

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნათია გიგაური

ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობის ქარხნიდან გაფრქვეული აეროზოლების
გავრცელების მოდელირება და მისი ეკოლოგიური შეფასება

სადოქტორო პროგრამა - ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი - 0410

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2019 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტი,
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის
გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელები: პროფესორი ლეილა გვერდწითელი

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა

დოქტორი ალექსანდრე სურმავა

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება 2019 წლის ”-----“ -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა: სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან გაფრქვეული სამრეწველო აეროზოლების ზეგავლენით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასებას. სამეცნიერო ლიტერატურული მასალების ანალიზის შედეგად სამრეწველო რეგიონებიდან ეკოლოგიურად დაბინძურებულ ერთ-ერთ რეგიონს მიეკუთვნება ქალაქი ზესტაფონი, სადაც ფუნქციონირებს ფეროშენადნობთა ქარხანა, ასფალტის წარმოება, ლითონჩანართიანი წიდის სეპარაცია, სამშენებლო მასალების წარმოება და სხვა ფეროშენადნობთა წარმოება, რომელთა სამრეწველო გამონაფრქვევებით ბინძურდება გარემოს ობიექტები, მათ შორის ატმოსფერული ჰაერი, რაც უარყოფით ზემოქმედებას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. „ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ“ საქართველოს კანონის მიხედვით ატმოსფერულ ჰაერზე მავნე ანთროპოგენული ზემოქმედების შესწავლისათვის საჭიროა გარემოს ობიექტების დაბინძურების ინტეგრირებული კონტროლისა და ეკოლოგიური მონიტორინგის ორგანიზება. ამიტომ ფეროშენადნობთა ქარხნიდან გაფრქვეული ორგანიზებული და არაორგანიზებული სამრეწველო აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების, მათ შორის მტვრის კონცენტრაციის მნიშვნელობების ზეგავლენის შესწავლა თვით ქ. ზესტაფონისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფერული ჰაერის ეკოლოგიური მდგომარეობის შესაფასებლად მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანი: ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლის შედეგად ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელი წყაროებისა და ნივთიერებების დადგენა, ორგანიზებული და არაორგანიზებული სამრეწველო აეროზოლის ზეგავლენის შესწავლა გარემოს ობიექტებზე, ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება და მათი ზემოქმედების პროგნოზირება.

კვლევის ძირითადი ამოცანები: ფეროშენადნობთა ქარხნის სამუშაო ზონაში და ქ. ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების (CO, SO₂, NO₂, MnO₂ და მტვრის) კონცენტრაციათა მნიშვნელობების განსაზღვრა.

სამუშაოში პრიორიტეტულად გამოისახა სამრეწველო მტვრის კონცენტრაციათა განსაზღვრა და გავრცელება ქ. ზესტაფონის გაბატონებული ფონური ქარების მიმართულებით.

კვლევის მეთოდები: ფეროშენადნობი ქარხნის სამუშაო ზონისა და ქ. ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში მტვრისა და მანგანუმის კონცენტრაცია განისაზღვრა ASA-4M ტიპის ასპირატორის, ანალიზური ფილტრის AΦA-XII-20-1 და ფილტრდამჭერი - ალონჟი IPA-20-1 საშუალებით. ხოლო ნახშირბადის ოქსიდის, გოგირდის დიოქსიდისა და აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის განსაზღვრა განხორციელდა ექსპრეს მეთოდით ინდიკატორული მილის გამოყენებით ISO 8761 საერთაშორისო სტანდარტის მიხედვით.

მეცნიერული სიახლე: ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა სამრეწველო მტვრის კონცენტრაციის მნიშვნელობათა გავრცელების მათემატიკური და რიცხვითი მოდელი ატმოსფერულ ჰაერში და ნიადაგის ზედაპირზე ქ. ზესტაფონში გაბატონებული ფონური ქარების მიმართულებით. მოდელში მტვრის გავრცელება აღიწერება უწყვეტ გარემოში პასიური ინგრედიენტის გადატანა-დიფუზიის განტოლების საშუალებით რაიონის რელიეფის სირთულის გათვალისწინებით.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა: სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი ჩატარებული კვლევების შედეგების საფუძველზე მტვრის გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ლიხის ქედის, მდინარე ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების ოროგრაფია, ამიტომ დამაბინძურებელი წყაროდან დიდ მანძილზე დალექილი მტვრის სიმკვრივე უმნიშვნელოა. ძლიერი და სუსტი ქარის შემთხვევაში მტვრის გავრცელების პროცესი თვისობრივად ანალოგიურია, მხოლოდ განსხვავებულია რაოდენობრივად, ძლიერი ქარის

შემთხვევაში მტვრის გადატანა ხდება უფრო სწრაფად. ყველა განხილულ შემთხვევაში მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია ქალაქის თავზე, ხოლო მცირდება დაბინძურების წყაროდან დაცილებით.

ფეროშენადნობთა ქარხნის №1 და №4 საამქროების აირდამჭერი დანადგარის აირაციული ფანრებიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული მტვრის ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელის მიხედვით ატმოსფეროს მიწისპირა არეში მტვრის კონცენტრაცია ფონური ბაროკლინური ქარის დროს უფრო მეტია, ვიდრე ფონური შტილის დროს, რაც გამოწვეულია ვერტიკალური ტურბულენტობით.

ქ. ზესტაფონისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების რიცხვითი მოდელის მიხედვით მიწის ზედაპირზე დაფენილი მტვრის მაქსიმალური რაოდენობა აღინიშნება ქალაქის ტერიტორიაზე და ვრცელდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მიმართული ზოლის სახით.

ჩატარებული კვლევითი სამუშაოს შედეგად ექსპერიმენტალურად მიღებული და დამუშავებული მტვრის გავრცელების მათემატიკური და რიცხვითი მოდელი შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ნებისმიერი სამრეწველო რეგიონის ატმოსფერულ ჰაერში აეროზოლების გავრცელების, კანონზომიერების ალბათობის, კვლევისა და დაბინძურების პროგნოზირებისათვის.

პუბლიკაციები: დისერტაციის ნაშრომი წარმოდგენილია 3 საერთაშორისო კონფერენციაზე (მათ შორის იტალია და რუსეთი); გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია.

აპრობაცია: დისერტაციის ნაშრომის ძირითადი დებულებები განხილულ იქნა იტალიაში, ქ.ნეაპოლში 26-ე საერთაშორისო კონფერენციაზე ჰაერის დაბინძურების მოდელირება, მონიტორინგი და მართვა, აგრეთვე ვორონეჟში მე-13 საერთაშორისო ლანდშაფტურ კონფერენციაზე რეგიონის ბუნებრივი გარემოს ოპტიმიზაციის თანამედროვე ლანდშაფტური და ეკოლოგიური პირობები და პრობლემები.

სადოქტორო ნაშრომის მასალები წარმოდგენილი იყო ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური და ბიოტექნოლოგიის დეპარტამენტის, აგრეთვე გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტის თემატურ სემინარზე.

სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა: დისერტაცია მოიცავს 140 გვერდს, 32 ცხრილს, 85 ნახაზს, 19 სურათს. დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურული მიმოხილვისაგან, კვლევა, შედეგები და მათი განსჯისაგან, ექსპერიმენტალური ნაწილისაგან, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან.

კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში (ზფქ) ამჟამად აღნობენ სილიკომანგანუმსა (120 ათასი ტ. წელიწადში) და საშუალონახშირბადიან ფერომანგანუმს (11 ათასი ტ. წელიწადში). სილიკომანგანუმის გამოდნობას ახორციელებენ №1 საამქროში 11,5 მვტ სიმძლავრის ელექტროლუმელში და №4 საამქროში 22,5 მვტ სიმძლავრის ელექტროლუმელში. ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ აეროზოლების წარმოქმნის წყაროებია: ნედლეულის მომზადების უბანი, მადნის გამოდნობის ღუმელები, საიდანაც წარმოიქმნება აეროზოლი, რომელიც შედგება შემდეგი დამაბინძურებელი ნივთიერებებისგან: გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირბადის ოქსიდი და მტვერი.

ნედლეულის დასამუშავებელი უბნებია: უბნები, სადაც ხდება ფრაქციების მიხედვით დანაწილება. ფრაქციების მიხედვით დანაწილებული ნედლეული კონვერით მიეწოდება გამოსადნობ ღუმელს. ღუმელში ხდება სილიკომანგანუმის გამოწვა. შემდეგ კი მისი გაცივება.

ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლით დადგინდა, რომ წარმოიქმნება ორგანიზებული და არაორგანიზებული მტვერი.

არაორგანიზებული მტვერი წარმოიქმნება ღუმელებში ნედლეულის ჩაყრის დროს, გამოწვის დროს, რომელიც გარემოში გაიფრქვევა სახურავზე არსებული სარკმლიდან.

ცხრილი 1. გაწმენდამდე აეროზოლში შემაჯავალი მტვერის კონცენტრაცია

№	პარამეტრები	საზომი ერთეულები	ღუმელები							
			21	22	23	24	25	26	27	28
1	მტვერის კონცენტრაცია	გ/მ ³	44	31	49	49	31	63	51	49
2	ზღვ საშ. დღე-ღამური მაქს. ერთჯერადი	გ/მ ³ <u>0,05</u> 0,15								

საწარმოს მიერ ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების კონტროლის მიზნით ეკოლოგიური მონიტორინგის ჩასატარებლად ქარის მიმართულების მიხედვით დადგმულია ონლაინ მონიტორინგის ჯიხურები. აღმოსავლეთის ქარის მიმართულებით საწარმოდან 480 მ მანძილზე, დასავლეთით - 435 მ მანძილზე, ჩრდილოეთით - 240 მ მანძილზე და სამხრეთით - 970 მ მანძილზე.

