

ნათია გიგაური

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

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
სადოქტორო პროგრამა - ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია
შიფრი - 0410

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო

2019

საავტორო უფლება © 2019 წელი ნათია გიგაური

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნათია გიგაურის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობის ქარხნიდან გაფრქვეული აეროზოლების გავრცელების მოდელირება და მისი ეკოლოგიური შეფასება და ვამღებთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2019 წელი

თანახელმძღვანელები: პროფესორი ლეილა გვერდწითელი

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა

დოქტორი ალექსანდრე სურმავა

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი: -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019 წ

ავტორი: ნათია გიგაური

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

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობით
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი 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. ხოლო მათი გავრცელების მათემატიკური და რიცხვითი მოდელირების დამუშავება წარმოადგენს კვლევითი სამუშაოს სიახლეს.

დასახული ამოცანის შესასრულებლად განხორციელდა 2017-2019 წლებში რამდენიმე ექსპედიცია, რომლის დროსაც დადგენილი იქნა ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელი წყაროები და ნივთიერებები. განხორციელდა ფეროშენადნობთა ქარხნის სამუშაო ზონაში და ქ. ზესტაფონის დასახლებულ ტერიტორიაზე აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტებისა და მათ შორის მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების განსაზღვრა ასპირატორული მეთოდითა და ექსპრეს მეთოდით ინდიკატორული მილების გამოყენებით ISO სტანდარტების მიხედვით. 2017-2019 წლებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციათა მნიშვნელობები 2012-2016 წლებთან შედარებით შემცირებულია, თუმცა რიგ შემთხვევაში აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

ასევე დამუშავებული იქნა ქ. ზესტაფონში გაბატონებული ფონური ქარების მიმართულებით ატმოსფერულ ჰაერში და ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური განაწილების რიცხვითი მოდელი. 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.

ფეროშენადნობი 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 აღბათობის, კვლევისა და დაბინძურების პროგნოზირებისათვის.

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 №1 and №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.

შინაარსი

შესავალი	19
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	28
1.1 მანგანუმის მადნის გამდიდრების მეთოდები	29
1.2 სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგია.....	30
1.3 ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის სამრეწველო აეროზოლებით დაბინძურების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება.....	33
1.4 რიცხვითი მოდელირება	60
2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა	63
2.1 ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნიდან გაფრქვეული სამრეწველო აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები სხვადასხვა მიმართულების ქარის მიხედვით	70
2.2 სამრეწველო მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის განსაზღვრის შედეგები საწარმოო სამუშაო ზონისა და ქ. ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში (2017-2018 წ.).....	83
2.3 ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ნიადაგში მძიმე ლითონთა მნიშვნელობების განსაზღვრის შედეგები.....	87
2.4 მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ქ. ზესტაფონისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე გაბატონებული ქარის მიმართულებით	87
2.5 სამრეწველო მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე.....	103
2.6 ქ. ზესტაფონისა და მის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების რიცხვითი მოდელირება	115
3. ექსპერიმენტული ნაწილი	119
3.1 მტვრის განსაზღვრის მეთოდი ატმოსფერულ ჰაერში.....	119
3.2 მანგანუმის განსაზღვრა	124
3.3 გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციების განსაზღვრა ექსპრეს მეთოდით ინდიკატორული მიწების გამოყენებით	127
3.3.1 გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციების განსაზღვრა ასპირატორი AM-5-ის გამოყენებით	127

3.3.2 გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციების განსაზღვრა აირანალიზატორი YI-2-ის გამოყენებით	131
დასკვნა	132
გამოყენებული ლიტერატურა	135

სურათების ნუსხა

სურათი 1. ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის მდებარეობა.....	29
სურათი 2. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სატელიტური სურათი.....	64
სურათი 3. უბანი, სადაც ხდება ფრაქციების მიხედვით დანაწილება.....	65
სურათი 4. გამოსადნობი ღუმელი.....	65
სურათი 5. გაცივების პროცესი.....	66
სურათი 6. არაორგანიზებული მტვერი.....	66
სურათი 7. ონლაინ ჯიხურების განლაგების სქემა.....	67
სურათი 8. ორგანიზებული სამრეწველო აეროზოლის გაწმენდა ქსოვილოვანი ფილტრით.....	68
სურათი 9. მტვრის სინჯის ასაღები ფილტრები და ფილტრდამჭერი.....	122
სურათი 10. ასპირატორი ASA-4M.....	123
სურათი 11. ანალიზური სასწორი.....	123
სურათი 12. მტვრის კონცენტრაციის განსაზღვრა სამუშაო ზონის ატმოსფერულ ჰაერში.....	124
სურათი 13. ფაიფურის ტიგელი.....	126
სურათი 14. მუფელი.....	127
სურათი 15. ფოტოკოლორიმეტრი.....	127
სურათი 16. ინდიკატორული მილები.....	130
სურათი 17. AM-5 ტიპის ასპირატორი (ქიმიური აირგანმსაზღვრელი).....	130
სურათი 18. დამაბინძურებელ ინგრედიენტთა ინდიკატორული მილები.....	130
სურათი 19. აირანალიზატორი YF-2.....	131

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან სათბური აირების ჯამური გაფრქვევები 1980-1998 წლებში	34
ცხრილი 2.	2010-2012 წლებში ქ. ზესტაფონის ატმოსფერულ ჰაერში მანგანუმის დიოქსიდის შემცველობა.....	36
ცხრილი 3.	ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2013 წელი).....	36
ცხრილი 4.	ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2014 წელი).....	41
ცხრილი 5.	ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2015 წელი).....	44
ცხრილი 6.	ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2016 წელი).....	48
ცხრილი 7.	ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2017 წელი).....	51
ცხრილი 8.	ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2018-2019 წელი).....	56
ცხრილი 9.	გამწმენდ დანადგარზე მიწოდებული აეროზოლის მოცულობითი ხარჯი.....	67
ცხრილი 10.	გაწმენდამდე აეროზოლში შემავალი მტვრის კონცენტრაცია...67	
ცხრილი 11.	აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები ქარის მიმართულების მიხედვით.....	70
ცხრილი 12.	აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები გაბატონებული ქარის - დასავლეთის მიმართულებით.....	71
ცხრილი 13.	აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების მონაცემები ყველა ქარის მიმართულებით (20.12.2017).....	71
ცხრილი 14.	აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების მონაცემები ყველა ქარის მიმართულებით (20.01.2018).....	72
ცხრილი 15.	აეროზოლის შემადგენელი მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები (2018 წელი).....	75

ცხრილი 16. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები დასავლეთის ქარის დროს.....	77
ცხრილი 17. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები აღმოსავლეთის ქარის დროს.....	78
ცხრილი 18. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები ჩრდილოეთის ქარის დროს.....	78
ცხრილი 19. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები სამხრეთის ქარის დროს.....	79
ცხრილი 20. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები (04.01.2018).....	84
ცხრილი 21. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები (23.04.2018).....	84
ცხრილი 22. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები.....	86
ცხრილი 23. ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციები.....	87
ცხრილი 24. ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები (21.10.2018).....	87
ცხრილი 25. მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები საწარმოო სამუშაო ზონაში და ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე (14.12.2018წ.).....	87
ცხრილი 26. ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ნიადაგში მძიმე ლითონთა კონცენტრაციათა განსაზღვრის შედეგები.....	88
ცხრილი 27. ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის განმსაზღვრელი მახასიათებელ.....	89
ცხრილი 28. ფეროშენადნობთა ქარხნის მტვრის წარმოქმნის წყაროებისა და გაფრქვევის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრები.....	108
ცხრილი 29. ნორმალურ პირობებში ჰაერის მოცულობის გადათვლის კოეფიციენტი.....	122
ცხრილი 30. მანგანუმის დიოქსიდში გადათვლით მანგანუმის კონცენტრაციის განსაზღვრისას დამაგრადულირებელი მახასიათებლების დამდგენი ხსნარები.....	126
ცხრილი 31. ინდიკატორული მიწების მახასიათებლები.....	129
ცხრილი 32. AM-5 ტიპის ასპირატორის ტექნიკური მახასიათებლები.....	129

ნახაზების ნუსხა

ნახ 1. 2013 წლის მტვრის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	38
ნახ 2. 2013 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	38
ნახ 3. 2013 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	38
ნახ 4. 2013 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	39
ნახ 5. 2013 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	39
ნახ 6. 2013 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები	39
ნახ 7. 2013 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	40
ნახ 8. 2014 წლის მტვრის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	42
ნახ 9. 2014 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	42
ნახ 10. 2014 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	42
ნახ 11. 2014 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	43
ნახ 12. 2014 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	43
ნახ 13. 2014 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	43
ნახ 14. 2014 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	44
ნახ 15. 2015 წლის მტვრის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	45
ნახ 16. 2015 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	46
ნახ 17. 2015 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	46
ნახ 18. 2015 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	46
ნახ 19. 2015 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	47

ნახ 20. 2015 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	47
ნახ 21. 2015 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	47
ნახ 22. 2016 წლის მტვრის საშუალო თვიური კონცენტრაციები.....	49
ნახ 23. 2016 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	49
ნახ 24. 2016 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	49
ნახ 25. 2016 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	50
ნახ 26. 2016 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	50
ნახ 27. 2016 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო თვიური კონცენტრაციები.....	50
ნახ 28. 2016 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	51
ნახ 29. 2017 წლის მტვრის საშუალო თვიური კონცენტრაციები.....	52
ნახ 30. 2017 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	53
ნახ 31. 2017 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	53
ნახ 32. 2017 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	53
ნახ 33. 2017 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	54
ნახ 34. 2017 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო თვიური კონცენტრაციები.....	54
ნახ 35. 2017 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	54
ნახ 36. 2018-2019 წლის მტვრის საშუალო თვიური კონცენტრაციები.....	55
ნახ 37. 2018-2019 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	57
ნახ 38. 2018-2019 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები.....	57
ნახ 39. 2018-2019 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები.....	57

ნახ 59. ქ. ზესტაფონის ქართა თაიგული	89
ნახ 60. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 12$ სთ.	90
ნახ 61. 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.	91
ნახ 62. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 24$ სთ.	92
ნახ 63. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზდკ ერთეულში) გრაფიკები სუსტი ფონური ქარის დროს $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე (გრაფიკები 1, 2 და 3, შესაბამისად) ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 12$ და 24 სთ.	92
ნახ 64. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 12$ სთ.	93
ნახ 65. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.	94
ნახ 66. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ფონური საშუალო ქარის XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 24$ სთ.	95
ნახ 67. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზდკ ერთეულში) გრაფიკები საშუალო ფონური ქარის დროს $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე (გრაფიკები 1, 2 და 3 შესაბამისად) ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 12$ და 24 სთ.	95
ნახ 68. ქარის სიჩქარისა და მტვრის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს, როცა $t = 12$ სთ.	96
ნახ 69. 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.	97
ნახ 70. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ფონური ძლიერი ქარის შემთხვევაში XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 24$ სთ.	97
ნახ 71. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზდკ ერთეულში) გრაფიკები ძლიერი ფონური ქარის დროს $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე (გრაფიკები 1, 2 და 3 შესაბამისად) ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 12$ და 24 სთ.	98

ნახ 72. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე სუსტი დასავლეთის ქარის დროს, $t = 24$ სთ.	99
ნახ 73. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს 3 კმ-იან ფენაში ქ. ზესტაფონის თავზე ($j=31$) XOZ სიბრტყეში	100
ნახ 74. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე საშუალო დასავლეთის ქარის დროს, $t = 24$ სთ.	101
ნახ 75. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს 3 კმ-იან ფენაში ქ. ზესტაფონის თავზე ($j=31$) XOZ სიბრტყეში	102
ნახ 76. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზღვ ერთეულში) გრაფიკი საშუალო ფონური ქარის დროს $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში	103
ნახ 77. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციების იზოზოლები შტილის დროს $10, 50$ და 450 მ სიმაღლეებზე	109
ნახ 78. მტვრის კონცენტრაციის იზოზოლების და ქარის სიჩქარის ვექტორის გეგმილები გამწმენდ მოწყობილობებზე გამავალ XOZ სიბრტყეში	110
ნახ 79. ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი $10, 50$ და 450 მ სიმაღლეებზე	111
ნახ 80. კონვექციის შედეგად ფორმირებული ტემპერატურის შეშფოთების ველი $10, 50$ და 450 მ სიმაღლეებზე	111
ნახ 81. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციების იზოზოლები ჩრდილო – აღმოსავლეთის ქარის დროს $10, 50$ და 450 მ სიმაღლეებზე.....	112
ნახ 82. ტემპერატურის შეშფოთების და მტვრის კონცენტრაციის იზოზოლებისა და ქარის სიჩქარის ვექტორის განაწილება ფონური ქარის გასწვრივ მიმართულ ვერტიკალურ კვეთში	112
ნახ 83. ქარის სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელის იზოზოლებისა და ჰორიზონტალური მდგენელების განაწილება $10, 50$ და 450 მ სიმაღლეებზე.	113
ნახ 84. ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე ($მგ/მ^2$) აღმოსავლეთის ფონური ქარის დროს, როცა $t = 12$ და 24 სთ.	117
ნახ 85. ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე ($მგ/მ^2$) დასავლეთის ფონური ქარის დროს, როცა $t=24$ სთ.	118

მადლიერება

წარმოდგენილი სადოქტორო ნაშრომის შესრულებაში დიდი წვლილი მიუძღვის ჩემს უშუალო სამეცნიერო ხელმძღვანელებს პროფესორ ლეილა გვერდწითელსა და ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს ალექსანდრე სურმაგას, რომელთა მიმართაც გამოვხატავ მადლიერებას. მათი რეკომენდაციები, რჩევები და თანადგომა დიდად მეხმარებოდა კვლევითი სამუშაოს შესრულებაში.

უდიდეს პატივისცემასა და მადლიერებას გამოვხატავ შპს „ჯორჯიან მანგანუზის“ ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ხელმძღვანელობის მიმართ, განსაკუთრებით ეკოლოგიური ლაბორატორიის უფროსის, ტმკ ზურაბ რობაქიძისა და მისი თანამშრომლების მიმართ, რომლებიც კონსულტაციასა და დახმარებას მიწევდნენ ექსპერიმენტის განხორციელებაში.

განსაკუთრებით მადლიერების გრძნობა მინდა გამოვხატო შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიმართ, რომლის ფარგლებში მიღებული გრანტის საშუალებით განხორციელდა კვლევითი სამუშაოს შესრულების, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში მონაწილეობის, სამეცნიერო ჟურნალებში სტატიების გამოქვეყნების, სლოვაკეთის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში არსებული სამეცნიერო კვლევითი მიმართულებების გაცნობის თვალსაზრისით ვიზიტის დაფინანსება.

მადლობას ვუხდის გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტის უფროსს დიმიტრი ერისთავსა და ყველა თანამშრომელს, რომლებიც ხელს მიწყობდნენ და მორალურად მიჭერდნენ მხარს.

