

**ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროს PM ნაწილაკებით დაბინძურების
გამოკვლევა**

ა. სურმავა ა., გიგაური ნ., ინწვირველი ლ.

**ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
* მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
aasurmava@yahoo.com*

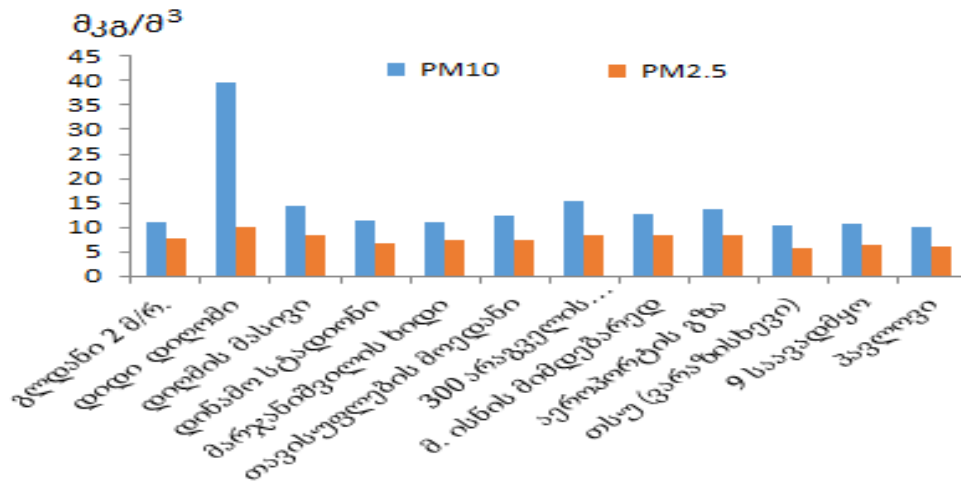
ანოტაცია. კავკასიაში ატმოსფერული პროცესების განვითარების 3D რიცხვითი მოდელისა და პასიური მონარეგების გადატანა-დიფუზიის განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით შესწავლილია ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროს მიკრონაწილაკებით დაბინძურება. მოდელირებისათვის საწყის და სასაზღვრო პირობებად გამოყენებულია ექსპედიციური გაზომვებისა და ნატურული დაკვირვების მონაცემები. დადგენილია მეტეოროლოგიური პირობებისა და რელიეფის გავლენა ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროში მიკრონაწილაკების კონცენტრაციათა ველის ჩამოყალიბებაზე.

საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერო, დაბინძურება, მიკრონაწილაკები, რიცხვითი მოდელირება

შესავალი. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება მთელი მსოფლიოს და მათ შორის, საქართველოს უმთავრესი გარემოსდაცვითი გამოწვევაა, რადგან ამ გარემოში ცხოვრობს ადამიანი და განუწყვეტლივ განიცდის ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებას. ატმოსფეროს დაბინძურებლებიდან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს მიკროაეროზოლები PM_{2,5} და PM₁₀, რომლებიც ატმოსფეროში ხვდებიან ბუნებრივი და ანთროპოგენული პროცესების შედეგად. ისინი შეიცავენ მიკროსკოპულ მყარ ნივთიერებებს ან თხევად წვეთებს, რომელთა მცირე ზომების გამო შეიძლება მოხდეს მათი ინჰალაცია და ადამიანის ჯანმრთელობას შეუქმნან სერიოზული პრობლემები. მიკროაეროზოლები აერთიანებენ მყარ და თხევად უმცირეს ნაწილაკებს, რომელთა ზომები 1-დან 10 მკმ-ს შორის მერყეობს. ისინი შედგებიან: ბიოლოგიური დამაბინძურებლების, ჭვარტლის, ასფალტის, საბურავების, მინერალური მარილების, მჟავების და სხვა მყარი თუ თხევადი უმცირესი ნაწილაკებისაგან. ყველაზე დიდ საფრთხეს უქმნის ჯანმრთელობას PM ნაწილაკები, რომლებიც სიმცირის გამო აღწევენ რა ადამიანის ორგანიზმში იწვევენ მათი ჯანმრთელობის გაუარესებას, ხშირად ლეტალური შედეგით [1]. ამასთან, დიდი ალბათობით მტერის მიკრონაწილაკებზე ადსორბირებული ვირუსები, მათ შორის Covid-19, მარტივად ვრცელდება ატმოსფეროში. განსაკუთრებით მაღალია მათი კონცენტრაციები დიდი ქალაქებისა და ინდუსტრიული ცენტრების ატმოსფეროში, როგორებიცაა ქალაქები თბილისი და რუსთავი. თბილისში დაბინძურების ძირითადი წყაროა ავტოტრანსპორტი, ხოლო ქალაქ რუსთავში ავტოტრანსპორტთან ერთად ატმოსფეროს დაბინძურებაში დიდი წვლილი მიუძღვის ინდუსტრიულ ცენტრებსაც, რომელთა შორის გამოვყოფდით „ჰაიდელბერგცემენტს“. ოფიციალური მონაცემებით, ქალაქებში თბილისი და რუსთავი ჰაერის დაბინძურების დონე მაღალია და PM-ნაწილაკების კონცენტრაციები ხშირად აჭარბებენ შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს (ზდკ) [2,3].

