მცირე ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის მიკროაეროზოლებით დაბინძურების შეფასება ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემებით

ნათია გიგაური*, ალექსანდრე სურმავა*, ვეფხია კუხალაშვილი**, ლიანა ინწკირველი***

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

**ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, მიხეილ ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

აბსტრაქტი: *ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემებზე დაყრდნობით შეფასებულია ქალაქ ბათუმის ატმოსფერულ ჰაერში გაბნეული მიკრონაწილაკების PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები. ეს მცირე ზომის ნაწილაკები მეტად საშიშია ადამიანთა ჯანმრთელობისათვის, რადგან ისინი ადვილად აღწევენ ადამიანთა ორგანიზმში და იწვევენ სხვადასხვა სახის დაავადებებს. ამიტომ, ურბანული არეების დაცვა მიკროაეროზოლური დაბინძურებისაგან მეტად მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ ამოცანას წარმოადგენს. ამ მიზნით ქალაქ ბათუმსა და მის შემოგარენში მობილური აპარატით* Aeroqual Series 500 *ჩატარებულია ექსპერიმენტული გაზომვები და განსაზღვრულია ატმოსფერულ ჰაერში გაბნეული PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები. გამოვლენილია მაქსიმალური დაბინძურების უბნები, ატმოსფეროში PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციათა ცვლილების დიაპაზონი. იმ დღეების მცირე რაოდენობა, როდესაც საშუალო დღიური კონცენტრაცია აღემატება ზდკ-ას, იძლევა საშუალებას დავასკვნათ, რომ ქალაქი ბათუმი ატმოსფერული ჰაერის სისუფთავის მიხედვით შეიძლება მივაკუთვნოთ სუსტად დაბინძურებულ ქალაქების კატეგორიას. ქალაქის და მიმდებარე ტერიტორიის რთული რელიეფის და ქალაქის ურბანიზაციის ხასიათიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია გაიზარდოს ქალაქში განლაგებული სადამკვირვებლო პუნქტების რაოდენობა. ამ მიზნით შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს, ევროპაში დანერგილი დაკვირვებათა ხშირი დაბალფასიანი სენსორული ქსელები.*

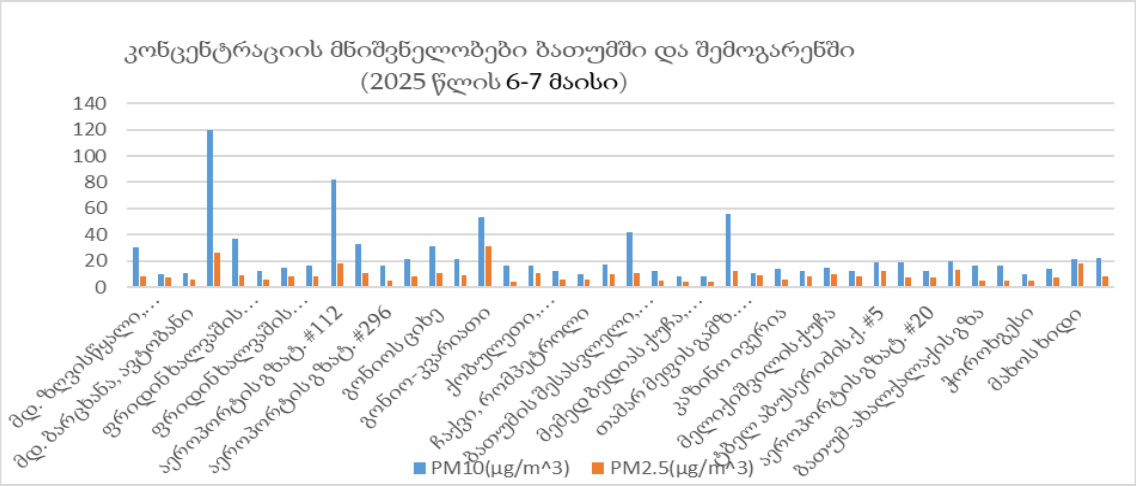
საკვანძო სიტყვები: *მიკროაეროზოლები, ატმოსფეროს დაბინძურება, ექსპერიმენტული გაზომვები, კონცენტრაცია.*