ქალაქ ზესტაფონში გაბატონებულია დასავლეთის მიმართულების ქარი.

ჯიხურებში მოთავსებულია აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების გამზომი ავტომატური ონლაინ სისტემის ხელსაწყო, რომლის საშუალებითაც ონლაინ რეჟიმში ყოველ ხუთ წუთში ისაზღვრება დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციები: SO₂, NO₂, CO, მტვერი.

წარმოებაში საამქროებიდან გამავალი აეროზოლის ორგანიზებული სამრეწველო მტვერისგან გაწმენდა ხორციელდება ქსოვილოვანი გამფილტრავი სისტემით (მარკა BWF Турция (ип), Testori Италия (ип)).

№4 საამქროდან გამავალი აეროზოლის მტვერისგან გასაწმენდად გამოყენებულია 16800 ფილტრი, ხოლო №1 საამქროდან - 5760 ფილტრი.

**1.1 ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნიდან გაფრქვეული
სამრეწველო აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების
კონცენტრაციათა მნიშვნელობები სხვადასხვა
მიმართულების ქარის მიხედვით**

ჩვენს მიერ 2017 წლის ნოემბრის, დეკემბრის თვეში, ასევე 2018 წლის იანვრის თვეში განსაზღვრულ იქნა ქარის მიმართულების მიხედვით აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები. ცხრილში თითოეული კომპონენტის კონცენტრაცია შედარებულია მის შესაბამის ზღვ-სთან (ცხრილი 2).

ცხრილი 2. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები ქარის მიმართულების მიხედვით

აღმოს.	MnO ₂ (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO ₂ (მგ/მ ³)		NO ₂ (მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ
ნოემბერი	0,015	0,01	0,5	0,5	0,345	0,5	0,345	0,2	0,988	5
დეკემბერი	0,013	0,01	0,7	0,5	0,348	0,5	0,284	0,2	0,988	5
იანვარი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,337	0,5	0,358	0,2	0,988	5

დასავ.	MnO ₂ (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO ₂ (მგ/მ ³)		NO ₂ (მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ
ნოემბერი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,355	0,5	0,375	0,2	0,988	5
დეკემბერი	0,015	0,01	0,6	0,5	0,335	0,5	0,228	0,2	0,988	5
იანვარი	0,017	0,01	0,5	0,5	0,349	0,5	0,264	0,2	0,988	5

ჩრდ.	MnO ₂ (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO ₂ (მგ/მ ³)		NO ₂ (მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ
ნოემბერი	0,015	0,01	0,7	0,5	0,345	0,5	0,345	0,2	0,988	5
დეკემბერი	0,013	0,01	0,6	0,5	0,335	0,5	0,485	0,2	0,988	5
იანვარი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,337	0,5	0,269	0,2	0,988	5

სამხ.	MnO ₂ (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO ₂ (მგ/მ ³)		NO ₂ (მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ
ნოემბერი	0,016	0,01	0,5	0,5	0,689	0,5	0,524	0,2	0,988	5
დეკემბერი	0,015	0,01	0,5	0,5	0,678	0,5	0,632	0,2	0,988	5
იანვარი	0,015	0,01	0,7	0,5	0,507	0,5	0,537	0,2	0,988	5

ჩვენს მიერ განსაზღვრული აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების მიხედვით შევადგინეთ მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციათა ცვალებადობის დიაგრამა თვეების მიხედვით.

დიაგრამიდან ჩანს, რომ მტვრის მაქსიმალური კონცენტრაცია (0.7 მგ/მ^3) მცირდება და იანვრის თვეში ზღვ-ს უტოლდება მისი მნიშვნელობა (0.5 მგ/მ^3), საშუალო კონცენტრაციები უმნიშვნელოდ იცვლება, ხოლო მინიმალური მნიშვნელობები უცვლელი რჩება.

მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაცია ნოემბრის თვეში იკლებს ($0,013 \text{ მგ/მ}^3$), ხოლო დეკემბერში და იანვარში ისევ მატულობს (0.016 მგ/მ^3). მისი საშუალო და მინიმალური კონცენტრაციების მნიშვნელობები უმნიშვნელოდ ცვალებადია.

გოგირდის დიოქსიდის შემთხვევაში, მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციები თითქმის შეიძლება ითქვას უცვლელია.

აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაციათა მნიშვნელობები მკვეთრად ცვალებადია, ნოემბერში მატულობს ($0,11 \text{ მგ/მ}^3$), დეკემბერში იკლებს (0.07 მგ/მ^3) და იანვარში ისევ იზრდება მისი მნიშვნელობა. საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობები თითქმის უცვლელია, ხოლო მინიმალური კონცენტრაციები უმნიშვნელოდ ცვალებადია.

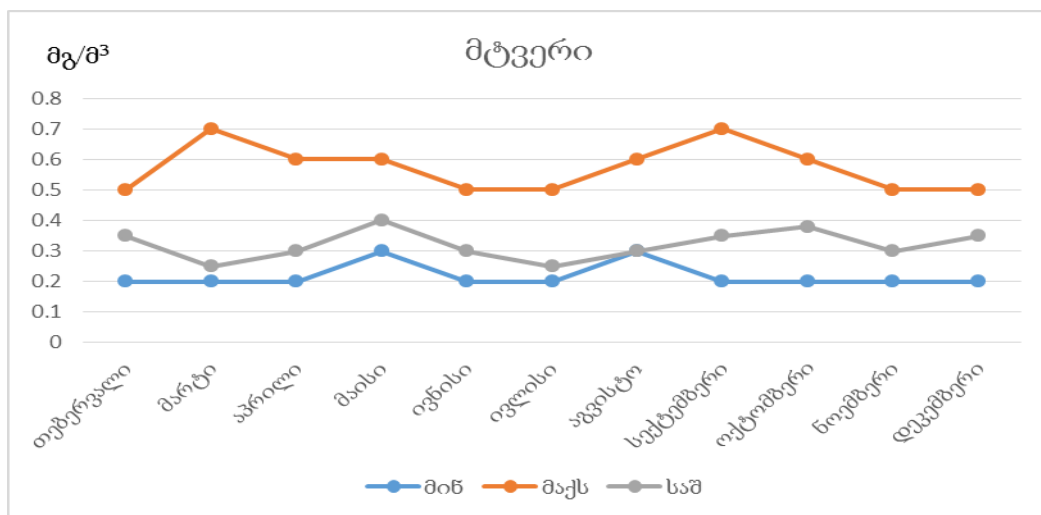
ნახშირჟანგის მაქსიმალური და მინიმალური კონცენტრაციები უცვლელია, ხოლო მისი საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ ცვალებადია.

ჩვენს მიერ 2018 წლის თებერვლიდან დეკემბრის თვის ჩათვლით განსაზღვრულ იქნა ქარის მიმართულების მიხედვით აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები. ცხრილში თითოეული კომპონენტის კონცენტრაცია შედარებულია მის შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციასთან (ცხრილი 3).

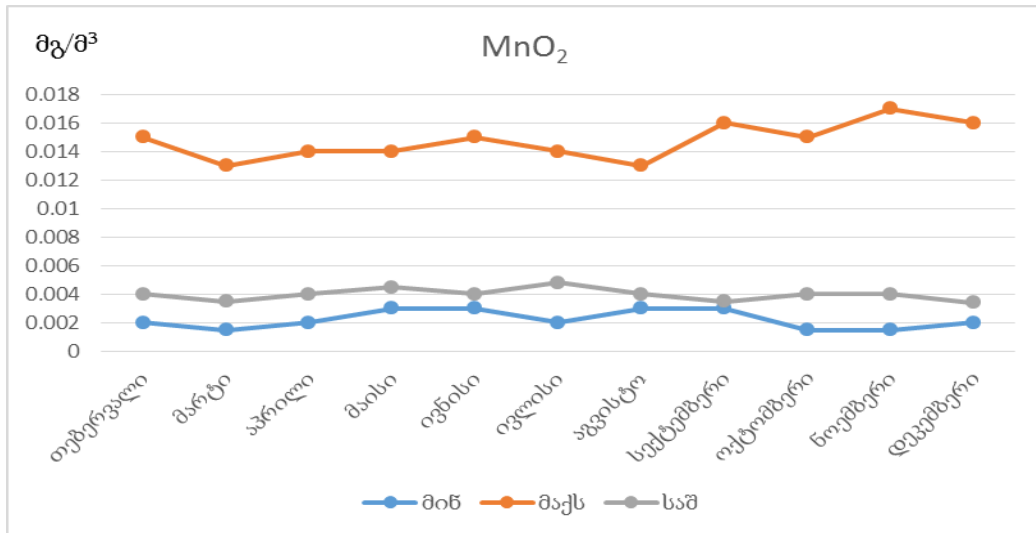
ცხრილი 3. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები დასავლეთის ქარის დროს

თვე	MnO ₂ (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO ₂ (მგ/მ ³)		NO ₂ (მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ
თებერვალი	0,015	0,01	0,5	0,5	0.348	0,5	0.286	0,2	0.988	5
მარტი	0,013	0,01	0,7	0,5	0.15	0,5	0.12	0,2	1.225	5
აპრილი	0,014	0,01	0,6	0,5	0.217	0,5	0.178	0,2	0.988	5
მაისი	0,014	0,01	0,6	0,5	0.293	0,5	0.233	0,2	1.28	5
ივნისი	0,015	0,01	0,5	0,5	0.35	0,5	0.275	0,2	1.113	5
ივლისი	0,014	0,01	0,5	0,5	0.271	0,5	0.209	0,2	1.063	5
აგვისტო	0,013	0,01	0,6	0,5	0.274	0,5	0.233	0,2	1.87	5
სექტემბერი	0,016	0,01	0,7	0,5	0.149	0,5	0.132	0,2	1.725	5
ოქტომბერი	0,015	0,01	0,6	0,5	0.15	0,5	0.12	0,2	1.063	5
ნოემბერი	0,017	0,01	0,5	0,5	0.271	0,5	0.178	0,2	1.063	5
დეკემბერი	0,016	0,01	0,5	0,5	0.229	0,5	0.182	0,2	0.988	5

ჩვენს მიერ განსაზღვრული აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების მიხედვით შევადგინეთ მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციათა ცვალებადობის დიაგრამები 2018 წლის სეზონური ცვალებადობის მიხედვით.



