

## ქ. რუსთავის ატმოსფეროს მიკრონაწილაკებით დაჭუჭყიანების შეფასება რიცხვითი მოდელირებით

\*გიგაური ნ., \*\*სურმავა ა.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
"ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდინას გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

*ანოტაცია. რიცხვითი მოდელირებით გამოკვლეულია ქ.რუსთავის ატმოსფერულ ჰაერში გაბნეული მიკრონაწილაკების ცვლილების კინემატიკა აღმოსავლეთის ფონური სუსტი და ძლიერი ქარების დროს. მოდელირებით მიღებულია კონცენტრაციების მნიშვნელობები, რომლებიც რეგულარული დაკვირვებებით მიღებული სიდიდეების ფარგლებშია. ქარის სიჩქარისა და კონცენტრაციის ველების ანალიზით დადგენილია, რომ ძლიერად დამტვერიანებული არეების სივრცული განაწილება დამოკიდებულია, როგორც წარმოქმნილი მიკრონაწილაკების კონცენტრაციაზე, ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობაზე, ავტომაგისტრალების მდებარეობაზე, ასევე ქარის სიჩქარესა და მიმართულებაზე. კონცენტრაციისა და ქარის სიჩქარის სივრცული განაწილების სურათების ერთმანეთთან შედარება გვიჩვენებს, რომ ფონური ძლიერი ქარის დროს ნაწილაკების ადვექციურ გადატანას გააჩნია დომინანტი როლი დაბინძურების გავრცელების პროცესში.*

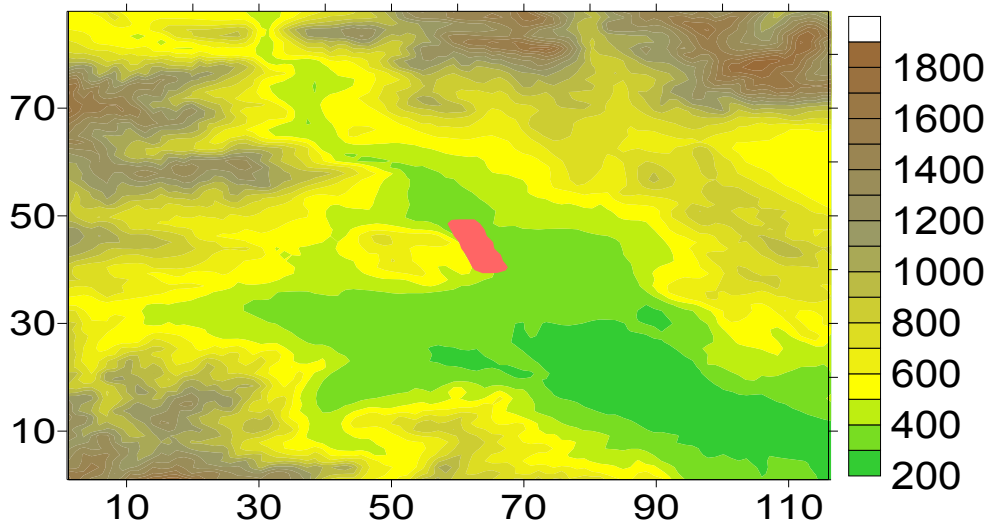
*საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერო, დაჭუჭყიანება, მიკრონაწილაკები, ფონური ქარი, რიცხვითი მოდელირება*

