

ქ.ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის მიკროაეროზოლებით დაბინძურების გამოკვლევა

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

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი

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

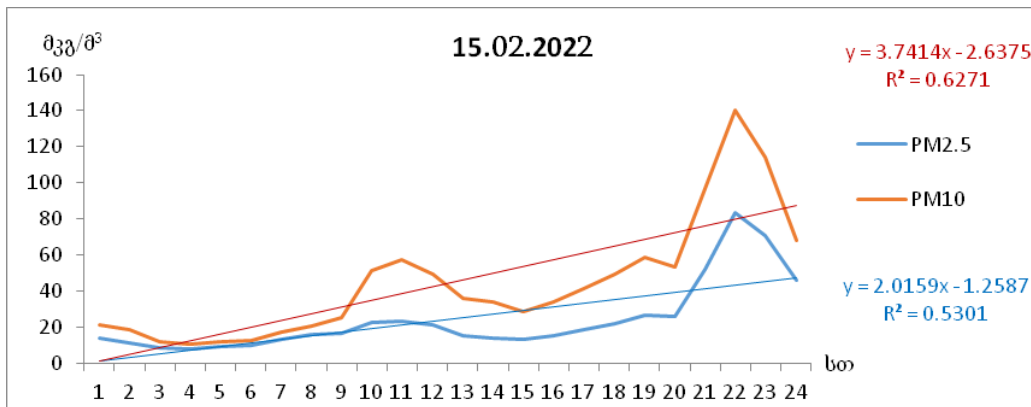
აბსტრაქტი: ქ. ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის მიკროაეროზოლებით დაბინძურება გამოკვლეულია მონიტორინგისა და ექსპერიმენტალური გაზომვების მონაცემებზე დაყრდნობით. განსაზღვრულია საშუალო წლიური, თვიური, დღიური და საათობრივი კონცენტრაციების მნიშვნელობები. ექსპერიმენტული გაზომვები ჩატარდა 2023 წლის გაზაფხულის, ზაფხულისა და შემოდგომის სეზონებში ქ. ქუთაისისა და მის მიმდებარე ტერიტორიის 65 პუნქტში. დადგენილია შედარებით მაღალი დაბინძურების უბნები და დაბინძურების მიზეზები. განხორციელებულია ატმოსფერული ჰაერის PM10-ით დაბინძურების კვლევა ატმოსფერული პროცესების ევოლუციის 3D რეგიონალური მოდელისა და მინარევების გადატანა - დიფუზიის განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით. მიღებულია PM10-ის კონცენტრაციის დროში ცვლილებისა და სივრცული განაწილების სურათები.

საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერო, PM2.5 და PM10, დაბინძურება, კონცენტრაცია, რიცხვითი მოდელირება.

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და მისი რეგულირება თანამედროვეობის აქტუალური თემაა. განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ატმოსფეროში გაბნეული მიკროაეროზოლები, მათ შორის PM2.5 და PM10. ისინი სიმცირის გამო ადვილად ხვდებიან ადამიანის ორგანიზმში და იწვევენ სხვადასხვა სახის დაავადებებს [1]. ამ კუთხით მნიშვნელოვანია საქართველოს დიდი ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შეფასება. ერთ-ერთი ასეთი საყურადღებო ქალაქია ქუთაისი. წარმოდგენილ სტატიაში ქ. ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის შესაფასებლად გამოყენებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები [2]. ჩვენს მიერ გაანალიზებულია 2020-2022 წლების მონაცემები (2023 წელს ქ.ქუთაისში ავტომატური სადგური არ მუშაობდა). ნახ.1-ზე მაგალითის სახით წარმოდგენილია 2022 წლის 15 თებერვალს ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM-ნაწილაკების საათობრივი მსვლელობის მრუდი, საიდანაც ჩანს, რომ დღის განმავლობაში აღინიშნება კონცენტრაციათა მატების ტენდენციაა, ტრენდი დადებითია და მაქსიმალური მნიშვნელობები 20 სთ-ის შემდგომ ფიქსირდება.