ნახ 1. მტვერის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით



ნახ 2. მანგანუმის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით

დიაგრამიდან ჩანს, რომ მტერის კონცენტრაცია გაზაფხულზე მარტის თვეში აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას (0,7 მგ/მ³), შემდეგ იკლებს და მინიმალური მნიშვნელობა ფიქსირდება ივნისის თვეში (0,5 მგ/მ³), შემდეგ იზრდება და სექტემბერში აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას (0,7 მგ/მ³), შემდეგ ისევ კლებულობს. მინიმალური მნიშვნელობა არ იცვლება თებერვლიდან აპრილის თვემდე, მაქსიმუმს აღწევს მაისის თვეში (0,3 მგ/მ³), შემდეგ იკლებს, აგვისტოში ისევ მატულობს, სექტემბერში იკლებს და უცვლელია მისი მნიშვნელობა. საშუალო კონცენტრაციები იკლებს მარტის თვეში, მაისის თვეში მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს (0,4 მგ/მ³), შემდეგ იკლებს ივლისის თვემდე, იზრდება ოქტომბრის თვემდე, შემდეგ ისევ იკლებს და იზრდება დეკემბრის თვეში (ნახაზი 1).

მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაცია მარტის თვეში მინიმალურია (0,013 მგ/მ³), შემდეგ უმნიშვნელოდ იზრდება ივნისის თვემდე, შემდეგ მცირედ მცირდება აგვისტოს თვემდე, შემდეგ იზრდება სექტემბრის თვეში და ნოემბრის თვეში (0,017 მგ/მ³). მინიმალური და საშუალო მნიშვნელობები უმნიშვნელოდ იცვლება (ნახაზი 2).

**1.2 სამრეწველო მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის
განსაზღვრის შედეგები საწარმოო სამუშაო ზონისა და ქ.
ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში
(2017-2018 წ.)**

ჩვენს მიერ 2018 წლის იანვრისა და აპრილის თვეში განსაზღვრული იქნა ნედლეულის მომზადების უბნის სამუშაო ზონაში არაორგანიზებული მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები აღემატება ზღვ-ს (ცხრილი 4).

**ცხრილი 4. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები
(04.01.2018)**

№	სინჯის აღების ადგილი	მტვერი (მგ/მ ³)	Mn (მგ/მ ³)	MnO ₂ (მგ/მ ³)
1	კაზმის მიწოდების ოპერატორი	1,99	0,11	0,18
2	ბრიგადირების ოთახი	1,62	0,08	0,14
3	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (21-22 ლუმელი)	2,92	0,28	0,45
4	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (23-24 ლუმელი)	2,89	0,31	0,5
5	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (25-26 ლუმელი)	2,62	0,183	0,29
6	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (27-28 ლუმელი)	4,26	0,34	0,55
7	ხიდური ამწის მემანქანე (საკაზმე)	2,58	0,12	0,2
8	კოქსის მსხვრევანა	9,454	0,196	0,31
9	კოქსის საცერი	9,96	0,240	0,38
10	ზღვ	2,0	0,01	0,3

ასევე, 2018 წლის ნოემბერში განსაზღვრული იქნა I საამქროს გამოსადნობი ლუმელის სამუშაო ზონაში არაორგანიზებული მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები აღემატება ზღვ-ს (ცხრილი 5).

ცხრილი 5. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები

№	სინჯის აღების ადგილი	მტვერი (მგ/მ ³)	Mn (მგ/მ ³)	MnO ₂ (მგ/მ ³)
1	საჩამომსხმო მანქანა (0 ნიშნუ)	2,22	0,31	0,49
2	ქურაზე გამოშვებამდე (+2 ნიშნუ)	2,75	0,25	0,40
3	ქურაზე გამოშვებისას (+2 ნიშნუ)	7,05	0,63	1,00
4	მდნობელის მოედანი გამოშვებამდე (+4,5 ნიშნუ)	2,64	0,22	0,35
5	მდნობელის მოედანი გამოშვებისას (+4,5 ნიშნუ)	6,35	0,60	0,95
6	ღუმელის სამართავი პულტი (+4,5 ნიშნუ)	1,23	0,12	0,19
7	ღუმელის ელექტროდის სამოდრაო მექანიზმი (+11,35 ნიშნუ)	4,37	0,41	0,65
8	კაზმის მიმწოდებელი ხვირები (+16,5 ნიშნუ)	5,37	0,53	0,85
9	ელექტროდის გარცმები (+17,1 ნიშნუ)	6,46	0,55	0,88
10	ხიდური ამწის მემანქანე (ცხელ მალში)	-	-	-
11	ზდკ	2,0	0,01	0,3

2017 წლის თებერვალში ჩვენს მიერ განსაზღვრული იქნა ქ.ზესტაფონის ტერიტორიაზე მტვრის, მანგანუმის დიოქსიდის, ნახშირბადის ოქსიდისა და აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები ნაკლებია ზდკ-ზე (ცხრილი 6).

ცხრილი 6. ქ.ზესტაფონის ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციები

სინჯის აღების თარიღი	სინჯის №	სინჯის აღების ადგილი	მანგანუმის დიოქსიდი, MnO ₂	მტვერი	CO	NO ₂
			მგ/მ ³			
02.02.2017	№ 1	„საქკაბელის წინ“	0.005	0.28	0.87	0.002
ზდკ-ზღვრულად დასაშვები ერთჯერადი მაქსიმალური კონცენტრაცია			0.01	0.5	5.0	0.2

ასევე 2018 წლის დეკემბრის თვეში ფეროშენადნობი ქარხნის სამუშაო ზონაში და ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ორ წერტილში განსაზღვრული იქნა ატმოსფერულ ჰაერში მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები. სამუშაო ზონაში მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები აღემატება ზდკ-ს, ხოლო დასახლებულ პუნქტში კი ნაკლებია ზდკ-ზე (ცხრილი 7).

ცხრილი 7. მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები საწარმოო სამუშაო ზონაში და ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე (14.12.2018)

№	დასახელება	მტვერი (მგ/მ ³)	MnO ₂ (მგ/მ ³)
№1	№1 საამქრო (№2 ლუმელი)	3,01	0,4
№2	№1 საამქრო (საცერი)	2,8	0,32
№3	გ. ნიკოლაძის სახელობის სკვერი	0,35	0,0045
№4	საქ. კაბელი	0,42	0,0055

1.3 ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ნიადაგში მძიმე ლითონთა მნიშვნელობების განსაზღვრის შედეგები

ცხრილი 8. ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ნიადაგში მძიმე ლითონთა კონცენტრაციათა განსაზღვრის შედეგები

პუნქტი	Cu	Pb	Mn	Hg
	მგ/კგ			
ზესტაფონი, „საქკაბელის წინ“	31.26	7.06	2160.21	N.D*
ზდკ-ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია	3	6	700	

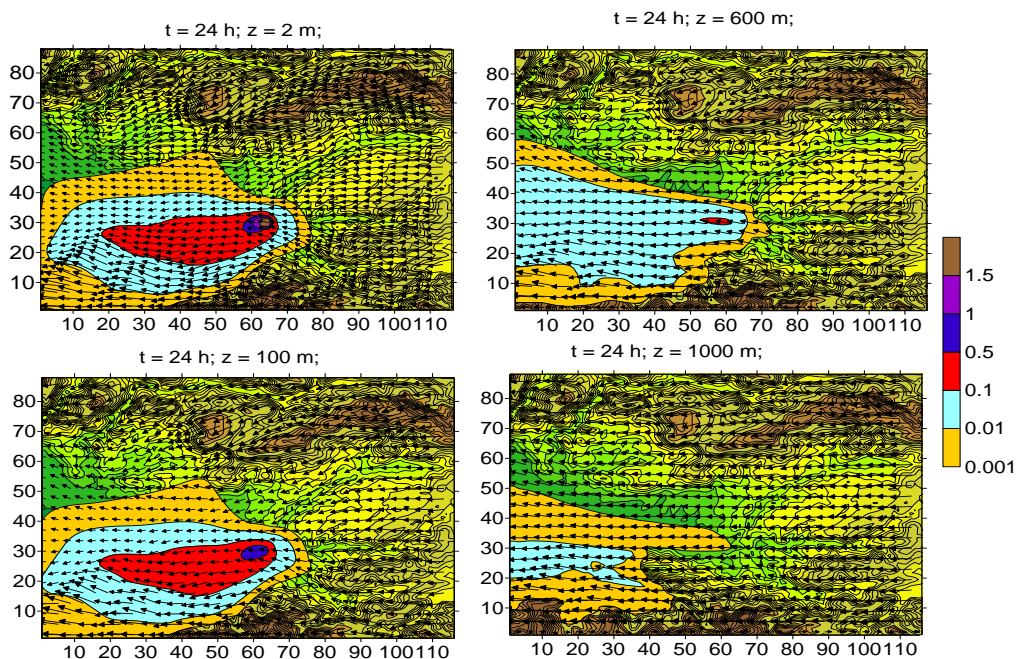
ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე (ცხრილი 8) სპილენძის და ტყვიის რაოდენობა შეესაბამება მიწის ქერქში არსებულ საშუალო მნიშვნელობებს, მანგანუმის კონცენტრაცია კი აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობას ფ.კლარკისა და ა.ფერსმანის მიხედვით. ხოლო