**შესავალი.**

ქ. რუსთავი - საქართველოს ინდუსტრიული ცენტრი მდებარეობს ქ. თბილისის სამხრეთ-აღმოსავლეთით 27 კმ მანძილზე. მისი მოსახლეობა აღემატება 138 ათას კაცს. ქ. რუსთავი განლაგებულია მდ. მტკვრის ორივე მხარეს და აქვს ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ მიმართული მართკუთხედის მსგავსი ფორმა (ნახ.1). მისი ცენტრალური და ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილი უკავია საცხოვრებელ კვარტლებსა და ადმინისტრაციულ ობიექტებს. სამრეწველო ობიექტები ძირითადად განლაგებული აღმოსავლეთ, სამხრეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილებში. ქალაქში ფუნქციონირებს მეტალურგიული, ქიმიური, საშენ მასალათა და საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ობიექტები. ქალაქს ჩრდილო-დასავლეთი მხრიდან გარს უვლის საერთაშორისო მნიშვნელობის საავტომობილო გზა - „თბილისი-წითელი ხიდი“, იგი ასევე, დასერილია რამდენიმე გასწვრივი და მართობული ფართო ავტომაგისტრალებითა და მცირე ქუჩებით. გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემების (<https://air.gov.ge/>)[1] თანახმად ქ. რუსთავის ატმოსფერული ჰაერის მიკროაეროზოლებით PM2.5 და PM10 დაბინძურების დონე ხშირ შემთხვევაში აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. დაბინძურების ძირითად წყაროებს წარმოადგენს სამრეწველო საწარმოები, რომლებიც განლაგებულნი არიან ქალაქის სამხრეთ, ცენტრალურ და აღმოსავლეთ ნაწილებში და ავტოტრანსპორტი.

## ამოცანის დასმა.

PM2.5 და PM10 ადამიანის ჯანმრთელობის საშიშროებიდან გამომდინარე, ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციის შესწავლასა და ჰაერის დაცვის ღონისძიების დამუშავებას დიდი სამედიცინო და ეკოლოგიური მნიშვნელობა გააჩნია. წარმოდგენილ ნაშრომში, რიცხვითი მოდელირებით შეისწავლება ქ. რუსთავში წარმოქმნილი PM2.5-ის გავრცელება მიმდებარე ტერიტორიაზე ფონური აღმოსავლეთის სუსტი და ძლიერი ქარების დროს. მოდელირება განხორციელებულია 118×91×31 რიცხვით ბადეზე 1000 მ ჰორიზონტალური ბიჯებით და 1/31 განუზომადი ვერტიკალური ბიჯებით. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენასა და თავისუფალ ატმოსფეროში ვერტიკალური ბიჯი შეესაბამება დაახლოებით 300 მ-ს. ატმოსფეროს ქვედა 100 მ სისქის მიწისპირა ფენაში აღებულია 17 ვერტიკალური ბადური წერტილი, ხოლო ბიჯი იცვლება 0.5–დან 15 მ-მდე. მოდელირებისას დაშვებულია, რომ ქ. რუსთავის ტერიტორიაზე PM2.5-ის კონცენტრაცია დროში მუდმივია, მაქსიმალურია და ტოლია 50 მკგ/მ<sup>3</sup>-ის.



ნახ.1. მოდელირების არის რელიეფის სიმაღლე (მ) და დაბინძურების წყაროს მდებარეობა.

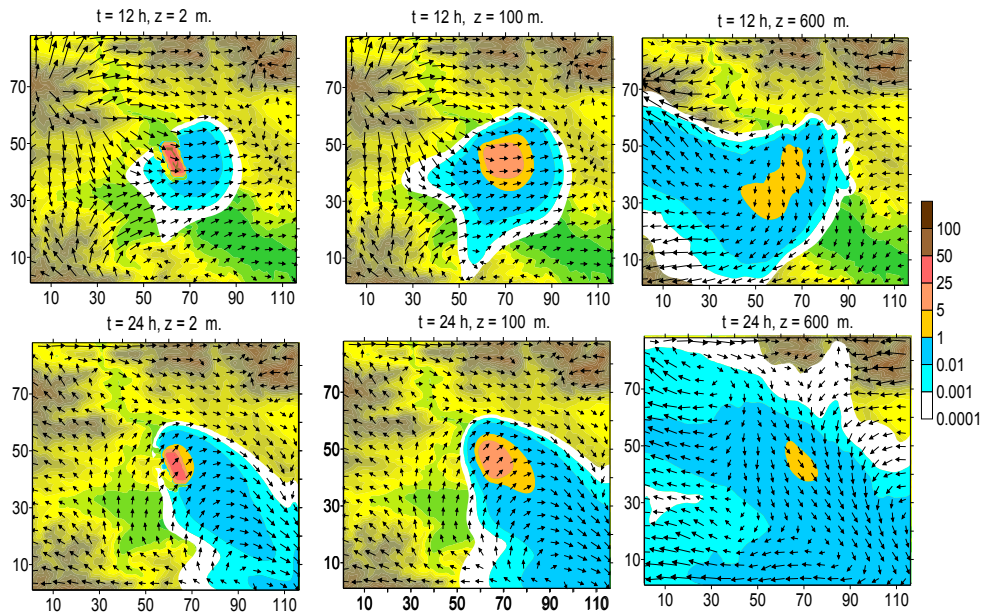
ნახ. 1 –დან ჩანს, რომ ქ. რუსთავის მიმდებარე ტერიტორიის რელიეფი არის რთული და მისი სიმაღლე იცვლება 370–დან 1400 მ-მდე. რიცხვითი გამოთვლები მიმდინარეობდა 3 დღის ინტერვალისათვის. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ დამაბინძურებელი ინგრედიენტის გავრცელება მიმდინარეობს კვაზიპერიოდულად, პერიოდით 24 სთ.