შესავალი

ატმოსფეროს დაცვა მოიცავს ტექნიკურ და ადმინისტრაციულ ღონისძიებათა კომპლექსს, რომელიც მიმართულია ადამიანის სამრეწველო და სამეურნეო საქმიანობით გამოწვეული დაბინძურების შემცირებისაკენ და შეწყვეტისაკენ. გარემოს დაცვის საკითხები დაკავშირებულია ატმოსფეროს, ჰიდროსფეროსა და ლითოსფეროს მავნე ნივთიერებებით დაბინძურებასთან. გარემოს ობიექტებიდან ატმოსფერული არე წარმოადგენს მობილურად საკმაოდ ვრცელს და ბინძურდება სწრაფად. „ატმოსფეროს“ ტერმინის ქვეშ იგულისხმება როგორც „თავისუფალი“ - დედამიწის გარემომცველი ფენა, ასევე „გარე“ ატმოსფერო, რომელიც არის ჩაკეტილი სივრცის გარეთ (შენობა და სხვა) და „შიგა“ ატმოსფერო, რომელიც მოიცავს ჩაკეტილ სივრცეს სამუშაოსათვის, საცხოვრებლად და სხვა [1].

უკანასკნელი ათეული წლის განმავლობაში ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის ზემოქმედებისაგან ატმოსფეროს დაცვა წარმოადგენს მეტად სერიოზულ საერთაშორისო პრობლემას. სხვადასხვა დამაბინძურებელი წყაროებიდან გაფრქვეული ნივთიერებები ჰაერის მასებით გადაიტანება და იწვევს დამრღვევ ზემოქმედებას, ასევე ისინი განიცდიან ცვლილებას, მათ შორის, ქიმიურად გარდაიქმნებიან უფრო მავნე ნივთიერებებად. მავნე ნივთიერებებით დაბინძურებელი ატმოსფერო უარყოფითად მოქმედებს ადამიანზე, ცოცხალ ორგანიზმებზე და მცენარეულ საფარზე, ლანდშაფტზე, წყალსა და ნიადაგზე, რასაც თან ახლავს კლიმატის, ასევე რიგი ეკონომიკური და სოციალური პრობლემების ცვლილება.

საქართველოს კანონში „ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ“ მოცემულია, რომ ატმოსფერული ჰაერის, როგორც გარემოს ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტის, დაცვის განხორციელება უნდა მოხდეს საზოგადოების ეკოლოგიური და ეკონომიკური, ასევე ახლანდელი და მომავალი თაობების ინტერესების გათვალისწინების შესაბამისად. უნდა

შეიქმნას ის ხელსაყრელი პირობები, რომელიც განაპირობებს ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საცხოვრებლად უვნებელ, ასევე ბუნებრივი და კულტურული გარემოთი სარგებლობის უზრუნველყოფას. ატმოსფერული ჰაერის დაცვის სფეროში საერთო გლობალური და რეგიონალური პრობლემების სამართლებრივად გადაჭრა უნდა მოხდეს ევროკავშირის კანონმდებლობით დადგენილი სამართლებრივი ნორმების საქართველოს ტერიტორიაზე ეტაპობრივი ამოქმედების ხელის შეწყობით [2].

მეტეოროლოგიური პირობები, ტემპერატურის ინვერსია აბრკოლებს ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებების გადატანას და განზნევის ვერტიკალური მიმართულებით, რის შედეგადაც მინარევების კონცენტრაცია იზრდება მიწისზედა ფენაში. სამრეწველო აეროზოლების შემადგენელი ნივთიერებები ზემოქმედებენ როგორც ბუნებრივ ობიექტებზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ასევე შენობა-ნაგებობებზე, მათ კონსტრუქციაზე, ისტორიულ ობიექტებზე, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობაზე. სამრეწველო გამონაბოლქვები იწვევს სასიცოცხლო პირობების ცვლილებას და სამუშაო ძალის მიგრაციას.

გარემოს დაცვითი ღონისძიებების განხორციელებისათვის უნდა შემცირდეს გარემოზე ანთროპოგენული ზემოქმედება, რაც მიიღწევა მრეწველობაში აეროზოლების თანამედროვე გამწმენდი მეთოდებისა და აპარატების დანერგვით. ყოველივე ეს მაქსიმალურად განაპირობებს ადამიანის სამრეწველო-სამეურნეო საქმიანობის ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას.

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის ძირითად დამაბინძურებელ წყაროებს მიეკუთვნება ავტოტრანსპორტი, სამრეწველო ობიექტები, ენერგეტიკული სექტორი და სოფლის მეურნეობის დარგები. სამრეწველო რეგიონიდან 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.

სამეცნიერო ლიტერატურის წყაროებიდან გამომდინარე წლების მანძილზე აეროზოლების გამაბრუებელი სუნი და ყვითელი ნისლი იწვევს სხვადასხვა დაავადებებს, ცენტრალური და პერიფერიული ნერვული სისტემის დაზიანებას, ნეიროტროპულ ეფექტს, კანოგენურ ბრონქიტს, ალერგიულ ასთმურ ბრონქიტს, ონკოლოგიურ დაავადებებს. ამიტომ ქ. ზესტაფონის და მისი მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფერული ჰაერის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

სადისერტაციო კვლევითი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ფეროშენადნობი ქარხნის ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლა, საწარმოო აეროზოლების დამაბინძურებელი წყაროებისა და ნივთიერებების დადგენა, ასევე ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციათა განსაზღვრა როგორც სამუშაო ზონაში, ასევე ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიაზე სხვადასხვა მიმართულების ქარის დროს. გარემოს ობიექტებსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე საწარმოო მტვრის ზემოქმედების შესწავლის მიზნით დამუშავებული იქნა კონცენტრაციათა მნიშვნელობის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება, რაც ჩვენი სამუშაოს სიახლეს წარმოადგენს.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა აწარმოებს 120 ათასი ტ/წ სილიკომანგანუმსა და 11 ათასი ტ/წ საშუალონახშირბადიან ფერო-მანგანუმს. სილიკომანგანუმის გამოდნობა ხორციელდება №1 საამქროს 11,5 მგტ სიმძლავრის ელექტროლუმელში და №4 საამქროს 22,5 მგტ სიმძლავრის ელექტროლუმელში.

2017-2019 წლებში დადგენილი იქნა ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლის შედეგად ატმოსფერული

ჰაერის დამაბინძურებელი აეროზოლების წარმოქმნის წყაროები და თვით აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტები.

დამაბინძურებელ წყაროს წარმოადგენს: ნედლეულის მომზადების უბანი, მადნის გამოდნობის ღუმელები, საიდანაც წარმოიქმნება ორგანიზებული და არაორგანიზებული აეროზოლი. დამაბინძურებელი აეროზოლი შედგება ნახშირბადის ოქსიდისაგან, გოგირდისა და აზოტის დიოქსიდისაგან, მანგანუმის დიოქსიდისაგან და მტვრისაგან.

საწარმოს მიერ ეკოლოგიური თვითმონიტორინგის ჩასატარებლად სხვადასხვა მიმართულების ქარის მიხედვით დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონტროლი ხორციელდება ონლაინ მონიტორინგის ჯიხურებში განთავსებული გამზომი ავტომატური ონლაინ სისტემის ხელსაწყოთა საშუალებით.

2017-2018 წლებში განსაზღვრული იქნა ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნიდან გაფრქვეული აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციათა ცვალებადობა სეზონური ცვლილების მიხედვით ყველა ქარის მიმართულებით, ასევე შედგენილი იქნა მათი დიაგრამები. რიგ შემთხვევაში ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზდკ) აღემატება მტვრის, მანგანუმის დიოქსიდის, გოგირდისა და აზოტის დიოქსიდების კონცენტრაციები.

შედარებული იქნა 2012-2016 წლის ლიტერატურული მონაცემებით არსებულ მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის მნიშვნელობები ჩვენს მიერ 2017-2019 წლებში განსაზღვრულ მონაცემებთან. მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური მნიშვნელობები ფიქსირდება 2012 და 2014 წლებში, შემდეგ მცირდება. აგრეთვე, მტვრის მაქსიმალური მნიშვნელობები აღინიშნება 2012-2014 წლებში, ხოლო შემდეგ მცირდება.

2018 წლის იანვრისა და აპრილის თვეში განსაზღვრული იქნა, ნედლეულის მომზადების, ფეროშენადნობი საამქროს გამოსადნობ ღუმელისა და საჩამომსხმლო მანქანების სამუშაო ზონაში

არაორგანიზებული მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები, აგრეთვე ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ორ წერტილში ISO სტანდარტების მიხედვით. ნედლეულის მომზადების უბნის, გამოსადნობი ღუმელისა და საჩამომსხმლო მანქანების სამუშაო ზონაში მათი კონცენტრაცია აღემატება ზდკ-ს, ხოლო ზესტაფონის დასახლებულ ტერიტორიაზე კი ნაკლებია ზდკ-ზე.

განსაზღვრული იქნა ქ. ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში მძიმე ლითონთა (Pb, Cu, Zn, Cd, Mn) კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები არ აღემატება ზდკ-ს, ასევე განსაზღვრული იქნა ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ნიადაგში Pb, Cu, Mn კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები აღემატება საქართველოს ნორმატივებით დაშვებულ სიდიდეთა მონაცემებს.

დამუშავებული იქნა ფეროშენადნობი ქარხნიდან გაფრქვეული მტვრის ჰორიზონტალური გავრცელების რიცხვითი მოდელი ქ. ზესტაფონისათვის დამახასიათებელი გაბატონებული ფონური აღმოსავლეთისა და დასავლეთის ქარის მიმართულებით, ასევე ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელი ფონური ჩრდილო-დასავლეთის ქარისა და შტილის დროს.

აღმოსავლეთის მიმართულების სუსტი ქარის დროს მტვრის 24 საათიანი გადატანის შემდეგ მყარდება კვაზისტაციონალური მდგომარეობა. მტვრის ღრუბელს გააჩნია წაგრძელებული ჩირაღდნის ფორმა ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში, რომელიც თანდათანობით ფართოვდება ქ. ზესტაფონის მიმდებარე ტერიტორიაზე. ქალაქის ტერიტორიაზე უშუალოდ ატმოსფეროს ქვედა ფენაში და მისგან დაცილებულ 4 კმ მანძილზე მტვრის კონცენტრაცია ≥ 0.5 ზდკ-ზე. ხოლო ატმოსფეროს ფართო ზოლში მტვრის ღრუბლის ცენტრალური ნაწილის ირგვლივ მთელ სიგრძეზე მტვრის კონცენტრაციები ზდკ-ზე 100-ჯერ და 1000-ჯერ ნაკლებია.

ქ. ზესტაფონიდან ჩრდილოეთით 1.6 კმ მანძილზე გამავალ ზონალურ ვერტიკალურ კვეთაში ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში 24 საათის

განმავლობაში განაწილებული მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია ქალაქის ტერიტორიის თავზე. ხოლო აღმოსავლეთის მიმართულებით ქალაქიდან დაშორებისას კონცენტრაცია მცირდება და 20 კმ მანძილზე მისი სიდიდე არ აღემატება 0.01 ზდკ-ს, მერიდიანული მიმართულებით კი კონცენტრაცია მცირდება, რომელიც დამახასიათებელია ტურბულენტური დიფუზიისათვის.

ძლიერი ქარის დროს ($u_{back} \geq 10$ მ/წმ) მტვრის გადატანა ქარის მიმართულებით ხდება უფრო სწრაფად ვიდრე სუსტი ფონური ქარის შემთხვევაში და გავრცელების პროცესი თვისობრივად ანალოგიურია.

დასავლეთის სუსტი ფონური ქარის შემთხვევაში ($u_{back} = 1$ მ/წმ) მიღებული რიცხვით მოდელირების შედეგად დადგენილია, რომ ქალაქის ტერიტორიაზე მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია ნიადაგის ზედაპირიდან 2 და 100 მ-ის სიმაღლეზე და უშუალოდ მის სიახლოვეს. მიწისპირა ატმოსფეროში არსებული მტვრის ღრუბლის ვერტიკალური ცილინდრული ფორმა დეფორმირებულია ჩრდილოეთისა და სამხრეთის მიმართულებით. მტვრის კონცენტრაცია 1-2 ზდკ მიღებულია უშუალოდ ქალაქის შემოგარენში 2 მ-ის სიმაღლეზე დაახლოებით 12 მ² ფართობზე. შემდეგ ეს ზონა თანდათან მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 100 მ-ის სიმაღლეზე მაქსიმალური კონცენტრაცია აღინიშნება დაახლოებით 3 კმ² ფართობზე. ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით მტვერი ვრცელდება დაახლოებით 5 კმ მანძილზე, ხოლო ქარის მიმართულებით - 20 კმ-ზე. მტვრის განაწილება ღრუბელში არათანაბარია. კონცენტრაცია მაქსიმალურია ღრუბლის ცენტრალურ ნაწილში და თანდათან მცირდება პერიფერიებისკენ.

საშუალო სიძლიერის ფონური ქარის დროს 24 საათის განმავლობაში მტვერი ვრცელდება მნიშვნელოვნად უფრო დიდ მანძილზე, ვიდრე სუსტი ფონური ქარის დროს. ამასთან, მტვერი ვრცელდება როგორც ფონური ქარის, ასევე ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მტვრის გავრცელების პროცესზე გავლენას ახდენს ლიხის ქედი და ჰაერის ჰორიზონტალური

ტურბულენტობა, რის შედეგადაც მტვრის ღრუბელი დეფორმირდება, ფართოვდება სიგანეში და მტვრის გარკვეული ნაწილი ვრცელდება ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მდ. ყვირილასა და მდ. ჩხერიმელას ხეობების გასწვრივ.

ძლიერი დასავლეთის ფონური ქარის შემთხვევაში ($u_{backg} \approx 10\text{m/s}$) მტვრის განაწილება საშუალო ფონური ქარის ანალოგიურია, მხოლოდ განსხვავდება რაოდენობრივად. ძლიერი ქარის დროს მტვრის ღრუბელი ვრცელდება მეტ ფართობზე და გადაადგილდება უფრო სწრაფად.

დამუშავებული იქნა ფეროშენადნობი ქარხნის ორი ძირითადი დამაბინძურებელი წყაროდან სამრეწველო მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობის ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელი. მოდელირება განხორციელდა შტილისა და ფონური ჩრდილო-დასავლეთის ქარის შემთხვევაში, როდესაც ქარის სიჩქარე იცვლება 0-დან (მიწის ზედაპირზე) 10 მ/წმ-მდე (500 მ სიმაღლეზე). აირგამწმენდი დანადგარებიდან ამოფრქვევის შემდეგ მტვერი ატმოსფეროში ვრცელდება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ცილინდრული ნაკადის სახით. მტვრის ძირითადი მასა განაწილებულია ვიწრო არეში, შემდეგ ფართოვდება და ერთიანდება 200-300 მ სიმაღლეზე, ზედა დონეებზე დამტვერიანების ღრუბელს გააჩნია სოკოს მსგავსი ფორმა, რასაც განაპირობებს კონვექციის პროცესში ვერტიკალური გრიგალის წარმოშობა. მიწის ზედაპირის სიახლოვეს 10 მ ფარგლებში მტვრის კონცენტრაცია №1 სააქმროს გამწმენდი დანადგარის ირგვლივ დაბალია, ხოლო შედარებით მაღალია №4 გამწმენდი დანადგარის მიდამოებში.

