

**ქ. ქუთაისის ჰაერის PM_{2.5}-ით დაბინძურების სიმულაცია
მიწისპირა შტილისა და თავისუფალ ატმოსფეროში
ბაროკლინური დასავლეთის ქარის შემთხვევაში**

^{1,2}სურმავა ა., ¹გიგაური ნ., ²კუხალაშვილი ვ., ¹ინწკირველი ლ., ³სესაძე ვ.

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი,
თბილისი, საქართველო

²ივ.ჯავახიშვილის თბილისის სხელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდია სახ. გეოფიზიკის
ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

³საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
e-mail: L.inwkirveli@gtu.ge

შესავალი

ეკოლოგიური პრობლემებიდან განსაკუთრებით აქტუალურია ატმოსფეროს მიკრო-აეროზოლებით დაბინძურება. ამ პრობლემის გადასაჭრელად ეფექტურად გამოიყენება ინდუსტრიული ცენტრების, მეგაპოლისების და ცალკეულ მცირე ქალაქების ატმოსფეროში მათი გავრცელების რიცხვითი მოდელირება, სადაც მათი კონცენტრაციები ჰაერში ხშირად აღემატება ზღვრულად დასაშვებ დონეს [1-5]. პრობლემის აქტუალობა გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ ჰაერში მიკროაეროზოლის ჭარბი შემცველობა ნეგატიურ ზემოქმედებას ახდენს ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, იწვევს სხვადასხვა რთულ დაავადებებსა და, ხშირ შემთხვევებში, სიკვდილსაც კი [6-8].

ბოლო წლებში, გატარებული ჰაერდამცავი ღონისძიებების შედეგად, შემცირდა მიკროაეროზოლების ემისიები და გაუმჯობესდა ატმოსფეროს სისუფთავის ხარისხი. თუმცა, მთელ რიგ ქალაქებში, ჰაერის დაბინძურების დონე კვლავ აღემატება ევროკავშირის სტანდარტებს [9-12].

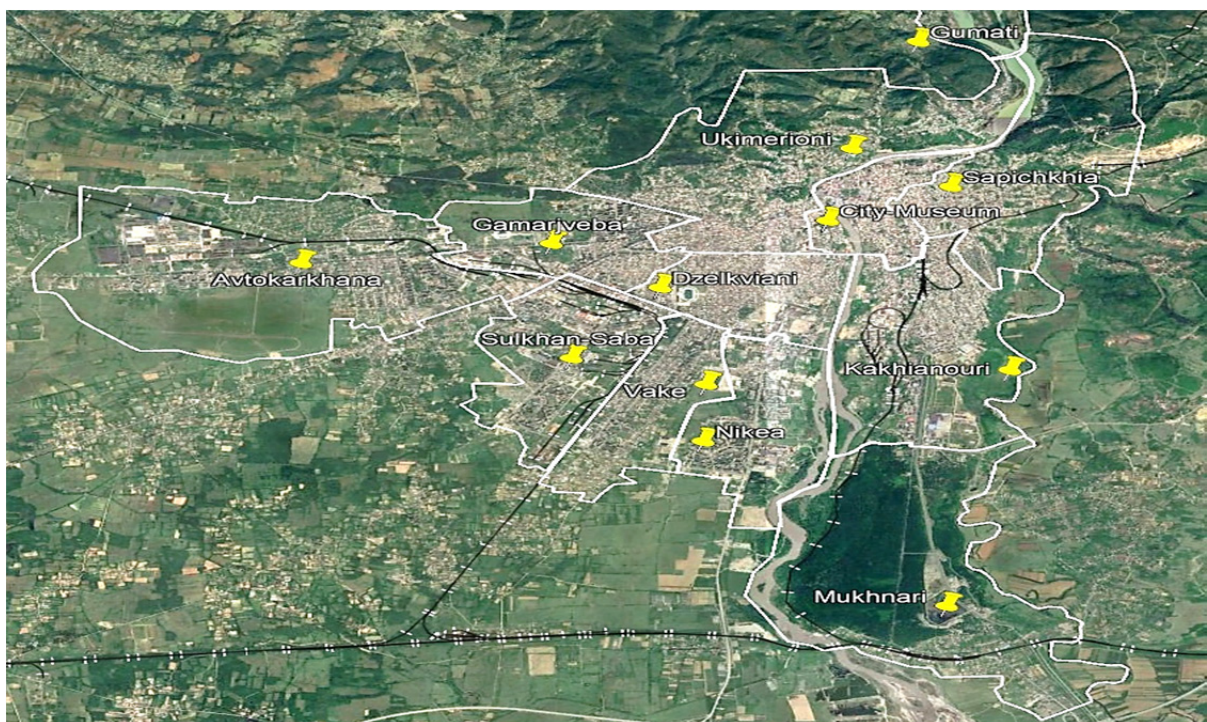
ქ. ქუთაისი საქართველოს სიდიდით მეორე ქალაქია. მას გააჩნია მნიშვნელოვანი ადმინისტრაციული, საერთაშორისო, სამედიცინო – გამაჯანსაღებელი და ტურისტული დაწესებულება, ყოველწლიურად მას სტუმრობს ასეულ ათასობით ადამიანი. ქალაქის ფუნქციიდან გამომდინარე, გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლას, შეფასებას, დაბინძურების დონის დიაგნოსტიკურ პროგნოზს და ჰაერის სისუფთავის მაღალი დონის შენარჩუნებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ამავე დროს, უნდა აღინიშნოს, რომ დაკვირვების ორ პუნქტში ჩატარებული მონიტორინგს არ ძალუძს სრულად ასახოს ქალაქის ჰაერის სისუფთავის სრული მდგომარეობა ისეთი რთული რელიეფის ქალაქში, როგორიცაა ქუთაისი. ქ. ქუთაისში მიკროაეროზოლების მონიტორინგი იწყება 2018 წლიდან და ხორციელდება დაკვირვების ორ სტაციონალურ პუნქტში. დაკვირვების პუნქტის მონაცემების მიხედვით ქუთაისი არ მიეკუთვნება მსოფლიოს ძლიერ დაბინძურებული