## მოდელირების შედეგები.

ნახ. 2. ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის კონცენტრაციების ველები ატმოსფეროს მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებში მიღებული ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს. ფონური ქარის სიჩქარე იცვლება 1 მ/წმ–დან (მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე 20 მ/წმ–მდე (ტროპოპაუზაზე)). ნახ.2–დან ჩანს, რომ რელიეფისა და ტემპერატურის დღეღამური რეჟიმის ცვლილება 12 სთ-ისთვის იწვევს მიწისპირა ქარის სიჩქარის რთულ და მნიშვნელოვან ცვლილებას. ის წარმოშობს ქვემო ქართლის ვაკის ტერიტორიაზე ფონური ქარის საწინააღმდეგო დინებას, რომელიც შეესაბამება ქარის ჰორიზონტალურ გრიგალურ ცირკულაციას. ცირკულაციის სიდიდე თანდათანობით მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე) მას გააჩნია ტალღური შეშფოთების სახე. რაც შეეხება მთიან ტერიტორიებს, თრიალეთის ქედის მაქსიმალური სიმაღლეების არეში როგორაფიული ზემოქმედება წარმოშობს ქარის სიჩქარის დივერგენციის ზონებს. ქარის ცვლილებასთან ერთად იცვლება PM2.5 მიკრონაწილაკების გადატანის მიმართულება. ატმოსფეროს

მიწისპირა ფენაში, ის ჯერ ვრცელდება სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებით, ხოლო შემდგომ ჩრდილო-აღმოსავლეთით. შედეგად, 12 სთ-ის განმავლობაში ფორმირდება დაბინძურების მართკუთხედის მსგავსი ფორმის არე, რომლის სიგრძე და სიგანე დაახლოებით 40 და 50 კმ-ია. თუმცა დაბინძურების მიღებულ არეში კონცენტრაცია არაა დიდი. მისი მნიშვნელობა 0.01-1 მკგ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში იცვლება.

დღის 12 სთ-სთვის ინტენსიური ხდება აეროზოლის ვერტიკალური გადატანა (ნახ.2). შედეგად, ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში, მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე, მოხვედრილი ნაწილაკები ვრცელდება დიდ ტერიტორიაზე, ძირითადად დასავლეთით ფორმირებული ლოკალური ქარის მიმართულებით. შედარებით მცირეა ინგრედიენტის გავრცელება დინების საწინააღმდეგო და მართობული მიმართულებით. კონცენტრაციის მიღებული ჰორიზონტალური განაწილება აჩვენებს ადვექციური გადატანის უპირატესობას ჰორიზონტალურ ტურბულენტურ დიფუზიურ გადატანასთან შედარებით, ხოლო ვერტიკალური განაწილება კი აჩვენებს ვერტიკალური დიფუზიის მნიშვნელოვან როლს დაბინძურების გავრცელების პროცესში. 12 სთ-ის შემდეგ, რთული რელიეფის ტერიტორიაზე ტემპერატურის მიწისპირა ველის ცვლილება იწვევს შესაბამის ცვლილებას ქარის სიჩქარის ველში. როცა  $t = 24$  სთ, ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ქ. რუსთავის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ფორმირდება ჩრდილო-დასავლეთის ქარი, ხოლო მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე მიიღება ჩრდილოეთისა და აღმოსავლეთის ქარები.