საქართველოს ნორმატივებით დაშვებულ სიდიდეთა მონაცემების მიხედვით სპილენძის, ტყვიისა და მანგანუმის მნიშვნელობები აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს

1.4 მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ქ. ზესტაფონისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე გაბატონებული ქარის მიმართულებით

ფეროშენადნობი ქარხნიდან გაფრქვეული მტვრის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა ქ. ზესტაფონის რაიონისათვის დამახასიათებელი გაბატონებული ფონური აღმოსავლეთისა და დასავლეთის ქარების მიმართულებით.

მოდელში მტვრის გავრცელება აღიწერება უწყვეტ გარემოში პასიური ინგრედიენტის გადატანა-დიფუზიის განტოლების საშუალებით რაიონის რელიეფის სირთულის გათვალისწინებით.



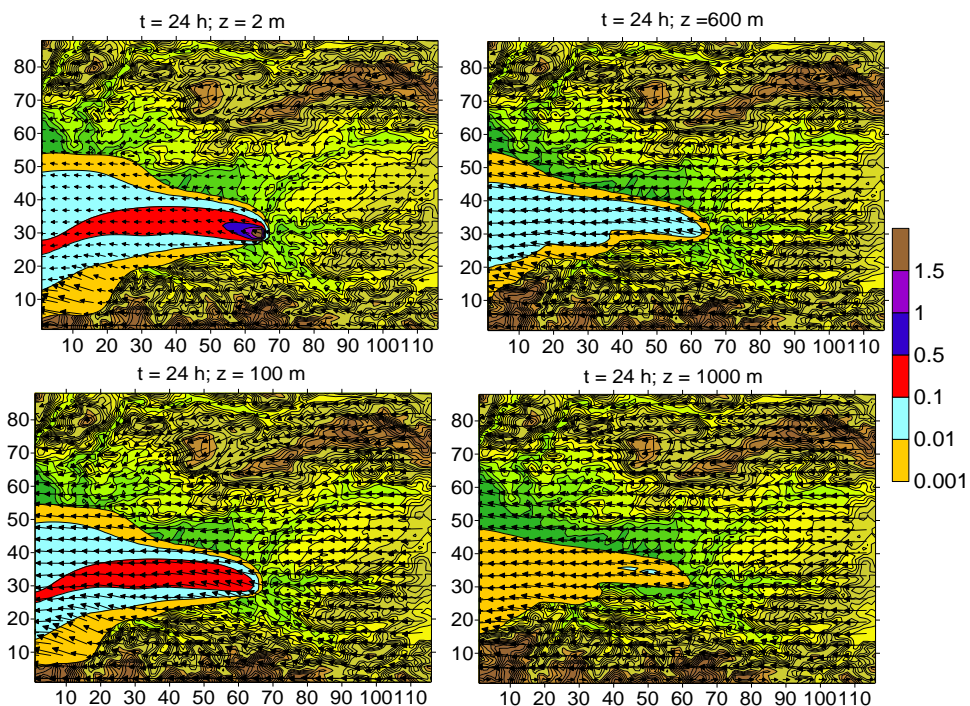
ნახ. 3. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.

ნახაზიდან ჩანს, რომ ქ. ზესტაფონში არსებული მტვერი 24 სთ-ის განმავლობაში ვრცელდება დასავლეთის მიმართულებით წაგრძელებული

ელიფსისმაგვარი ზოლის სახით. დამტვერიანების ზოლი სუსტადაა დეფორმირებული, რაც ფონური ქარის მიმართულებით არართული რელიეფისათვის დამახასიათებელი ერთგვაროვანი სიჩქარითაა გამოწვეული.

დამტვერიანება გავრცელებულია გურიის ქედის მიმდებარედ არსებულ კოლხეთის დაბლობზე. დამტვერიანების ზონის სიგრძე ოდნავ მეტია სიგანეზე, რაც დაბლობი რელიეფის და სუსტი ქარის პირობებში გვიჩვენებს ადვექციური და ტურბულენტური გადატანის პროცესების ტოლფასობას.

ვერტიკალურ მიმართულებით მტვერი გავრცელებულია მხოლოდ ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში დაახლოებით 2 კმ-სიმაღლემდე, კონცენტრაცია 0.5-1 მიღებულია უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიაზე, 0.1-0.5 ზდკ - ქ. ზესტაფონიდან დაახლოებით 6 კმ მანძილზე, $C < 0,1$ ზდკ კი მთელს დარჩენილ სივრცეში და გადის რიცხვითი მოდელირების არედან.



ნახ. 4. ქარის სიჩქარისა და მტვერის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.

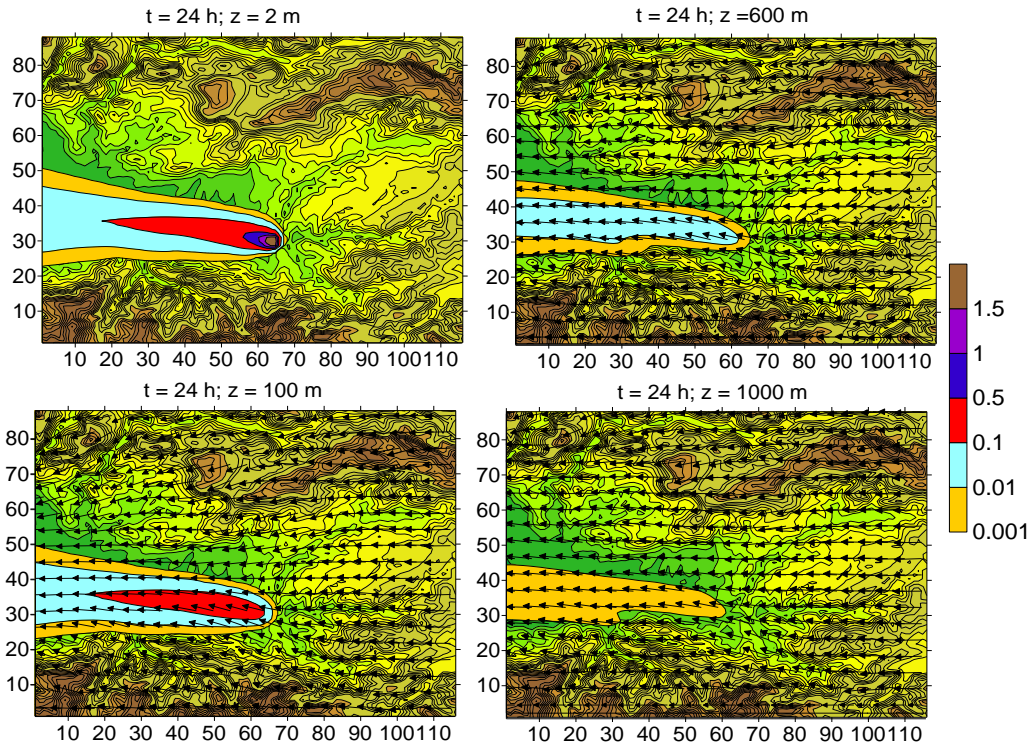
ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია მიწისპირა ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება $t=24$ სთ-სთვის ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის შემთხვევაში ($u_{back}=5$ მ/წმ).

ნახაზიდან ჩანს, რომ საშუალო ფონური ქარის შემთხვევაში მტვრის გავრცელება უფრო სწრაფია, ვიდრე - სუსტი ქარის შემთხვევაში. მტვერი გადაიტანება როგორც ერთიანი ღრუბელი, რომლის ძირითადი მასა მოთავსებულია ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ ფენაში. კონცენტრაცია 100მ ზევით სწრაფად მცირდება და მიწის ზედაპირიდან 600მ სიმაღლეზე მისი მნიშვნელობა 100-ჯერ და უფრო მეტად ნაკლებია ზდკ-ზე.

მტვერი გადაიტანება ფონური ქარის მიმართულებით და დაახლოებით 24 სთ-ის შემდეგ მყარდება კვაზისტაციონალური მდგომარეობა. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში მტვრის ღრუბელს გააჩნია წაგრძელებული ჩირაღდნის ფორმა (ნახ. 4), რომელიც თანდათანობით ფართოვდება ქ. ზესტაფონიდან დაშორებისას. დამტვერიანების ცენტრალური ზოლის ფორმა აჩვენებს ადვექციური გადატანის პროცესის უპირატესობას ჰირიზონტალური ტურბულენტური გადატანის პროცესთან შედარებით. კონცენტრაცია ≥ 0.5 ზდკ-ზე მიღებულია უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიაზე ატმოსფეროს ქვედა 100 მ ფენაში და მისგან 4 კმ მანძილზე, კონცენტრაცია $\approx 0,1-0,5$ ზდკ მიღებულია ვიწრო (დაახლოებით 4 კმ) სიგანის და გრძელი (50 კმ) სიგრძის ზოლში. ზდკ-ზე 100-ჯერ და 1000-ჯერ მცირე კონცენტრაციები მიღებულია ატმოსფეროს ფართო ზოლში მტვრის ღრუბლის ცენტრალური ნაწილის ირგვლივ მის მთელ სიგრძეზე.