ქალაქების რიცხვს [11, 12], თუმცა, ცალკეულ შემთხვევებში ჰაერში მათი კონცენტრაცია აჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობას [11, 13, 14]. ამიტომ, წარმოდგენილ სტატიაში, ზემოთ აღნიშნული პრობლემის დასაძლევად, ატმოსფეროში მინარევის გავრცელების კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით სიმულირებული და გაანალიზებულია ქ. ქუთაისსა და მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფეროში ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი და ჰაერში ემისირებული PM_{2.5}-ის გავრცელებისა და დროში ცვლილების ხასიათი.

კვლევის მეთოდი. კავკასიაში მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების 3D მოდელისა და ატმოსფეროში პასიური დამაბინძურებელი მინარევების გავრცელების განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით [15-17] რიცხობრივად სიმულირებულია ავტოტრანსპორტის მიერ გაფრქვეული PM_{2.5}-ის გავრცელება ქ. ქუთაისის ჰაერში.

რიცხვითი მოდელირების შედეგები. PM_{2.5} აეროზოლების გავრცელება მოდელირდება 13.4×13.4×9 კმ³ სივრცულ არეში (ნახ. 1), რომლის ცენტრში მოთავსებულია ქ. ქუთაისი. მოდელირების არეში ოროგრაფიის სიმაღლე იცვლება 80 მ-დან 400 მ-მდე. მათემატიკური მოდელის [17, 18] განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირება განხორციელებულია შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობების გამოყენებით. რიცხვითი ბადის ბიჯები ჰორიზონტალური მიმართულებით 200 მ-ია, ვერტიკალური მიმართულებით თავისუფალ ატმოსფეროში-300 მ. ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ სისქის ფენაში ვერტიკალური ბიჯები იცვლება 0.3-დან 15 მ-მდე. დროითი ბიჯი 1 წმ-ია. გამოთვლები ჩატარებულია 3 დღე-ღამის პერიოდისათვის.

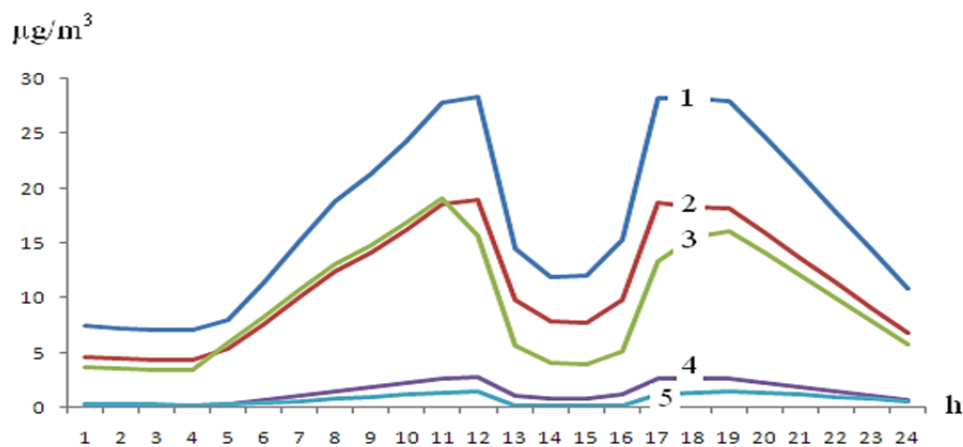
მოდელირებულია დეკემბრის თვეში ქ. ქუთაისის ატმოსფეროს PM – ით დაბინძურების შემთხვევა. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის სიმაღლეზე (100 მ) ადგილი აქვს შტილურ სიტუაციას – ფონური ქარის სიჩქარე 0 მ/წმ-ია. მიწისპირა ფენის ზევით ქარი დასავლეთისაა, მისი სიჩქარე წრფივად იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად



ნახ. 1. ქ. ქუთაისის რელიეფი, ადმინისტრაციული ერთეულები და ურბანული განაშენიანება.

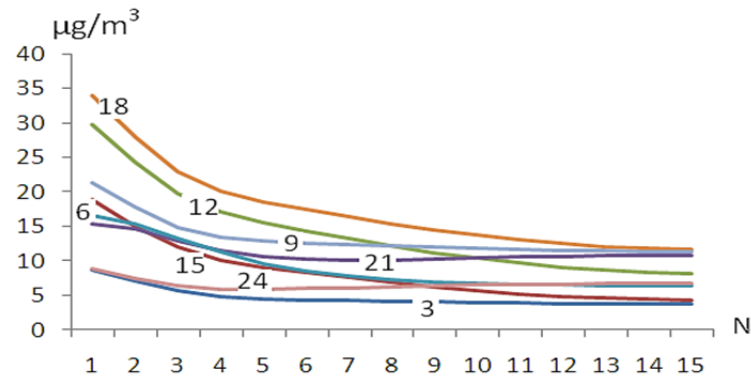
დაშვებულია, რომ ატმოსფეროს PM2.5 დაბინძურება ხდება ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად ქალაქისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე. აეროზოლი გაიფრქვევა მიწის ზედაპირიდან 0.3 მ სიმაღლეზე 5 ტიპის არეში: ავტომაგისტრალების, ქალაქის ცენტრალური ქუჩების, საცხოვრებელი, სამრეწველო ზონებისა და მიმდებარე სოფლების დაუსახლებელ ტერიტორიებზე. გაფრქვევის სიჩქარე სხვადასხვა უბანში, პერიოდულია 24 სთ-ით და პროპორციულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის. ის მინიმალურია 0-4 სთ დროის ინტერვალში, შემდეგ წრფივად იზრდება 4-დან 10 სთ-მდე 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.