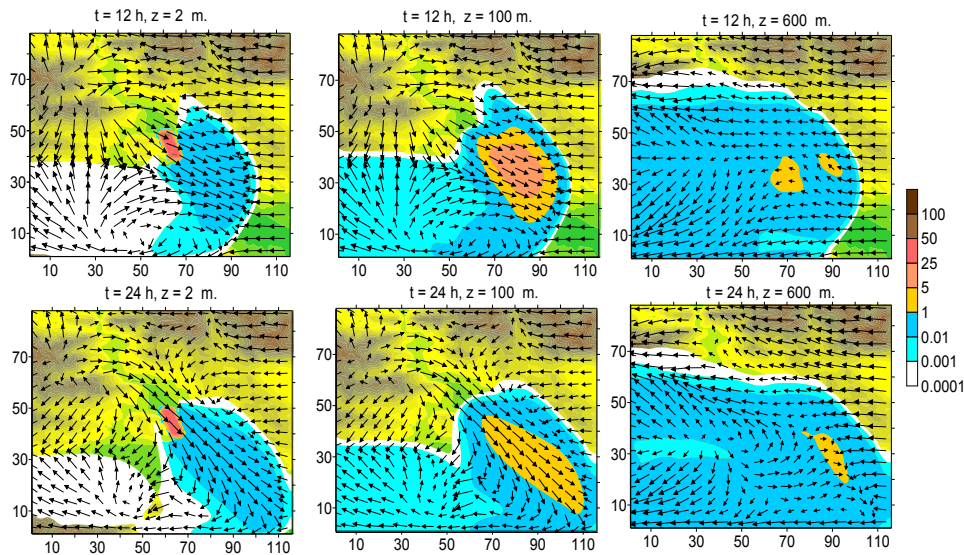
ნახ. 2. ქარის სიჩქარისა და PM2.5 –ის კონცენტრაციის განაწილება  $z = 2, 100$  და  $600$  მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს, როცა  $t = 12$  და  $24$  სთ.

აღნიშნული მიმართულებით ხდება PM ნაწილაკების გადატანა. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დაბინძურების ღრუბელს გააჩნია სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ მიმართული ელიფსის მაგვარი ფორმა. კონცენტრაცია  $> 0.001$  მკგ/მ<sup>3</sup> მიღებულია 400 კმ სიგანის არეში. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ზევით, მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე მიკრონაწილაკების გადატანა ხდება მოდელირების თითქმის მთელ არეში. კონცენტრაცია 0.01-1 მკგ/მ<sup>3</sup> მიღებულია ნალის მაგვარი ფორმის ვრცელ არეში.

ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს (10 მ/წმ სიჩქარე მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე), დღის 12 სთ-თვის, რელიეფის ფონურ დინებაზე ზემოქმედების შედეგად, რეგიონის აღმოსავლეთ ნაწილში არსებული მთის მასივები წარმოშობენ ქარის სიჩქარის დივერგენციის ზონას (ნახ. 3). ქვემო ქართლის ვაკეზე იქმნება დასავლეთის ქარი და რეგიონის



აღმოსავლეთ ნაწილში – ქარის სიჩქარის კონვერგენციის ზონა მიიღება PM2.5-ის სივრცული განაწილების რთული სურათი, რომელშიც რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში მიკრონაწილაკები გავრცელებულია ძირითადად აღმოსავლეთის მიმართულებით, ხოლო სამხრეთ ნაწილში დასავლეთის. სუსტი ქარის შემთხვევისაგან განსხვავებით, დაბინძურების ზონა მოიცავს მოდელირების არის დიდ ნაწილს.



ნახ. 3. ქარის სიჩქარისა და PM2.5 –ის კონცენტრაციის განაწილება z = 2, 100 და 600 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს, როცა t = 12 და 24 სთ.