მიღებული შედეგები. ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროში გაბნეული მიკროაეროზოლების კონცენტრაციების დონის დასადგენად გამოვიყენეთ როგორც დაკვირვების მასალის ოფიციალური [4,5], ასევე ჩვენ მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემები. გაზომვები ჩატარდა თბილისის ძირითად ავტომაგისტრალზე და ქალაქის შემოგარენში, მოიცვა დაახლოებით 400 პუნქტი, ტრასების ჯამურმა სიგრძემ შეადგინა 650 კმ. მიღებულია, რომ ტრანსპორტის მოძრაობის მაქსიმალური ინტენსივობისას ატმოსფეროს მიკროაეროზოლებით დაბინძურების დონე იცვლება ფართო დიაპაზონში. დაფიქსირდა როგორც მაქსიმალური (აღმაშენებლის ხეივანი, გმირთა მოედანი, გლდანის

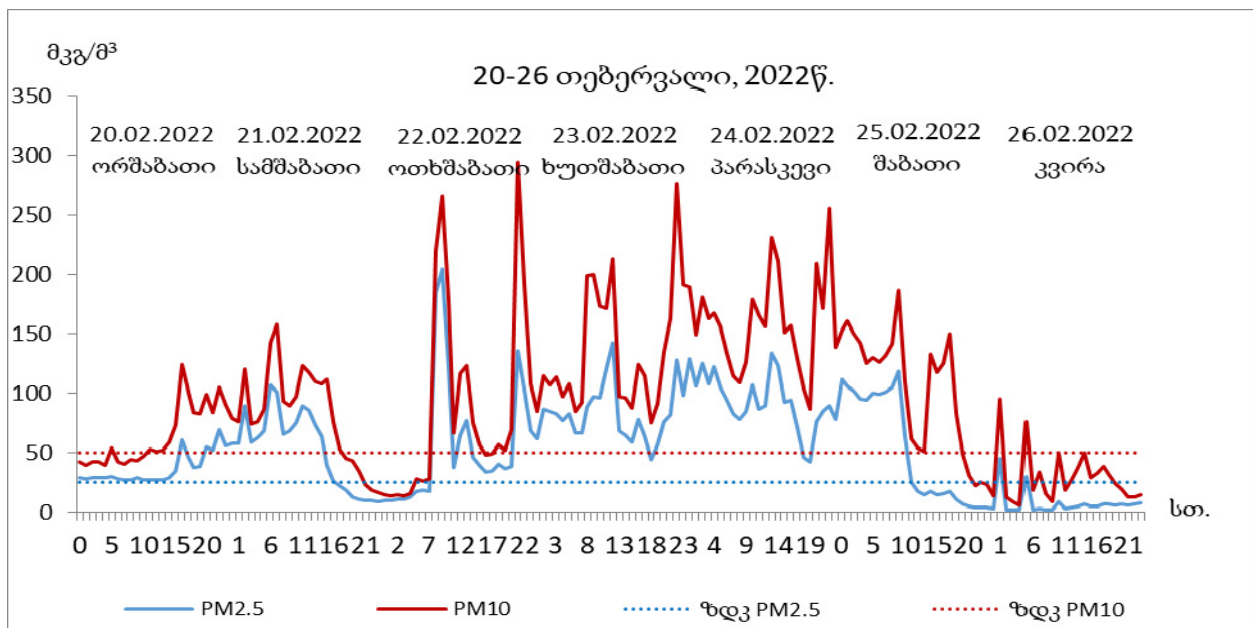
ხიდები, აეროპორტის ტრასა, ასევე მინიმალური (თბილისის ზღვა, წყნეთი, სოფ.დიდომი, ლისის ტბის მიმდებარე ტერიტორია) დაბინძურების უბნები (ნახ.1).



