

ქ. რუსთავის ატმოსფეროში PM10-ის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება დასავლეთის ფონური ქარის დროს

ნ.გიგაური*, ა.სურმავა**, ლ.ინწკირველი*

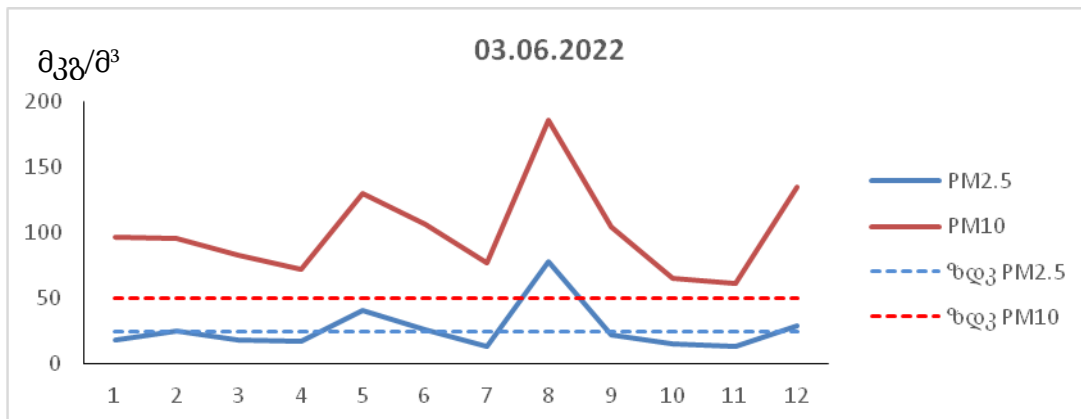
*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
**ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდუას გეოფიზიკის ინსტიტუტი

აბსტრაქტი: ექსპერიმენტული გაზომვებისა და მონიტორინგის მონაცემებზე დაყრდნობით გამოკვლეულია ქ.რუსთავის ატმოსფერულ ჰაერში გაბნეული მიკრონაწილაკ PM10-ის კონცენტრაციები. შეფასებულია ტრასებზე მოძრავი ავტოტრანსპორტის გავლენა ქალაქის ატმოსფეროს დაბინძურების დონეზე. მობილური აპარატის გამოყენებით ექსპერიმენტულად განსაზღვრულია ქალაქში და მის შემოგარენში ატმოსფეროში გაბნეული PM10-ის კონცენტრაციები. გამოვლენილია მაქსიმალური დაბინძურების უბნები. რიცხვითი მოდელირებით მიღებულია PM10-ის სივრცული განაწილების დღელამური სურათი და გავრცელების თავისებურებები დასავლეთის ფონური ქარის დროს. ქარის სიჩქარისა და კონცენტრაციის ველების ანალიზით მიღებულია, რომ ინგრედიენტის არეების სივრცული განაწილება განისაზღვრება ფონური ქარის სიჩქარით და მიმართულებით, რელიეფის დინამიკური ზემოქმედებითა და ქვეფენილი ზედაპირის ტემპერატურის დღელამური ცვლილებით ფორმირებული ლოკალური ცირკულაციური სისტემებით.

საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერო, დაბინძურება, PM10, რიცხვითი მოდელირება.

