ცალკეულ რეგიონების ატმოსფერული ჰაერისა და ძირითადი მდინარეების დამაბინძურების დონის განსაზღვრა მათში დიდი რაოდენობით მოხვედრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების შემთხვევებში. ასეთი სამუშაოს შესრულების საშუალებას იძლევა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში წლების განმავლობაში ჩატარებული კვლევები [1-3]. სამუშაო ითვალისწინებს შედეგი 2 სახის მოდელის შექმნას:

მოდელი 1.

საქართველოს რეგიონისათვის β-მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების, ატმოსფეროში დამაბინძურებელი პასიური და არაპასიური ნივთიერებების გავრცელების და ნიადაგზე დალექვის რიცხვითი მოდელის დამუშავება.

1. ამოცანის დასმა

განვიხილება არე რომელიც მოიცავს საქართველოს რთული რელიეფის მქონე ტერიტორიას, რომლის ჰორიზონტალური ზომები დაახლოებით 150-200 კმ-ია მოდელის რეალიზაციისათვის გამოყენებულია ატმოსფეროს H-ჰიდროთერნოდინამიკის შემდეგი განტოლებათა სისტემა:

ა) ატმოსფეროსათვის [4,5] :

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + lv + g(1 + 0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial x} + \mu\Delta u + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial u}{\partial \zeta},$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\bar{P}}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial y} - lu + g(1 + 0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial y} + \mu\Delta v + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial v}{\partial \zeta},$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} = \frac{g}{RT}(1 + 0.61q)\vartheta h, \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w}h}{\partial \zeta} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} wh = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + v \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial \vartheta}{\partial \zeta} + Sw = \mu\Delta \vartheta + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial \vartheta}{\partial \zeta} + \frac{L}{\rho C_p} \phi_{con} - \frac{\partial \theta}{\partial t},$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial q}{\partial \zeta} = \mu\Delta q + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial q}{\partial \zeta} - \phi_{con},$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} + u \frac{\partial m}{\partial x} + v \frac{\partial m}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial m}{\partial \zeta} = \mu\Delta m + \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial m}{\partial \zeta} + \phi_{con} - \frac{\partial N}{\partial t},$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + (\tilde{w} - \frac{w_0}{h}) \frac{\partial c}{\partial \zeta} = \mu \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial c}{\partial \zeta} - \frac{\partial C}{\partial t}$$

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial}{\partial \zeta}, \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad w = \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \tilde{w}h$$

ბ) ნიადაგის აქტიური ფენისათვის [6.7]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} D(V) \frac{\partial V}{\partial z} - \frac{\partial E(V)}{\partial z}, \quad \frac{\partial T_{soil}}{\partial t} = K_{soil} \frac{\partial^2 T_{soil}}{\partial z^2}, \quad \text{სადაც } \delta_0 > z > Z_{soil}; \quad (2)$$

ც) ზღვის წყლის ზედა ფენისათვის :

$$\frac{\partial T_{sea}}{\partial t} = K_{sea} \frac{\partial^2 T_{sea}}{\partial z^2} + \frac{I}{C_{sea} \rho_{sea}} \frac{\partial I}{\partial z}, \quad \text{სადაც } \delta_0 > z > Z_{sea}, \quad (3)$$

