

შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის ატმოსფეროს შესაძლო დაბინძურების რიცხვითი მოდელირება

ა. სურმავა¹, ვ. კუხალაშვილი²

^{1,2} ი. ჭავჭავაძის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის
ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

¹aasurmava@yahoo.com; ²Bondo1963@mail.ru

ანოტაცია - რიცხვითი მოდელირებით გამოკვლეულია კავკასიაში ავარიულად დიდი რაოდენობით ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერების შესაძლო გავრცელება ატმოსფეროს სხვადასხვა ტიპური მეტეოროლოგიური სიტუაციების შემთხვევებში. ნაჩვენებია, რომ რომ რეგიონის რელიეფი ძლიერად მოქმედებს მინარევების გავრცელებაზე ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში. მერიდიანულად ორიენტირებული რიკოტის და მცირე კავკასიონის ქედები ენინაღმდეგებიან რა ჰაერის აღმოსავლეთით მოძრაობას, აიძულებენ დამაბინძურებელი ნივთიერების ძირითად ნაწილს გავრცელდეს შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის თავზე. სამხრეთ კავკასიის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერება სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარის დროს, ამოფრქვევიდან დაახლოებით 18 საათის შემდეგ, აღწევს შავი ზღვი სანაპირო ზოლს. ქვეყნილ ზედაპირზე დაღეჭვის შედეგად მან შეიძლება გამოიწვიოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის წყლის დაბინძურება.

საკვანძო სიტყვები — შავი ზღვის სანაპირო ზოლის დაბინძურება, კავკასიის ატმოსფეროს დაბინძურება, პასიური ნივთიერება, რიცხვითი მოდელირება, სელიმენტაცია

I - შესავალი

ნაშრომის მიზანია კავკასიაში ატმოსფერული პროცესების განვითარების რეგიონალური მოდელირება [1] და ნივთიერების დიფუზია-გადატანის განტოლების ინტეგრირებით [2] რიცხობრივად მოდელირებული და გამოკვლეული იქნეს კავკასიაში დიდი რაოდენობით ამოფრქვეული ატმოსფეროს დამაბინძურებელი ინგრედიენტის შესაძლო გავრცელება ძირითადი სამი სინოპტიკური სიტუაციის დროს – დასავლეთის, ჩრდილოეთის და აღმოსავლეთის ფონური ქარების არსებობისას.

II - ამოცანის დასმა

განტოლება, რომელიც აღწერს დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელებას ატმოსფეროში შემდეგია:

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

სადაც t დროა; x , y და z აღმოსავლეთით, ჩრდილოეთით და ვერტიკალურად ზევით მიმართული დეკარტეს კოორდინატა ღერძებია, შესაბამისად; $' = (z - u) / h$ განუზომადი ვერტიკალური კოორდინატა; $u = u_0(x, y) + 50$ მინისპირა ფენის სიმაღლეა; δ_0 რელიეფის სიმაღლეა; $h = H - u$; H - ტროპოპაუზის სიმაღლეა; u , v , w და \tilde{w} ქარის სიჩქარის მდგენელებია x , y , z და ζ ღერძების გასწვრივ. ისინი გამოითვლებიან დროის ყოველი მომენტისათვის [1] მოდელის საშუალებით; w_0 – სელიმენტაციის სიჩქარეა; α – ნივთიერების ნახევრადგარდაქმნის სიჩქარეა; ... – მშრალი ჰაერის სიმკვრივის სტანდარტული ვერტიკალური განაწილება; \sim და \in ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კოეფიციენტებია და მათი რიცხვით მნიშვნელობები განსაზღვრებიან [4, 5] -ში მოცემული ფორმულებით.

განტოლება (1) – ის რიცხვითი ინტეგრირება ხორციელდება კავკასიაში ატმოსფერული პროცესების რეგიონალურ მოდელთან ერთად [1] კრანკლ-ნიკოლსონის არაცხადი სქემითა და

გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით [3]. სასრულ სხვაობათა ბადე შედგება