ჩრდილო-დასავლეთის ქარის შემთხვევაში ქარხნის №1 და №4 სააქმროებიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული მტვრის გავრცელების რიცხვითი მოდელირების მიხედვით მტვრის კონცენტრაციების განაწილება ხდება 10, 50 და 450 მ სიმაღლეზე, შემდეგ გადაიტანება სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. სიგანეში მტვრის ნაკადი ფართოვდება და ღებულობს სხვადასხვა ფორმას. მიწის ზედაპირის სიახლოვეს

დამტვერიანების ზონა მდებარეობს აირაციული ფანრების მიდამოებში. ამოფრქვევის ადგილიდან დაახლოებით 300 მ მანძილზე და 450 მ სიმაღლეზე კონცენტრაცია აღწევს 0,5 ზდკ-ს, 50 მ სიმაღლეზე ღრუბელს გააჩნია მართკუთხედის მაგვარი ფორმა. ზედა ფენებში ბაროკლინური ქარი და ჩამოყალიბებული კონვექციური მოძრაობები იწვევენ მტვრის რკალისებრ გადატანას ვერტიკალურ სიბრტყეში ფონური მოძრაობის მიმართულებით. შტილისაგან განსხვავებით ფონური ქარის დროს არ წარმოიქმნება ლოკალური მასშტაბის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გრიგალები და შესაბამისად არც ადგილი აქვს მტვრის ტურბულენტურ გრიგალურ დიფუზიას. გადატანა ხორციელდება კონვექციური და ადვექციური მოძრაობებისა და გრადიენტული ტურბულენტული დიფუზიის შედეგად.

ქ.ზესტაფონისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე განსაზღვრულია აღმოსავლეთისა და დასავლეთის სუსტი, საშუალო და ძლიერი ქარების მიმართულებით მტვრის განაწილების რიცხვითი მოდელირება. აღმოსავლეთის ფონური ქარის შემთხვევაში ნიადაგზე მტვერი ეფინება ვიწრო ჰორიზონტალური ჩირაღდნის მსგავს ზოლზე, 12 და 24 საათის განმავლობაში მაქსიმალური დალექვა ხდება უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიის ნიადაგის 1 მ² ფართობზე (210 და 420 მგ), ხოლო ქალაქიდან დაშორებისას მტვრის დალექვის ინტენსივობა მცირდება.

დასავლეთის სუსტი და საშუალო ფონური ქარის დროს მტვრის დაფენა მიმდინარეობს მიწის ზედაპირის 200 კმ² ფართობზე, რომელთაც გააჩნიათ, შესაბამისად, წრიული და ელიფსური ფორმები. საშუალო ქარის დროს მტვრის ადვექცია აჭარბებს ტურბულენტურ გადატანას, ხოლო ძლიერი ფონური ქარის დროს კი მტვრის დაფენა ნიადაგის ზედაპირზე გაცილებით მეტია, რაც განპირობებულია ტურბულენტური და ადვექციური გადატანის მნიშვნელობით.

მტვრის ნიადაგზე დაფენა დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით იღებს ზოლის სახეს, რომლის სიგრძე მეტია 50 კმ-ზე,

ხოლო სიგანე მიახლოებით ტოლია 28 კმ-ის. 24 საათის განმავლობაში ყველა განხილულ შემთხვევაში მიწის ზედაპირზე დაფენილი მტვრის რაოდენობა მაქსიმალურია ქალაქის ტერიტორიაზე, მისი სიმკვრივე აღწევს 420 მგ/მ².

ფეროშენადნობი ქარხნის სამუშაო ზონისა და ქ. ზესტაფონის დასახლებული ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში მტვრისა და მანგანუმის კონცენტრაცია განისაზღვრა ASA-4M ტიპის ასპირატორის, ანალიზური ფილტრის АФА-ХП-20-1 და ფილტრდამჭერი - ალონჟი ИРА-20-1 საშუალებით. ხოლო ნახშირბადის ოქსიდის, გოგირდის დიოქსიდისა და აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის განსაზღვრა განხორციელდა ექსპრეს მეთოდით ინდიკატორული მილის გამოყენებით ISO სტანდარტების მიხედვით.

ამგვარად საკვალიფიკაციო ნაშრომში პირველად განხორციელდა ფეროშენადნობი ქარხნიდან გაფრქვეული, ასევე ქ. ზესტაფონის სხვა სამრეწველო ზონისა და დასახლებული პუნქტის ატმოსფერულ ჰაერში და ნიადაგში მტვრის კონცენტრაციის განსაზღვრა და შედგენილი იქნა მისი გავრცელების რიცხვითი მოდელი გაბატონებული ფონური ქარების მიმართულებით, რომელიც წარმოადგენს მტვრის გადატანის ტრაექტორიის, დაბინძურების პროგნოზირების ერთ-ერთ ძირითად მეთოდს. მტვრის გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ლიხის ქედის, მდინარე ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების ოროგრაფია, ამიტომ დამაბინძურებელი წყაროდან დიდ მანძილზე დალექილი მტვრის სიმკვრივე უმნიშვნელოა.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურული წყაროებიდან გამომდინარე მანგანუმის მადნის სამრეწველო მარაგი მსოფლიოში დაახლოებით 7018 მლნ ტონას შეადგენს, რომლის 57% სამხრეთ აფრიკაშია თავმოყრილი, 21% უკრაინაში, 7% გაბონში, 4% ავსტრალიაში, ხოლო დარჩენილი 11% სხვადასხვა ქვეყნებშია გაბნეული. მანგანუმის მნიშვნელოვანი მარაგი რკინა-მანგანუმის „კონკრეციის“ სახით ოკეანის ფსკერზე გვხვდება, რომელიც ფერად ლითონებსაც შეიცავს (Cu, Ni, Co, Mo და სხვა) [3].

საქართველოში მანგანუმის 14 საბადოა გამოვლენილი, რომელთა შორის სამრეწველო მნიშვნელობის მხოლოდ ჭიათურის საბადოა.

ჭიათურის საბადოში მანგანუმის მადნის მარაგი 212 მლნ ტონას შეადგენს (1990 წლის მონაცემებით), რაც ყოფილ საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში არსებული მარაგის 80%-ს შეადგენს. ჭიათურის საბადო წარმოდგენილია კარბონატული (მარაგის 47%), ოქსიდური (25%), დაჟანგული (15%) და შერეული (13%) მადნებით.

მანგანუმი მადნებში ძირითადად წარმოდგენილია პიროლუზიტის (MnO_2), ბრაუნიტის (Mn_2O_3), ჰაუსმანიტის (Mn_3O_4), მანგანიტის ($MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$), ფსილომელანის ($MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$), მანგანოკალციტის ($Mn, CaCO_3$), როდოქროზიტის ($MnCO_3$), როდონიტის ($MnO \cdot SiO_2$) სახით და სხვა.

მსოფლიოში წარმოებულ ფეროშენადნობთა შორის მანგანუმიანი შენადნობების რაოდენობა 40-45%-ს შეადგენს.

მანგანუმიან ფეროშენადნობებს აწარმოებს: ჩინეთი, სამხრეთ აფრიკა, იაპონია, საფრანგეთი, უკრაინა, აშშ, ნორვეგია, ინდოეთი, ბრაზილია, ესპანეთი, სამხრეთ კორეა, მექსიკა, ავსტრალია.

საქართველოში მანგანუმის ფეროშენადნობებს აწარმოებენ ფეროშენადნობთა ქარხანაში, რომელიც მდებარეობს ქ. ზესტაფონში საქარხნოს ქუჩა №9-ში (სურათი 1).



სურათი 1. ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის მდებარეობა

ქარხანა მდებარეობს ზესტაფონის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში. საწარმოს ტერიტორია მოიცავს 149 მ² ფართობს.

ქ. ზესტაფონი მდებარეობს მდ. ყვირილას ხეობაში, რომელიც გამორჩეულია მაღალმთიანი და მაღლობი რელიეფით. ქ. ზესტაფონის კლიმატი არის სუბტროპიკული, ხასიათდება უხვი ნალექებით, ზაფხულის საშუალო თვიური ტემპერატურა იცვლება 21°-28°C. ქალაქს ახასიათებს არახელსაყრელი მეტეოროლოგიური პირობები: ნისლი, ინვერსია. ნისლიანი დღეები შეადგენს წელიწადის 1,6%-ს [4].

1.1 მანგანუმის მადნის გამდიდრების მეთოდები

არსებობს მანგანუმის მადნის გამდიდრების შემდეგი მეთოდები:

1. გრავიტაციული გამდიდრების მეთოდი;
2. ფლოტაციური მეთოდი;
3. მაგნიტური სეპარაცია.

გამდიდრებით მიიღება კონცენტრანტი, რომელიც მდიდარია მანგანუმით, ასევე ე.წ. „კუდის“ სახელწოდებით ღარიბი ნაწილი.

ამჟამინდელი ტექნოლოგიის მიხედვით მიღებული კონცენტრატების გრანულომეტრიული შემადგენლობა არის 10-0 მმ. მანგანუმის კონცენტრატები მანაგანუმის შემცველობის მიხედვით იყოფა შემდეგი სახით: ფოსფორის მოდული ($\%P/Mn\%$), კაჟმიწის მოდული ($\%SiO_2/Mn\%$), რკინის მოდული ($\%Fe/Mn\%$), ფუჭი ქანის ფუძიანობის მიხედვით ($\%GaO+MgO/SiO_2\%$), გრანულომეტრიული შედგენილობითა და სინესტიით ($H_2O\%$).

მანგანუმის კონცენტრატში ყველაზე არასასურველი ელემენტია ფოსფორი და მის მოცილებას აწარმოებენ მეტალურგიული მეთოდით, რომელიც ხორციელდება ელექტროლუმელში დნობის პროცესისას. აქ გამოყენებული ნახშირბადადმდგენელი უზრუნველყოფს მხოლოდ რკინის და ფოსფორის აღდგენას, რის შედეგადაც მიიღება მაღალმანგანუმიანი და დაბალფოსფორშემცველი ($P < 0.03\%$) გადასამუშავებელი წიდა [3, 5].

ახორციელებენ მანგანუმის კონცენტრატების დანაჭროვანებას აგლომერაციით, დაგუნდავებითა და დაბრიკეტებით.

1.2 სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგია

ფეროსილიციუმი, ფერომანგანუმი, ფეროქრომი, ფეროვოლფრამი და ა.შ. არის რკინის შენადნობები ისეთ ელემენტებთან, როგორცაა: სილიციუმი, მანგანუმი, ქრომი, ვოლფრამი და ა.შ. ფეროშენადნობები ასევე კომპლექსური შენადნობების სახითაცაა ცნობილი: ფეროსილიკომანგანუმი (სილიკომანგანუმი), ფეროსილიკოქრომი (სილიკოქრომი) და ა.შ.

ფეროშენადნობებიდან გამოირჩევა ისეთი დაბალრკინაშემცველი შენადნობები, როგორცაა: კრისტალური სილიციუმი, სადაც რკინის შემცველობა 1,5%-მდეა, ლითონური მანგანუმი, რომელიც შეიცავს 3%-მდე რკინას, ლითონური ქრომი, სილიკოალუმინი, სილიკოკალციუმი და ა.შ [3].

ლიტერატურული მონაცემებით, ცნობილია ფეროშენადნობების მიღების შემდეგი მეთოდები:

1. ელექტროთერმული მეთოდი - ნახშირბადალდგენითი და სილიკოთერმული, რომლის დროსაც გამოიყენება ელექტროენერგია.

2. მეტალოთერმული პროცესი, რომელიც მიმდინარეობს სითბოს მიწოდების გარეშე, ხოლო საჭიროებისამებრ სითბო გამოიყოფა ეგზოთერმული რეაქციით.

3. ელექტროლიტური მეთოდი, რომლის დროსაც ელემენტების აღდგენა ხდება ელექტროდენის საშუალებით შესაბამისი ოქსიდების (Mn, Cr) გოგირდმჟავა მარილის სხნარებიდან.

4. ბრძმედის ღუმელში გამოდნობა, როდესაც მიმდინარეობს ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის, მცირე სილიციუმშემცველი ფეროსილიციუმისა და სილიკომანგანუმის გამოდნობა (9-14% Si).

ფეროშენადნობების მიღების მეთოდებიდან ყველაზე გავრცელებული მეთოდია ელექტროთერმული მეთოდი [3, 6].

ფეროშენადნობების მიღების პროცესი აღმდგენელის სახეობის მიხედვით მიმდინარეობს:

1. ნახშირბადალდგენით, რომლის დროსაც აღმდგენელად გამოიყენება ნახშირბადი (კოქსწვრილა, ანტრაციტი და ა.შ). იგი იაფი აღმდგენელია.

2. სილიკოთერმული პროცესით, რომლის დროსაც აღმდგენელად გამოიყენება სილიციუმი (სილიკომანგანუმი, სილიკოქრომი, ფეროსილიციუმი), რომელიც ნახშირბადალმდგენელზე უფრო ძვირია.

3. ალუმინოთერმული პროცესით, რომლის დროსაც აღმდგენელად გამოიყენებულია ალუმინი. იგი ყველაზე ძვირი აღმდგენელია.

აგრეთვე შესაძლებელია უნახშირბადო (ან მცირე ნახშირბადიანი) მარკის ფეროშენადნობების გამოდნობა ალუმინო და სილიკოთერმული პროცესებით [3, 7].

პერიოდულობის მიხედვით ფეროშენადნობების წარმოების პროცესი შეიძლება იყოს: უწყვეტი და პერიოდული.

ძირითადად ფეროშენადნობები გამოიყენება შავ მეტალურგიაში, ფოლადის განჯანგვის და ლეგირებისათვის, ასევე მცირე რაოდენობით იყენებენ ფერად მეტალურგიასა და ქიმიურ წარმოებაში [3, 8, 9].

ფეროშენადნობთა ხარჯი ერთ ტონა ფოლადზე საშუალოდ 7-9 კგ-ს შეადგენს.

ელექტროთერმული პროცესების განხორციელება შესაძლებელია ელ. ღუმელებსა და იმ დანადგარებში, სადაც გამოყენებულია სხვადასხვა სახის ელექტრომახურებლები.

ელექტროენერგიის თბურ ენერგიად გარდაქმნის მიხედვით ელ. ღუმელები იყოფა შემდეგ ჯგუფად:

1. რკალური ღუმელი, სადაც ელ. ენერგია თბურ ენერგიად გარდაიქმნება რკალის საშუალებით;
2. წინაღობის ღუმელი, სადაც ელ. ენერგია თბურ ენერგიად გარდაიქმნება კაზმში ან სხვა გამტარში დენის გატარებით;
3. კომბინირებული ღუმელი, სადაც ელ. ენერგია თბურ ენერგიად გარდაიქმნება რკალით და კაზმში დენის გატარებით;
4. ინდუქციური ღუმელი, სადაც ლითონური კაზმის გახურებას ახორციელებენ ელექტრომაგნიტური ინდუქციური დენით;
5. პლაზმური ღუმელი, სადაც მიმდინარეობს კაზმის გახურება და დნობა პლაზმური გამოსხივებით;
6. ელექტრონულ-სხივური ღუმელი, სადაც ლითონის გახურება და დნობა მიმდინარეობს მაღალი სიმძლავრის ელექტრონული ნაკადით (კონით).

ფეროშენადნობების ღუმელი დანიშნულების მიხედვით არის აღდგენითი, სადაც აღმდგენელად გამოყენებულია ნახშირბადი და სარაფინაციო, სადაც აღმდგენელად გამოიყენება სილიციუმი ან ალუმინი.

კონსტრუქციის მიხედვით ფეროშენადნობის ღუმელი შეიძლება იყოს: ღია, დახურული და მბრუნავი.