სადაც t დროა; x , y და z აღმოსავლეთით, ჩრდილოეთით და ვერტიკალურად ზევით მიმართული დეკარტეს კოორდინატთა ღერძებია, შესაბამისად; $\zeta = (z - \delta) / h$ განუზომადი ვერტიკალური კოორდინატაა; $\delta = \delta_0(x, y)$ მიწისპირა ფენის სიმაღლეა; δ_0 რელიეფის სიმაღლეა; $h = H - \delta$; $H(t, x, y)$ ტროპოპაუზის სიმაღლეა; u , v , w და \tilde{w} ქარის სიჩქარის მდგენელებია x , y , z და ζ ღერძების გასწვრივ; $\theta = T' / \bar{T}$ და $\varphi = P' / \bar{P}(z)$ ტემპერატურისა და წნევის ანალოგებია; $\bar{T} = 300K$; T' , P' ტემპერატურის და წნევის გადახრებია მათი სტანდარტული ვერტიკალური განაწილებებიდან $T(z) = \bar{T} - \gamma z$ და $\bar{P}(z)$, შესაბამისად; γ - ტემპერატურის სტანდარტული ვერტიკალური გრადიენტი; θ და φ ტემპერატურის ანალოგის მეზომასშტაბური და ფონური შემადგენელი ნაწილებია; $\theta' = \theta - \theta_0$; q და Q წყლის ორთქლის მასური ნაწილი და ფონური მასური ნაწილებია; m და M ღრუბლის წყლის მასური ნაწილი და ფონური მასური ნაწილებია; T_{soil} და T_{sea} ნიადაგისა და ზღვის წყლის ტემპერატურებია; c ატმოსფეროს დამაბინძურებელი პასიური ნივთიერების კონცენტრაციაა; V ნიადაგში წყლის მოცულობითი შემცველობაა; $\rho(z)$ და ρ_{sea} მშრალი ჰაერის სიმკვრივის სტანდარტული ვერტიკალური განაწილება და ზღვის წყლის სიმკვრივეა; g თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა; R უნივერსალური გაზური მუდმივაა მშრალი ჰაერისათვის; C_p და C_{sea} მშრალი ჰაერის კუთრი სითბოტევადობაა მუდმივი წნევის პირობებში და ზღვის წყლის კუთრი სითბოტევადობაა; S თერმული მდგრადობის პარამეტრია; L კონდენსაციის ფარული სითბოა; ϕ_{con} კონდენსაციის სიჩქარეა; μ და ν ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კოეფიციენტი; $\partial N / \partial t$ - ნალექების მოსვლის ინტენსივობაა; D ნიადაგში წყლის დიფუზიის კოეფიციენტი; E - ნიადაგის ფილტრაციის კოეფიციენტი; I ზღვაში მზის ჯამური რადიაციის ნაკადია; K_{soil} და K_{sea} ნიადაგისა და ზღვის წყლის ტემპერატურაგამტარებლობის კოეფიციენტებია. μ და ν განსაზღვრულნი არიან შემდეგი ფორმულებით [8,9]:

$$\mu = \Delta x \Delta y \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2}; \quad \nu = (0.05 \Delta z)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2} \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z};$$

სადაც Δx და Δy - ჰორიზონტალური ბიჯებია, Δz - ვერტიკალური ბიჯია.

ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ ფენაში მეტეოროლოგიური ვეელების და ტურბულენტობის კოეფიციენტების განსაზღვრავად გამოიყენება პარამეტრიზაციული მოდელი [10]:

$$\frac{\partial |\mathbf{u}|}{\partial z} = \frac{u_*}{\chi z} \phi_u(\zeta), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p_*}{\chi} \phi_p(\zeta), \quad (p = \theta, q), \quad \zeta = \frac{z}{L}, \quad L = \frac{u_*^2}{\lambda \chi^2 g_*}$$

$$|\mathbf{u}| = \frac{u_*}{\chi} f_u(\zeta, \zeta_u), \quad p - p_0 = p_* f_p(\zeta, \zeta_0), \quad \zeta_u = \frac{z_u}{L}, \quad \zeta_0 = \frac{z_0}{L}, \quad \text{if } z \leq z_{sur}, \quad (4)$$

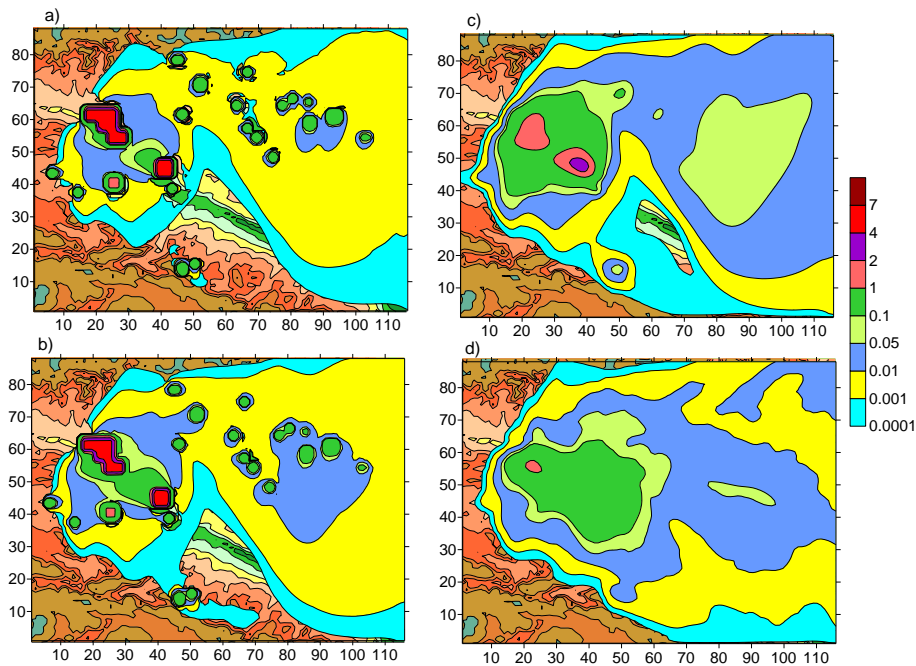
$$v_i = \frac{u_* \chi z}{\phi_i(\zeta)}, \quad (v_i)_h = \frac{u_* \chi h_s}{\phi_i(\zeta_h)}, \quad (i = u, \theta), \quad \zeta_h = \frac{h_s}{L},$$