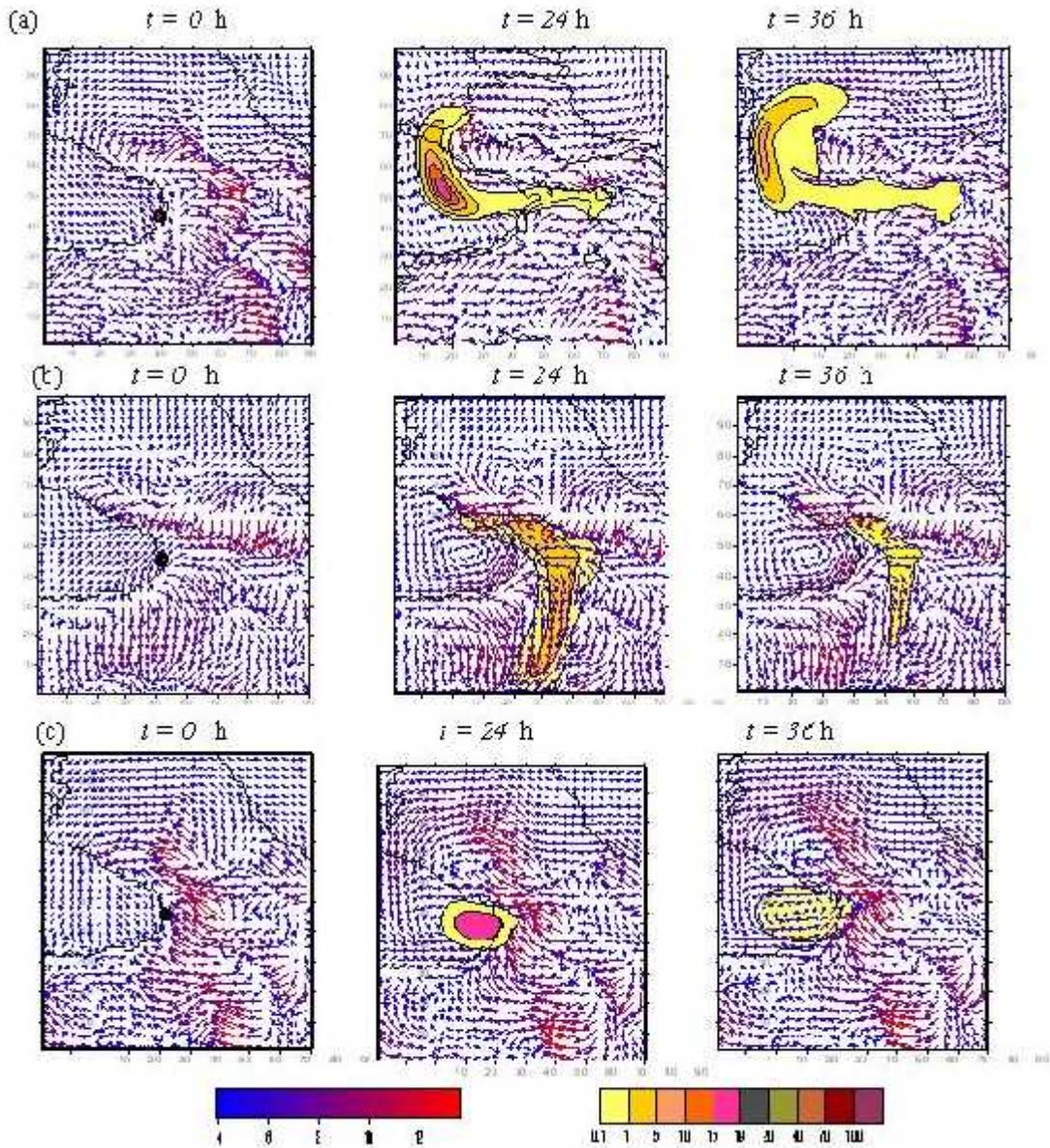
$100 \times 100 \times 17$ წერტილისაგან, ჰორიზონტალური ბიჯებია 10 კმ, ვერტიკალური ბიჯია 1/17.

გამოთვლები მიმდინარეობს ფიზიკური დროის 72 სთ ინტერვალისათვის.

მოდელირებულია ატმოსფეროში პასიური დამაბინძურებელი ინგრედიენტის გავრცელება, რომელიც 6 სთ-ის განმავლობაში უწყვეტად ამოიფრქვევა ($10 \text{კმ} \times 10 \text{კმ} \times 0.2 \text{კმ}$) მოკულობის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში. დამაბინძურებელი ინგრედიენტის კონცენტრაცია დროის ამ ინტერვალში ამოფრქვევის არეში 100 პირობით ერთეულის (პ. ე.) ტოლია.