ზოგადად შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ვთქვათ, რომ ქუთაისის ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5-ის კონცენტრაციები, როგორც წესი, ნაკლებია PM10-ის კონცენტრაციებზე, მათი ცვლილების მრუდის ხასიათი კი ერთნაირია. PM10-ის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები ზამთრის პერიოდში აღემატება შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზდკ), მინიმალური და საშუალო მნიშვნელობები კი ყოველ თვე ნაკლებია ზდკ-ზე (ზდკ PM2.5= 25 მკგ/მ³, ზდკ PM10= 50 მკგ/მ³). შესწავლილ პერიოდში 2020 წლის განმავლობაში ძირითადად დაბალი კონცენტრაციებია დაფიქსირებული, რაც გა-

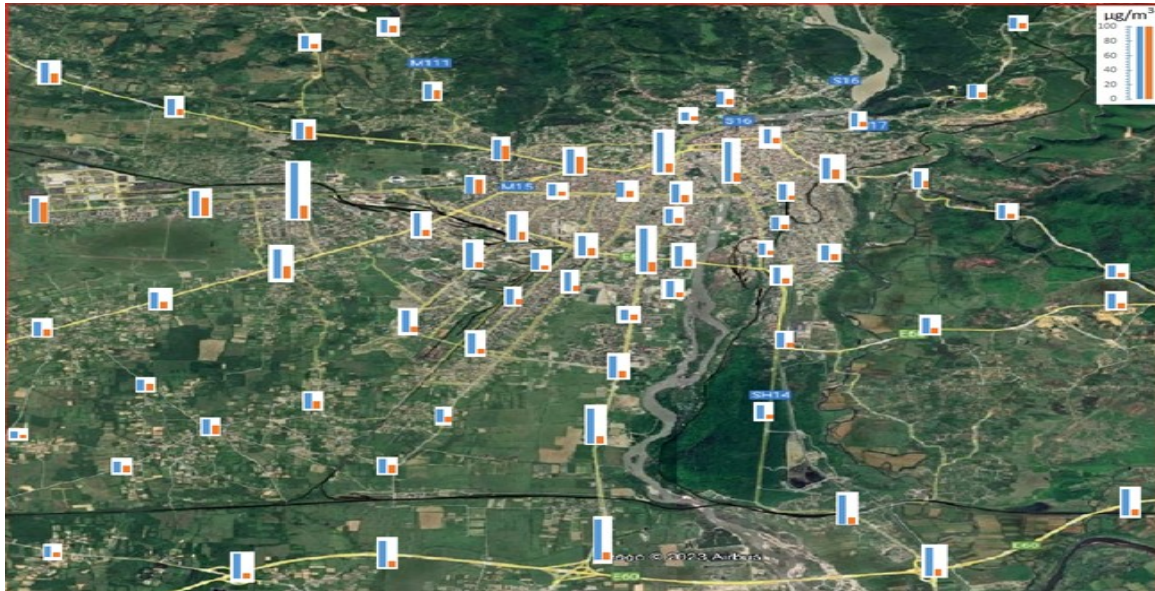
მოწვეული იყო კორონა ვირუსის გავრცელების გამო შეზღუდვების შემოღებით საქართველოს მთელი მასშტაბით. თებერვლის თვეში აღინიშნებოდა ზდკ-ზე მაღალი კონცენტრაციები, თუმცა აპრილის თვეში მაქსიმალური მნიშვნელობა ფიქსირდება PM2.5-სთვის 19,93 მკგ/მ³ და და PM10-სთვის 37,5 მკგ/მ³. ყველაზე დაბალი მაჩვენებელი ფიქსირდება 17-25 აპრილის ინტერვალში, როცა ქალაქში აკრძალული იყო ყველა სახის ტრანსპორტის მოძრაობა. მაღალი კონცენტრაციები დაფიქსირებულია 2021 წლის განმავლობაში, ივლისის თვის შემდეგ. PM2.5-ის კონცენტრაციამ შეადგინა 30, PM10-ის - 142 მკგ/მ³, რაც 2.5-ჯერ და მეტადაც აღემატება მის ზდკ-ს. კონცენტრაციათა მატება დამოკიდებულია ძირითადად ავტოტრანსპორტის ინტენსივობაზე და აგრეთვე მეტეოროლოგიურ პირობებზე, ვინაიდან, მაღალი კონცენტრაციები ფიქსირდება უფრო ხშირად დაბალ ღრუბლიან ამინდში, ვიდრე ნისლის და შტილური სიტუაციის დროს. ქარიან ამინდში მტვრის ნაწილაკები იფანტება ჰაერში და გადაადის ატმოსფეროს ზედა ფენებში.