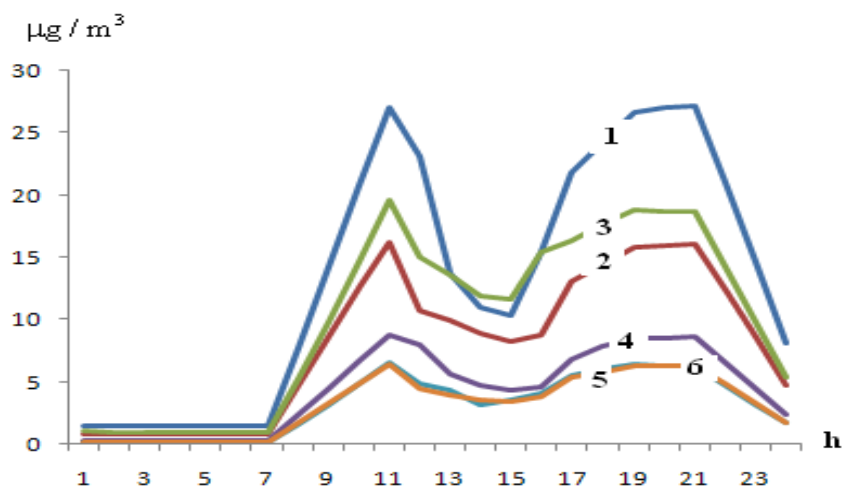
ნახ.1. PM2.5 და PM10 -ის კონცენტრაციების მნიშვნელობები ქ. თბილისის. დამით ჩატარებული გაზომვები. 15.09.2021.

ქ.რუსთავის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაცია იცვლება ფართო დიპაზონში და ხშირად აჭარბებს შესაბამისი ზღვ-ს მნიშვნელობას. გაანალიზებულია PM ნაწილაკთა კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილება ქ.რუსთავის ატმოსფეროში (ნახ.2). ნახაზზე მაგალითის სახით მოყვანილია 2022 წლის 20-26 თებერვლის მონაცემთა მსვლელობა, რომელიც გვიჩვენებს, რომ ქალაქის ატმოსფეროში კონცენტრაციათა მაქსიმუმები ფიქსირდება დღის სხვადასხვა ინტერვალში, განსხვავებით ქ.თბილისისგან, სადაც მაქსიმუმები მიიღწეოდა ყოველთვის დღის მეორე ნახევარში 20 საათის შემდგომ, რაც დაკავშირებულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობასა და პიკის საათის პერიოდთან. ქ.რუსთავის შემთხვევაში კი ავტოტრანსპორტს ემატება სამრეწველო ობიექტების მტვერიც და შესაბამისად კონცენტრაციათა მატება დამოკიდებულია როგორც ავტოტრანსპორტის ინტენსივობაზე, აგრეთვე ქარხნების მუშაობის ინტენსივობაზეც.

ქალაქების ატმოსფეროს მიკრონაწილაკებით დაბინძურების ცვლილება დროსა და სივრცეში გამოთვლილ იქნა მათემატიკური მოდელით, რომელიც ეყრდნობა მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების და გადატანა-დიფუზიის 3D განტოლებათა სისტემის ერთობლივ რიცხვით ინტეგრირებას. ჩატარებულია მიკრონაწილაკების ლოკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ფონური ჩრდილოეთის, სამხრეთის და დასავლეთის სუსტი ქარების დროს. დადგენილია, რომ ქ.თბილისის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციების დროსა და სივრცეში ცვლილება რთულია. ის დამოკიდებულია, როგორც ატმოსფეროს დამაბინძურებელი წყაროების მდებარეობაზე და ინგრედიენტის სივრცეში გაფრქვევის ინტენსივობაზე, ასევე რელიეფის გავლენით ფორმირებულ ლოკალურ მეტეოროლოგიურ პროცესებზე. მაგალითის სახით ნახ.3-ზე მოცემულია კონცენტრაციის დროში ცვლილება ქალაქ თბილისის 4 მჭიდროდ ურბანიზებულ და 2 გარეუბანში მდებარე წერტილებში, საიდანაც ჩანს, რომ კონცენტრაციის დროში ცვლილებას გააჩნია 2 მაქსიმუმი. ერთი მიიღწევა 11 და მეორე 19 სთ-ის მიდამოებში. პირველი მაქსიმუმის შესაბამისი კონცენტრაციის ზრდის პროცესი მიმდინარეობს 4 სთ-ის განმავლობაში 7-დან 11-სთ-მდე, ხოლო მეორე მაქსიმუმის 6 სთ-ის განმავლობაში – 15-დან 22 სთ-მდე.