სილიკომანგანუმის გამოსადნობად გამოიყენება შემდეგი ნედლეული: მანგანუმის კონცენტრატი ($Mn \geq 36\%$) ან მანგანუმშემცველი სხვა მასალები, რომელიც გრანულომეტრიული შედგენილობი მიხედვით იყოფა:

I კლასი 20-200 მმ

II კლასი 20-100 მმ

III კლასი 5-100 მმ

IV კლასი 5-50 მმ

აღმდგენელის გრანულომეტრიული შემადგენლობა უნდა იყოს 10-25მმ, ხოლო კვარციტის - 25-80მმ.

ერთი ტონა სილიკომანგანუმის მისაღებად იხარჯება:

მანგანუმშემცველი მასალა ($Mn 40 \%$) – 2500 კგ, კვარციტი - 350 კგ, კოქსი - 420 კგ, ელ.ენერგია - 4800 კვტ/სთ.

სილიკომანგანუმის წიდა შეიცავს: $Mn 16\%$, $SiO_2 45\%$, $CaO 19,3\%$, რომელიც გადასაყრელია, მაგრამ კაუმის დანაჯროვანების მიზნით მას ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში სილიციუმმანგანუმის კვლავ წარმოებაში იყენებენ [3, 10].

1.3 ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის სამრეწველო აეროზოლებით დაბინძურების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება

1991 წლამდე ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების კონტროლი ხორციელდებოდა 4 სტაციონალურ პუნქტში. ყოველდღიურად სამჯერადად იზომებოდა მტვრის, ნახშირბადის ოქსიდის, გოგირის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები [4].

**ცხრილი 1. ე. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან სათბური აირების
ჯამური გაფრქვევები 1980-1998 წლებში [4]**

მასსაიათებელი პარამეტრები, ათასი. ტონა/წელი	1980	1985	1986	1987	1988	1989	1990
საშუალო ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი 80%- იანი	94.3	107.0	112.0	115.0	123.0	98.0	81.6
ნახშირბადიანი ელექტროფერომანგანუმი 76%-იანი	89.0	101.0	99.7	103.0	99.0	84.0	42.4
სილიკომანგანუმი 82%- იანი	245.0	278.0	279.0	283.0	-	-	-
ლითონური ელექტრომანგანუმი 90%- იანი	1.3	1.5	2.1	2.4	2.4	2.1	1.7
CO ₂ -ის ემისია	1440.4	1630.8	1389.5	1455.5	1366.5	1212.3	844.8
CH ₄ -ის ემისია	0.046	0.052	0.041	0.041	0.036	0.032	0.023
N ₂ O-ის ემისია	0.009	0.011	0.009	0.010	0.007	0.006	0.005
NO _x -ის ემისია	3.233	3.653	2.970	3.116	2.834	2.578	1.808
CO-ის ემისია	0.615	0.701	0.654	0.677	0.424	0.371	0.260
ააონ-ის ემისია	0.811	0.919	0.910	0.931	0.450	0.375	0.258
SO ₂ -ის ემისია	0.033	0.039	0.036	0.035	0.025	0.0194	0.0133

(ცხრილი 1. გაგრძელება)

მასსაიათებელი პარამეტრები, ათასი. ტონა/წელი	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
საშუალო ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი 80%-იანი	55.2	24.9	10.1	5.8	12.6	8.2	4.0	10.3
ნახშირბადიანი ელექტროფერომან განუმი 76%-იანი	16.3	10.0	6.9	2.4	0.06	1.0	0.04	3.45
სილიკომანგანუმი 82%-იანი	-	-	17.0	11.0	7.6	7.7	16.6	31.8
ლითონური ელექტრომანგანუმი 90%-იანი	1.0	0.3	0.2	0.2	0.1	-	-	-
CO ₂ -ის ემისია	220.0	197.6	100.2	39.2	28.6	25.1	19.2	50.1
CH ₄ -ის ემისია	0.004	0.004	0.002	0.0006	0.00023	0.00025	0.0003	0.0007
N ₂ O-ის ემისია	0.001	0.001	0.0003	0.00006	0.00004	0.00004	0.00005	0.0001
NO _x -ის ემისია	0.297	0.389	0.200	0.072	0.024	0.029	0.035	0.077
CO-ის ემისია	0.085	0.070	0.052	0.026	0.0195	0.0173	0.025	0.047
ააონ-ის ემისია	0.130	0.071	0.059	0.035	0.035	0.030	0.036	0.077
SO ₂ -ის ემისია	0.0045	0.0022	0.0016	0.00076	0.00077	0.00066	0.00077	0.00175

ატმოსფერული ჰაერის ძირითად დამაჭუჭყიანებელს წარმოადგენდა შემდეგი საწარმოები: სილიკომანგანუმის, ლითონური მანგანუმის, საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმისა და აგლომერაციული, კირქვის საწარმოები და საქვაბე, ასევე სარემონტო-აღდგენითი მეურნეობის საამქროები.

ლიტერატურული მონაცემებით აღნიშნული საწარმოები არ იყო უზრუნველყოფილი გამწმენდი ნაგებობებით.

არასასურველი მეტეოროლოგიური პირობებისას ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების მიწისპირა კონცენტრაციები 5-ჯერ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (ზდკ).

ლიტერატურული მონაცემებით ცოცხალ ორგანიზმებში მანგანუმი წარმოადგენს ჟანგვითი პროცესების აქტივატორს, აძლიერებს ცხიმების უტილიზაციის პროცესს, ასევე არეგულირებს რკინის ფერო-ფორმებს შორის თანაფარდობას - $Fe:Mn=1:7$. მეცნიერთა გამოკვლევებით ორგანიზმის შიგა ვენური-კანქვეშა ან სისხლძარღვებში შეყვანა ხელს უწყობს ნორმალურ განვითარებას, მოზარდი ადამიანის ორგანიზმისათვის მანგანუმის საჭირო დღე-ღამური დოზაა 0,2-0,3 მგ/კგ, ხოლო მოზრდილი ადამიანისათვის შეადგენს 0,1 მგ/კგ-ს. მანგანუმის უფრო მაღალი დოზები მავნეა, პირის ღრუდან მიღებული 15-20 მგ $KMnO_4$ ადამიანისათვის წარმოადგენს სასიკვდილო დოზას [11].

ლიტერატურული მონაცემებით წლების მანძილზე ყვითელი ნისლი და გამაბრუებელი სუნი აწუხებს ზესტაფონელებს. „საქართველოს მწვანეთა მოძრაობა - დედამიწის მეგობრების“ ხელმძღვანელის ნინო ჩხობაძის მონაცემებით გაფრქვევა ხდება პერიოდულად, რაც უარყოფილი იყო კომპანია „ჯორჯიან მანგანუმი“ ქარხნის ხელმძღვანელობის მიერ [12].

2009 წლიდან ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების კონტროლი ხორციელდება გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ. 2012 წლის მონაცემებით ქ. ზესტაფონის ატმოსფერულ ჰაერში მანგანუმის დიოქსიდის

წლიური მნიშვნელობა \approx 6,8-ჯერ აღემატებოდა ზღვ-ს საშუალო სადღეღამისო კონცენტრაციას 0,001 მგ/მ³-ს.

ცხრილი 2. 2010-2012 წლებში ქ. ზესტაფონის ატმოსფერულ ჰაერში მანგანუმის დიოქსიდის შემცველობა [13]

წელი	საშუალო წლიური კონცენტრაცია, მგ/მ ³	ერთჯერადი მაქსიმალური კონცენტრაცია, მგ/მ ³
2010	0,0069	0,025
2011	0,0077	0,033
2012	0,0068	0,040

ამჟამად ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მდგომარეობაზე დაკვირვება წარმოებს გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ მხოლოდ ერთ სადამკვირვებლო მონიტორინგის პუნქტში, რომელიც მდებარეობს ჩიკაშუას ქუჩაზე.

ცხრილი 3. ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2013 წელი)

თვე	მტვერი, მგ/მ ³	NO ₂ , მგ/მ ³	SO ₂ , მგ/მ ³	CO, მგ/მ ³	MnO ₂ , მგ/მ ³
1	2	3	4	5	6
თებერვალი, საშ. თვიური	0,44	0,045	0,119	1,2	0,005
მარტი, საშ. თვიური	0,4	0,047	0,12	1,2	0,004
აპრილი, საშ. თვიური	0,51	0,046	0,13	1,3	0,0069
მაისი, საშ. თვიური	0,4	0,046	0,13	1,1	0,0043
ივნისი, საშ. თვიური	0,45	0,05	0,13	1,4	0,0068
ივნისი, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,08	0,2	3	0,022
ივლისი, საშ. თვიური	0,4	0,04	0,13	1,4	0,0047
ივლისი, მაქს. ერთჯერადი	0,9	0,07	0,17	3	0,018

(ცხრილი 3. გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6
აგვისტო, საშ. თვიური	0,4	0,049	0,13	1,5	0,005
აგვისტო, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,09	0,18	3	0,014
სექტემბერი, საშ. თვიური	0,4	0,046	0,13	1,4	0,004
სექტემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,8	0,08	0,2	3	0,015
ოქტომბერი, საშ. თვიური	0,4	0,05	0,129	1,5	0,005
ოქტომბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,09	0,18	3	0,015
დეკემბერი, საშ. თვიური	0,39	0,04	0,12	1,4	0,0039
დეკემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,9	0,07	0,19	2	0,022
ზღვ. საშ. დღე-ღამური	0,15	0,04	0,05	3	0,001
ზღვ. მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,085	0,5	5	0,01

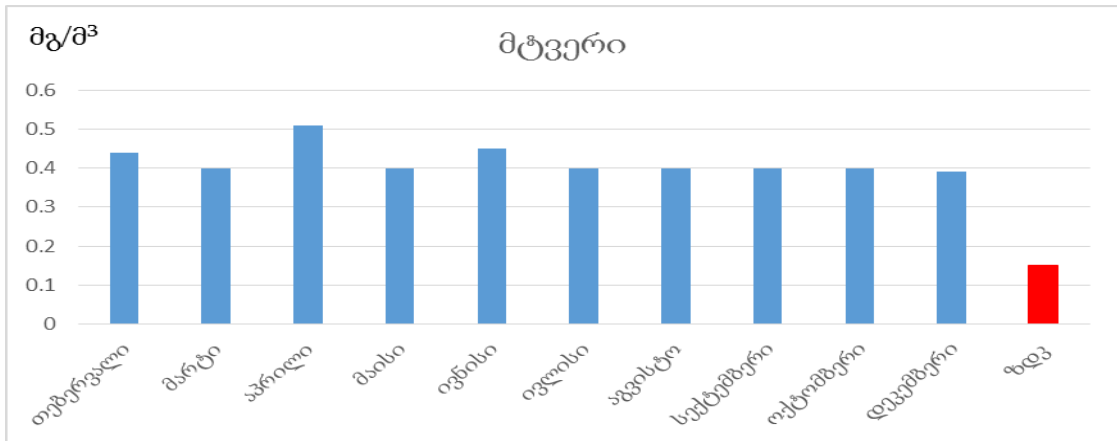
ცხრილი 3-ის მიხედვით, მტვრის საშუალო დღე-ღამური და მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები აღემატება შესაბამის ზღვ-ს (ნახაზი 1, 2).

აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები უმნიშვნელოდ აღემატება ზღვ-ს, ხოლო მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები ოდნავ აღემატება ზღვ-ს აგვისტოსა და ოქტომბრის თვეში (ნახაზი 3, 4).

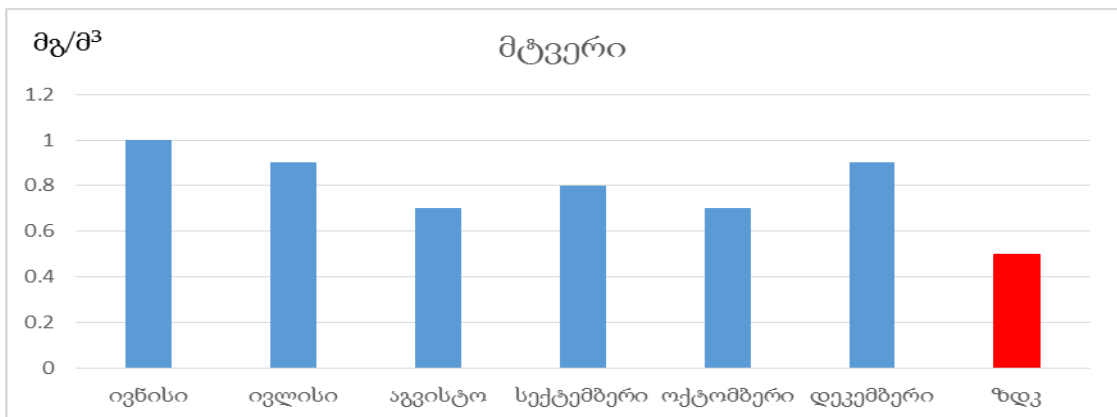
გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები აღემატება ზღვ-ს, ხოლო მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები არ აღემატება მის შესაბამის ზღვ-ს (ნახაზი 5).

ასევე ნახშირბადის ოქსიდის საშუალო დღე-ღამური და მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები არ აღემატება მათ შესაბამის ზღვ-ს.

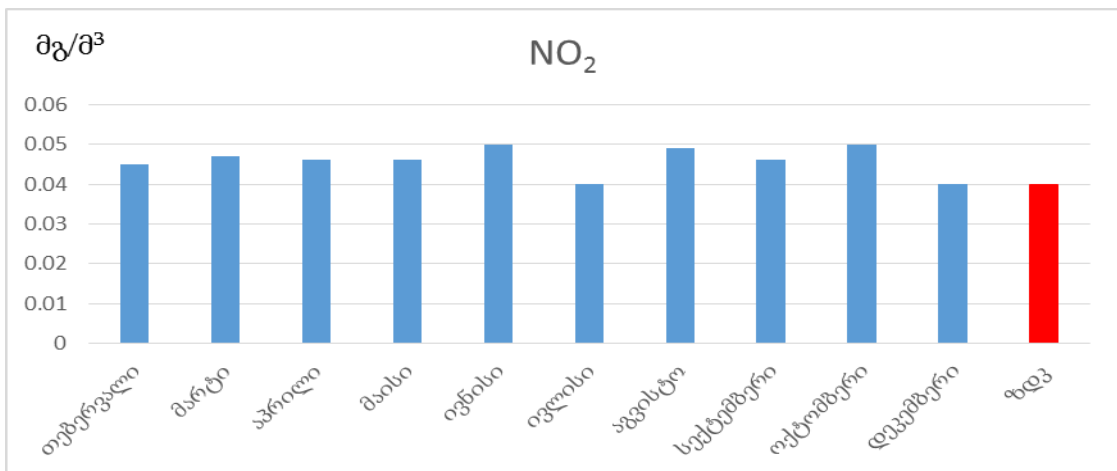
მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები აღემატება ზღვ-ს, ხოლო მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები ოდნავ აღემატება მის შესაბამის ზღვ-ს (ნახაზი 6, 7).