ნახ. 1. PM2.5 და PM10-ის ყოველსაათობრივი მსვლელობა, 2022 წლის 15 თებერვალი.

ექსპერიმენტული ნატურული გაზომვებით შესწავლილია ქ. ქუთაისსა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10 კონცენტრაციები. გაზომვები ჩატარებულია პორტატული გამზომი მოწყობილობით Aeroqual Series 500. მიღებული მონაცემებით აგებულია მიკროაეროზოლების ზედაპირული განაწილების სურათი (ნახ.2), დადგენილია შედარებით მაღალი და დაბალი კონცენტრაციების ზონები. დიაგრამიდან ჩანს, რომ PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები დაკვირვების პუნქტებში არ არის პროპორციულ დამოკიდებულებაში. გაზაფხულზე და ზაფხულში PM10-ის კონცენტრაციები იცვლება 8,4 - 132,5 მკგ/მ³, PM2.5-ის კი - 4,6 - 25,1 მკგ/მ³ ინტერვალის ფარგლებში. PM10-ის ექსტრემალურად მაღალი კონცენტრაცია (>2,6ზდკ; ზდკ=50 მკგ/მ³) გაზომილია ავტომშენებლის ქუჩის მიმდებარე ტერიტორიაზე. მაღალი კონცენტრაციები (>ზდკ) დაკვირვებულია ქალაქის ცენტრში (მწვანე ბაზარი, რუსთაველის ხიდი), თაბუკაშვილის ქუჩის შუა ნაწილში, ქუთაისის გარსშემოვლის გზასა და თაბუკაშვილის ქუჩის გადაკვეთასთან. მაღალი კონცენტრაციების არსებობა ძირითადად დაკავშირებულია ქუჩის სარემონტო სამუშაოებთან, საწარმოო საქმიანობასთან, ინტენსიურ სატრანსპორტო

მოძრაობასთან.



ნახ.2. ქ. ქუთაისისა და მის შემოგარენში ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების მნიშვნელობათა სვეტური დიაგრამები.

PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების გაზომვები ჩატარდა ქ. ქუთაისის მიმდებარედ არსებულ დასახლებულ პუნქტებში. მათი კონცენტრაციების სიდიდეები ტოლი იყო: სოფ. ქვიტირი - 6 მკგ/მ³, 12 მკგ/მ³; სოფ. ფარცხანაყანები - 4,6 მკგ/მ³, 8,4 მკგ/მ³; სოფ. გეგუთი - 6,2 მკგ/მ³, 13,9 მკგ/მ³, ონის რაიონი - 8 მკგ/მ³, 16 მკგ/მ³, მარტვილის რაიონი - 19 მკგ/მ³, 23 მკგ/მ³ (ნისლიანი ამინდი).

მოდელური გათვლები. მოდელირებისათვის განხილულია ქ. ქუთაისი და მისი მიმდებარე 13 x 13 კმ ფართობის ტერიტორია. ქალაქს გააჩნია საკმაოდ რთული რელიეფი. რელიეფი იცვლება 80 დან 450 მ-მდე. ოროგრაფია ჩრდილოეთიდან და აღმოსავლეთიდან შემოსაზღვრულია ქედებით და ცალკეული მთებით. ქალაქის და მიმდებარე ტერიტორიის დასავლეთი და სამხრეთი ნაწილი განლაგებულია კოლხეთის დაბლობზე.