შესავალი. ქ. ბათუმში PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციებზე რეგულარული ოპერატიული დაკვირვება წარმოებს 2018 წლიდან ორ სადამკვირვებლო პუნქტში - ტ. აბუსერიძის ქუჩაზე და ქალაქის ცენტრალურ პარკში. ორივე პუნქტი განლაგებულია ქალაქის ძლიერ ურბანიზებულ ტერიტორიაზე და დაშორებულია ერთმანეთისაგან დაახლოებით 1.8 კმ მანძილით. მონიტორინგს ახორციელებს საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს ბათუმის ფილიალი საერთაშორისოდ მიღებული სტანდარტული პროგრამით [1]. ქალაქის რთული რელიეფიდან, ინფრასტრუქტურიდან, სოციალური, სამედიცინო - გამაჯანსაღებელი დანიშნულებიდან გამომდინარე, ცხადია, რომ ატმოსფერული ჰაერის მიკროაერო-

ზოლებით დაბინძურების მონიტორინგის განხორციელება ორ სადამკვირებლო პუნქტზე არაა საკმარისი დაბინძურების სრული სურათის შესაქმნელად. ამ მხრივ, მეტად საყურადღებოა იტალიის გამოცდილება, რომელიც მდგომარეობს იაფფასიანი სენსორების გამოყენებით დაკვირვებების მრავალპუნქტიანი ქსელის შექმნაში [2,3], ასევე ავტორთა მიერ ჩატარებული კვლევები[4-7].

კვლევის მეთოდიკა. ქ. ბათუმის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციის და ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის შესაფასებლად პირველ ეტაპზე, მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების განსაზღვრა ექსპედიციური გაზომვებით ქალაქის და მის მიმდინარე ტერიტორიაზე საკმარისად ხშირ ბადეზე. ამ მიზნით, 2025 წლის გაზაფხულის, ზაფხულისა და შემოდგომის სეზონებში ჩატარდა PM2.5 და PM10 - ის კონცენტრაციებზე ექსპედიციური დაკვირვებები ქ. ბათუმსა და მიმდებარე ტერიტორიებზე 40-მდე პუნქტში. გაზომვები განხორციელდა მობილური პორტატული გამზომი მოწყობილობით Aeroqual Series 500.

ექსპედიციური გაზომვის შედეგები. ნახ.1-ზე ნაჩვენებია კონცენტრაციის მნიშვნელობები, როგორც ქალაქში, ასევე შემოგარენში დროის იმავე ინტერვალში. ნახ. 1-დან ჩანს, რომ ქალაქის ტერიტორიაზე ჰაერში PM10-ის დღეღამური საშუალო კონცენტრაცია, ძირითადად, 10-20 მკგ/მ^3-ის და PM2.5 -ის კონცენტრაცია 5-15მკგ/მ^3 -ის ფარგლებშია. PM10-ის კონცენტრაცია აჭარბებს ზდკ-ს სამ პუნქტში - ფ. ხალვაშის ქუჩა (120 მკგ/მ^3), თამარ მეფის გამზირი (56 მკგ/მ^3) და აეროპორტის გზატკეცილი (82 მკგ/მ^3). აღნიშნული პუნქტებიდან მხოლოდ ერთ პუნქტში ფ. ხალვაშის ქუჩა PM2.5 კონცენტრაცია ოდნავ აღემატება ზდკ-ს. დანარჩენ პუნქტებში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციები ნაკლებია ზდკ-ზე. რაც შეეხება ქ. ბათუმის მიმდებარე ტერიტორიებს 11 პუნქტიდან მხოლოდ ერთ პუნქტში (გონიო-კვარიათი) PM10 ის და PM2.5-ის კონცენტრაციები აჭარბებს ზდკ-ს.



ნახ. 1. PM10 (ლურჯი) და PM2.5 (წითელი) კონცენტრაციების სვეტური დიაგრამები ქ.ბათუმისა და მიმდებარე ტერიტორიის ექსპედიციური დაკვირვების პუნქტებში (2025 წელი 6-7 მაისი).

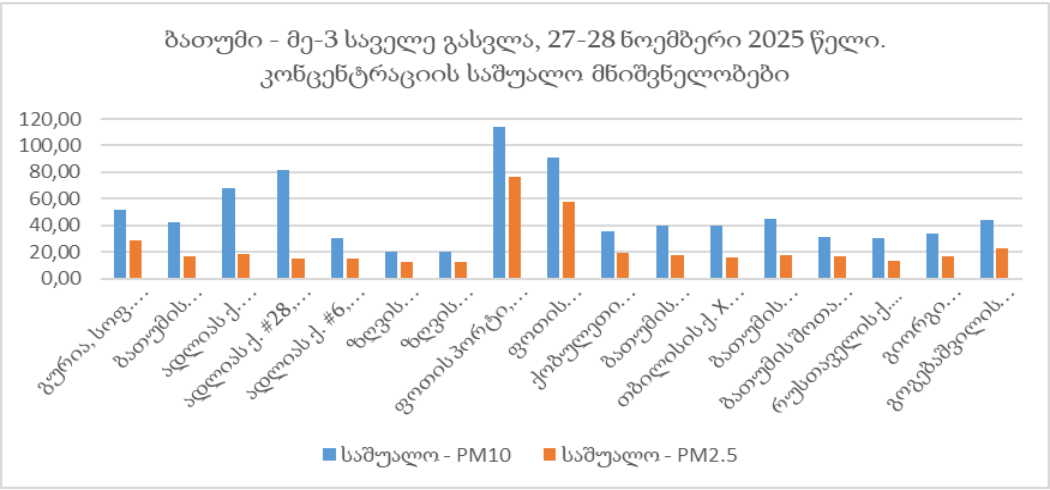
ნახ.2-ზე მოცემულია მიკრონაწილაკების განაწილება ქ. ბათუმის მაქსიმალურად ურბანიზებულ შავი ზღვის მიმდებარე ცენტრალურ ნაწილში.