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია PM2.5-ის გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციების დროში ცვლილების გრაფიკები დაბინძურების 5 ძირითადი ტიპის პუნქტისათვის. ნახ. 2-დან ჩანს, რომ კონცენტრაციის დროში ცვლილება თვისობრივად ერთნაირია დაბინძურების ყველა ტიპის პუნქტისათვის და ხასიათდება ორი დიდი და ორი მცირე მნიშვნელობების ინტერვალებით. კონცენტრაციის დიდი მნიშვნელობები მიღებულია დაახლოებით 11-13 სთ და 17-19 სთ დროის ინტერვალებში, ხოლო მცირე – 0-4 სთ და 13-16 სთ ინტერვალებში. უნდა აღინიშნოს, რომ კონცენტრაციათა დროში ცვლილება, ერთნაირი მეტეოროლოგიური და დაბინძურების პირობების დროს, ზაფხულისა [17] და ზამთრის სეზონში თვისობრივად ერთნაირი და რაოდენობრივად განსხვავებულნი არიან. განსხვავება მდგომარეობს მაღალი დაბინძურების დადგომის პერიოდში. მაქსიმალური დაბინძურება ზაფხულის სეზონში [17], ზამთრის სეზონთან შედარებით, მიიღება დაახლოებით 2-3 სთ-ით ადრე დღის პირველ ნახევარში, და 2-3 სთ-ით გვიან – დღის მეორე ნახევარში. აღნიშნული ეფექტი დაკავშირებულია ატმოსფეროს თერმული მდგრადობის დროში ცვლილებასთან. ზაფხულის სეზონში, დილით ადრე სწრაფად ცივდება ნიადაგის ზედაპირი და მასთან არსებული ატმოსფეროს მიწისპირა ფენა, შესაბამისად მცირდება ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი $\gamma = \partial T / \partial z$ (T არის ტემპერატურა, z – ვერტიკალური კოორდინატია), იზრდება თერმული მდგრადობის კოეფიციენტი $S = \gamma_a - \gamma$ (γ_a მშრალი ადიაბატური გრადიენტი).

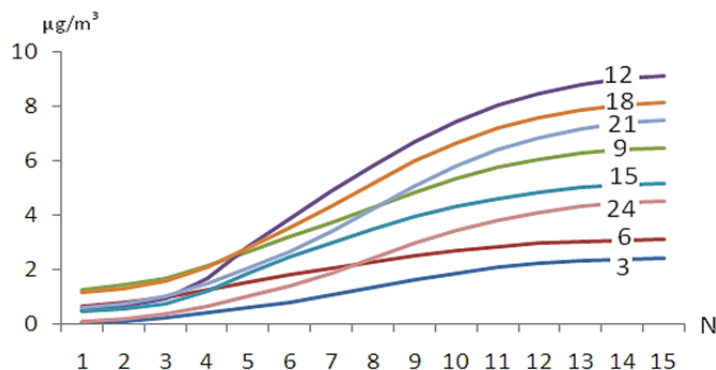


ნახ. 2. გამოთვლებით მიღებული PM2.5-ის კონცენტრაციების დროში ცვლილება ავტომაგისტრალის (1), ქალაქის ცენტრალური ქუჩის (2), სამრეწველო (3), სასოფლო (4) ზონები და დაუსახლებელ (5) პუნქტში მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე.

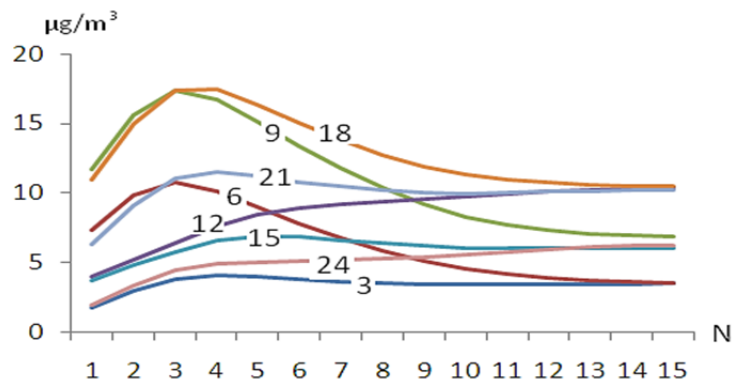
შედეგად, ჰაერის მიწისპირა ფენა ხდება დინამიკურად უფრო მდგრადი და ნაკლებად ტურბულიზებული. ტურბულენტობის შემცირებას თან სდევს გამონაბოლქვი აეროზოლის ინტენსიური დაგროვება მიწისპირა ფენის ქვედა ნაწილში და დაბინძურების დონის გაზრდა. ანალოგიურ პროცესს აქვს ადგილი ზაფხულის სეზონში დღის მეორე ნახევარში, დაახლოებით 19-დან -20 სთ-მდე ინტერვალში. კონცენტრაციათა დროში ცვლილების ხასიათი სხვადასხვაა გაფრქვევათა სხვადასხვა ტიპის უბნისათვის. ავტომაგისტრალზე, ქალაქის ცენტრალურ ქუჩებზე და სამრეწველო უბანში მდებარე პუნქტებში 2 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციის წრფივი და სწრაფი ზრდა დილით გრძელდება 11 სთ-მდე, ე.ი. გაფრქვევის სიჩქარის ზრდასთან შედარებით 1 სთ-ით მეტ ხანს. შემდეგ, ავტომაგისტრალზე და ქალაქის ცენტრალურ ქუჩებზე 11-დან 12 სთ-მდე, მიღებულია კონცენტრაციის სუსტი ზრდა, სამრეწველო უბანში მდებარე პუნქტში – კონცენტრაციის ინტენსიური შემცირება. სასოფლო-სამეურნეო ზონებსა და დაუსახლებელ პუნქტებში კონცენტრაციის წრფივი ზრდა გრძელდება 12 სთ-მდე. 12-დან 17 სთ-მდე აეროზოლის გაფრქვევის სიჩქარე მუდმივია. მიუხედავად ამისა, ყველა ტიპის პუნქტში, ადგილი აქვს კონცენტრაციის დროში პარაბოლის მაგვარ ცვლილებას, რომლის მინიმალური მნიშვნელობა მიიღება დღის 14-დან 15 სთ-მდე. ფიზიკურად, კონცენტრაციის დროში აღნიშნული ცვლილება დაკავშირებულია ქვეფენილი ზედაპირისა და მასთან მდებარე ჰაერის მასის თერმული ურთიერთქმედებასთან, რომლის დროსაც იცვლება ატმოსფეროს სტრატეფიკაცია და ჰაერის ტურბულიზაციის ხასიათი. 17-19 სთ-ის შემდგომ 24 სთ-მდე კონცენტრაციის დროში ცვლილება, დღის 12 სთ-მდე მიღებული ცვლილების საპირისპიროა და განპირობებულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობისა და ატმოსფეროში გაფრქვევების დროში ცვლილებით.