PM აეროზოლების გავრცელების მოდელირება განხორციელებულია ატმოსფერული პროცესების ევოლუციის 3D რეგიონალური მოდელისა და მინარევების გადატანა - დიფუზიის განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით. ინტეგრირება განხორციელებულია გახლეჩის მეთოდისა [3] და კრანკლ - ნიკოლსონის სქემის მიხედვით. რიცხვითი ბადის ბიჯები x და y ღერძების გასწვრივ ტოლია 200 მ-ის. ვერტიკალური განუზომადი ბიჯი თავისუფალ ატმოსფეროში ტოლია 1/31, რაც დაახლოებით შეესაბამება 300 მ-ს. ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ სისქის ფენაში ვერტიკალური ბიჯი იცვლება 0.5-დან 15 მ-მდე. დროითი ბიჯი 1 წმ-ია. გამოთვლები ჩატარებულია 3 დღე-ღამის განმავლობაში. განხილულია ივნისის თვეში მშრალი ამინდის პირობებში ფონური სუსტი ქარი მიწისპირა ფენის სიმაღლეზე (100 მ). ქარის სიჩქარე 3 - 8 მ/წმ-ია. მიწისპირა ფენის ზევით ქარის სიჩქარე წრფივად იზრდება, ქარი დასავლეთისა და 9 კმ-ის სიმაღლეზე ის აღწევს 20 მ/წმ-ს. ატმოსფეროს

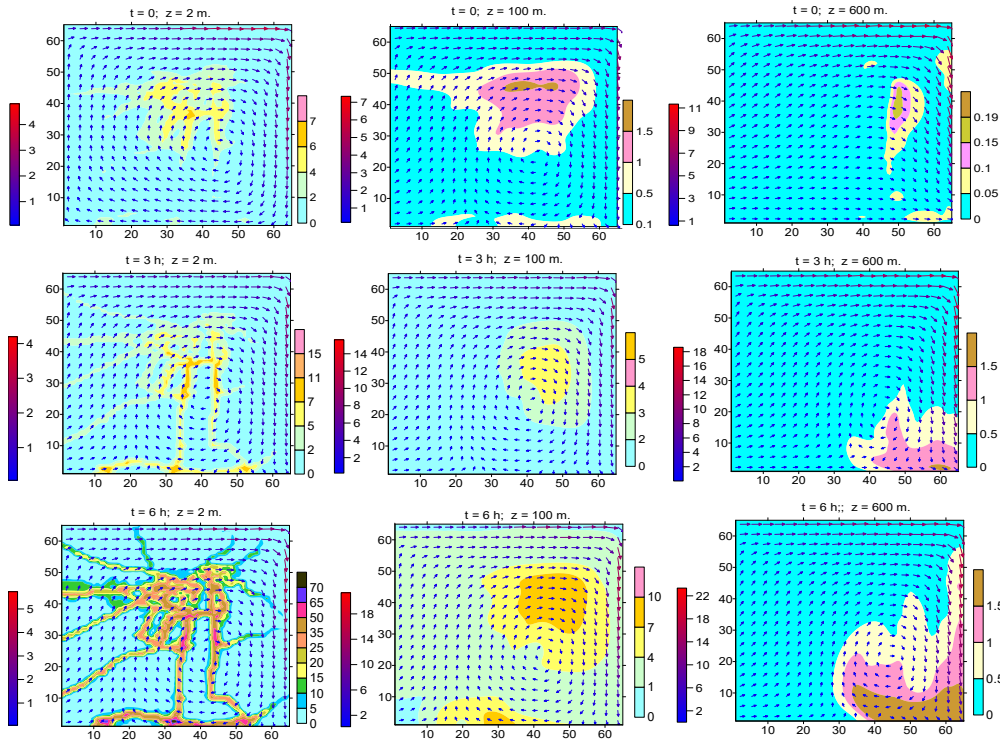
ვარდობითი ტენიანობა 50%-ია. დაშვებულია, რომ ატმოსფეროს PM10-ით დაბინძურება ხდება ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად ქალაქისა და მის მიმდებარედ არსებულ ტერიტორიაზე. გაფრქვევა ხდება მიწის ზედაპირიდან 0.5 მეტრის სიმაღლეზე 5 ტიპის არემი: ავტომაგისტრალების, ქალაქის ცენტრალური ქუჩების, საცხოვრებელი, სამრეწველო ზონებისა და მიმდებარე სოფლების დაუსახლებელ ტერიტორიებზე. გაფრქვევის სიჩქარე სხვადასხვაა სხვადასხვა უბანში, პერიოდულია 24 სთ-ით და პროპორციულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის. ის მინიმალურია 0–4 სთ დროის ინტერვალში, 4–დან 10 სთ–მდე წრფივად იზრდება და მუდმივია 10 – დან 18 სთ–მდე დროის ინტერვალში. 18–24 სთ–მდე გაფრქვევის სიჩქარე წრფივად მცირდება და ხდება 0 სთ–ზე არსებული გაფრქვევის სიჩქარის ტოლი. მიკროაეროზოლის კონცენტრაციის ველის და დროში ცვლილების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ კონცენტრაციის მნიშვნელობები მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე მინიმალურია დღის 0–3 სთ ინტერვალში. როცა $t = 0$ კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა ქალაქის ცენტრში არსებულ მცირე ფართობზე აღწევს 7 მკგ/მ³-ს (აე ძელქვიანი). ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში არსებული საავტომობილო ტრასის მახლობლობაში კონცენტრაცია 4–6 მკგ/მ³-ია, ხოლო შემოგარენსა და პერიფერიებში არსებულ უმეტეს ტერიტორიაზე კონცენტრაციის სიდიდე იცვლება 0–5 მკგ/მ³-ის ინტერვალში.