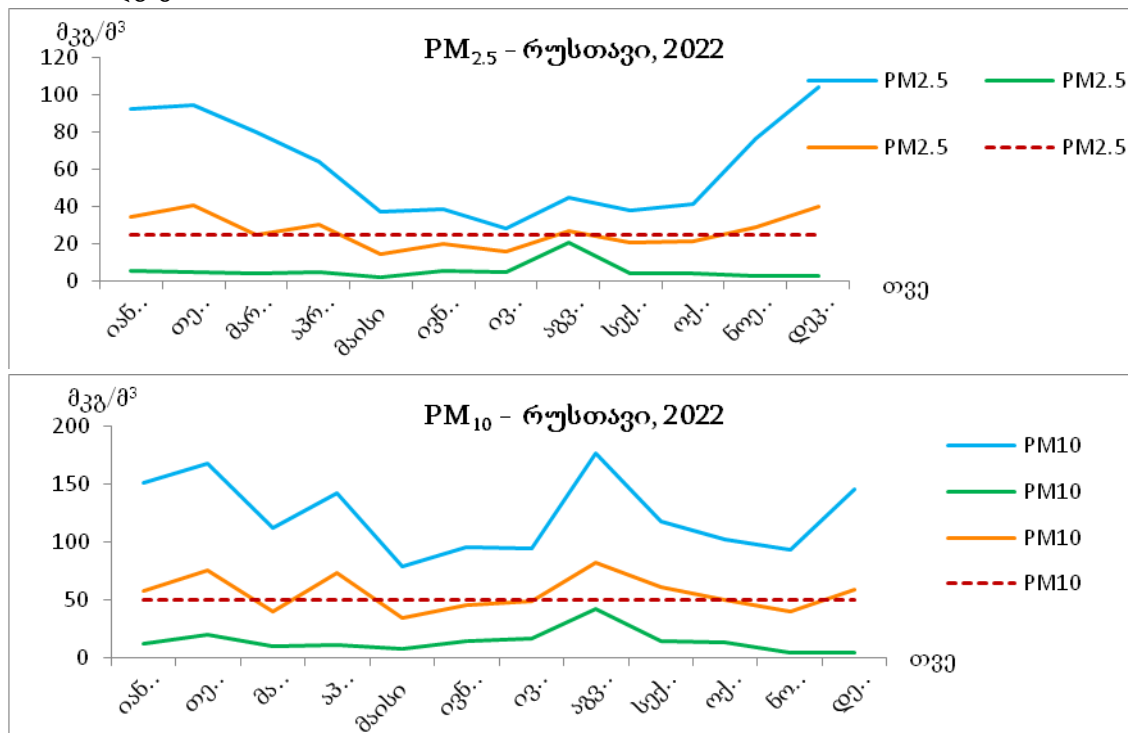
ატმოსფერული პროცესები, ჰაერის დაბინძურება და მასზე დაკვირვება თანამედროვეობის აქტუალურ თემას წარმოადგენს. განსაკუთრებით საშიშია ატმოსფეროში გაბნეული მიკრონაწილაკები, მათ შორის PM2.5 და PM10, ვინაიდან სიმცირის გამო მარტივად ხვდებიან ადამიანის ორგანიზმში და ბევრი დაავადების გამომწვევ მიზეზად შეიძლება ჩავთვალოთ. ძალზედ მნიშვნელოვანია ისეთი დიდი და სამრეწველო ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შეფასება, როგორცაა ქ.რუსთავი. ქალაქს უკავია 60.6 კმ² ფართობის ტერიტორია. მას სამი მხრიდან აკრავს მთის მასივები, მხოლოდ აღმოსავლეთის მხრიდან აკრავს ვაკე ტერიტორია. სამრეწველო ობიექტები ძირითადად განლაგებულია აღმოსავლეთ, სამხრეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილებში. უმეტესად ფუნქციონირებს მეტალურგიული, ქიმიური, საშენ მასალათა საწარმოები და საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ობიექტები. ოფიციალური მონაცემებით ქ. რუსთავში ატმოსფეროს დაბინძურების დონე საკმაოდ მაღალია და მიკრონაწილაკების კონცენტრაციები ხშირად აჭარბებენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (ზღვ) [1].

ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგები. ექსპერიმენტალურმა გაზომვებმა მოიცვა თბილისი-რუსთავის ძირითადი ტრასა, ქალაქის ცენტრალური უბნები და სამრეწველო ობიექტების მიმდებარე ტერიტორიები. ექსპერიმენტული გაზომვებისათვის გამოყენებულ იქნა მობილური აპარატი. ექსპედიცია ჩატარდა სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ სიტუაციებში. გამოვლინდა, რომ PM ნაწილაკების კონცენტრაციების ცვლილება დიდადაა დამოკიდებული მეტეოროლოგიურ პირობებზე. მაგალითად, ქარიან ამინდში მტვრის ნაწილაკები იფანტებიან და მაღალი კონცენტრაციები არ ფიქსირდება, დაბალი ღრუბლიანობის დროს კი პირიქით, მტვრის ნაწილაკები ატმოსფეროს ქვედა ფენაში რჩებიან და მათი კონცენტრაცია აჭარბებს შესაბამის ზღვ-ს, როგორც ნახ.1-ზეა ნაჩვენები.



ნახ.1. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები ქრუსთავის სხვადასხვა წერტილში, 2022 წლის 3 ივნისი.