ნახ. 3. PM_{2.5} კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება ავტომაგისტრალზე მდებარე პუნქტში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში 3, 6, ..., 24 სთ. (N ვერტიკალური რიცხვითი ბადის ნომერი).



ნახ. 4. PM_{2.5} კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ტერიტორიაზე მდებარე პუნქტში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში 3, 6, ..., 24 სთ. (N ვერტიკალური რიცხვითი ბადის ნომერი).



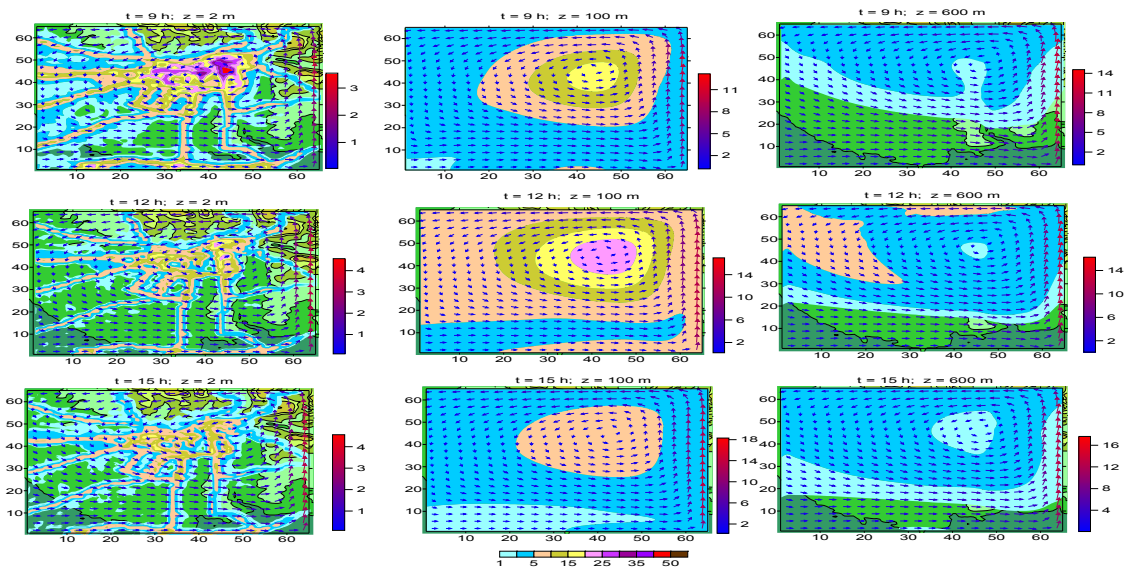
ნახ. 5. PM2.5 კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება სამრეწველო დანიშნულების ტერიტორიაზე მდებარე პუნქტში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში 3, 6,..., 24 სთ. (N ვერტიკალური რიცხვითი ბადის ნომერი).

ნახ. 3-5-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციის მნიშვნელობები ვერტიკალური ბადის წერილებში ავტომაგისტრალის, სამრეწველო და სასოფლო ტერიტორიაზე მდებარე პუნქტებში. ნახ. 3-5-დან ჩანს, რომ აღნიშნულ პუნქტებში კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება მნიშვნელოვნად განსხვავდება, როგორც თვისობრივად ისე რაოდენობრივად. ავტომაგისტრალზე მდებარე პუნქტში, დროის ნებისმიერ მომენტში, კონცენტრაციის მნიშვნელობები მაქსიმალურია (9-34 მკგ/მ³) ქვეფენილი ზედაპირის უშუალო სიახლოვეს მდებარე N =1 წერტილში (0.3 მ) და მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად. შემცირება ინტენსიურია ქვედა 10 მ სისქის ფენაში (N = 5). 10 მ ზევით კონცენტრაციის შემცირება მიმდინარეობს უფრო გლუვად და 100 მ სიმაღლეზე (N=16) მისი მნიშვნელობები იცვლება 4-10 მკგ/მ³ ფარგლებში.