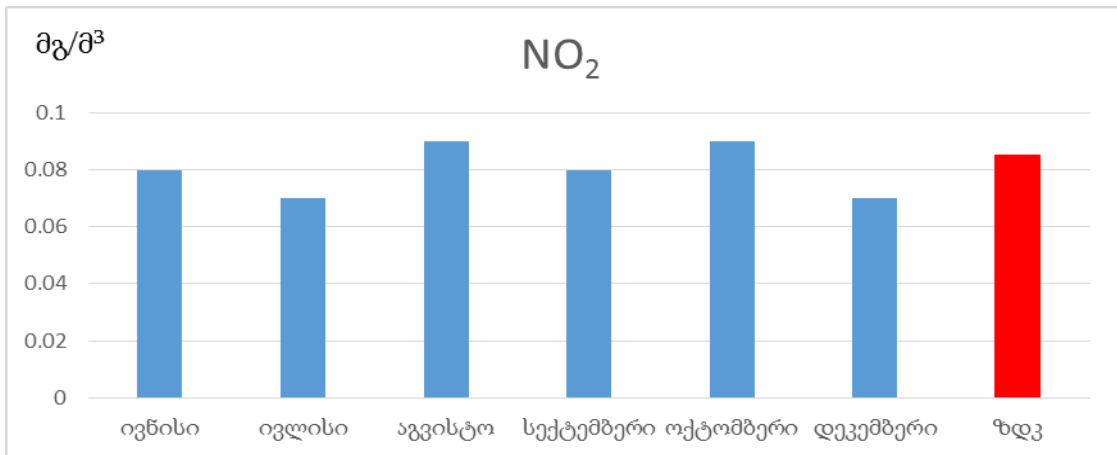
ნახ 1. 2013 წლის მტვრის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



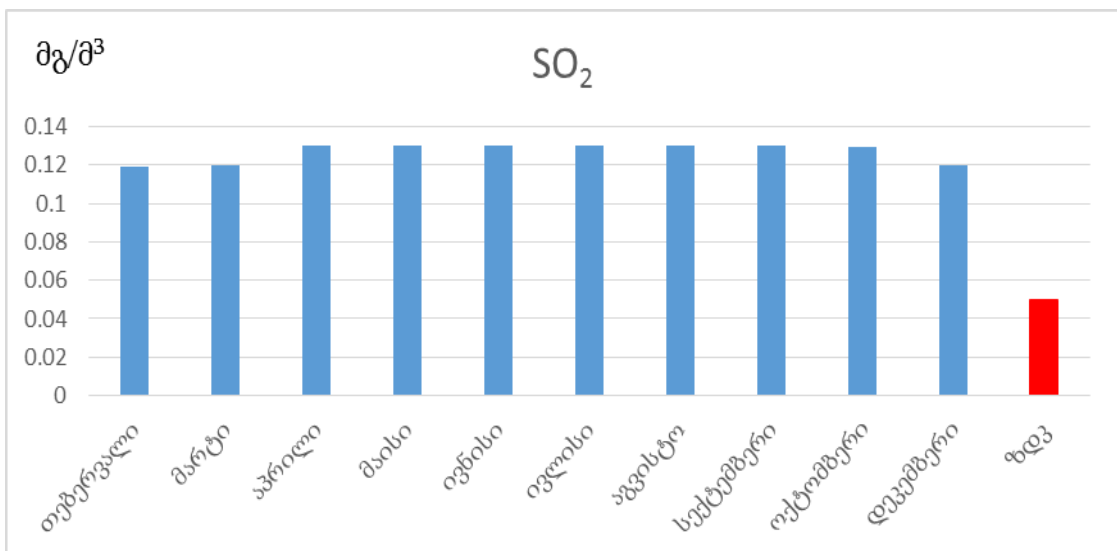
ნახ 2. 2013 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



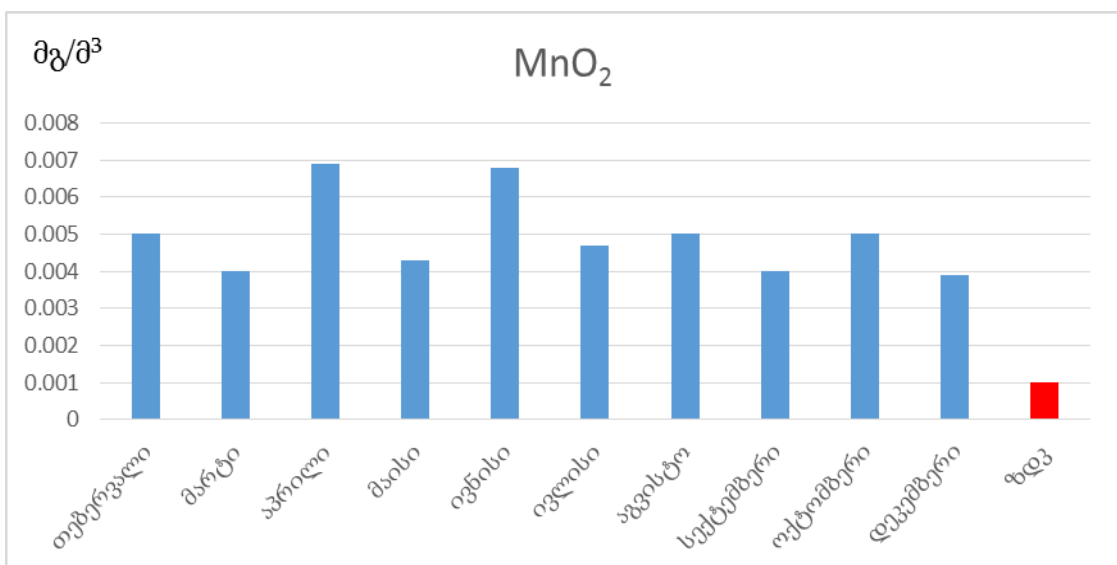
ნახ 3. 2013 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



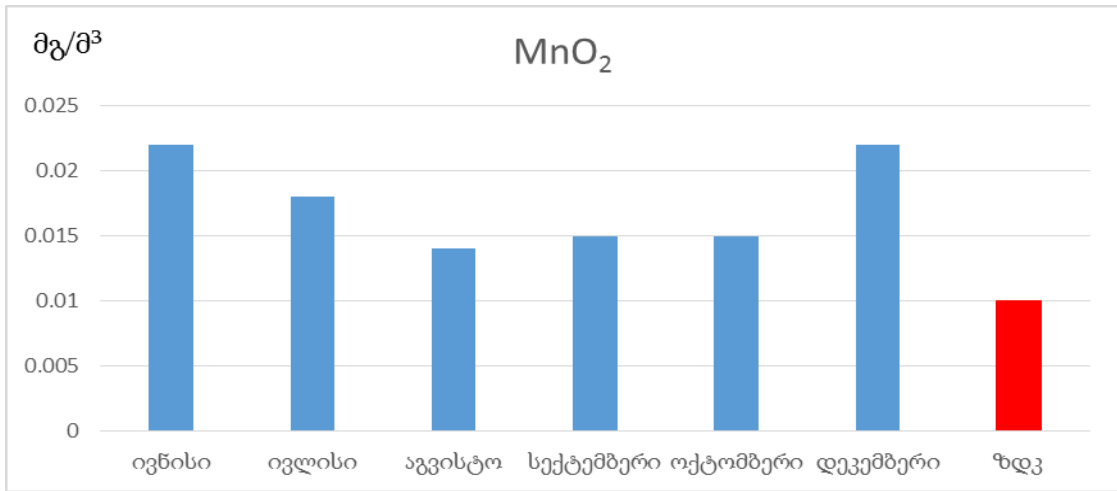
ნახ 4. 2013 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



ნახ 5. 2013 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 6. 2013 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 7. 2013 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები

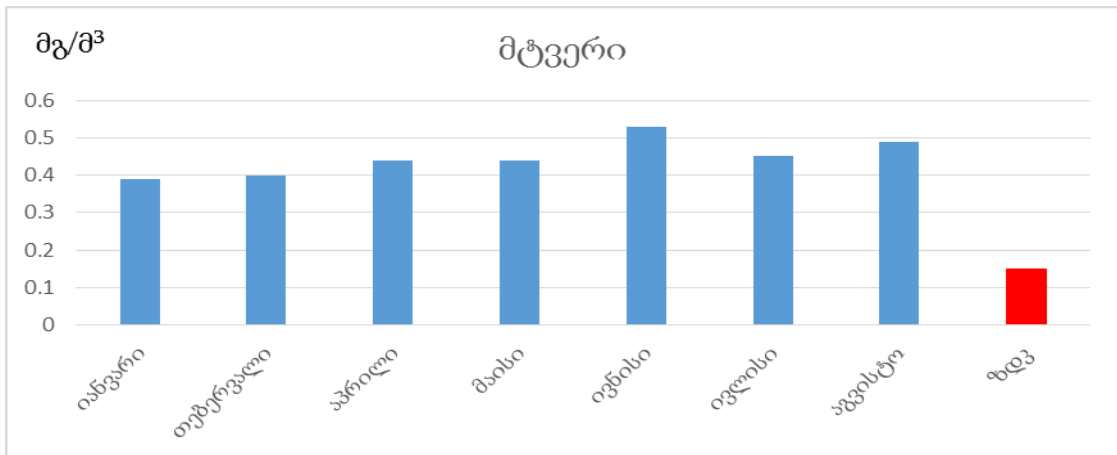
2014 წლიდან 2018 წლამდე მონაცემების მიხედვით მტვრისა და მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები აღემატება ზღვ-ს, ხოლო მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები რიგ შემთხვევებში აღემატება შესაბამის ზღვ-ს (ცხრილი 4-8, ნახაზი 8, 9, 13-16, 20-23, 27-30, 34-37, 41, 42).

აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები 2014 წლიდან 2016 წლამდე აღემატება ზღვ-ს, 2016-2018 წლებში კონცენტრაციათა მნიშვნელობები აღემატება რიგ შემთხვევებში (ცხრილი 4-8, ნახაზი 10, 17, 24, 31, 38). მისი მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები 2014 წელს ოდნავ აღემატება ზღვ-ს. 2017-2018 წლებში მხოლოდ აპრილის, აგვისტოსა და სექტემბრის თვეში აღემატება ზღვ-ს მნიშვნელობას (ცხრილი 4-8, ნახაზი 11, 18, 25, 32, 39).

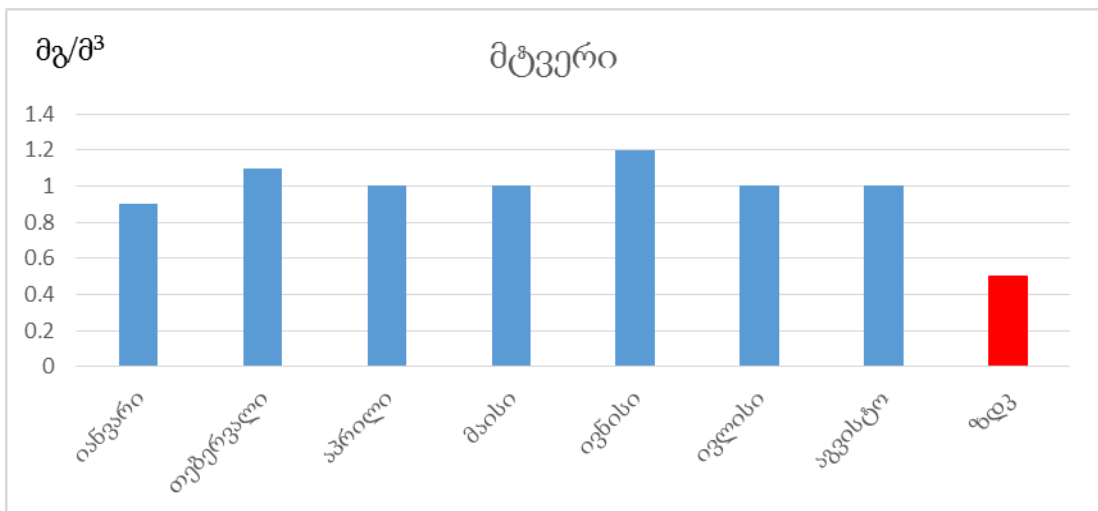
გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები აღემატება მის შესაბამის ზღვ-ს, ხოლო მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები არც ერთ შემთხვევაში არ აღემატება მის ზღვ-ს (ცხრილი 4-8, ნახაზი 12, 19, 26, 33, 40) [14].

ცხრილი 4. ე. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2014 წელი)

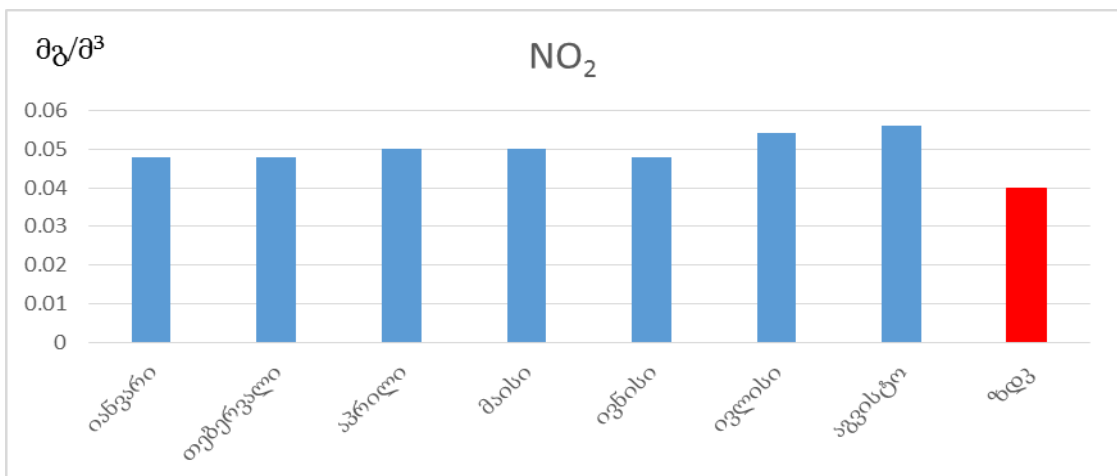
თვე	მტვერი, მგ/მ ³	NO ₂ , მგ/მ ³	SO ₂ , მგ/მ ³	CO, მგ/მ ³	MnO ₂ , მგ/მ ³
თებერვალი, საშ. თვიური	0,44	0,045	0,119	1,2	0,005
იანვარი, მაქს. ერთჯერადი	0,9	0,09	0,2	3	0,024
თებერვალი, საშ. თვიური	0,4	0,048	0,13	1,5	0,0051
თებერვალი, მაქს. ერთჯერადი	1,1	0,1	0,21	4	0,017
აპრილი, საშ. თვიური	0,44	0,05	0,137	1,35	0,0068
აპრილი, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,08	0,2	2,0	0,017
მაისი, საშ. თვიური	0,44	0,05	0,13	1,6	0,006
მაისი, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,09	0,18	2,0	0,017
ივნისი, საშ. თვიური	0,53	0,048	0,14	1,4	0,007
ივნისი, მაქს. ერთჯერადი	1,2	0,1	0,2	2,0	0,021
ივლისი, საშ. თვიური	0,45	0,054	0,14	1,4	0,008
ივლისი, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,1	0,21	2,0	0,019
აგვისტო, საშ. თვიური	0,49	0,056	0,14	1,45	0,0066
აგვისტო, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,1	0,21	2,0	0,017
ზღვ, საშ. დღე-ღამური	0,15	0,04	0,05	3	0,001
ზღვ, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,085	0,5	5	0,01