როცა t = 24 სთ PM2.5 –ის კონცენტრაციის სივრცული განაწილების არე შემცირებულია. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მიკრონაწილაკები გადაიტანება სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით მკაფიოდ გამოკვეთილი ნაკადის სახით, ხოლო სასაზღვრო ფენაში – მოდელირების არის მთელ სამხრეთ ნაწილში. ნახ. 3–ზე ასახული კონცენტრაციის და ქარის სიჩქარის სივრცული განაწილების სურათების ერთმანეთთან შედარება გვიჩვენებს, რომ ფონური ძლიერი ქარის დროს ნაწილაკების ადვექციურ გადატანას გააჩნია დომინანტი როლი დაბინძურების გავრცელების პროცესში.

### დასკვნა.

გამოთვლებმა აჩვენა, რომ ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს რელიეფისა და ტემპერატურის დელტამური რეჟიმის ცვლილება 12 სთ–ისთვის იწვევს მიწისპირა ქარის სიჩქარის რთულ და მნიშვნელოვან ცვლილებას. PM2.5-ნაწილაკები ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ჯერ ვრცელდება სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებით, ხოლო შემდგომ ჩრდილო-აღმოსავლეთით. დაბინძურების არეში კონცენტრაცია არაა დიდი, მისი მნიშვნელობა იცვლება 0.01 – 1 მკგ/მ<sup>3</sup>–ის ფარგლებში. t = 24 სთ–სათვის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ქ. რუსთავის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ფორმირდება ჩრდილო-დასავლეთის ქარი, ხოლო მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე მიიღება ჩრდილოეთისა და აღმოსავლეთის ქარები. აღნიშნული მიმართულებით ხდება PM ნაწილაკების გადატანა, მათი კონცენტრაცია 400 კმ არეში > 0.001 მკგ/მ<sup>3</sup>–ია. მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე მერყეობს 0.01–1 მკგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებში. ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს დღის 12 სთ-თვის მიიღება PM2.5-ის სივრცული განაწილების რთული სურათი, სუსტი ქარის შემთხვევისაგან განსხვავებით, დაბინძურების ზონა მოიცავს

მოდელირების არის დიდ ნაწილს.  $t = 24$  სთ-სათვის  $PM_{2.5}$  –ის კონცენტრაციის სივრცული განაწილების არე შემცირებულია. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მიკრონაწილაკები გადაიტანება სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით მკაფიოდ გამოკვეთილი ნაკადის სახით, ხოლო სასაზღვრო ფენაში – მოდელირების არის მთელ სამხრეთ ნაწილში. კონცენტრაციისა და ქარის სიჩქარის სივრცული განაწილების სურათების ერთმანეთთან შედარება გვიჩვენებს, რომ ფონური ძლიერი ქარის დროს ნაწილაკების ადვექციურ გადატანას გააჩნია დომინანტი როლი დაბინძურების გავრცელების პროცესში.

მადლიერება. სამუშაო შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის YS-21-132 დაფინანსებით.

#### ლიტერატურა

1. ქ. რუსთავის ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესების სამოქმედო გეგმა 2020-2022“. <https://mepa.gov.ge/Ge/PublicInformation/27987>

## EVALUATION OF THE CONTAMINATION OF THE ATMOSPHERE OF RUSTAVI WITH MICROPARTICLES BY NUMERICAL MODELING

**\*Gigauri N., \*\*Surmava A.**

*\* Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

*\*\*M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

**Abstract.** *The kinematics of the change of microparticles dispersed in the atmospheric air of Rustavi city during background weak and strong winds from the east have been investigated by numerical modeling.*

*Modeling results in concentrations that are within the limits of regular observations. By analyzing the wind speed and concentration fields, it is established that the spatial distribution of heavily dusted areas depends both on the concentration of generated microparticles, the intensity of traffic, the location of highways, as well as wind speed and direction. Comparing the images of the spatial distribution of concentration and wind speed with each other shows that the advective transport of particles during the background strong wind has a dominant role in the process of pollution spreading.*

**Keywords:** *atmosphere, pollution, microparticles, background wind, numerical modeling*