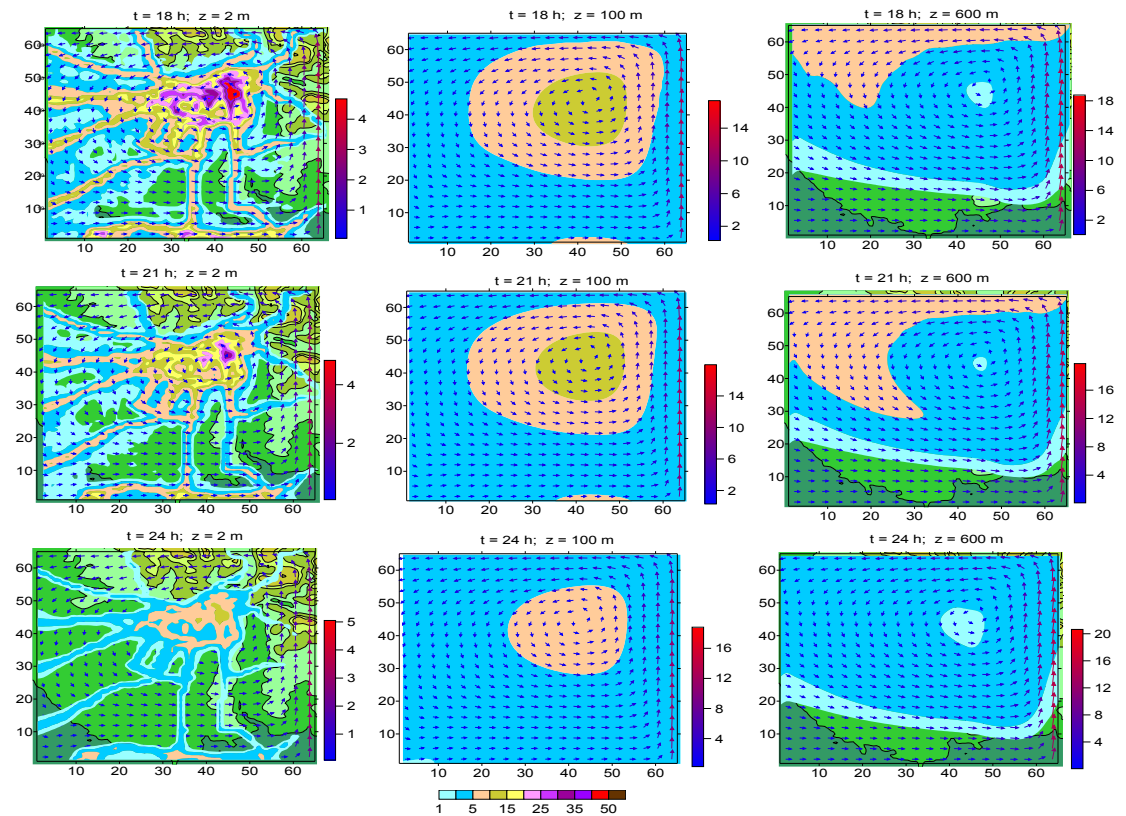
საპირისპიროა კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება სასოფლო დანიშნულების პუნქტში (ნახ 4). ის მინიმალურია ქვეფენილი ზედაპირის უშუალო სიახლოვეს (0-1.2 მკგ/მ³), იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 12, 18 და 21 სთ-ზე 100 მ სიმაღლეზე ხდება 9, 8 და 7.5 მკგ/მ³-ის ტოლი, შესაბამისად. კონცენტრაციის აღნიშნული ზრდა გამოწვეულია ძლიერი დაბინძურების წყაროდან ვერტიკალურად გადატანილი აეროზოლის შემდგომი ჰორიზონტალური დიფუზიით.

მეტად საინტერესოა სამრეწველო რაიონში მდებარე პუნქტის თავზე კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილების სურათი (ნახ. 5). მისთვის დამახასიათებელია კონცენტრაციის ზრდა მთელს მიწისპირა ფენაში დღის 0 დან 4 სთ-მდე ინტერვალში და 12 სთ-ისთვის. ამასთან, კონცენტრაცია შედარებით სწრაფად იზრდება ქვედა 10 მეტრიან ფენაში და შედარებით სუსტად – მის ზევით. დროის დანარჩენი მომენტისათვის კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილების გრაფიკს აქვს მკაფიოდ გამოხატული „ბურცობის“ ფორმა მიწის ზედაპირიდან 3-10 მ-ის ფარგლებში. ამ ფენაში კონცენტრაციის მნიშვნელობები ვარიირებს 10-დან 17.5 მკგ/მ³-მდე.

ნახ. 6 და 7-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის ველები დროის ორ ინტერვალში – კონცენტრაციის ზრდისა და შემცირების დროს მიწის ზედაპირიდან 2, 10 და 600 მ სიმაღლეებზე. ამ ნახაზებიდან ჩანს რომ ქ. ქუთაისის რელიეფის ზემოქმედება ფონური ქარის შტილის დროს წარმოშობს ქარის სიჩქარის ლოკალურ ციკლონურ გრიგალს. გრიგალი კვაზისტაციონალურია. მისი ცენტრი მდებარეობს ქ. ქუთაისის ჩრდილო-აღმოსავლეთით არსებულ რთული რელიეფის მქონე ქალაქი-მუზეუმის, უქიმერიონისა და ძელქვიანის ადმინისტრაციული ერთეულების ტერიტორიებზე.



ნახ. 6. $PM_{2.5}$ -ის კონცენტრაციის ($\mu\text{გ}/\text{მ}^3$) და ქარის სიჩქარის ($\text{მ}/\text{წმ}$) ველის განაწილება მიწის ზედაპირიდან 2, 100 და 600 მ სიმაღლეებზე $t = 9, 12$ და 15 სთ.



ნახ. 7. $PM_{2.5}$ -ის კონცენტრაციის ($\mu\text{გ}/\text{მ}^3$) და ქარის სიჩქარის ($\text{მ}/\text{წმ}$) ველის განაწილება მიწის ზედაპირიდან 2, 100 და 600 მ სიმაღლეებზე $t = 18, 21$ და 24 სთ.