$t = 3$ სთ–სთვის მიწისპირა კონცენტრაციის სივრცული განაწილების სურათი მცირედ იცვლება. კონცენტრაცია მცირდება ქალაქის ცენტრში და იზრდება მოდელირების არის სამხრეთ ნაწილში მდებარე ქ. ქუთაისის გასშემომვლელი გზის მიდამოებში. ამ უბანში კონცენტრაციის მნიშვნელობა აღწევს 10 მკგ/მ³.

კონცენტრაციის აღნიშნული ცვლილება დაკავშირებულია ქარის სიჩქარის ანტიციკლონური ცირკულაციის დივერგენტულ ხასიათთან, რომელიც იწვევს ნივთიერების გატანას გრიგალის ცენტრიდან პერიფერიებისაკენ. დროის აღნიშნულ ინტერვალში ადგილი აქვს ასევე ნივთიერების სუსტ გადატანას ატმოსფეროს მიწისპირა ფენიდან მის ზედა ნაწილებში. შედეგად, მიწის ზედაპირიდან 100 და 600 მ სიმაღლეებზე 3 სთ–სთვის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები აღწევს 4 და 1.5 მკგ/მ³.

მიწისპირა კონცენტრაციის განსაკუთრებით ინტენსიური ზრდა მიღებულია 3–დან 7სთ–მდე. აღნიშნული დაკავშირებულია ერთის მხრივ, ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის ზრდის შედეგად გამოწვეული ატმოსფეროში გაფრქვეული PM10-ის რაოდენობის ზრდასთან, და მეორეს მხრივ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის თერმიული სტრატეფიკაციის ცვლილებით. დროის ამ პერიოდში, ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ქვედა ნაწილში ხდება ჰაერის ტემპერატურის შემცირება, ტემპერატურის ვერტიკალური მდგრადობის მომატება, ტურბულენტობის შემცირება და დაბინძურების დონის გაზრდა. მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე, კონცენტრაციის მნიშვნელობები ქალაქის ცენტრალურ ნაწილსა და სამხრეთით მდებარე გარეუბნების ცენტრალურ ქუჩებსა და გარსშემოვლით მაგისტრალზე იცვლება 20 მკგ/მ³–დან 50 მიკროგრამამდე. მაქსიმალური კონცენტრაციები 60 – 70 მკგ/მ³ მიღებულია ქალაქის მუზეუმის, გამარჯვების, ძელქვიანის რაიონების და გასშემოვლით გზებზე არსებულ ცენტრალურ გზაჯვარედინებზე. პარალელურად, ოღონდ შე-

დარებით ნელი ტემპით, მიმდინარეობს კონცენტრაციის ზრდა ატმოსფეროს მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებში.



ნახ. 3. PM10-ის კონცენტრაციის ($\text{მგ}/\text{მ}^3$) და ქარის სიჩქარის ვექტორის ($\text{მ}/\text{წმ}$) სივრცული განაწილება, მიღებული რიცხვითი მოდელირებით, როცა $t = 0, 3$ და 6 სთ–ს.