ნახ. 2-დან ჩანს, რომ PM10 კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობები მაღალია ზ. გორგილაძის და ი. გოგებაშვილის ქუჩებზე მდებარე დაკვირვების ორ პუნქტში. კონცენტრაცია განსაკუთრებით დიდია ზ. გორგილაძის ქუჩაზე (82 მკგ/მ^3), ხოლო ი.გოგებაშვილს ქუჩაზე მდებარე პუნქტში (54 მკგ/მ^3) იგი ოდნავ აღემატება ზდკ-ს. კონცენტრაციები შედარებით მაღალი აღმოჩნდა სასტუმრო ორბი სიტის (44 მკგ/მ^3), რუსთაველის (35 მკგ/მ^3), გოგოლის (33 მკგ/მ^3) და ი. ნონეშვილის (32 მკგ/მ^3) ქუჩების მიდამოებში. გაზომვათა სხვა პუნქტებში PM10-ის კონცენტრაციები ძირითადად იცვლებიან 5-25 მკგ/მ^3 ინტერვალის ფარგლებში. რაც შეეხება PM2.5-ის კონცენტრაციებს, ისინი არ აჭარბებენ 20 მკგ/მ^3, როგორც ბათუმში, ასევე მიმდებარე ქალაქების: ქობულეთის, ლანჩხუთისა და ჩაქვის ტერიტორიაზე გაზომვის პუნქტებში (ნახ. 3).



ნახ. 2. PM10 (ლურჯი) და PM2.5 (წითელი) კონცენტრაციების (მკგ/მ^3) სვეტური დიაგრამები ქ. ბათუმის ფიზიკურ რუკაზე (2025 წელი 27-28 ნოემბერი).

ექსპედიციური გაზომვების პუნქტების მიმდებარე ტერიტორიების ვიზუალურმა დათვალიერებამ აჩვენა, რომ PM10-ის მაღალი კონცენტრაციები ძირითადად დაკავშირებულია საგზაო-სარემონტო და სამშენებლო სამუშაოებთან. რაც შეეხება PM2.5 - ის კონცენტრაციებს, ისინი განსაკუთრებით მაღალია ფ. ხალვაშის ქუჩაზე მდებარე სამეურნეო-საწარმოო ტერიტორიაზე, სადაც მათი მნიშვნელობები მეტია 2 ზდკ-ზე. ქალაქის ცენტრსა და ძლიერ ურბანიზებულ ტერიტორიებზე მიკრონაწილაკების კონცენტრაციების მნიშვნელობები ნაკლებია ზდკ-ზე.



ნახ. 3. PM10 (ლურჯი) და PM2.5 (წითელი) კონცენტრაციების სვეტური დიაგრამები ქ. ბათუმისა და მიმდებარე ტერიტორიის ექსპედიციური დაკვირვების პუნქტებში (2025 წელი 27-28 ნოემბერი).

შეფასებულია წრფივი კორელაცია PM10 და PM2.5-ის კონცენტრაციებს შორის სამივე ექსპედიციური გაზომვების დროს. მიღებულია, რომ მაისის და ნოემბრის თვეებში წრფივი კორელაციის კოეფიციენტის სიდიდე საკმაოდ დიდია და ტოლია 0.76 და 0.83-ის. რაც შეეხება ივლისის თვეს, PM10 და PM2.5-ის კონცენტრაციებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია 0.58-ის. ამავე დროს, ის ნაკლებია ოპერატიული დაკვირვების პუნქტებში გაზომილ კონცენტრაციებს შორის არსებულ კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. აღნიშნული, სავარაუდოდ მიუთითებს იმ ფაქტზე, რომ თუკი ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში PM10 და PM2.5-ის ველი ფორმირდება ერთი წყაროს მიერ (სავარაუდოდ ავტოტრანსპორტი) მთლიანად მთელ ქალაქში და მიმდებარე ტერიტორიაზე არსებობს სხვა, ასევე მნიშვნელოვანი დაბინძურების წყაროები (სავარაუდოდ მოსახლეობის საყოფაცხოვრებო საქმიანობა).