ძლიერი ქარის შემთხვევაში ($u_{back} \geq 10$ მ/წმ, ნახ. 5) მტვრის გავრცელების პროცესი თვისებრივად ანალოგიურია საშუალო ქარის შემთხვევაში მიღებული პროცესის. განსხვავება რაოდენობრივი ხასიათისაა: მტვრის გადატანა ქარის მიმართულებით ხდება უფრო სწრაფად ვიდრე სუსტი ფონური ქარის დროს. კონცენტრაცია >0.1 ზდკ მიღებულია მტვრის ვიწრო და გრძელ ზოლში. მტვრის გავრცელების არეალი მერიდიანული მიმართულებით მნიშვნელოვნად ნაკლებია სუსტი ან საშუალო ქარის

შემთხვევაში მიღებულ არეალებზე. ვერტიკალური მიმართულებით მტვრის მაქსიმალური გავრცელების ზონა არ აღემატება 1,5 კმ-ს.



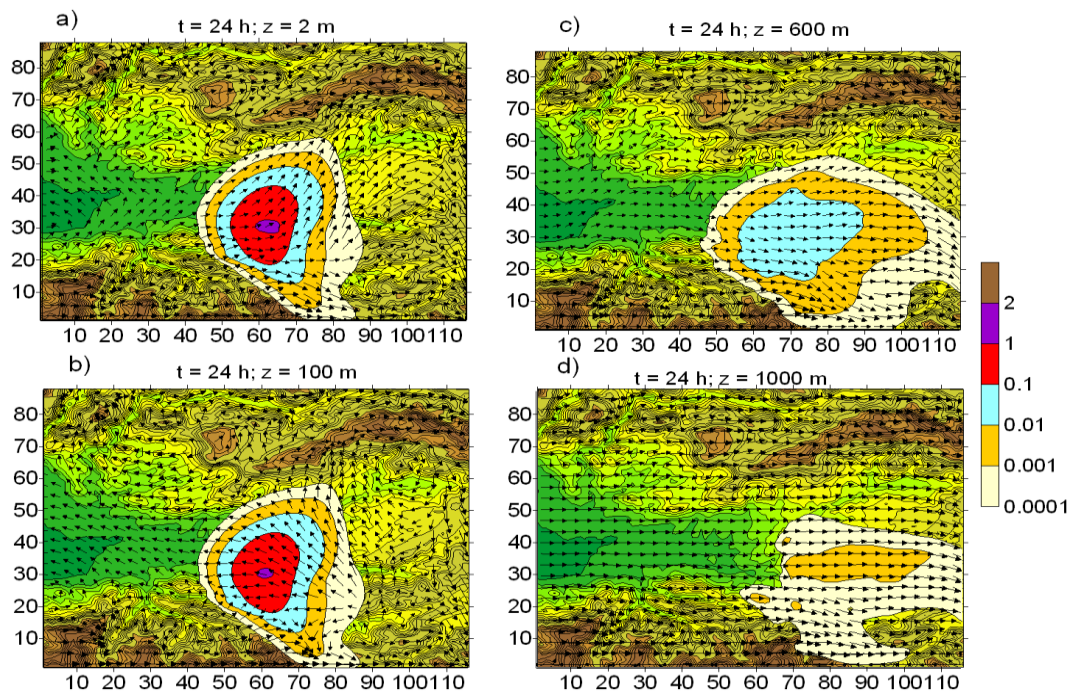
ნახ. 5. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.

ნახ. 6-ზე ნაჩვენებია რიცხვითი მოდელირების შედეგად მიღებული მიწისპირა ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება, $t=24$ სთ-სთვის დასავლეთის სუსტი ფონური ქარის შემთხვევაში ($u_{back} = 1$ მ/წმ). საიდანაც ჩანს, რომ ქალაქის ტერიტორიაზე მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია ნიადაგის ზედაპირიდან 2 და 100 მ-ის სიმაღლეზე და უშუალოდ მის სიახლოვეს (ნახ. 6, a, b). მიწისპირა ატმოსფეროში მტვრის ღრუბელს აქვს ვერტიკალური ცილინდრის ფორმა, რომელიც დეფორმირებულია ჩრდილოეთისა და სამხრეთის მიმართულებით. კონცენტრაცია 1-2 ზღვ მიღებულია უშუალოდ ქალაქის შემოგარენში 2 მ-ის სიმაღლეზე დაახლოებით 12 მ^2 ფართობზე. ეს ზონა თანდათან მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 100 მ-ის სიმაღლეზე მაქსიმალური კონცენტრაცია აღინიშნება დაახლოებით 3 კმ^2 ფართობზე. მტვერი

ვრცელდება როგორც ქარის, ასევე მისი საპირისპირო მიმართულებით. მტვრის გავრცელება ქარის საპირისპირო მიმართულებით შედარებით მცირეა, რაც გამოწვეულია ჰორიზონტალური ტურბულენტური და ადვექციური გადატანის ურთიერთსაპირისპირო მოქმედებით.

გამოთვლებით მიღებული ღრუბლის ფორმა გვიჩვენებს, რომ ატმოსფეროს ზედა ფენებში მტვრის გაბნევის პროცესში ტურბულენტური დიფუზიისა და ჰორიზონტალური ადვექციის წილები სიდიდის მიხედვით დაახლოებით ერთნაირია. ამის შედაგად მტვრის ღრუბელი მნიშვნელოვნად დეფორმირდება და იღებს წაგრძელებულ ფორმას, განსაკუთრებით ქარის სიჩქარის ლოკალური ზრდის ზონაში - მდ. ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების (ნახ. 6, a, b) გასწვრივ.

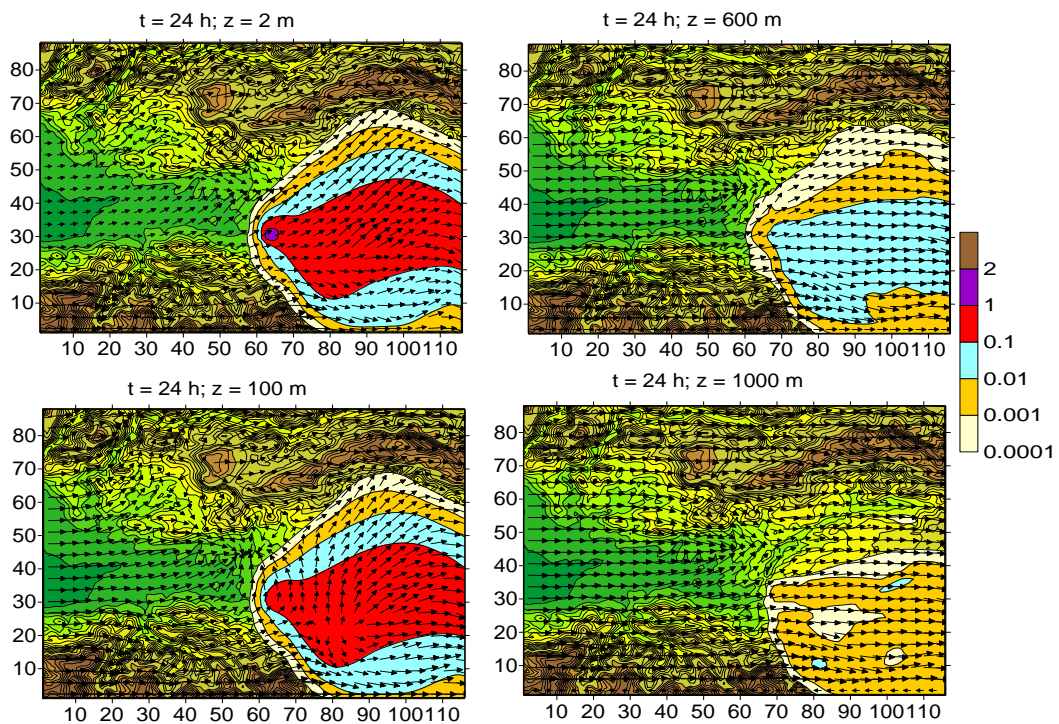
ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (როცა $Z > 100$ მ) მტვრის გავრცელების ფართობი იზრდება. მტვრის ადვექცია აჭარბებს ტურბულენტურ დიფუზიას (ნახ. 6, c, d).



ნახ. 6. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე სუსტი დასავლეთის ქარის დროს, $t = 24$ სთ.

კონცენტრაცია 0.1-1 ზღვ მიღებულია დაახლოებით 9 კმ სიგრძისა და 0.8 კმ სისქის ფენაში, 0.01-0.1 ზღვ - 15 კმ სიგრძისა და 1.2 კმ სისქის ფენაში, 0.01-0.001 ზღვ - 20 კმ სიგრძისა და 2 კმ სისქის ფენებში. ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით მტვერი ვრცელდება დაახლოებით 5 კმ მანძილზე, ხოლო ქარის მიმართულებით - 20 კმ-ზე. მტვერის განაწილება ღრუბელში არათანაბარია. კონცენტრაცია მაქსიმალურია ღრუბლის ცენტრალურ ნაწილში და თანდათან მცირდება პერიფერიებისკენ.