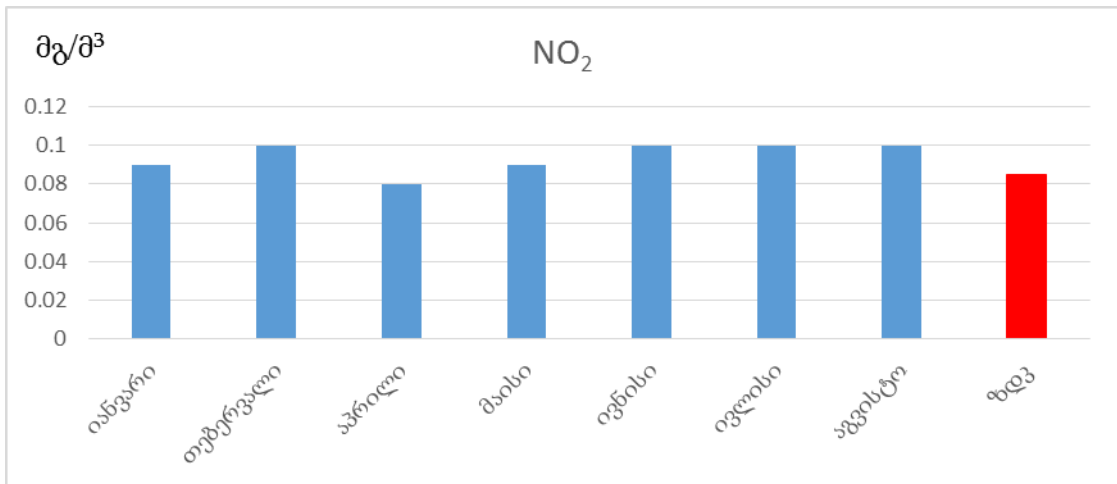
ნახ 8. 2014 წლის მტვერის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



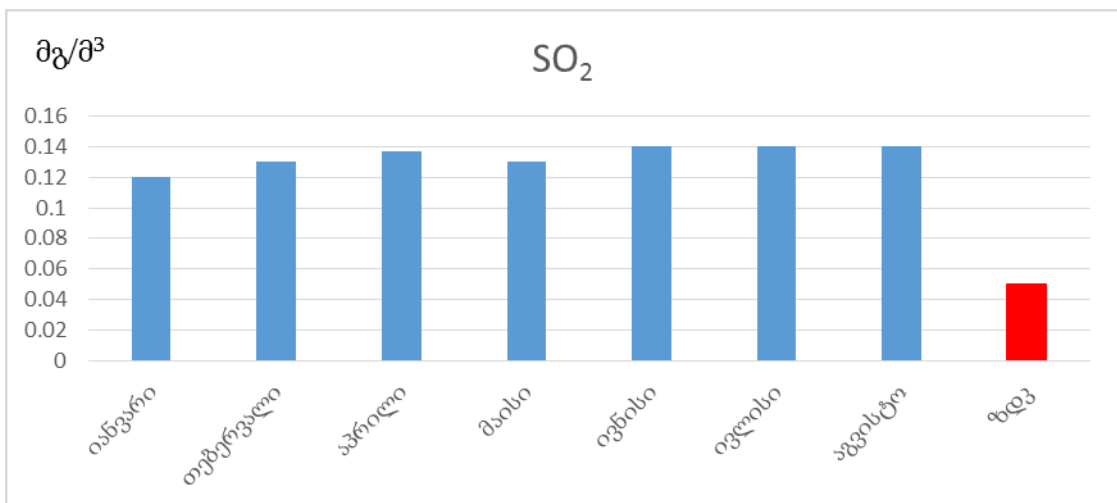
ნახ 9. 2014 წლის მტვერის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



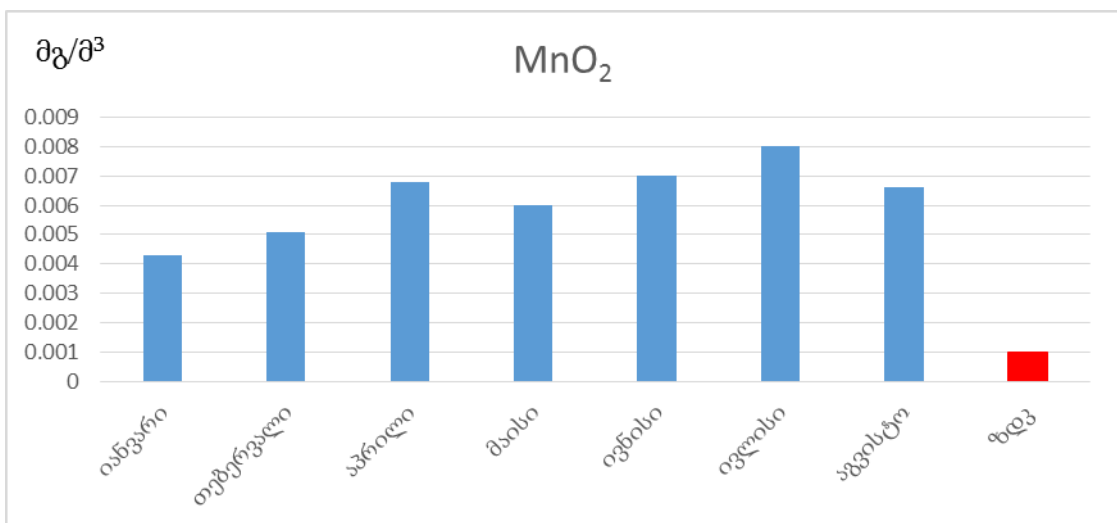
ნახ 10. 2014 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



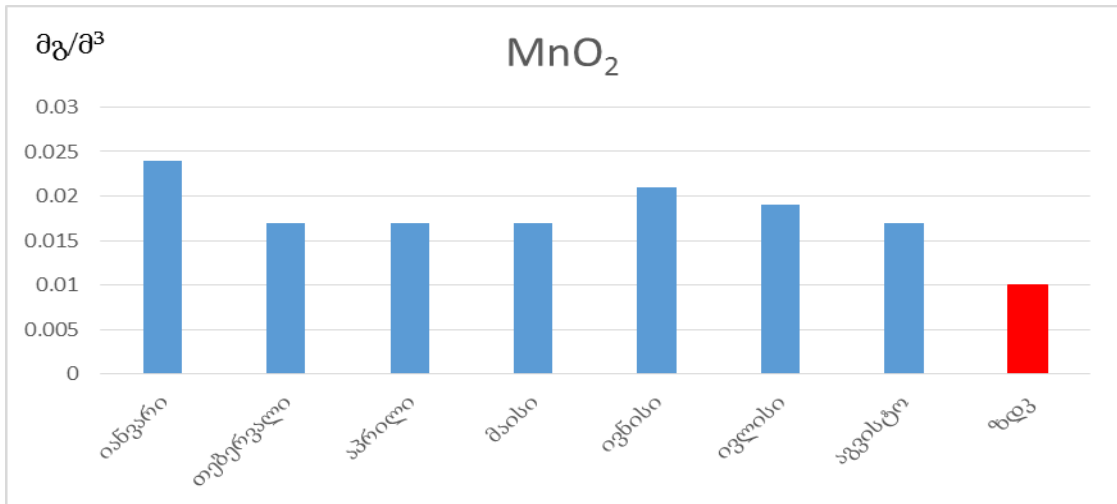
ნახ 11. 2014 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



ნახ 12. 2014 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 13. 2014 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



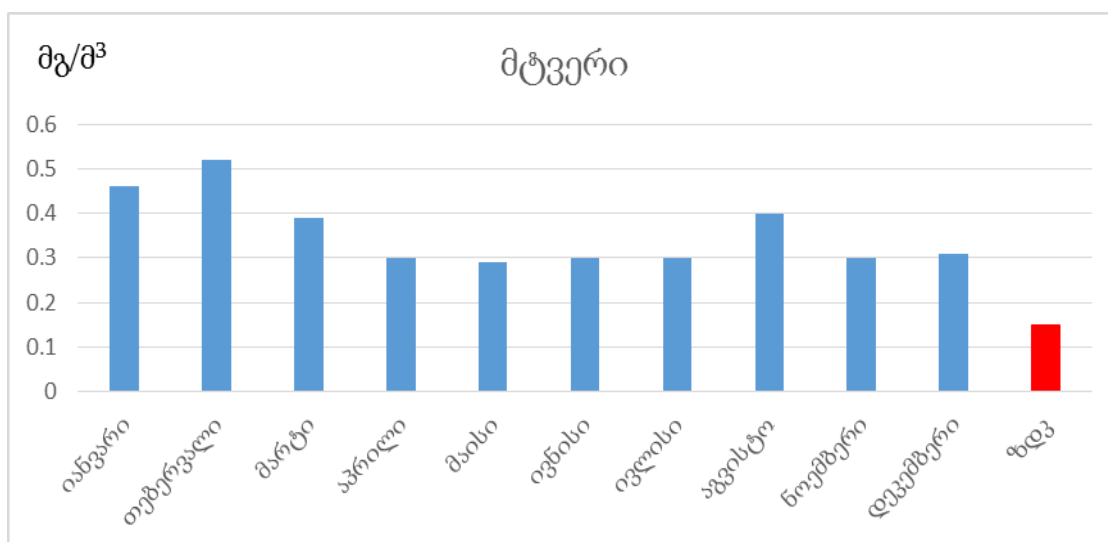
ნახ 14. 2014 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები

ცხრილი 5. ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2015 წელი)

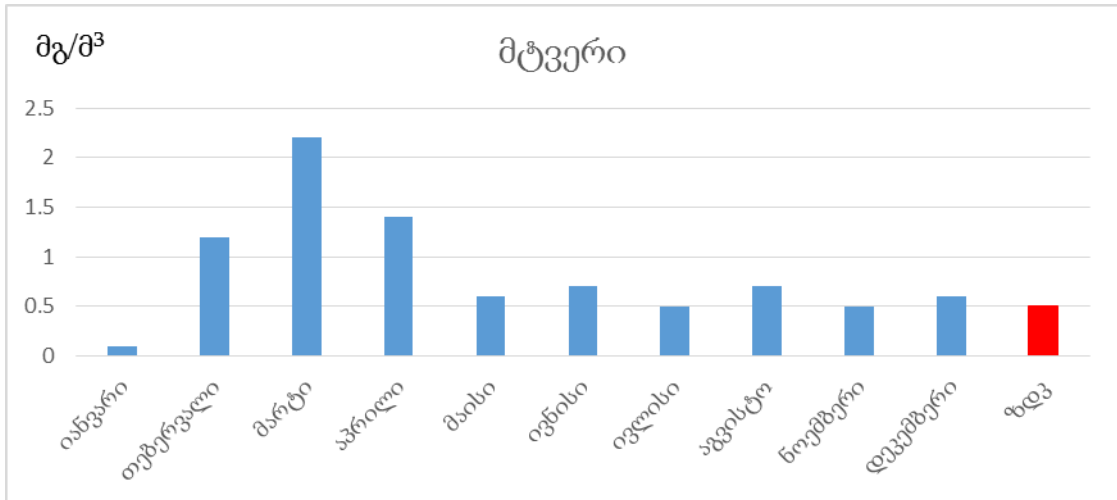
თვე	მტვერი, მგ/მ ³	NO ₂ , მგ/მ ³	SO ₂ , მგ/მ ³	CO, მგ/მ ³	MnO ₂ , მგ/მ ³
1	2	3	4	5	6
იანვარი, საშ. თვიური	0,46	0,047	0,127	1,3	-
იანვარი, მაქს. ერთჯერადი	0,1	0,08	0,17	2,0	-
თებერვალი, საშ. თვიური	0,52	0,051	0,11	1,8	-
თებერვალი, მაქს. ერთჯერადი	1,2	0,09	0,137	2,0	-
მარტი, საშ. თვიური	0,39	0,047	0,13	1,5	-
მარტი, მაქს. ერთჯერადი	2,2	0,08	0,2	2,0	-
აპრილი, საშ. თვიური	0,3	0,046	0,13	1,6	-
აპრილი, მაქს. ერთჯერადი	1,4	0,08	0,17	2,0	-
მაისი, საშ. თვიური	0,29	0,05	0,13	1,4	0,005
მაისი, მაქს. ერთჯერადი	0,6	0,09	0,17	2,0	0,011
ივნისი, საშ. თვიური	0,3	0,047	0,14	1,3	0,005
ივნისი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,08	0,21	2,0	0,012

(ცხრილი 5. გაგრძელება)

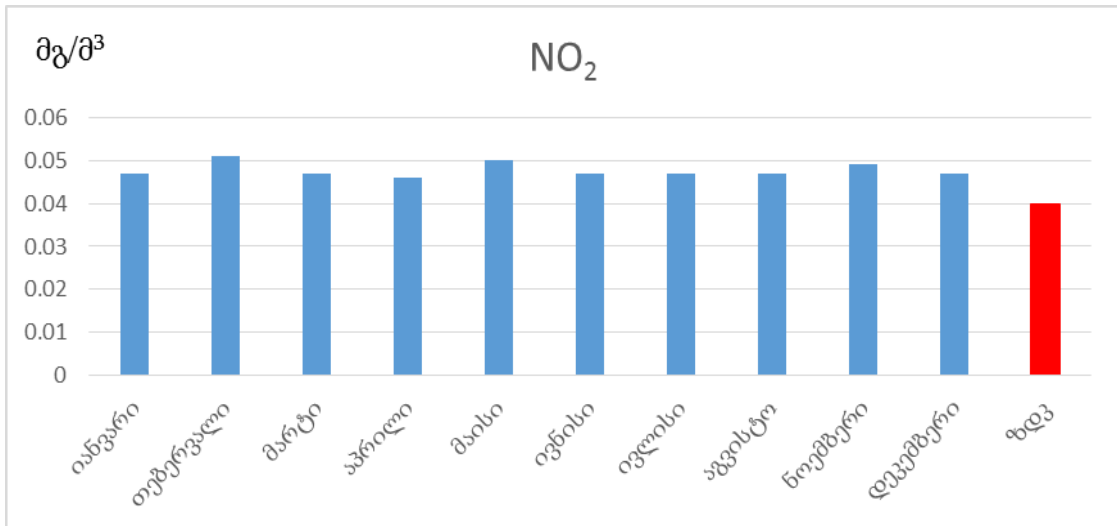
1	2	3	4	5	6
ივლისი, საშ. თვიური	0,3	0,047	0,14	1,4	0,004
ივლისი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,09	0,18	2,0	0,009
აგვისტო, საშ. თვიური	0,4	0,047	0,15	1,3	0,005
აგვისტო, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,08	0,18	3,0	0,01
ნოემბერი, საშ. თვიური	0,3	0,049	0,14	1,5	0,0044
ნოემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,09	0,2	3,0	0,01
დეკემბერი, საშ. თვიური	0,31	0,047	0,10	1,4	0,004
დეკემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,6	0,09	0,2	2,0	0,011
ზღვ. საშ. დღე-ღამური	0,15	0,04	0,05	3	0,001
ზღვ. მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,085	0,5	5	0,01