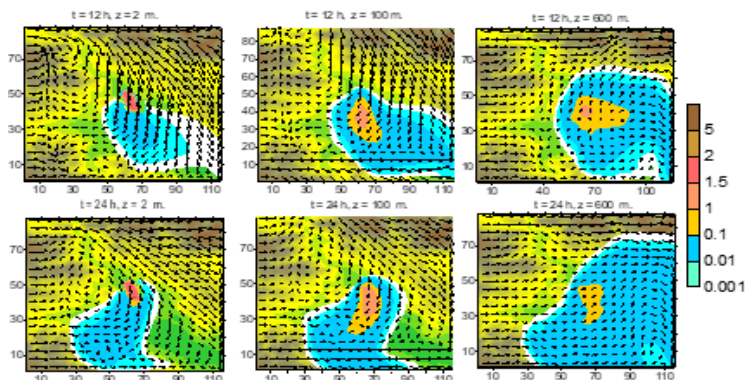
მონიტორინგის მონაცემების ანალიზი. ქ. რუსთავში მხოლოდ ერთი მონიტორინგის პუნქტია განთავსებული გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ, სადაც ავტომატურ რეჟიმში ხდება მონაცემების მიღება [2]. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით შესაძლებელი გახდა გაგვეკეთებინა ანალიზი, ყოველთვიური, ყოველდღიური და საათობრივი კონცენტრაციების მსვლელობების. ანალიზმა აჩვენა, რომ PM2.5 და PM10 ნაწილაკების კონცენტრაციები ხშირ შემთხვევაში აღემატება მათ შესაბამის ზღვ-ს. ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია 2022 წლის ყოველთვიური მონაცემები, საიდანაც ჩანს, რომ მაქსიმალური კონცენტრაციები ყოველთვის აღემატება მათ შესაბამის ზღვ-ს, საშუალო მნიშვნელობები ძირითადად მაღალია ზამთრის პერიოდში, ხოლო მინიმალური მნიშვნელობები არც ერთ თვეში არ აჭარბებს შესაბამის ზღვ-ებს.



ნახ.2. PM2.5 და PM10-ის 2022 წლის ყოველთვიური მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციები

რიცხვითი მოდელირების შედეგები. იმისათვის, რომ შეფასებულიყო ქ. რუსთავის გავლენა მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაზე კავკასიაში ატმოსფერული პროცესების განვითარებისა და მინარევების გავრცელების 3D მოდელის საშუალებით [3, 4] რიცხობრივად მოდელირებული იქნა ქ. რუსთავის ატმოსფეროში არსებული PM10-ის დიფუზია ფონური დასავლეთის სუსტი, საშუალო და ძლიერი ქარის დროს.