დასკვნა. ექსპერიმენტული გაზომვების საფუძველზე შეფასებულია ქ. ბათუმისა და მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10-ის სივრცული განაწილება 2025 წლის განმავლობაში. მიღებულია, რომ მათ კონცენტრაციებს შორის არსებობს მაღალი წრფივი კორელაციური დამოკიდებულება, როგორც ერთი და იგივე სადამკვირვებლო პუნქტის, ასევე, სხვადასხვა სადამკვირვებლო პუნქტების მონაცემებს შორის. ატმოსფეროში PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციათა ცვლილების დიაპაზონის ანალიზი, იმ დღეების მცირე რაოდენობა, როდესაც საშუალო დღიური კონცენტრაცია აღემატებს ზდკ-ას, იძლევა საშუალებას დავასკვნათ, რომ ქ. ბათუმი ატმოსფერული ჰაერის სისუფთავის მიხედვით შეიძლება მივაკუთვნოთ სუსტად დაბინძურებულ ქალაქების კატეგორიას. ამავე დროს, ქალაქის და მიმდებარე ტერიტორიის რთული რელიეფის და ქალაქის ურბანიზაციის ხასიათიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია გაიზარდოს ქალაქში განლაგებული სადამკვირვებლო პუნქტების რაოდენობა. ამ მიზნით შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს, ევროპაში დანერგილი დაკვირვებათა ხშირი დაბალფასიანი სენსორული ქსელები

მადლიერების გამოხატვა. სამეცნიერო კვლევა დაფინანსებული და შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის FR-22 -4765 გრანტის ფარგლებში.

გამოყენებული ლიტერატურა.

1. Air.gov.ge. https://air.gov.ge/
2. ARPA Emilia-Romagna. Studio invernale sulla qualità dell’aria a Ferrara 2023. Bologna, 2024. https://www.arpae.it/it/notizie/la-qualita-dellaria-nel-2024-in-emilia-romagna 28 Stefano Chiesa,

3. Di Pietro A. , Maurizio Pollin M., Taraglio S. Urban Air Pollutant Monitoring through a Low-Cost Mobile Device Connected to a Smart Road.*ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022, *11*(2), 132; https://doi.org/10.3390/ijgi11020132

4.N. Gigauri, L. intskirveli, A. Surmava. Study of Rustavi City Atmospheric Pollution with Particulate Matter - PM2.5 and PM10. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2023, vol. 17, no. 4, pg. 74-80.

5.N. Gigauri, L. Intskirveli, A. Surmava, V. Kukhalashvili. The Results of Kutaisi City Atmospheric Air Pollution with PM Particles, BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, v.18. 18, No. 3, 2024, ISSN - 0132 – 1447. Pp. 90-96.

6.A. A. Surmava, V. G. Kukhalashvili, N. G.Gigauri, L. N. Intskirveli. Study of Kutaisi City Atmospheric Air Pollution with PM10 Particles using Numerical Modeling. A Case of Fresh Western Background Breeze. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(1), 2024, pp. 19 – 24. E-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127.

7. Surmava, A., Gigauri, N., Kukhalashvili, V., Intskirveli, L.Assessment of Kutaisi City Atmospheric Air pollution with the High Risk –Factor PM2.5 Particle by means of Numerical Modelling. RT&A, Special Issue No.9 (87), Volume 20, November 2025, pp.137-1267.

Assessment ofatmospheric air pollution by microaerosols in urban areas based on experimental measurements

N. Gigauri, A. Surmava, V. Kukhalashvili, L. Imtskirveli

Summary

Based on experimental measurements, the spatial distribution of PM2.5 and PM10 in the ambient air of Batumi and the surrounding area for the year 2025 has been estimated. It is accepted that there is a high linear correlation between their concentrations, both between data from the same observation point and from different observation points. Analysis of the range of changes in PM2.5 and PM10 concentrations in the atmosphere, the small number of days when the average daily concentration exceeds the Maximum permissible concentration, allows us to conclude that Batumi can be classified as a slightly polluted city in terms of ambient air quality. At the same time, given the complex terrain of the city and the surrounding area and the nature of the city's urbanization, it is advisable to increase the number of observation points located in the city. For this purpose, frequent low-cost sensor networks of observations implemented in Europe can be used.

Keywords: micro aerosols, atmospheric pollution,experimental measurments, concentration