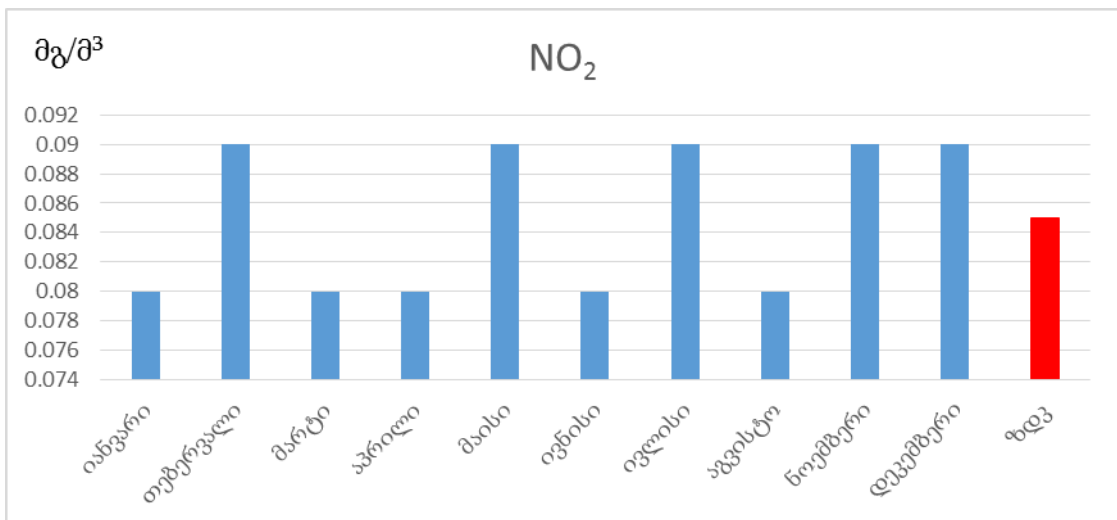
ნახ 15. 2015 წლის მტვერის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



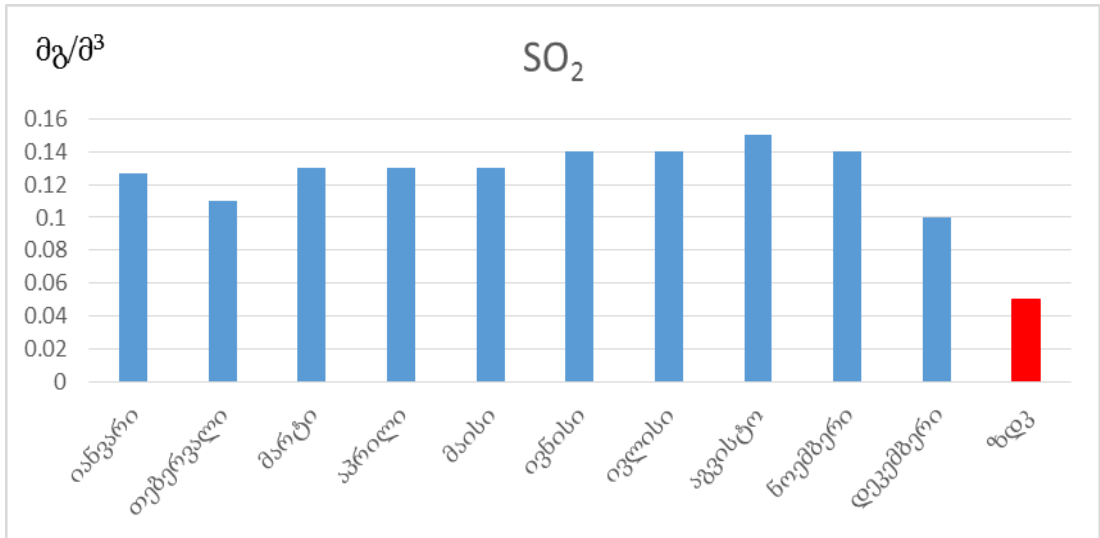
ნახ 16. 2015 წლის მტვერის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



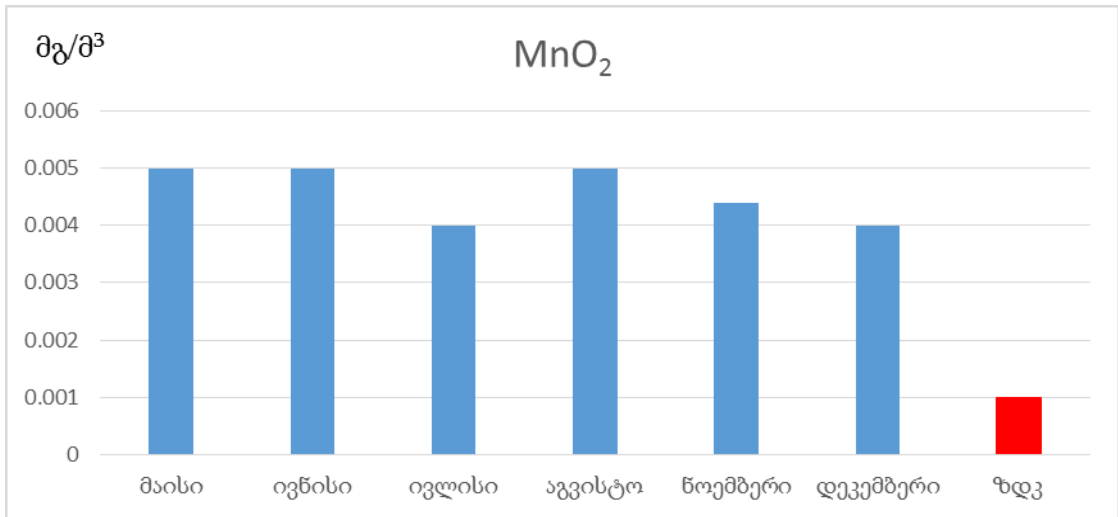
ნახ 17. 2015 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



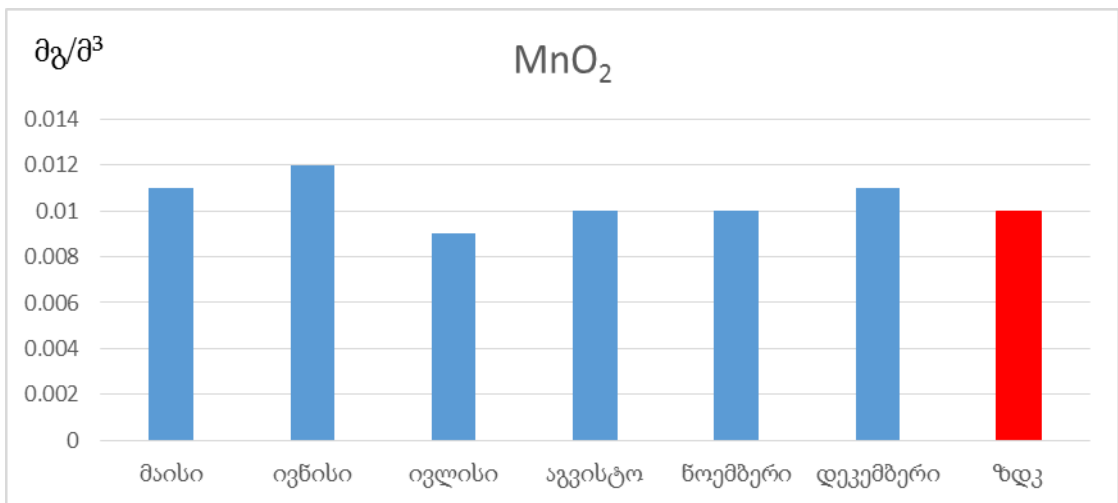
ნახ 18. 2015 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



ნახ 19. 2015 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 20. 2015 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



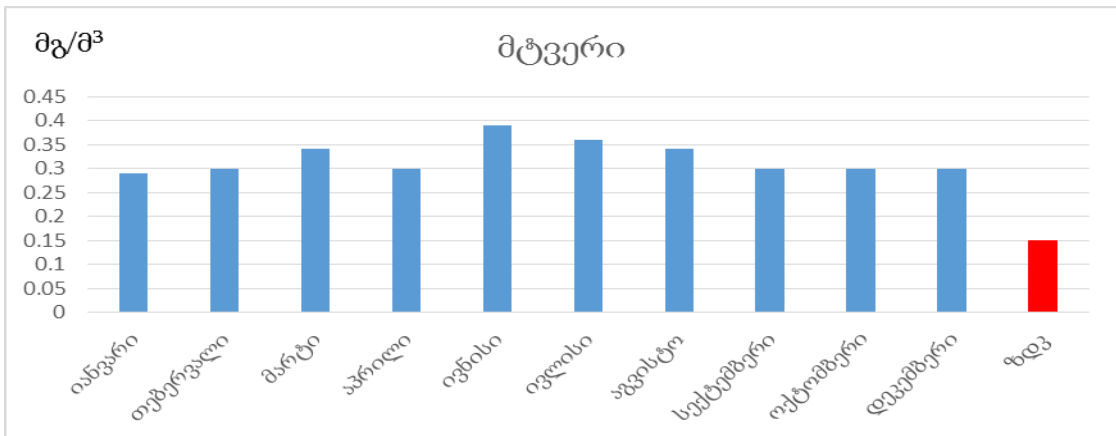
ნახ 21. 2015 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები

ცხრილი 6. ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2016 წელი)

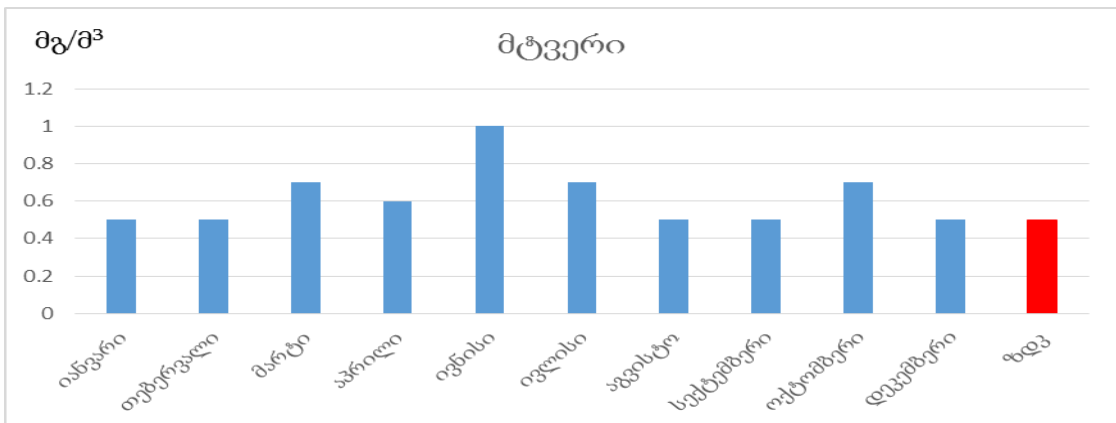
თვე	მტვერი, მგ/მ ³	NO ₂ , მგ/მ ³	SO ₂ , მგ/მ ³	CO, მგ/მ ³	MnO ₂ , მგ/მ ³
1	2	3	4	5	6
იანვარი, საშ. თვიური	0,29	0,04	0,125	1,4	0,0039
იანვარი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,09	0,2	2,0	0,008
თებერვალი, საშ. თვიური	0,3	0,048	0,136	1,3	0,004
თებერვალი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,09	0,2	2,0	0,008
მარტი, საშ. თვიური	0,34	0,05	0,136	1,3	0,004
მარტი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,09	0,18	2,0	0,013
აპრილი, საშ. თვიური	0,3	0,047	0,127	1,2	0,004
აპრილი, მაქს. ერთჯერადი	0,6	0,080	0,180	2,0	0,013
ივნისი, საშ. თვიური	0,39	0,050	0,13	1,5	0,005
ივნისი, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,080	0,21	2,0	0,013
ივლისი, საშ. თვიური	0,36	0,049	0,14	1,0	0,005
ივლისი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,080	0,19	2,0	0,014
აგვისტო, საშ. თვიური	0,34	0,04	0,13	1,5	0,004
აგვისტო, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,06	0,17	2,0	0,007
სექტემბერი, საშ. თვიური	0,3	0,04	0,13	1,4	0,0036
სექტემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,08	0,18	3,0	0,008
ოქტომბერი, საშ. თვიური	0,3	0,04	0,4	1,0	0,005
ოქტომბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,1	0,18	3,0	0,01
დეკემბერი, საშ. თვიური	0,3	0,04	0,12	1,3	0,004
დეკემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,07	0,16	2,0	0,007

(ცხრილი 6. გაგრძელება)

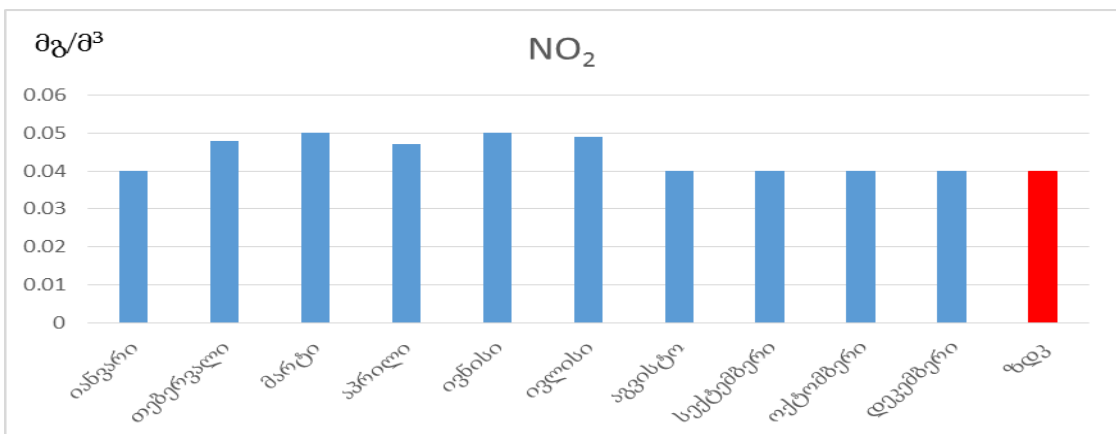
1	2	3	4	5	6
ზღვ. საშ. დღე-ღამური	0,15	0,04	0,05	3	0,001
ზღვ. მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,085	0,5	5	0,01



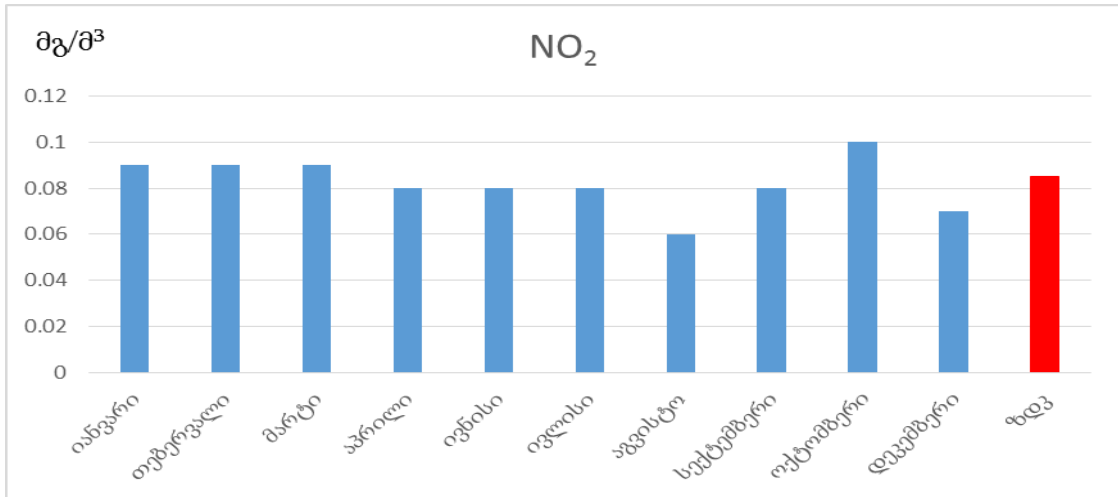
ნახ 22. 2016 წლის მტვრის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