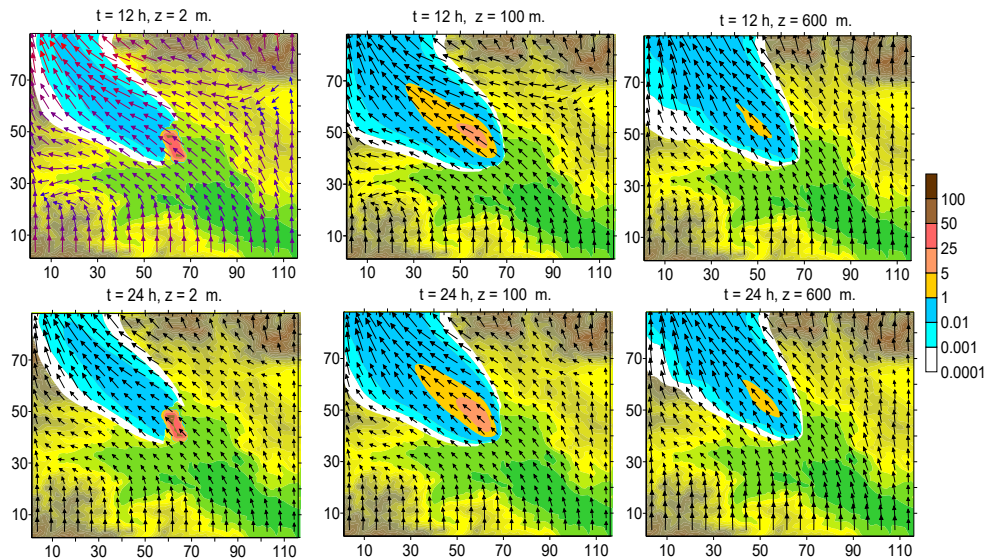
ნახ.2. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილება ქრუსთავში 2022 წლის თებერვალში.



ნახ.3. ქ.თბილისის ატმოსფეროში PM2.5-ის კონცენტრაციის დროში ცვლილება მოდელირების არის 6 წერტილში: 1-ფონიჭალა, 2- ვაჟაფშაველას გამზ, 3 – ახმეტელის თეატრი, 4 – თავისუფლების მოედანი, 5- წყნეთი, 6 – დიღომი.

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის კონცენტრაციების ველები ატმოსფეროს მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებში მიღებული ფონური სამხრეთის სუსტი ქარის დროს. ფონური ქარის სიჩქარე იცვლება 1 მ/წმ-დან (მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე 20 მ/წმ-მდე (ტროპოპაუზაზე). ნახაზიდან ჩანს, რომ რელიეფის ზემოქმედება და თერმიული დღეღამური რეჟიმის ცვლილება იწვევს ლოკალური ქარის ფორმირებას, რომელიც ნაწილობრივ განსხვავდება ფონურისაგან. კერძოდ, ქვემო ქართლის ვაკისა, მდ. მტკვრის ხეობის გასწვრივ და რაიონის ჩრდილო დასავლეთ ნაწილში ფორმირებულია სამხრეთ – დასავლეთის ქარი. რეგიონის ჩრდილო და სამხრეთ ნაწილებში ქარი სამხრეთისაა. ქარის მიმართულება მცირედ იცვლება სიმაღლის მიხედვით და დროში.

ნაკლებად იცვლება ასევე მიკრონაწილაკების სივრცული განაწილებაც. ფორმირებული ლოკალური ქარის უპირატესი გავლენის შედეგად მიკრონაწილაკები გადაიტანებიან ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულებით და ქმნიან წაგრძელებული ელიფსის მაგვარი ფორმის დაბინძურების ღრუხელს. ღრუხელის სიგანე აღწევს 50 კმ-ს, ხოლო სიგრძე კი მნიშვნელოვნად აღემატება მას.



ნახ.4. ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის კონცენტრაციის განაწილება $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეზე ფონური სამხრეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 12$ და 24 სთ.

დასკვნა. შესწავლილია ატმოსფეროს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დამაბინძურებლის - მიკრონაწილაკების (PM2.5 და PM10) გავრცელება საქართველოს ადმინისტრაციული და ინდუსტრიული ცენტრის, ქ. თბილისის, რუსთავის და მათი შემოგარენის ატმოსფეროში. პრობლემა შესწავლილია ექსპერიმენტალური გაზომვების მონაცემებსა და კომპიუტერულ მოდელირებაზე დაყრდნობით.