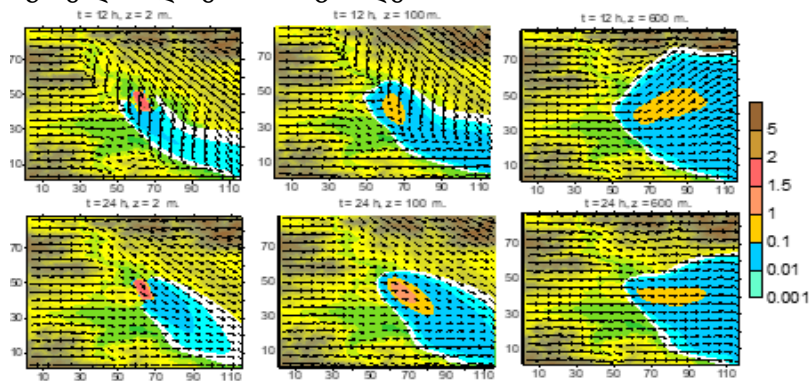
სუსტი ქარი. ნახ.3-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და PM10-ის კონცენტრაციების ველები ატმოსფეროს მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებში, მიღებული ფონური დასავლეთის სუსტი ქარის დროს. ფონური ქარის სიჩქარე იცვლება 1 მ/წმ-დან (მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე 20 მ/წმ-მდე ტროპოპაუზაზე). ნახაზიდან ჩანს, რომ რელიეფისა და ტემპერატურის დღეღამური რეჟიმის ცვლილება 12 სთ-ისთვის იწვევს მიწისპირა ქარის სიჩქარის მნიშვნელობის ცვლილებას და წარმოშობს კონვერგენციის ზონას. ქვემო ქართლის ვაკის ტერიტორიაზე დომინირებს ჩრდილო დასავლეთისა და ჩრდილოეთის ქარი, რომელიც რეგიონის სამხრეთ ნაწილში გადადის დასავლეთის ქარში. ატმოსფერული ჰაერის მიწისპირა ფენის ზევით (600 მ), რეგიონის ცენტრალურ და აღმოსავლეთ ნაწილში ქარის მიმართულება იცვლება სამხრეთ-დასავლეთიდან, დასავლეთისა და ჩრდილო-დასავლეთისკენ. ქარის ცვლილებასთან ერთად იცვლება PM10 მიკრონაწილაკების გადატანის მიმართულებაც. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მიწის ზედაპირიდან 2 მეტრის სიმაღლეზე ის ვრცელდება სამხრეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით, 100 მ სიმაღლეზე და ზევით ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში – სამხრეთ-აღმოსავლეთისა და აღმოსავლეთის მიმართულებით. კონცენტრაციის სივრცული განაწილების ფორმა აჩვენებს, რომ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში უპირატესია ადვექციური გადატანა, სასაზღვრო ფენაში ადვექციურ და დიფუზიურ გადატანებს შეაქვთ დაახლოებით ერთნაირი წვლილი დაბინძურების გავრცელების პროცესში. დღის 24 სთ-ისთვის ატმოსფეროს თერმული რეჟიმის ცვლილების შედეგად იცვლება ქარის სივრცული განაწილების სურათი. რეგიონის აღმოსავლეთ ნაწილში ქრება ქარის კონვერგენციის ზონა, წარმოიშვება ქარის მეზომასტაბის ანტიციკლონური გრივალი, რომელიც თანდათანობით სუსტდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 600 მ სიმაღლეზე მიიღება სუსტი დასავლეთის ქარი მცირეოდენი ტალღური შემფოთებით.



ნახ.3. ქარის სიჩქარისა და PM10-ის კონცენტრაციის განაწილება $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეზე ფონური დასავლეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 12$ და 24 სთ.

ქარის ცვლილების შესაბამისად იცვლება PM10-ის გადატანის მიმართულება. მიკრო-ნაწილაკების გადატანის პროცესში მათი გავრცელების არეალი ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დაახლოებით 50 კმ-ია, ხოლო სასაზღვრო ფენაში დაახლოებით 70 კმ.

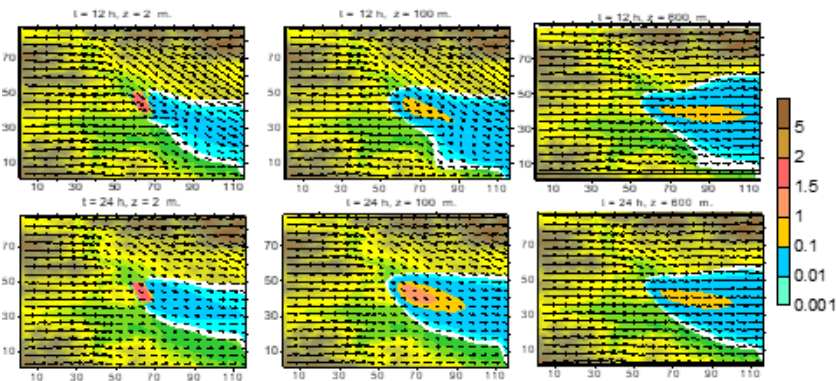
საშუალო ქარი. ფონური საშუალო ქარის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იცვლება ფორმირებული ქარის სიჩქარის ლოკალური ველი (ნახ.4). 12 სთ-თვის, ქარი ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დასავლეთისაა, მოდელირების არის დასავლეთ ნაწილში – ჩრდილო-დასავლეთის. ქარის სიჩქარის ველში, მიწისპირა ფენაში, ფორმირებულია ჩრდილო-დასავლეთითიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ მიმართული ქარის კონვერგენციის ზონა, რომელიც გადის ქ. რუსთავის მიდამოებში. მიწისპირა ზონის ზევით კონვერგენციის ზონა ქრება და ქარი ძირითადად დასავლეთისაა. ქარის სივრცული განაწილების შესაბამისად, ქ. რუსთავის ატმოსფეროს დაბინძურების გადატანა ხდება ვიწრო და გრძელი რკალური ზონის სახით, რომელიც მიუყვება კონვერგენციის ზოლს. ზოლის სიგანე დაახლოებით 20 კმ-ია. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში მნიშვნელოვნად ფართოვდება ატმოსფეროს დაბინძურების არეალი ქალაქის მიდამოებიდან აღმოსავლეთ საზღვრამდე, სადაც დაბინძურების ზონის სიგანე დაახლოებით 80 კმ ხდება.