აღსანიშნავია, რომ საშუალო სიძლიერის ფონური ქარის დროს 24 საათის განმავლობაში მტვერი ვრცელდება მნიშვნელოვნად უფრო დიდ მანძილზე, ვიდრე სუსტი ფონური ქარის დროს (ნახ. 7). ამასთან, მტვერი ვრცელდება როგორც ფონური ქარის, ასევე ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით.



ნახ. 7. ქარის სიჩქარისა და მტვერის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე საშუალო დასავლეთის ქარის დროს, $t = 24$ სთ.

მნიშვნელოვანია ლიხის ქედის ზემოქმედება და ჰაერის ჰორიზონტალური ტურბულენტობის გავლენა მტვერის დიფუზიის პროცესზე. მათი მოქმედების შედეგად მტვერის ღრუბელი დეფორმირდება,

ფართოვდება სიგანეში და მტვერის გარკვეული ნაწილი ვრცელდება ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მდ. ყვირილასა და მდ. ჩხერიმელას ხეობების გასწვრივ.

ძლიერი დასავლეთის ფონური ქარის შემთხვევაში თვისობრივად მიიღება მტვერის განაწილების იგივე სურათი ($u_{backg} \approx 10 \text{ m/s}$), რომელიც მიღებული იყო საშუალო ფონური ქარის დროს. განსხვავება რაოდენობრივია. ძლიერი ქარის დროს მტვერის ღრუბელი ვრცელდება მეტ ფართობზე და გადაადგილდება უფრო სწრაფად. გამოთვლების თანახმად, ძლიერი ქარის დროს გადატანის სიჩქარე შეადგენს ფონური სიჩქარის 0,8 - 0,6 ნაწილს.

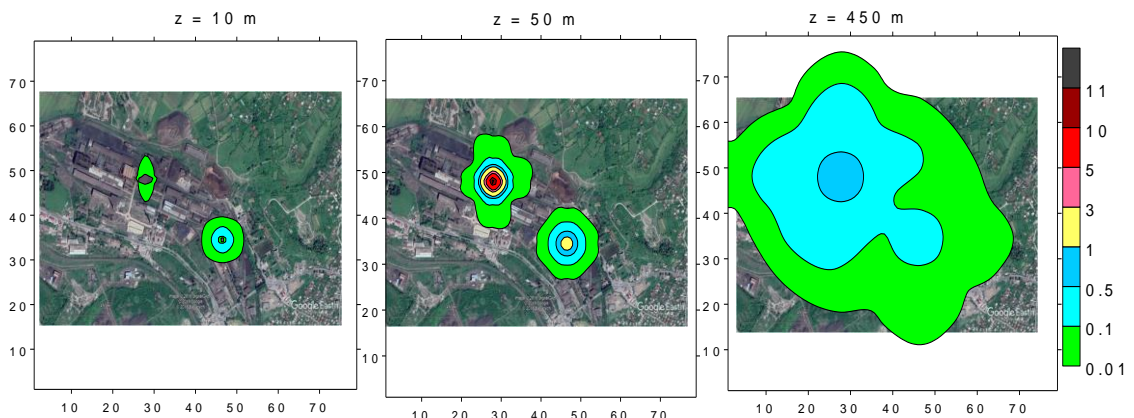
1.5 სამრეწველო მტვერის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე

ატმოსფეროში თერმიული კონვექციის სამგანზომილებიან არაწრფივ არაკვაზისტატიკურ განტოლებაზე დაყრდნობით დამუშავებულია ატმოსფეროში ამოფრქვეული მტვერის გავრცელების რიცხვითი მოდელი. განტოლებების ინტეგრაციისათვის გამოყენებულია ფ. შუნამის ცხადი რიცხვითი სქემა და გ. მარჩუკის მიერ დამუშავებული, პროცესებისა და კოორდინატების მიხედვით გახლეჩის, არაცხადი რიცხვითი სქემები. მოდელი რეალიზებულია მაღალი გარჩევის უნარის მქონე რიცხვით ბადეზე. ბადის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ბიჯებია 10 და 20 მ.

რიცხვითი მოდელირებით შესწავლილია შპს „ჯორჯიან მანგანუზის“ №1 და №4 საამქროების აირდამჭერი დანადგარების აერაციული ფანრებიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული 10 მკმ ზომის მტვერის ნაწილაკების გავრცელების კინემატიკა. განხილულია ორი მეტეოროლოგიური სიტუაცია - შტილი და ფონური ჩრდილო - დასავლეთის ქარი.

ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული მტვერის კონცენტრაციის განაწილება სივრცეში ფონური შტილის დროს, როდესაც

მტვრის გავრცელების ძირითად მექანიზმს თერმიული კონვექცია წარმოადგენს. კონცენტრაციის იზოზოლები ნაჩვენებია ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ($\text{ზდკ}=0.5 \text{ მგ/მ}^3$) ერთეულებში. ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ აირგამწედი დანადგარებიდან ამოფრქვევის შემდეგ მტვერი ატმოსფეროში ვრცელდება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ორი ვერტიკალური ცილინდრული ნაკადის სახით. მტვრის ძირითადი მასა (კონცენტრაციით $>0,1 \text{ ზდკ}$) განაწილებულია ვიწრო არეში, რომელიც ფართოვდება და ერთიანდება დაახლოებით 200-350 მ სიმაღლეზე. ცილინდრული სვეტის გაფართოების კუთხე იცვლება 5 - დან 45 გრადუსის ფარგლებში. ზედა დონეებზე დამტვერიანების ღრუბელს გააჩნია „სოკოს“ მსგავსი ფორმა, რასაც განაპირობებს კონვექციის პროცესში ვერტიკალური გრიგალის წარმოშობა.



ნახ. 8. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციების იზოზოლები შტილის დროს 10, 50 და 450 მეტრის სიმაღლეებზე

კონცენტრაცია > 3 ზდკ მიღებულია უშუალოდ ამოფრქვევის ადგილის თავზე 100 მეტრიან სვეტში. კონცენტრაციის მნიშვნელობა 0,01– 0,1 ზდკ მიღებულია მოდელირების არის მნიშვნელოვან ტერიტორიაზე, მიწის ზედაპირიდან 10, 50 მ და მეტ სიმაღლეებზე. მიწის ზედაპირის სიახლოვეს, 10 მ-ის ფარგლებში, მტვრის კონცენტრაცია 0,5-0,01 ზდკ მიღებულია დაბალი, №1 საამქროს გამწმედი დანადგარების ირგვლივ. შედარებით მაღალი №4 საამქროს გამწმედი დანადგარების მიდამოში, მტვრის

კონცენტრაცია 0,1-0,01 ზდკ მიღებულია მნიშვნელოვნად მცირე ფართობზე.

ნახაზიდან ჩანს, რომ ამოფრქვეული თბილი მტვერ-აეროვანი მასა იწვევს თერმიული კონვექციის განვითარებას. მისთვის დამახასიათებელია მძლავრი ვერტიკალური ნაკადის ფორმირება. ნაკადის 350 მ სისქის ფენაში წარმოიშვება მკაფიოდ გამოხატული კონვერგენციული არე, ხდება ვერტიკალური მოძრაობის ინტენსიფიცირება და მტვრის გადატანა ზედა ფენაში. 350 მ-ის ზევით ჰაერის კონვერგენციული დინება თანდათანობით გადადის დივერგენციულში, მცირდება ვერტიკალური სიჩქარე, ძლიერდება ქარი ჰორიზონტალური მიმართულებით და ინტენსიფიცირდება მტვრის ჰორიზონტალური დიფუზიის პროცესი. მოდელირების შუა ნაწილში ფორმირებულია ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გრიგალები, რომელთა ერთობლიობა ქმნის სივრცული რგოლისებრი დინების რთულ სურათს. ქარის სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა 6 მ/წმ მიღებული კონვექციურ ვერტიკალურ ნაკადში.

მოდელირებულია ქარხნის №1 და №4 საამქროებიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული მტვრის გავრცელება ჩრდილო-დასავლეთის ქარის შემთხვევაში.

ნახ. 9-ზე ნაჩვენებია მტვრის კონცენტრაციების განაწილება 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ მტვერი გადაიტანება სამხრეთ – ამოსავლეთის მიმართულებით. გადატანასთან ერთად მტვრის ნაკადი ფართოვდება სიგანეში და ღებულობს სხვადასხვა ფორმას. მიწის ზედაპირის სიახლოვეს დამტვერიანების ზონა მდებარეობს აერაციული ფანრების მიდამოებში. იქ კონცენტრაციის მნიშვნელობა მცირეა და იცვლება 0,01-0,5 ზდკ-ის ფარგლებში. ამოფრქვევის ადგილიდან დაახლოებით 300მ მანძილზე 450 მ სიმაღლეზე კონცენტრაცია აღწევს 0.5 ზდკ-ს. 50 მ სიმაღლეზე დაბინძურების ღრუბელს გააჩნია მართკუთხედის მაგვარი ფორმა. კონცენტრაციების მაქსიმუმები ლოკალიზირებულია

უმუალოდ ამოფრქვევის მიდამოებში და მცირდება როგორც ფონური ქარის, ასევე მისიმართობული მიმართულებით. მტვრის კლასიკური გავრცელებისაგან განსხვავებული სურათია მიღებული მისი ნაკადის შუა ნაწილში 50 მ სიმაღლეზე, სადაც დაბინძურების ორივე წყაროს მიერ შექმნილი ჯამური კონცენტრაციის მნიშვნელობა ნულის ტოლია.