სადაც $|\mathbf{u}| = (u^2 + v^2)^{0.5}$ ქარის სიჩქარის მოდულია; u_* ხახუნის დინამიკური სიჩქარეა; g_* და q_* არიან პოტენციალური ტემპერატურისა და წყლის ორთქლის მოცულობითი შემცველობა ხორკლიანობის დონეზე; χ კარმანის მუდმივაა; z_0 და z_u არიან ხორკლიანობის პარამეტრი ქარის

სიქარისა და ტემპერატურისათვის შესაბამისად; L სიგრზის მასშტაბია; $\lambda = g/\bar{T}$ კონვექციის პარამეტრია; $\varphi_u(\zeta)$, $\varphi_g(\zeta)$, $f_u(\zeta, \zeta_u)$, და $f_g(\zeta, \zeta_0)$ უნივერსალური ფუნქციებია.

(1) - (4) განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად გამოყენება შესაბამისი სასაზღვრო და საწყისი პირობები. ისინი, კერძოდ, უშვებენ დროის საწყის და შემდგომ მომენტებში დამაბინძურებელი წყაროების მიდამოებში მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციების მნიშვნელობების ცოდნას. მოდელის ინტეგრირება ხორციელდება ცხადი რიცხვითი სქემის [11], კრანკლ-ნიკოლსონის არაცხადი რიცხვითი სქემისა და კოორდინატების და პროცესების მიხედვით გახლეჩის მეთოდის [12] გამოყენებას.

ჩატარებულია ტესტური გამოთვლები კახეთის ტერიტორიაზე არსებული ქალაქებიდან ატმოსფეროში ამოფრქვეული მტვერის გავრცელების რიცხვითი მოდელირებისათვის. განხილულია შემთხვევა, როდესაც კახეთის ტერიტორიაზე ადგილი აქვს დასავლეთის ფონურ ქარს, რომლის სიჩქარე იცვლება 1 მ/წმ-დან მიწის ზედაპირიდან 10 მ სიმაღლეზე, 25 მ/წმ-დე ტროპოპაუზის დონეზე (9 კმ). განიხილება შემთხვევა, როდესაც ატმოსფეროში ვრცელდება მტვერი ქალაქებიდან თბილისი, რუსთავი და საქართველოსა და აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე მდებარე 20 დასახლებული პუნქტიდან. მიღებული შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1. ატმოსფეროში მტვერის კონცენტრაცია $z = 2, 10, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე როცა $t = 14$ სთ.