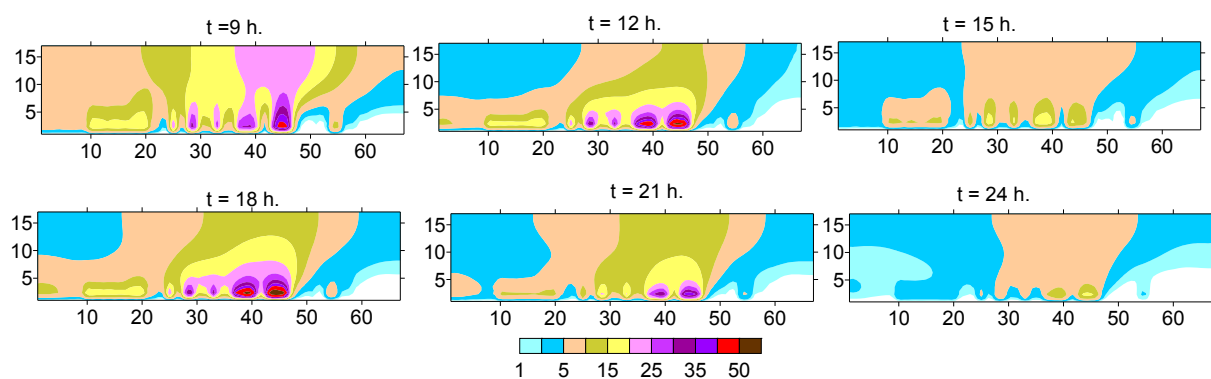
ქარის სიჩქარის ციკლონური გრიგალი ქმნის $PM_{2.5}$ -ის შესაბამის სივრცულ განაწილებას. ციკლონური ცირკულაციის დამახასიათებელი კონვერგენციის პროცესი ქვეფენილი ზედაპირის თავზე ახდენს აეროზოლის დაგროვებას ციკლონის ცენტრში ქალაქიმუზეუმის, ძელქვიანისა და უქიმირონის ადმინისტრაციული ერთეულების მიდამოებში. ამ ტერიტორიებზე მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე დილის 9 სთ-ზე კონცენტრაციის მნიშვნელობა აჭარბებენ $25 \mu\text{გ}/\text{მ}^3$ და აღწევს $50 \mu\text{გ}/\text{მ}^3$ -ს (ნახ. 6). სიმაღლის ზრდასთან ერ-

თად იზრდება აეროზოლის ჰორიზონტალური გავრცელების არე და მცირდება კონცენტრაცია. მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციის იზოზოლებს გააჩნია წრიული ფორმა ციკლონის ცენტრის თავზე, სადაც მისი მნიშვნელობა 15-25 მკგ/მ³-ია. ცენტრიდან დაშორებისას კონცენტრაციის მნიშვნელობა მცირდება 5 მკგ/მ³-მდე და თვითონ იზოზოლები თანდათანობით ღებულობს ოთხკუთხედის ფორმას. უფრო მაღლა, მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე, კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა არ აღემატება 5მკგ/მ³ – ს. ციკლონის „თვალის“ მიდამოებში კონცენტრაცია 1-2.5 მკგ/მ³-ია.

12 სთ და 15 სთ-ზე მიწისპირა კონცენტრაციების ჰორიზონტალური განაწილება ძირითადად ერთმანეთის მსგავსია. კონცენტრაციის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები 15-25 მკგ/მ³ მიღებულია ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში, გამარჯვებისა და სულხან-საბას ადმინისტრაციულ ერთეულების მცირე ზომის არეებში. მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე ვერტიკალური გადატანის შედეგად ადგილი აქვს კონცენტრაციის ზრდას, რომელიც მიმდინარეობს დაახლოებით 3-4 სთ ფაზური ჩამორჩენით და 12 სთ-ზე ქმნის მნიშვნელოვან არეს სადაც კონცენტრაციის მნიშვნელობები იცვლებიან 20-25 მკგ/მ³ -ის ფარგლებშია. მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე კონცენტრაცია იცვლება 1-10 მკგ/მ³-ის მიდამოებში, თანაც ისე რომ მაღალი მნიშვნელობები მიღებულია მოდელირების არის დასავლეთ და ჩრდილოეთ ნაწილში. აღნიშნული ეფექტი მიუთითებს ამ დონეზე დივერგენციული გადატანის ეფექტის წვლილის ზრდას.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული კონცენტრაციის იზოზოლები 18, 21 და 24 სთ. ნახ. 7-დან ჩანს, რომ კონცენტრაციის განაწილების სურათი მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე მსგავსია 9-15 სთ-თვის მიღებული განაწილების სურათის (ნახ. 6), უფრო მაღალ დონეებზე ადგილი აქვს გარკვეულ თვისობრივ და რაოდენობრივ განსხვავებას. თუკი 100 მ სიმაღლეზე 9-დან 12 სთ-მდე აეროზოლის კონცენტრაცია იზრდება 5-10 მკგ/მ³-ით, 15-დან 18 სთ-მდე დროის ინტერვალში კონცენტრაციის ზრდა არ აღემატება 5 მკგ/მ³.

ნახ. 8 ზე ნაჩვენებია ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მოდელირებით მიღებული PM2.5-ის კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში გამავალ ზონალურ კვეთაში.



ნახ. 8. PM2.5 -ის კონცენტრაციების (მკგ/მ³) განაწილება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ქალაქის ცენტრში გამავალ პარალელის გასწვრივ არსებულ ვერტიკალურ კვეთაში.