ნახ. 9. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციების იზოზოლები ჩრდილო – აღმოსავლეთის ქარის დროს 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე

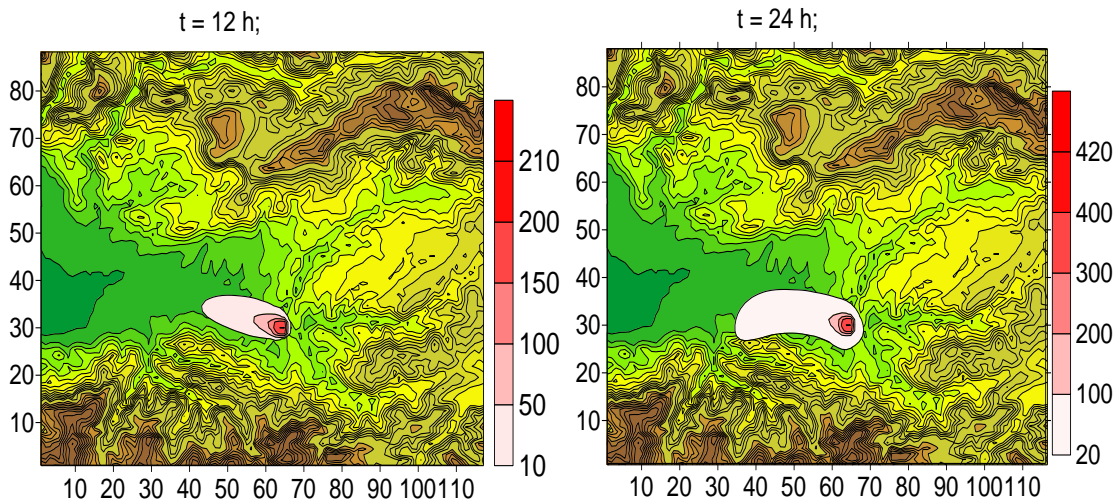
მიღებული ეფექტი გამოწვეულია მტვრის კონვექციური გადატანის დროს ფორმირებული ლოკალური აღმავალი მოძრაობით.

ფონური ქარის შემთხვევაში, შტილისაგან განსხვავებით, არ წარმოიშვება ლოკალური მასშტაბის პორიზონტალური და ვერტიკალური გრიგალები. შესაბამისად არა აქვს ადგილი მტვრის ტურბულენტურ გრიგალურ დიფუზიას. გადატანა ხორციელდება კონვექციური და ადვექციური მოძრაობების და გრადიენტული ტურბულენტური დიფუზიის შედეგად.

1.6 ქ. ზესტაფონისა და მის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების რიცხვითი მოდელირება

ჩატარებულია გამოთვლები აღმოსავლეთისა და დასავლეთის სუსტი (1 მ/წმ), საშუალო (5 მ/წმ) და ძლიერი (10 მ/წმ) ქარების შემთხვევაში. მიღებული შედეგები ნაჩვენებია ნახ.10 და ნახ.11-ზე.

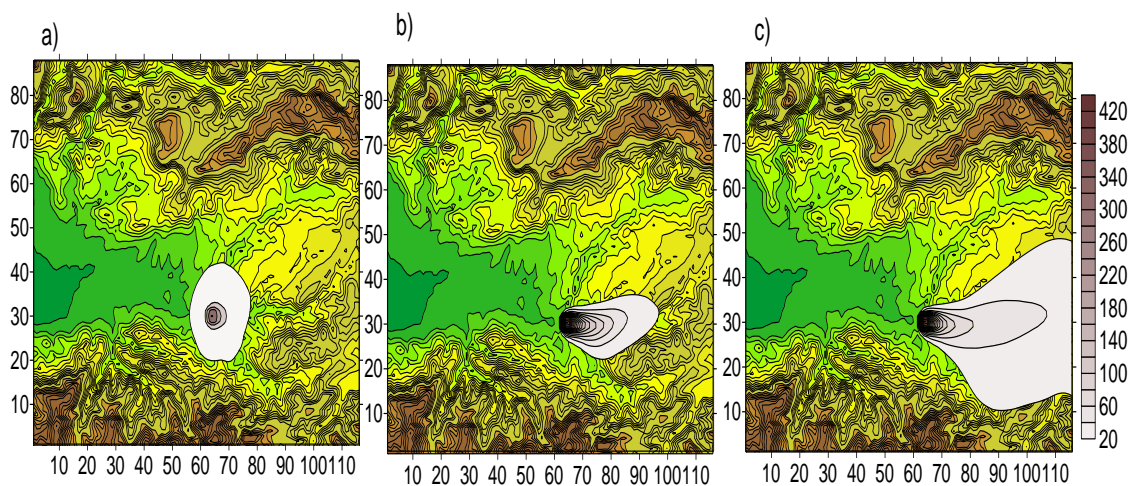
აღმოსავლეთის ფონური ქარის შემთხვევაში ნიადაგზე მტვერი ეფინება ვიწრო ჰორიზონტალურ ჩირაღდნის მსგავს ზოლზე, ფონური ქარის მიმართულებით (ნახ.10). მაქსიმალური დალექვა ხდება უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიაზე, სადაც 1 მ² ფართობზე 12 და 24 საათის განმავლობაში დალექილი მტვრის მაქსიმალური მასა შეადგენს, შესაბამისად, 210 და 420 მგ-ს. მტვრის დალექვის ინტენსივობა სწრაფად მცირდება ქალაქიდან დაშორებისას, განსაკუთრებით დინების პერპენდიკულარული მიმართულებით. აღნიშნული ეფექტი გამოწვეულია მტვრის ადვექციური გადატანის უპირატესობით ტურბულენტურ გადატანასთან შედარებით.



ნახ. 10. ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე (მგ/მ²) აღმოსავლეთის ფონური ქარის დროს, როცა t =12 და 24 სთ.

მე-11 ნახაზზე წარმოდგენილია 24 საათის განმავლობაში ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე სუსტი - a), საშუალო - b), და ძლიერი - c) ფონური დასავლეთის ქარების შემთხვევაში. წარმოდგენილი სურათიდან ჩანს, რომ სუსტი და საშუალო ფონური ქარის დროს მტვერი ეფინება მიწის ზედაპირის დაახლოებით 200 კმ² ფართობზე. დაფენის ზონებს გააჩნია წრიული და ელიფსური ფორმები. სუსტი ქარის დროს მტვერი ეფინება წრიულ არეზე, რაც გამოწვეულია ჰორიზონტალური ტურბულენტური გადატანის უპირატესობით ადვექციურ გადატანასთან

შედარებით. საშუალო ქარის დროს კი პირიქით – მტვრის ადვექცია აჭარბებს ტურბულენტურ გადატანას. ძლიერი ფონური ქარის დროს მტვრის დაფენის ზედაპირის ფართობი გაცილებით მეტია როგორც სიგრძეში, ასევე სიგანეში. აღნიშნული ეფექტი აჩვენებს, რომ მტვრის სივრცეში გავრცელების პროცესში, ტურბულენტური და ადვექციური გადატანის მნიშვნელობა დიდია და დაახლოებით ერთნაირი.



ნახ. 11. ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე ($\text{მგ}/\text{მ}^2$) დასავლეთის ფონური ქარის დროს, როცა $t=24$ სთ.

მტვერი ნიადაგზე დაფენილია დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მიმართული ზოლის სახით. ზოლის სიგრძე აჭარბებს 50 კმ-ს, ხოლო სიგანე დაახლოებით 28 კმ-ია. ყველა განხილულ შემთხვევაში 24 საათის განმავლობაში მიწის ზედაპირზე დაფენილი მტვრის მაქსიმალური რაოდენობა მიღებულია ქალაქის ტერიტორიაზე და ზედაპირული სიმკვრივე აღწევს დაახლოებით $420 \text{ მგ}/\text{მ}^2$ -ს.

დასკვნა

1. დადგენილი იქნა სილიკომანგანუმის ტექნოლოგიური პროცესის შედეგად წარმოქმნილი საწარმოო აეროზოლის წარმოქმნის წყაროები (ნედლეულის მომზადების უბანი, მადნის გამოდნობის ღუმელები) და დამაბინძურებელი ნივთიერებები (მტვერი, მანგანუმის დიოქსიდი, ნახშირბადის ოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი და გოგირდის დიოქსიდი);
2. განსაზღვრული იქნა საწარმოო აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების მტვრის, მანგანუმის დიოქსიდის, გოგირდისა და აზოტის დიოქსიდების, ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციები როგორც სამუშაო ზონაში, ასევე ქ.ზესტაფონის ატმოსფერულ ჰაერში სხვადასხვა მიმართულების ქარის დროს;
3. ფეროშენადნობთა ქარხნის სამუშაო ზონაში მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები აღემატება ზდკ-ს, ხოლო დასახლებულ პუნქტში კი ნაკლებია ზდკ-ზე;
4. აგებული იქნა ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მაქსიმალური, საშუალო და მინიმალური კონცენტრაციების დიაგრამები სეზონური ცვლილებების მიხედვით;
5. მტვრის მაქსიმალური კონცენტრაციები აღინიშნა 2017 წლის ოქტომბერში (0,7 მგ/მ³), 2018 წლის მარტში (0,7 მგ/მ³) და სექტემბერში (0,7 მგ/მ³);
6. მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური მნიშვნელობა დაფიქსირდა 2018 წლის იანვრისა და სექტემბრის თვეში (0,016 მგ/მ³) და ნოემბრის თვეში (0,017 მგ/მ³);
7. გოგირდის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაციები აღინიშნა 2017 წლის ოქტომბრისა (0,35 მგ/მ³) და დეკემბრის თვეში (0,33 მგ/მ³), აგრეთვე 2018 წლის თებერვლის (0,35 მგ/მ³), ივნისისა (0,35 მგ/მ³) და ნოემბრის თვეში (0,32 მგ/მ³);