III - რიცხვითი მოდელირების შედეგები

შავი ზღვის სანაპირო ზოლში ამოფრქვეული პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელების რიცხვითი მოდელირებით მიღებული კონცენტრაციის დროითი და სივრცითი განაწილებები ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ პირველი 24 საათის განმავლობაში ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ქვედა ნაწილში ნივთიერება ძირითადად გადაიტანება დასავლეთის, ჩრდილო დასავლეთისა და აღმოსავლეთის მიმართულებით ისე, რომ მისი ძირითადი მასა გარს უვლის მთავარი კავკასიონის ქედს სამხრეთ-დასავლეთის მხრიდან და იწყებს გავრცელებას ჩრდილო კავკასიაში (ნახ. 1 ა).



ქარის სიჩქარე (მ/წმ)

კონცენტრაცია (პ. ე)

ნახ. 1. ქარის სიჩქარისა და დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციის სივრცული განაწილება როცა $t = 0, 24$ და 36 სთ-ს ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის დონეზე ფონური დასავლეთის (a), ჩრდილოეთის (b) და აღმოსავლეთის (c) ქარების შემთხვევებში.

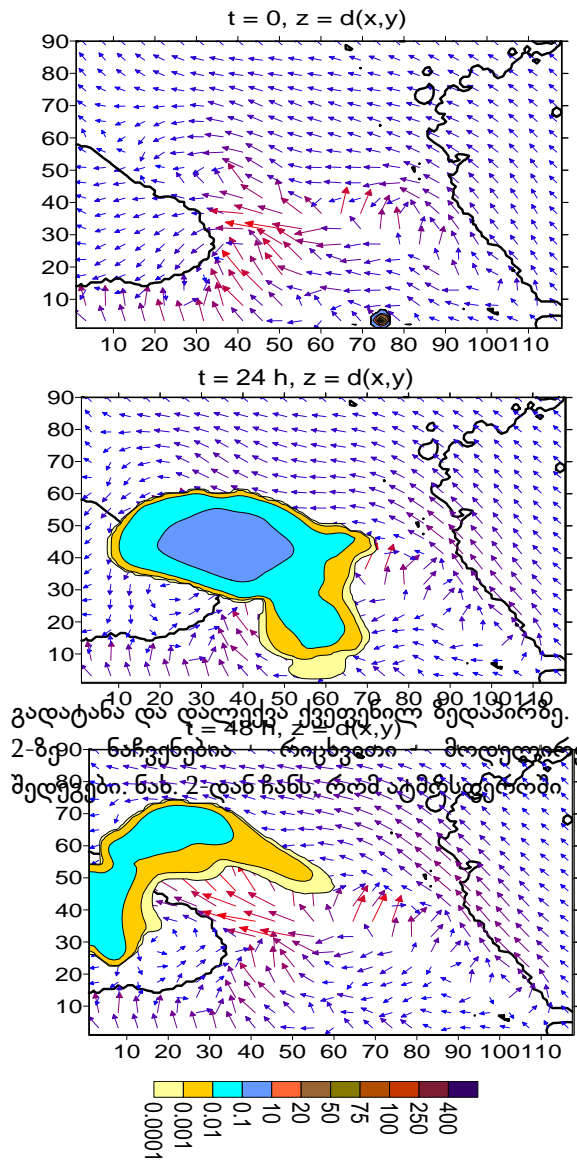
გაცილებით მცირე რაოდენობის დამაბინძურებელი ნივთიერება ვრცელდება აღმოსავლეთით კოლხეთის დაბლობის თავზე. იგი, გადაეგლება რა რიკოთის უღელტეხილს, ვინრო ზოლის სახით ვრცელდება აღმოსავლეთ საქართველოში. იმავდროულად ნაკადი ფართოვდება სივრცეში და იკავებს დიდ სივრცეს კავკასიონის ქედის ცენტრალურ და აღმოსავლეთ ნაწილების თავზე. დამაბინძურებელი ნივთიერების გადაადგილების სიჩქარე 2 კმ-ის სიმაღლეზე ზღვის დონიდან მეტია ვიდრე სიჩქარე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში.