ოპერატიული დაკვირვების მონაცემებზე და ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგებზე დაყრდნობით დადგენილია, რომ თბილისის და რუსთავის ატმოსფეროში PM2.5 ნაწილაკების კონცენტრაციები, როგორც წესი, ნაკლებია PM10-ის კონცენტრაციებზე, მაგრამ მათი ცვლილების მრუდის ხასიათი ერთნაირია. მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები თითქმის ყოველთვის აღემატება შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (ზდკ) ზამთრის პერიოდში, ხოლო ზაფხულის პერიოდში ხშირ შემთხვევაში ნაკლებია შესაბამის ზდკ-ზე.

მიღებულია, რომ ქ.თბილისის ატმოსფეროში დღის განმავლობაში PM ნაწილაკების კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილების ტრენდი ხასიათდება მატების ტენდენციით და თავის მაქსიმუმს აღწევს საღამოს 20 საათის შემდეგ, რასაც ძირითადად განაპირობებს ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობა.

ნაჩვენებია, რომ ქ.რუსთავის ატმოსფეროში მიკრონაწილაკების კონცენტრაციათა მაქსიმუმები ფიქსირდება დღის სხვადასხვა ინტერვალში, რაც დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ ავტოტრანსპორტს ემატება სამრეწველო ობიექტების მტვერიც და შესაბამისად კონცენტრაციათა მატება დამოკიდებულია როგორც ავტოტრანსპორტის, აგრეთვე ქარხნების მუშაობის ინტენსივობაზეც.

რიცხვითი მოდელირებით დადგენილია, რომ ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციების დროსა და სივრცეში ცვლილება რთულია. ის დამოკიდებულია, როგორც ატმოსფეროს დამაბინძურებელი წყაროების მდებარეობაზე და ინგრედიენტის სივრცეში გაფრქვევის ინტენსივობაზე, ასევე რელიეფის გავლენით ფორმირებულ ლოკალურ მეტეოროლოგიურ პროცესებზე.

მადლიერება: სამეცნიერო კვლევა დაფინანსებული და შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის YS-21-132 გრანტის ფარგლებში.

ლიტერატურა

- [1] World Health Organization, WHO's Agenda on Air Pollution and Health. // www.who.int/airpollution/en/
- [2] Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V., Gigauri N. Numerical Investigation of Mezo- and Microscale Diffusion of Tbilisi Dust. // Annals of Agrarian Science, ISSN 1512-1887, v.1.8, №3, 2020, pp. 295-302.
- [3] ქ.რუსთავის ატმოსფერული ჰაერის გაუმჯობესების სამოქმედო გეგმა 2020-2022.
- [4] <https://mepa.gov.ge/Ge/PublicInformation/27987>
- [5] https://air.gov.ge/reports_page

INVESTIGATION OF PM PARTICLE POLLUTION OF THE ATMOSPHERE OF THE CITIES OF TBILISI AND RUSTAVI

*****Surmava A., *Gigauri N., *Intskirveli L.**

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

*** Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
aasurmava@yahoo.com*

Abstract. *The distribution of micro-particles (PM_{2.5} and PM₁₀), one of the most significant atmospheric pollutants, has been studied in the Administrative and Industrial Center of Georgia, St. In the atmosphere of Tbilisi, Rustavi and their surroundings. The problem is studied based on the data of experimental measurements and computer modeling.*

Based on operational observation data and the results of experimental measurements, it is established that the concentrations of PM_{2.5} particles in the atmosphere of Tbilisi and Rustavi are usually lower than the concentrations of PM₁₀, but the nature of their change curve is the same. . Their maximum values are almost always higher than the respective maximum allowable concentrations (MPC) in the winter period, while in the summer period they are often lower than the respective MPC.

It is accepted that the hourly change trend of PM particle concentrations in the atmosphere of Tbilisi during the day is characterized by an increasing tendency and reaches its maximum after 20:00 in the evening, which is mainly determined by the intensity of traffic.

It is shown that the maximum concentrations of microparticles in the atmosphere of Rustavi are fixed at different intervals of the day, which is connected with the fact that the dust of industrial objects is added to the road transport, and therefore the concentration increase depends on the intensity of the work of both the road transport and the factories.

It is established that the time and space changes of microaerosol concentrations in the atmosphere of the cities of Tbilisi and Rustavi are difficult. It depends both on the presence of atmospheric polluting sources and the intensity of the ingredient's dispersion in space, as well as on local meteorological processes formed under the influence of the terrain.

Key words: *atmosphere, pollution, microparticles, numerical modeling*