8. აზოტის დიოქსიდი მაქსიმალურ მნიშვნელობებს აღწევს 2018 წლის თებერვლისა (0,3 მგ/მ³) და ივნისის თვეში (0,28 მგ/მ³);
9. ნახშირბადის ოქსიდის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღინიშნა 2018 წლის აგვისტოს თვეში (1,8 მგ/მ³);
10. 2012-2014 წლებთან შედარებით 2017-2018 წლებში მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციები შემცირებულია (შესაბამისად 0,45 მგ/მ³-დან 0,31 მგ/მ³-მდე, 0,007 მგ/მ³-დან 0,004 მგ/მ³-მდე);
11. ატმოსფერულ ჰაერში სამრეწველო აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების გაზნევაზე და გადატანაზე გავლენას ახდენს მეტეოროლოგიური პირობები, ატმოსფერული ინვერსია და ადიაბატური პროცესები.
12. ზესტაფონის რეგიონში მტვრის გავრცელების რიცხვითი მოდელირებით გამოვლენილი იქნა მეტეოროლოგიური თავისებურებების მიხედვით მტვრისათვის დამახასიათებელი განზნევის პროცესები ქალაქის პირობებში;
13. დასავლეთის სუსტი ქარის შემთხვევაში ზესტაფონის ატმოსფეროს ზედაპირულ 100 მ-იან ფენაში მტვრის კონცენტრაცია დაახლოებით ერთნაირია. ხოლო მის ზედა ფენებში სწრაფად მცირდება და 3 კმ სიმაღლეზე უტოლდება ნულს;
14. ქ.ზესტაფონის თავზე ატმოსფეროს 3 კმ-იან ფენაში ვერტიკალურ ჭრილში მტვრის კონცენტრაცია მეტია ღრუბლის ცენტრში და მცირდება პერიფერიების მიმართულებით;
15. ოროგრაფია იწვევს მტვრის ღრუბლის დეფორმაციას. ლიხის ქედის ოროგრაფიის გავლენით აღმოსავლეთის მიმართულებით მუხრუჭდება მტვრის გაზნევა და ძირითადად ხდება გადანაცვლება ჩრდილო-აღმოსავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით მდინარეების ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების გასწვრივ.

16. ქარის თანხვედრილი მიმართულებით ქედის გასწვრივ ოროგრაფიით გამოწვეული აღმასვლა ამცირებს მტვრის დალექვას. ამიტომ დამაბინძურებელი წყაროდან დიდ მანძილზე დალექილი მტვრის სიმკვრივე უმნიშვნელოა;
17. მერიდიანის გასწვრივ ორიენტირებული მთის ქედის გავლენით ქალაქის მტვრის ადვექციური დიფუზია ფონური ქარის სიჩქარეზე ნაკლებია და შეადგენს ფონური ქარის 0.6-0.8 ნაწილს.
18. ნიადაგზე მტვერი ევინება ვიწრო ზოლის სახით, რომლის ფორმა დამოკიდებულია ფონური ქარის სიჩქარეზე, რელიეფის ოროგრაფიაზე, ადვექციურ და ტურბულენტურ პროცესებზე.
19. ამოფრქვევის წყაროს მიდამოებში ხდება მტვრის გადატანა ქვედა დონეებიდან უფრო მაღალ დონეებზე და მათი შემდგომი ადვექციური გავრცელება.
20. წყაროს სიახლოვეს და ქვედა 300 მ ფენაში თბილი ამონაფრქვევის და შტილური სიტუაციის დროს უპირატესია მტვრის ვერტიკალური გადატანა, ხოლო ზედა ნაწილში აღინიშნება დივერგენციული მოძრაობით გამოწვეული ჰორიზონტალური ადვექციური და ტურბულენტური გადატანა.
21. მიღებული შედეგები თვისებრივ თანხმობაშია უწყვეტ გარემოში სუბსტანციის გავრცელების ზოგად კინემატიკურ კანონზომიერებებთან და ნატურული გაზომვის მონაცემებთან.
22. ჩატარებული კვლევითი სამუშაოს შედეგად ექსპერიმენტალურად მიღებული და დამუშავებული მტვრის გავრცელების მათემატიკური და რიცხვითი მოდელი შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ნებისმიერი სამრეწველო რეგიონის ატმოსფერულ ჰაერში აეროზოლების გავრცელების, კანონზომიერების აღბათობის, კვლევისა და დაბინძურების პროგნოზირებისათვის.

დისერტაციის ძირითადი შედეგი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ზ. რობაქიძე, ქალაქ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან გაფრქვეული აეროზოლების წარმოქმნის წყაროები და მისი შემადგენელი კომპონენტები, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2018, ტომი 18 №1, გვ. 229-233.
2. ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ზ. რობაქიძე, ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა ეკოქიმიური შეფასება სეზონური ცვლილების მიხედვით, „ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“ აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 85 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია, 19-20 ოქტომბერი 2018, გვ. 215-217.
3. ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინწკირველი, ზესტაფონის რაიონში მტვრის გავრცელების გამოკვლევა გაბატონებული ფონური ქარების შემთხვევაში, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2018, ტომი 18 №1, გვ. 234-238.
4. N.G. Gigauri, L. V. Gverdtsiteli, A. A. Surmava, L. N. Intskirveli, Numerical Modeling of Zestafoni City Dust Distribution in Case of Background Western Wind, Georgian Engeniring News, 2018, No.2 (vol. 86), pp. 58-61.
5. G. Gigauri, L. V. Gverdtsiteli, A. A. Surmava, L. N. Intskirveli, Numerical Simulation of Industrial Dust Distribution in Territory of Zestafoni (Georgia), Air Pollution XXVI, 26th International Conference on Modeling, Monitoring and Management of Air Pollution, WIT Transaction on Ecology and the Environment, Naples (Italy), 19-21 June 2018, pp. 119-128.
6. G. Gigauri, L. V. Gverdtsiteli, A. A. Surmava, L. N. Intskirveli, Numerical Modeling of Atmospheric Pollution by Metallurgical Industry Emissions in c.Zestafoni, Материалы XIII Международной ландшафтной конференции Современное ландшафтно-экологическое состояние и

проблемы оптимизации природной среды регионов, Воронеж, 14–17 мая 2018, Том 2, ст. 315-317.

7. ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინწკირველი, ზესტაფონის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების მოდელირება, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2018, №2 ტომი 86, გვ. 62-64.

Abstract

The thesis work is devoted to the assessment of ecological state of atmospheric air pollution under the influence of industrial aerosols emitted from Zestafoni ferroalloy plant. According to scientific literature data Zestafoni belongs to one of the most ecologically polluted regions among industrial areas. The ferroalloy plant, asphalt production, metal-substituted slag separation, building material production and other ferroalloy productions, industrial emissions of which pollute environmental facilities including atmospheric air that has negative effect on human health. According to the law of Georgia “On atmospheric air protection” arrangement of integrated control and ecological monitoring over environmental facilities pollution is necessary to study harmful anthropogenic impact on the atmospheric air. That’s why study of influence of concentration values of organized and unorganized industrial aerosol components, emitted by the ferroalloy plant, including dust, in order to study atmospheric air ecological state in Zestafoni and its adjoining territories is a very topical problem, while the development of mathematical and numerical simulations of their propagation is the novelty of the research work.

Several expeditions were held in 2017-2019 for accomplishment of set up goal, during which atmospheric air polluting sources and agents were identified. Concentration values of aerosol components, including dust were determined in the ferroalloy plant’s operating zone and at populated territories of Zestafoni by aspiration technique and express method using indicator pipe and according to ISO standards. Pollutant concentration values in 2017-2019 are reduced compared to 2012-2016, though in some cases they exceed maximum allowable concentrations.

The numerical model of dust horizontal and vertical distribution in atmospheric air and at the soil surface in the direction of prevailing background wind in Zestafoni was developed, as well. Dust propagation is influenced by Likhi ridge, orography of Kvirila and Chkherimela river gorges, that’s why the dust density deposited at long distances from polluting source is insignificant. In case of strong and light winds, dust propagation process is qualitatively analogous, but is quantitatively differed; in case of strong wind, dust is transported faster. In all considered cases dust concentration is maximal above the city and reduces with a distance from pollution source.

According to the numerical model of vertical propagation of dust emitted into the atmosphere from aeration lanterns of gas-trapping device of No.1 and No.4 workshops at the ferroalloy plant, dust concentration in the surface layer of atmosphere during background baroclinic wind is higher than during background calm air that is caused by vertical turbulence.

Maximum quantity of the dust deposited on the earth surface according to numerical model of dust distribution at soil surface of Zestafoni and its adjoining territory is observed at the city territory and is propagated in the form of band directed from the west to the east.

As a result of conducted research works the experimentally obtained and developed mathematical and numerical model of dust propagation may be used for any industrial regions for the forecast of aerosols propagation regularities, probability, study and pollution.