დამაბინძურებელი ნივთიერების მაქსიმალური კონცენტრაცია 24 სთ-ის განმავლობაში მცირდება საწყისი 100 პ. ე-დან $10-15$ პ. ე-მდე. მაქსიმალური კონცენტრაცია მიღებულია შავი ზღვის მიდამოებში 1 კმ სიმაღლეზე წყაროდან დაახლოებით $50 - 60$ კმ-ის მოშორებით.

ფონური ჩრდილოეთის ქარის შემთხვევაში დამაბინძურებელი ნივთიერება გადაიტანება აღმოსავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართილებით (ნახ. 1.b). 24 და 36 საათის შემდეგ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის დონეზე დამაბინძურებელი ნივთიერების ღრუბელი მდებარეობს ლიხის ქედის და გურიის მთების მიდამოებში. ამ არეებში კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები შემცირებულია დაახლოებით $100 -$ ჯერ და უფრო მეტად.

აღმოსავლეთის ქარის შემთხვევაში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დაბინძურებელი ნივთიერება 36 საათის განმავლობაში ძირითადად კონცენტრირებულია კოლხეთის დაბლობის ზღვისპირა ტერიტორიაზე და შავი ზღვის აღმოსავლეთ სანაპიროს თავზე (ნახ. 1c). ის გადაიტანება როგორც ერთიანი ღრუბელი და არაა დეფორმირებული ოროგრაფიის გავლენით. ამ შემთხვევაში დამაბინძურებელი ნივთიერების ღრუბლის ჰორიზონტალური გადატანის სიჩქარე შეადგენს დაახლოებით $10-12$ კმ/სთ.

გამოკვლევული იქნა შავი ზღვის აღმოსავლეთ სანაპიროს შესაძლო დაბინძურება, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს სამხრეთ კავკასიის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში არსებული წყაროდან. მოდელირებული იქნა 10 კმ დიამეტრის არაპასიური ნივთიერების



ნახ. 2. არაპასიური ნივთიერების კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში და დასავლეთ-აღმოსავლეთის მიმართილებით. ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია რიცხვითი მოდელირების შედეგები. ნახ. 2-დან ჩანს, რომ ატმოსფეროში

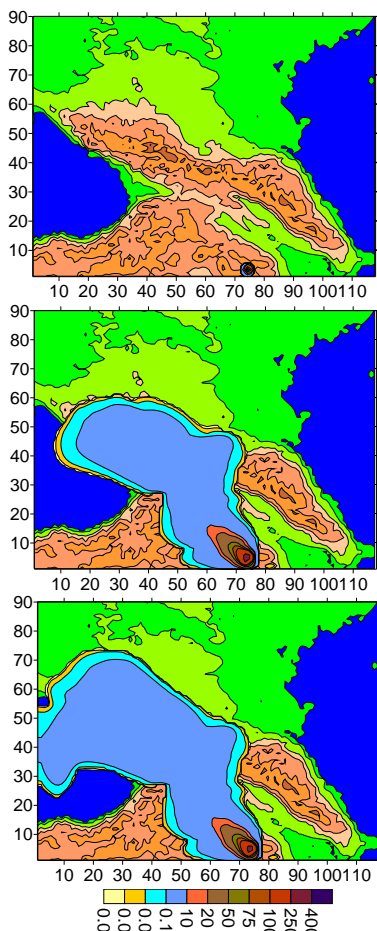
ნახ. 2. არაპასიური ნივთიერების კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს მიწისპირა

ფენაში ფონური სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარის დროს როცა $t = 0, 24$ და 48 სთ-ს.

ამოფრქვეული ნივთიერება ძირითადად გადაიტანება ფონური ქარით. იგი, მთავარი კავკასიონის ქედის გავლენით იყოფა ორ ნაწილად. ერთი ნაწილი გადაეცლება მთავარი კავკასიონის ქედს და გადაადგილდება მთავარი კავკასიონის ქედის ჩრდილოეთ კალთის მიდამოებში. მეორე ნაწილი კი, მიუყვება მთავარი კავკასიონის სამხრეთი ფერდს და შავი ზღვის აღმოსავლეთი ნაწილის სანაპირო ზოლს. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში წარმოშობილი მეზომასტების ციკლონური გრიგალის მოქმედებით, დამაბინძურებელი ნივთიერება თანდათანობით ვრცელდება შავი ზღვის თავზე სამხრეთის მიმართულებით.