ნახ. 8-დან ჩანს, რომ ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 გავრცელება მიმდინარეობს როგორც ტურბულენტური დიფუზიის ასევე ადვექციური და კონვექციური პროცესების შედეგად. ამ პროცესების როლის მნიშვნელობა სხვადასხვაა დროის სხვადასხვა მომენტებში. დილის

9 სთ-თვის მნიშვნელოვანია კონვექციური პროცესის გავლენა აეროზოლის გავრცელებაზე ვერტიკალური კვეთის ცენტრალურ ნაწილში. 12 სთ და 18 სთ-ზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ქვედა 40-50 მ სისქის ფენაში აეროზოლის გავრცელებაში აქტიური როლს თამაშობენ ტურბულენტური და ადვექციური პროცესები.

დასკვნა

რიცხვითი მოდელირებით გამოკვლეულია ქ. ქუთაისის ტერიტორიაზე ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი PM_{2.5}-ის სივრცული განაწილებისა და დროში ცვლილების თავისებურება ზამთრის სეზონში მიწისპირა შტილის და თავისუფალ ატმოსფეროში დასავლეთის ფონური ქარის დროს. გამოთვლებით მიღებულია, რომ ზამთრის სეზონში მეზომასშტაბის რეგიონის რელიეფის ურთიერთქმედება ფონურ დასავლეთის ქართან წარმოშობს მეზომასშტაბის ქარის სიჩქარის ციკლონურ ცირკულაციას. ფორმირებული დინამიკური და თერმობარული ველები ახდენენ გავლენას ატმოსფეროში ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად გაფრქვეული აეროზოლის სივრცულ განაწილებაზე. მოდელირების შედეგად მიღებულია PM_{2.5}-ის კონცენტრაციის სივრცული განაწილების სურათები, განსაზღვრულია კონცენტრაციის დროში ცვლილების ხასიათი, როგორც ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ასევე სასაზღვრო ფენაში. ნაჩვენებია, რომ კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება და დროში ცვლილება დამოკიდებულია როგორც აეროზოლის გაფრქვევის სიჩქარეზე და ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობაზე, ასევე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის კინემატიკაზე და ქვეფენილ ზედაპირზე თერმული რეჟიმის დღეღამური ცვლილებით ფორმირებულ ლოკალურ ცირკულაციურ სისტემაზე. განსაზღვრულია ქალაქის და მიმდებარე ტერიტორიებზე მაღალი და საშუალო დაბინძურების დონეები და მათი მდებარეობის ცვლილება დღე-ღამის განმავლობაში.

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

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Hong H., Choi H., Jeon H., Kim Y., Jae-Bum Lee, Park C. H., Kim H. S. An air pollutants prediction method integrating numerical models and artificial intelligence models targeting the area around Busan port in Korea. *Atmosphere*, 13(9), 2022, 1462; <https://doi.org/10.3390/atmos13091462>.
2. Udristoiu M., Mghouchi Y., Yildizhan H. Prediction, modelling, and forecasting of PM and AQI using hybrid machine learning. *Journal of Cleaner Production*, Volume 421, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138496>Get rights and content.
3. Draper E., Whyatt J., Taylor R., Metcalfe S. Estimating background concentrations of PM_{2.5} for urban air quality modelling in a data poor environment. *Atmospheric Environment*, Volume 314, 2023, 120107. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120107>Get rights and content. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91253-9>.
4. Chae S., Shin J., Kwon S., Lee S., Kang S., Lee D. PM₁₀ and PM_{2.5} real-time prediction models using an interpolated convolutional neural network. *Scientific Reports*, volume 11, 11952, 2021. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91253-9>.
5. Deters J., Zalakeviciute R., Gonzalez M., Rybarczyk Y. Modeling PM_{2.5} urban pollution using machine learning and selected meteorological parameters. machine intelligence in signal sensing, processing, and recognition. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5106045>.

6. World Health Organization. Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air-REVIHAAP Project. 2022. First result. <https://media.xpair.com › pdf › REVIHAAP>
7. Mortality and burden of disease from ambient air pollution-WHO. 2020. https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/.
8. Integrated Science for Particulate Matter. EPA. United States Environmental Protector Agency, 2019, p. 1967. EPA/600/R-19/188. www.epa.gov/isa.
9. Agrawal G., Mohan D., Rahman H. Ambient air pollution in selected small cities in India: observed trends and future challenges. IATSS Research. 45, Issue 1, 2021, pp. 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.03.004>.
10. Kobza J., Geremek M., Dul L. Characteristics of air quality and sources affecting high levels of PM10 and PM2.5 in Poland, Upper Silesia urban area. Environmental Monitoring and Assessment. 190, Article number: 515, 2018.
11. Environmental pollution, 2021. https://air.gov.ge/reports_page
12. World's most polluted cities (historical data 2017-2022). <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>.
13. Amiranashvili, A. G., Kirkitadze, D. D., Kekenadze, E. N. Pandemic of Coronavirus COVID-19 and Air Pollution in Tbilisi in Spring 2020. Journals of Georgian Geophysical Society, 23(1), 2020. <https://doi.org/10.48614/ggs2320202654>.
14. ნ. გიგაური, ა. სურმავა, ვ. კუხალაშვილი, ლ. ინჭკირველი, ნ. ბეგლარაშვილი. ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM2.5 და PM10-ის გავრცელების გამოკვლევა ექსპერიმენტული დაკვირვებებით. სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, ტ.135, 2024, გვ. 82-87. [Doi.org/10.36073/1512-0902-2024-135-82-87](https://doi.org/10.36073/1512-0902-2024-135-82-87).
15. Surmava A., 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, 08(07), 2020, pp. 1222-1228. <https://doi.org/10.4236/jamp.2020.87092>.
16. Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V. numerical modeling of the transborder, regional and local diffusion of the dust in Georgian atmosphere. Publishing House, Technical University, Tbilisi, Georgia. ISBN 978-9941-28-810-4, 2021, p.139. <http://www.gtu.ge> (in Georgian).
17. სურმავა ა., ინჭკირველი ლ., გიგაური ნ. PM2.5 და PM 10 მიკროაეროზოლი ქ. თბილისის ატმოსფეროში. თბილისი, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა, 2021, 94 გვ.
18. Gigauri N., Intskirveli L., Surmava A., Kukhalashvili V. The results of Kutaisi city atmospheric air pollution with PM particles. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 18, no. 3, 2024, pp. 90-96.