რიცხვითი მოდელირების შედეგები [4, 5] შედარებულია 2023 წელს ჩატარებული სპეციალური ექსპედიციური გაზომვის შედეგებთან. შედარებამ აჩვენა, რომ თეორიული და ექსპერიმენტული გაზომვის შედეგები, ძირითადად, 30 % სიზუსტით ემთხვევიან დიდ განსხვავებებს ადგილი აქვს იმ ტერიტორიებზე, სადაც მიმდინარეობდა აქტიური საგზაო სამუშაოები (ავტოქარხნის აე) ან მოქმედებდა ასაფალტო - ბეტონის საწარმოო (ნიკეას ქუჩის დასაწყისში).

ღდასკვნა

- ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM_{2.5}-ნაწილაკების კონცენტრაციები, როგორც წესი, ნაკლებია PM₁₀-ის კონცენტრაციებზე, მაგრამ მათი ცვლილების მრუდის ხასიათი ერთნაირია. მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები ზამთრის პერიოდში აღემატება შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (ზდკ). დღის განმავლობაში PM-ნაწილაკების კონცენტრაცია თითქმის ყოველთვის ხასიათდება მატების ტენდენციით და თავის მაქსიმუმს აღწევს 20 საათის შემდგომ.
- რიცხვითი მოდელირებით გამოკვლეულია ქ. ქუთაისის ტერიტორიაზე ავტოტრან-

სპორტის მიერ წარმოშობილი PM10-ის სივრცული განაწილებისა და დროში ცვლილების თავისებურება ივნისის თვეში ფონური სუსტი ქარის დროს. ნაჩვენებია, რომ გამოთვლილი კონცენტრაციების მნიშვნელობები დაკვირვებული სიდიდეების ფარგლებშია. სივრცული განაწილება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული როგორც ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობაზე, ასევე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის კინემატიკაზე და ქვეფენილ ზედაპირზე თერმული რეჟიმის დღელამური ცვლილებით ფორმირებულ ლოკალურ ცირკულაციურ სისტემაზე.

მადლიერების გამოხატვა. სამეცნიერო კვლევა განხორციელდა „შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის“ ფინანსური მხარდაჭერით [FR-22-4765].

ლიტერატურა

1. World Health Organization. Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air- REVIHAAP Project. First result.
2. https://air.gov.ge/reports_page.
3. Marchuk G.I. Mathematical modeling in the problem of the environment. Moscow, Science, 1982, 320 p. (in Russian).
4. Surmava, A. A., Kukhalashvili, V. G., Gigauri, N. G., & Intskirveli, L. N. (2023). PM2.5 and PM10 in the Atmosphere of Kutaisi City. *Journals of Georgian Geophysical Society*, 26(2). <https://doi.org/10.60131/ggs.2.2023.7445>
5. Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V. (2021) Numerical Modeling of the Transborder, Regional and Local Diffusion of the Dust in Georgian Atmosphere, p.139, Publishing House, Technical University”, Tbilisi, Georgia. ISBN 978-9941-28-810-4, <http://www.gtu.ge> (in georgian)

Investigation of atmospheric air pollution of Kutaisi with microaerosols Summary

Air pollution of Kutaisi with PM2.5 and PM10 was studied. The data obtained from operational observations and special experimental measurements conducted within the framework of atmospheric air pollution monitoring are used for the research. The maximum, minimum and average area of the annual, monthly and daily changes in the concentration of microaerosols, as well as their spatial distribution in the city and its surrounding area, have been determined. It is determined that the concentration of PM particles during the day is almost always characterized by an increasing trend and reaches its maximum after 20 hours. The study of Kutaisi atmospheric air pollution with PM10 is carried out by the joint integration of the 3D regional model of the evolution of atmospheric processes and the transfer-diffusion equation of impurities. Images of PM10 concentration change over time and spatial distribution were obtained. It is shown that the topography of the city and the surrounding area determines the generation of landward anticyclonic eddies of wind speed. The formed wind speed field contributes to the removal of PM10 from the city, the process of "self-cleaning" of the atmosphere. Calculations show that the process of spreading aerosols takes place in four stages and depends on the intensity of traffic, the location of highways and the terrain of the city. From 4 to 7 a.m. there is a rapid increase in concentration, from 7 to 3 p.m. - a weak decrease or constancy of concentration, in the interval from 3 p.m. to 9 p.m. there is an increase in concentration, and from 9 p.m. to 6 a.m. - city air self-cleaning. Areas of relatively high pollution are defined.