ნახ. 2. ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული მტვერის განაწილება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში და ტროპოსფეროში დღის 14 სთ-ზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ დამტვერიანება გავრცელებულია დიდ ტერიტორიაზე ერთიანი ღრუბლის სახით, უმეტესად აღმოსავლეთის მიმართულებით. მტვერის გავრცელების არეში კონცენტრაცია არა ერთგვაროვნად განაწილებული. მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციის სიდიდე 0.1 ზდკ -1 ზდკ მიღებულია მხოლოდ ქალაქების ტერიტორიებზე და მათ უშუალო სიახლოვეს. 0.1 ზდკ-ის საზღვარი ქ. თბილისის შემთხვევაში გადის ქალაქის ტერიტორიიდან 2 - 4 კმ მანძილზე, ქ. რუსთავის შემთხვევაში კი - 8 კმ მანძილზე. დანარჩენ ტერიტორიაზე გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციები ნაკლებია 0.1 ზდკ-ზე. 2 მ სიმაღლის ზევით, 0.1 ზდკ-ზე მეტი მნიშვნელობა მიღებულია ქ. თბილისისა და ქ. რუსთავის თავზე, გაცილებით მეტ ფართობზე. აღნიშნული ეფექტი გამოწვეულია ერთის მხრივ დაბინძურებული ქალაქების თავზე მიწისპირა ფენაში ვერტკალური ტურბულენტობით მტვერის დიდი რაოდენობის გავრცელებასთან

ჰორიზონტალური ადვექტიური და ტურბულენტური მოძრაობებით. Y 0.1 ზღვ მეტი კონცენტრაციის ზონა მაქსიმალურია მიწის ზედაპირიდან ატმოსფეროს 100 მ-დან 700 მ-მდე ფენაში. ამ ფენის ზევით მაქსიმალური კონცენტრაციის მნიშვნელობა იწყებს კლებას და 3 კმ-ის სიმაღლეზე მისი სიდიდე არ აღემატება 0.01 ზღვ-ას.

მოდელი 2. მდ. მტკვარში ჩაღვრილი ნივთიერების გავრცელების რიცხვითი მოდელის დამუშავება და დამაბინძურების გამოკვლევა.

განხილულია მდ. მტკვრის ნაწილი საქართველო-თურქეთის სახელმწიფო საზღვრიდან მინგეჩაურის წყალსაცავამდე (513 კმ). აღნიშნული ნაწილი დაყოფილია 10 პირობით უბნად. დაშვებულია, რომ თითოეული უბანი წარმოადგენს წრფივ არხს, რომლის გასწვრივ მდინარის მახასიათებელი პარამეტრები არ იცვლება. პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები აღებულია [13]-დან. მდინარის თითოეულ უბანზე მინარევების გადატანა-დიფუზიის აღიწერება შემდეგი განტოლების სშუალებით:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + w_0 \frac{\partial C_i}{\partial z} = \mu_x \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \mu_y \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} + \mu_z \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} \quad C_i \quad (5)$$

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 დაღექვის სიჩქარეა; μ_x , μ_y და μ_z ტურბულენტური სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტებია x , y და z ღერძების გასწვრივ, შესაბამისად; C_i - დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციაა მდინარის i -ურ უბანზე; α დამაბინძურებელი ნივთიერების ქიმიური გარდაქმნის სიჩქარეა.

(1) განტოლების რიცხვითი ინტეგრირება შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობებით ხორციელდება კრანკლ-ნიკოლსონის სქემითა და კოორდინატებისა და პროცესების მიხედვით გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით [11]. რიცხვითი აპროქსიმაციის რიგი დროის მიხედვით პირველია, სივრცული კოორდინატების მიხედვით – მეორე.

რიცხვითი ექსპერიმენტით მოდელირებულია მდ. მტკვარში საქართველო-თურქეთის საზღვართან მდებარე უბანში 6 სთ-ის განმავლობაში უწყვეტად ჩაღვრილი პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელება. ჩაშვების წერტილებში ნივთიერების კონცენტრაცია 100 პირობითი ერთეულის (პ.ე.) ტოლია.



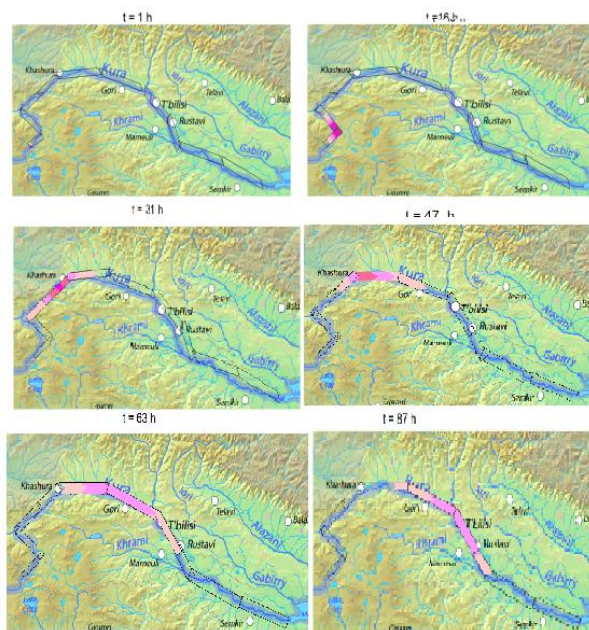
ნახ. 2. პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელება ჩაღვრიდან პირველი 6 წთ-ის განმავლობაში