ქ. ქუთაისის ჰაერის PM2.5-ით დაბინძურების სიმულაცია მიწისპირა შტილისა და თავისუფალ ატმოსფეროში ბაროკლინური დასავლეთის ქარის შემთხვევაში

სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინჭკირველი ლ., სესაძე ვ.

რეზიუმე

შეფასებულია ავტოტრანსპორტის მიერ გაფრქვეული მიკროაეროზოლის (PM2.5) გავრცელება ქ. ქუთაისის ჰაერში ზამთარში ფონური შტილური მეტეოროლოგიური პირობების დროს. გამოთვლები ჩატარებულია კავკასიაში მეზო მასშტაბის ატმოსფერული პროცესების სამგანზომილებიანი (3D) მოდელისა და ატმოსფეროში პასიური დამაბინძურებელი მინარევების გავრცელების განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით. მიღებული მონაცემების ბაზაზე აგებულია ქალაქის სხვადასხვა პუნქტში PM2.5-ის კონცენტრაციის მნიშვნელობების დროში ცვლილების გრაფიკები. აღმოჩნდა, რომ ქალაქის ატმოსფეროში PM2.5-ის მიწის დონეზე კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად მაღალია დილის 7-დან 9 საათამდე და საღამოს 8-დან 9 საათამდე. აგებულია PM2.5-ის სივრცითი განაწილების იზოხაზები ატმოსფეროს ზედაპირულ და სასაზღვრო ფენებში. ნაჩვენებია, რომ ქუთაისისა და მიმდებარე ტერიტორიის რელიეფი განსაზღვრავს ქარის სიჩქარის ციკლონური მორევების

წარმოქმნას ხმელეთზე. მიღებულია, რომ აეროზოლის გავრცელების პროცესი დამოკიდებულია დინამიურ ველებზე, ტერიტორიის ოროგრაფიასა და ზედაპირული ფენის თერმულ რეჟიმზე. განისაზღვრა ქალაქსა და მიმდებარე ტერიტორიებზე ჰაერის დაბინძურების მაღალი და საშუალო დონეები, ასევე მათი მდებარეობის ცვლილებები დღის განმავლობაში.

საკვანძო სიტყვები. PM2.5, ატმოსფერო, დაბინძურება, რიცხვითი მოდელირება.

MODELING OF AIR POLLUTION IN C. KUTAISI PM2.5 UNDER CALM CONDITIONS ON LAND AND BAROCLINIC WESTERLY WINDS IN THE FREE ATMOSPHERE

Surmava A., Gigauri N., Kukhalashvili V., Intskirveli L., Sesadze V.

Abstract

An assessment was made of the spread of microaerosol (PM2.5) emitted by motor vehicles in the air of Kutaisi in the winter period under background calm meteorological conditions. The calculations were performed by jointly integrating a three-dimensional (3D) model of mesoscale atmospheric processes in the Caucasus and the equation for the distribution of passive pollutants. Based on the data obtained, graphs of changes in PM2.5 concentration values over time at various points in the city were constructed. It was found that in the city's atmosphere, ground-level concentrations of PM2.5 are significantly higher between 7 and 9 a.m. and between 8 and 9 p.m. Isolines of spatial distribution of PM2.5 in the surface and boundary layers of the atmosphere are constructed. It is shown that the relief of Kutaisi and the adjacent territory determines the formation of a cyclonic vortex of wind speed on land. It is accepted that the process of aerosol propagation depends on dynamic fields, the orography of the territory and the thermal regime of the surface layer. High and medium levels of air pollution in the city and surrounding areas, as well as changes in their location during the day, were determined.

Key words: PM2.5, atmosphere, pollution, numerical modelling.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА Г. КУТАИСИ PM2.5 В УСЛОВИЯХ ШТИЛЯ НА СУШЕ И БАРОКЛИННЫХ ЗАПАДНЫХ ВЕТРОВ В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Сурмава А., Гигаури Н., Кухалашвили В., Инцкирвели Л., Сесадзе В.

Реферат

Проведена оценка распространения микроаэрозоля (PM2.5), выбрасываемых автотранспортом, в воздухе г. Кутаиси в зимний период при фоновых спокойных метеорологических условиях. Расчеты выполнены путем совместной интеграции трехмерной (3D) модели мезомасштабных атмосферных процессов на Кавказе и уравнения распределения пассивных загрязняющих веществ. На основании полученных данных построены графики изменения значений концентрации PM2.5 во времени в различных точках города. Получено, что в атмосфере города приземные концентрации PM2.5 значительно выше в период с 7 до 9 часов утра и с 20 до 21 часа вечера. Построены изолинии пространственного распределения PM2.5 в приземных и пограничных слоях атмосферы. Показано, что рельеф Кутаиси и прилегающей территории определяет формирование циклонического вихря скорости ветра на суше. Принято, что процесс распространения аэрозоля зависит от динамических полей, орографии территории и термического режима приземного слоя. Определены высокие и средние уровни загрязнения атмосферы в городе и прилегающих территориях, а также изменение их расположения в течение суток.

Ключевые слова: PM2.5, атмосфера, загрязнение, численное моделирование.