გამოთვლებმა აჩვენა, რომ დაახლოებით 18 საათია საჭირო იმისთვის, რომ დამაბინძურებელმა ნივთიერებამ მიღწიოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლს და დაიწყოს მასზე დაფენა. ამ მომენტისათვის ინგრედიენტის კონცენტრაცია საწყის მნიშვნელობასთან შედარებით მციდება დაახლოებით 1000 -ჯერ.

ნახ. 3- ზე ნაჩვენებია ნიადაგზე და შავი ზღვის ზედაპირზე დალექილი დამაბინძურებელი ნივთიერების ზედაპირული განაწილება. ნახაზიდან ჩანს, რომ ინგრედიენტი ილეექება ფართო ზოლში. დალექილი ნივთიერების ზედაპირული სიმკვრივე მაქსიმალურია წყაროს მიდამოებში და სწრაფად მცირდება პერიფერიებისაკენ.



ნახ. 3. არაპასიური ნივთიერების კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს მინისპირა ფენაში ფონური სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარის დროს როცა $t = 0, 24$ და 48 სთ-ს.

IV - დასკვნა

ავარიულად ამოფრქვეული პასიური და არაპასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელების რიცხვითმა მოდელირებამ აჩვენა, რომ სამხრეთ კავკასიის რელიეფი მნიშვნელოვნად მოქმედებს დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელებაზე ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში. განსაკუთრებულ როლს თამაშობს ლიხის ქედი, რომელიც იწვევს დაბინძურების ღრუბლის დეფორმირებას და მოძრაობის ტრაექტორიის შეცვლას.

ტროპოსფეროში რელიეფის გავლენა მნიშვნელოვნად ნაკლებია და დამაბინძურებელი ღრუბლის გადაადგილების ტრაექტორიას ძირითადად განსაზღვრავს ფონური დინება.

შავი ზღვის აღმოსავლეთი ნაწილის დაბინძურება შეიძლება გამოწვეული იყოს არა მარტო მიმდებარე ტერიტორიაზე მომხდარი ამოფრქვევის შედეგად, არამედ მისგან საკმაოდ დაშორებული წყაროებიდან გადმოტანილი ნივთიერებების დალექვის შედეგად.

ნაშრომში მიღებული შედეგები ატარებენ თვისებრივ ხასიათს. ისინი შეესაბამისობაში არიან იმ მოსაზრებებთან, რომლებიც გამოითქმებოდა 20-30 წლების წინ ზესტსაფონის ფეროშენადნობი ქარხნიდან ამოფრქვეული მანგანუმის უანგველებით დასავლეთ საქართველოს ატმოსფეროს დაბინძურებას შესახებ.

მიღებული შედეგების რაოდენობრივი შეფასება დღეისათვის პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც არ არსებობენ შესაბამისი ექსპერიმენტალური და ნატურული დაკვირვებების მონაცემები.

ლიტერატურა

- [1]. A. A. Kordzadze, A. A. Surmava, D. L. Demetrashvili and V. G. Kukhalashvili. "Numerical Investigation of the Influence of the Caucasus Relief on the Distribution of the Hydrometeorological Fields". 2007, Izvestia, Atmospheri and Oceanic Phys., vol. 43, No. 6, pp. 722-730.
- [2]. . . . " " : , 1982, 316
- [3]. " " : 1974, 302
- [4]. , " " : , 1971, 44
- [5]. , " " : , 1980. 288

aasurmava@yahoo.com; Bondo1963@mail.ru

Numerical modeling of the possible pollution of the atmosphere over the eastern part of the Black Sea

A.Surmava, V. Kuhalashvili

M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili

Tbilisi State University

aasurmava@yahoo.com; Bondo1963@mail.ru

Abstract

Possible distribution of the pollution emitted in the atmosphere of the Caucasus in different meteorological situations is investigated by numerical modeling. It is shown, that the relief of the Caucasus significantly influences on the trajectory of the pollution distribution. The Main Caucasus Range and the Likhi Range oriented north-west and north, respectively, force the basic part of the pollutant to distribute over the eastern part of the Black Sea. The pollution

substance emitted in the atmosphere in the south-eastern part of the Caucasus in case of the south-eastern background wind reaches in about 18 hours the coastal zone of the Black Sea. The sedimentation of the distributed aerosols can cause a pollution of the coastal waters of the Black Sea.

Keywords - pollution of the coastal zone of the Black Sea, pollution of the atmosphere of the Caucasus, passive substance, numerical simulation