ნახ. 2-დან ნახაზიდან ჩანს, რომ დამაბინძურებელი ნივთიერება მდინარის დინების მიმართულებით ვრცელდება ადვექციური და ტურბულენტური გადატანის პროცესებით. ამასთან ადვექციური გადატანის სიჩქარე მეტია ტურბულენტური გადატანის სიჩქარეზე. შედეგად, $t = 6$ წუთისათვის დამაბინძურებელ ლაქას აქვს წაგრძელებული ელიფსის ფორმა. დინების მიმართულებით ის გადატანილია წყაროდან დაახლოებით 200 მ მანძილზე, ხოლო დინების მართობული მიმართულებით – მდინარის სიგანის 0.5-0.6 ნაწილში.

ნახ. 3 მოყვანილია მდ. მტკვარზე დამაბინძურებელი ნივთიერების გადატანის პროცესი 87 საათის განმავლობაში. ჩანს რომ დამაბინძურებელი ნივთიერების ლაქის სიგრძე მდინარის გასწვრივ გადაადგილებასთან ერთად თანდათანობით იზრდება და ჩალვრის დაწყებიდან 87 სთ-თვის ის დაახლოებით 100 კმ-ზეა გავრცელებული. ერთდროულად მიმდინარეობს დამაბინძურებელი ნივთიერების განზავება და შედეგად მაქსიმალური კონცენტრაცია საწყისი მნიშვნელობიდან 100 პ.ე. –დან მცირდება 4 პ. ე. მდე.

დასკვნა. გამოთვლების შედეგები აჩვენებენ, რომ განხილული მოდელები თვისებრივად სწორად აღწერენ დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელებას რთული რელიეფის ტერიტორიაზე და მთიანი რეგიონის მდინარეზე. რაც შეეხება მოდელირების რაოდენობრივ სიზუსტეს ამისათვის საჭიროა ჩატარდეს ერთობლივი ექსპერიმენტალური და თეორიული გამოკვლევა. მოდელების შექმნისა და მათი საშუალებით ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების მიზანს წარმოადგენს დამუშავდეს ისეთი მათემატიკური მოდელები, რომლების საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება საქართველოს ცალკეულ რეგიონების ატმოსფერული ჰაერისა და ძირითადი მდინარეების დამაბინძურების დონის განსაზღვრა მათში დიდი რაოდენობით მოხვედრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების შემთხვევებში. ასეთი სამუშაოს შესრულების საშუალებას იძლევა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში წლების განმავლობაში ჩატარებული კვლევები [1-3]. სამუშაო ითვალისწინებს შედეგი 2 სახის მოდელის შექმნას:

ნახ. 3 მოყვანილია მდ. მტკვარზე დამაბინძურებელი ნივთიერების გადატანის პროცესი 87 საათის განმავლობაში. ჩანს რომ დამაბინძურებელი ნივთიერების ლაქის სიგრძე მდინარის გასწვრივ გადაადგილებასთან ერთად თანდათანობით იზრდება და ჩალვრის დაწყებიდან 87 სთ-თვის ის დაახლოებით 100 კმ-ზეა გავრცელებული. ერთდროულად მიმდინარეობს დამაბინძურებელი ნივთიერების განზავება და შედეგად მაქსიმალური კონცენტრაცია საწყისი მნიშვნელობიდან 100 პ.ე. –დან მცირდება 4 პ. ე. მდე.



ნახ. 3. პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელება 1-87 სთ-ის განმავლობაში.

დასკვნა. გამოთვლების შედეგები აჩვენებენ, რომ განხილული მოდელები თვისებრივად სწორად აღწერენ დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელებას რთული რელიეფის ტერიტორიაზე და მთიანი რეგიონის მდინარეზე. რაც შეეხება მოდელირების რაოდენობრივ სიზუსტეს ამისათვის საჭიროა ჩატარდეს ერთობლივი ექსპერიმენტალური და თეორიული გამოკვლევა.