ნახ.4. ქარის სიჩქარისა და PM10-ის კონცენტრაციის განაწილება $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეზე ფონური დასავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 12$ და 24 სთ.

$t = 24$ სთ-თვის ქარის სიჩქარის ველი ხდება მნიშვნელოვნად ერთგვაროვანი, რომელიც ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მიმართულია სამხრეთ აღმოსავლეთისაკენ ხოლო, სასაზღვრო ფენაში აღმოსავლეთისაკენ. შესაბამისად კონცენტრაციის სივრცული ველი მიწისპირა ფენაში არის წაგრძელებული ელიფსის მაგვარი ფორმის, რომელიც ახასიათებს მინარევის გადატანას მუდმივი სიჩქარის ველში. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში დაბინძურება არის მაქსიმალური. სივრცული ველის სიგანე ნაკლებია მიწისპირა ფენაში მიღებულ სიგანეზე დაახლოებით 75 კმ-ით.

ძლიერი ქარი. ძლიერი ქარის შემთხვევაში რელიეფის გავლენა ქარის სივრცულ განაწილებაზე სუსტია (ნახ.5). ქარისა და PM10-ის კონცენტრაციის სივრცული განაწილება თვისობრივად ანალოგიურია საშუალო ქარის შემთხვევაში მიღებული სურათის. ოდნავ შემცირებულია მხოლოდ ნაწილაკების გავრცელების არეალი. ეფექტი გამოწვეულია იმით, რომ ჰაერის მძლავრი ნაკადი წარიტაცებს ნაწილაკების უმეტეს ნაწილს მოძრაობის მიმართულებით და არ აძლევს მას სიგანეში გაფანტვის საშუალებას.



ნახ.5. ქარის სიჩქარისა და PM10-ის კონცენტრაციის განაწილება $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეზე ფონური დასავლეთის ძლიერი ქარის დროს, როცა $t = 12$ და 24 სთ.

დასკვნა. დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ როგორც ექსპერიმენტულმა გაზომვებმა, ასევე რიცხვითმა მოდელირებამაც გვიჩვენა თუ რაოდენ დიდი გავლენა აქვს მეტეოროლოგიურ ველებს მტვრის ნაწილაკების გადატანასა და კონცენტრაციების მატებაზე.

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

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. St. Rustavi Ambient Air Quality Improvement Action Plan 2020-2022". <https://mepa.gov.ge/Ge/PublicInformation/27987>.
2. https://air.gov.ge/reports_page
3. Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V., Gigauri N. Numerical Investigation of Meso- and Microscale Diffusion of Tbilisi Dust. Annals of Agrarian Science, v1.8, N.3, 2020. ISSN 1512-1887. pp. 295-302.
4. Surmava A., Kukhalashvili V., Gigauri N., Intskirveli L., Kordzakhia G. Numerical Modeling of Dust Propagation in the Atmosphere of a City with Complex Terrain. The Case of Background Eastern Light Air. Journal of Applied Mathematics and Physics. Vol. 8 No.7, 2020, pp. 1222-1228. <https://doi.org/10.4236/jamp.2020.87092>. pp. 1222-1228.

St. Numerical modeling of PM10 distribution in the atmosphere of Rustavi during westerly background wind

N. Gigauri, A. Surmava, L. Intskirveli

SUMMARY

Based on experimental measurements and monitoring data, the concentrations of microparticles PM10 scattered in the atmospheric air of Rustavi were investigated. The influence of road traffic on the level of pollution of the city's atmosphere is evaluated. The concentrations of PM10 scattered in the atmosphere in the city and its surroundings are experimentally determined using a mobile device. Areas of maximum pollution have been identified. The diurnal picture of the spatial distribution of PM10 and the characteristics of its distribution during the westerly background wind were obtained by numerical modeling. By analyzing the wind speed and concentration fields, it is accepted that the spatial distribution of the ingredient areas is determined by the background wind speed and direction, the dynamic effects of the relief and the local circulation systems formed by the diurnal change of the subsurface temperature.