ლიტერატურა – REFERENCES _ ЛИТЕРАТУРА

1. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere from hypothetical source in the case of the background western wind. J. Georgian Geoph. Soc., 2009. v. 13(b), pp. 15-21.
2. Surmava A. Numerical Modeling of the α - and β -Mesoscales Vortexes and Waves Generated by Influence of the Complex Terrain of the Caucasus and Georgia Proceedings of International Conference „Environment and Global Warming”. Collected Papers , New series, No. 3(82), 2011. pp. 432-437
3. Surmava A. Numerical investigation of the modeling of transportation and deposition of the radioactive pollution in the Caucasian Region in case of the hypothetical accident on the Armenian Nuclear Power Plant Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, 2012, v. 15., pp. 32-45.
4. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат. 1974, 302 с.
5. Гутман Л. Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат. 1969. 296 с.
6. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 752 с.
7. Чудновский А. Ф. Теплофизика почв. Москва: Наука. 1976. 352 с.
8. Зилинтикевич С. С., Монин А. С. Турбулентность в динамических моделях атмосферы. Л.: Наука, 1971, 44 с.
9. Марчук Г. И., Кочергин В. П., Саркисян А. Ш. И др. Математические модели циркуляции в океане. Наука: Новосибирск, 1980. 288 с.
10. Казаков А. Л., Лазриев Г. Л. О параметризации приземного слоя атмосферы и деятельного слоя почвы. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1978, т.14, № 3, с. 257-265
11. Шуман Ф. Многоуровневая модель по полным уравнениям. Лекции по численным методам прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1969, с. 481-498.
12. Shuman F. G., Hovermale L. R. An operational six-layer primitive equation model. J. Appl. Mech. 1968. V. 7. No 4., pp. 525-547.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР.1974. Т. 9, Закавказье и Дагестан. Ленинград: Гидрометеиздат. 579 с.

უკ 551

საქართველოს ატმოსფეროში გაფრქვეული და მდინარეში ჩაღვრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების რიცხვითი მოდელების შექმნა/ა.სურმავა, ლ. ინჭკირველი, ნ.გიგაური/სტუ-ს ჰმი-ის სამეცნ. რეგ. შრ. კრებ. - 2016. - ტ.123. - გვ.4-9. - ქართ. ; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს. ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის და უწყვეტ გარემოში სუბსტანციის გადატანა-დიფუზიის არაწრფივი არასტაციონალური სამგანზომილებიანი განტოლებების გამოყენებით დამუშავებულია საქართველოს ცალკეულ რეგიონში და მდინარეში გარემოს დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელების მათემატიკური მოდელები. დამუშავებულია რიცხვითი ინტეგრირების ალგორითმები ცხადი და არაცხადი სქემების გამოყენებით. შედეგენილია თვლის პროგრამები და ჩატარებულია შესაბამისი ტესტური გამოთვლები.

UDC 551

Elaboration of the mathematical model of transfer and diffusion of a pollution substance emitted in the atmosphere and river/A. Surmava, L. Intskirveli., N.Gigauri/Scientific Reviewed Proceedings of the IHM, GTU. - 2016, V.123. - pp.4-19, Geo.; Summ.: Geo., Eng., Rus. Using the nonstationary nonlinear equations of

hydrothermodynamics of atmosphere and equation of transfer and diffusion of contaminant in continuous medium the mathematical models of distribution of pollution in the atmosphere and river are elaborated. The algorithms of numerical integration are constructed by using the implicit and explicit numerical schemes. The programs of integration are elaborated and the test calculations are made.

УДК 551

Разработка численных моделей распространения загрязняющего вещества, выброшенного в атмосферу и сброшенного в реку./А. Сурмава, Л. Инцкирвели, Н.Гигаури/Науч. Реф. Сб. Труд. ИГМ ГТУ - 2016. вып.123. - с.4-9. -. Груз.; Рез.: Груз., Англ., Рус. С помощью нестационарных нелинейных уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнения переноса-диффузии субстанции в сплошной среде разработаны математические модели распространения загрязняющего вещества в атмосфере отдельного региона и в реке. Разработаны алгоритмы численного интегрирования и соответствующие компьютерные программы. Проведены тестовые расчеты