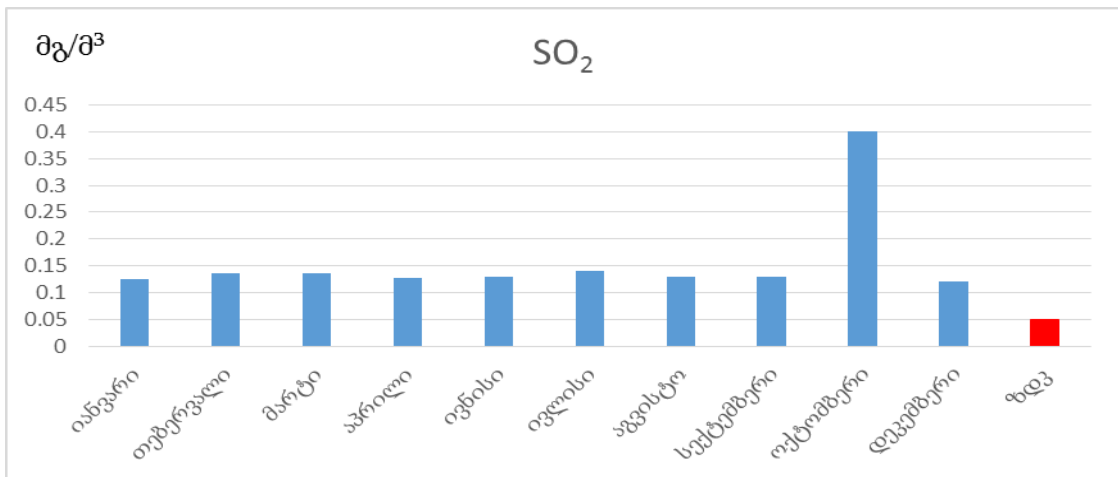
ნახ 23. 2016 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



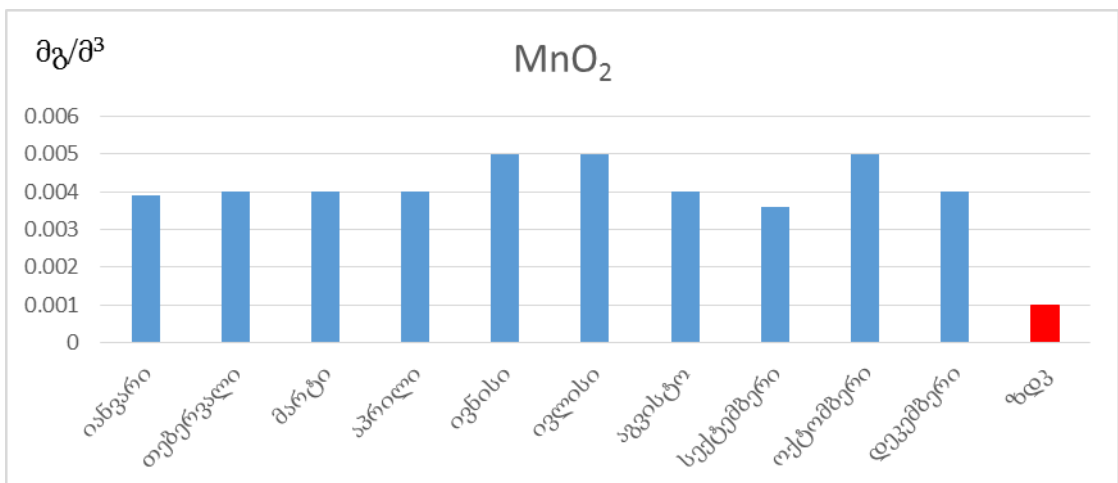
ნახ 24. 2016 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



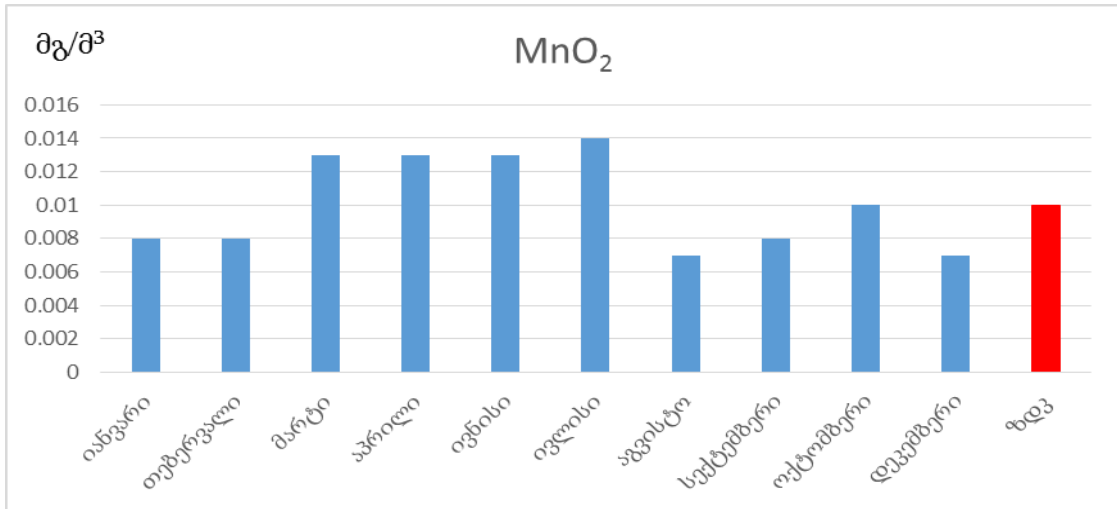
ნახ 25. 2016 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



ნახ 26. 2016 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 27. 2016 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



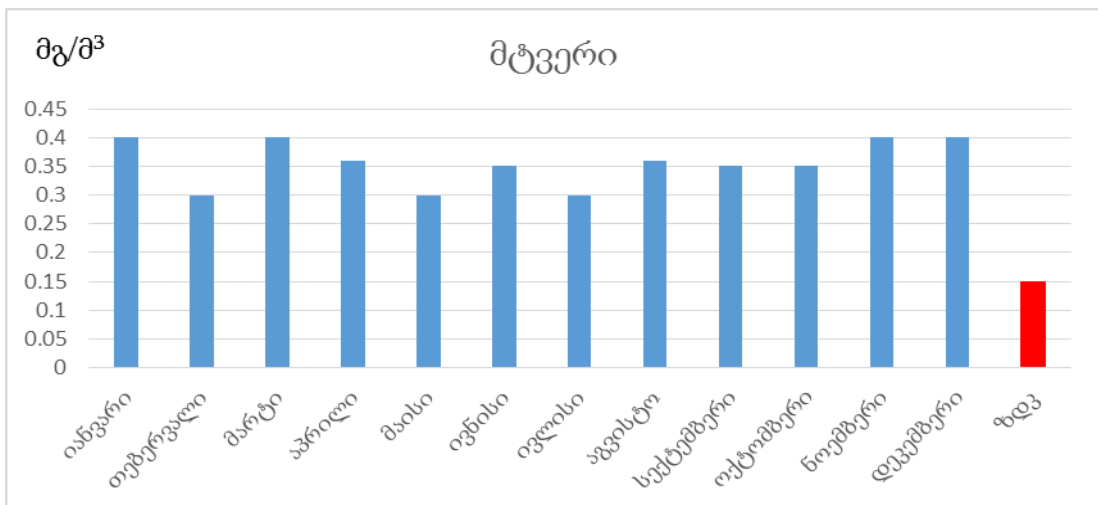
ნახ 28. 2016 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები

ცხრილი 7. კ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2017 წელი)

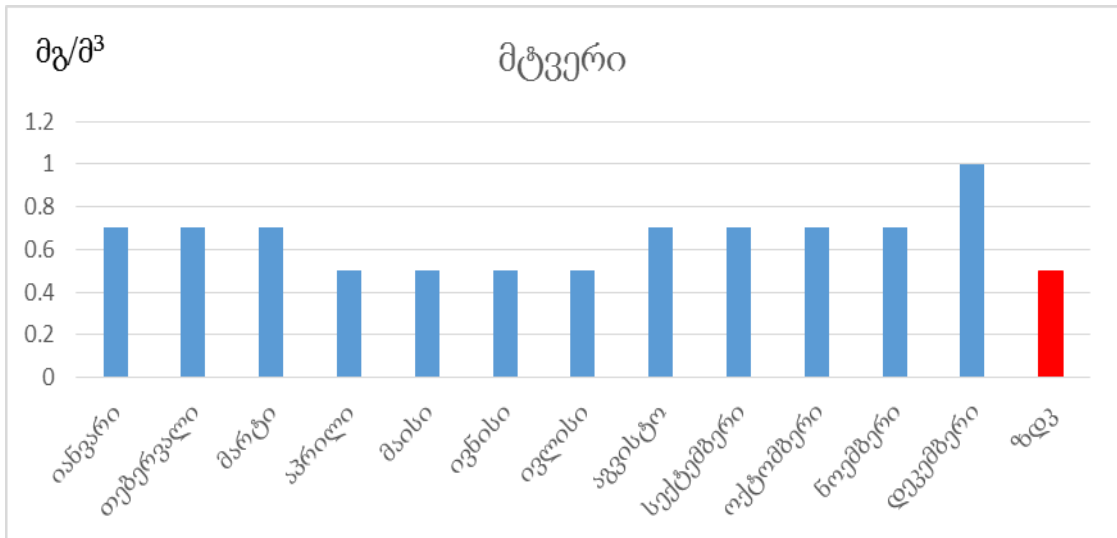
თვე	მტვერი, მგ/მ³	NO ₂ , მგ/მ³	SO ₂ , მგ/მ³	CO, მგ/მ³	MnO ₂ , მგ/მ³
1	2	3	4	5	6
იანვარი, საშ. თვიური	0,4	0,04	0,13	1,4	0,005
იანვარი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,08	0,20	2,0	0,015
თებერვალი, საშ. თვიური	0,3	0,04	0,127	1,4	0,004
თებერვალი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,06	0,170	3,0	0,009
მარტი, საშ. თვიური	0,4	0,04	0,138	1,5	0,004
მარტი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,08	0,200	2,0	0,009
აპრილი, საშ. თვიური	0,36	0,05	0,135	1,6	0,004
აპრილი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,11	0,210	3,0	0,007
მაისი, საშ. თვიური	0,3	0,04	0,13	1,5	0,004
მაისი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,07	0,18	4,0	0,008
ივნისი, საშ. თვიური	0,35	0,04	0,13	1,8	0,004
ივნისი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,07	0,19	4,0	0,007

(ცხრილი 7. გაგრძელება)

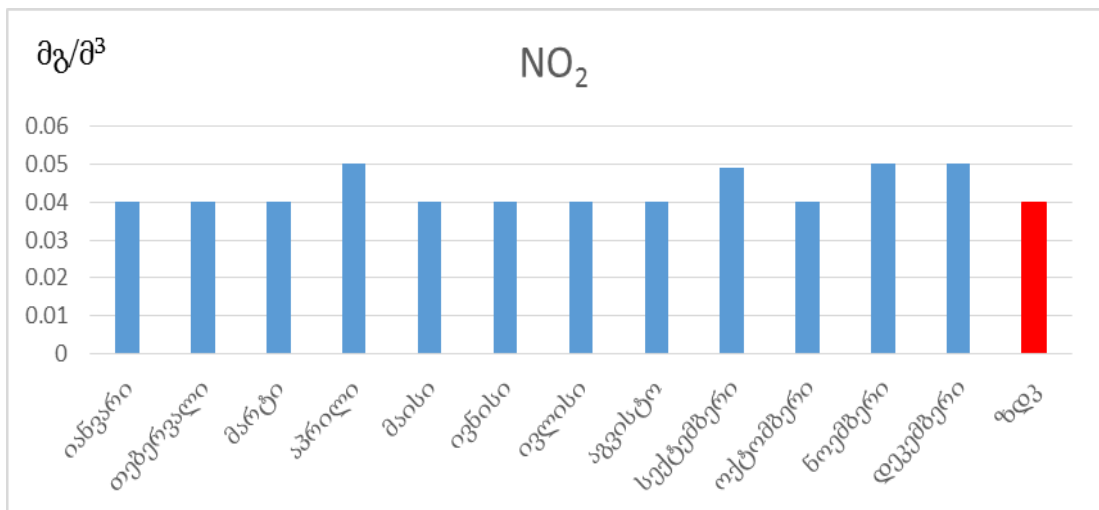
1	2	3	4	5	6
ივლისი, საშ. თვიური	0,30	0,04	0,12	1,6	0,004
ივლისი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,06	0,16	3,0	0,007
აგვისტო, საშ. თვიური	0,36	0,04	0,13	1,7	0,004
აგვისტო, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,09	0,19	3,0	0,008
სექტემბერი, საშ. თვიური	0,35	0,049	0,13	1,4	0,001
სექტემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,1	0,18	3,0	0,013
ოქტომბერი, საშ. თვიური	0,35	0,04	0,14	1,5	0,004
ოქტომბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,1	0,18	2,0	0,01
ნოემბერი, საშ. თვიური	0,4	0,05	0,14	1,7	0,006
ნოემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,09	0,2	4,0	0,013
დეკემბერი, საშ. თვიური	0,4	0,05	0,14	1,7	0,006
დეკემბერი, მაქს. ერთჯერადი	1,0	0,08	0,17	2,0	0,015
ზდკ, საშ. დღე-ღამური	0,15	0,04	0,05	3	0,001
ზდკ, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,085	0,5	5	0,01



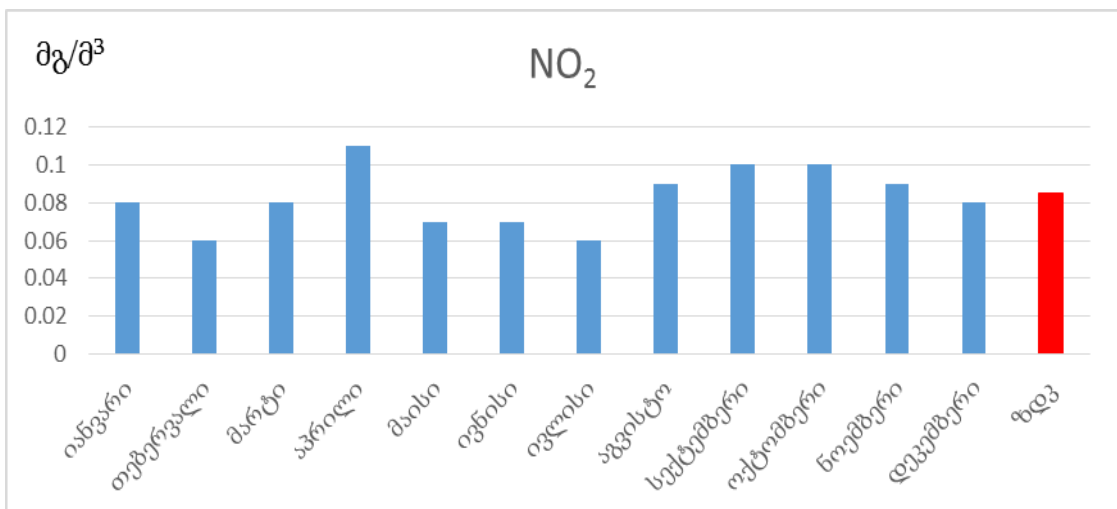
ნახ 29. 2017 წლის მტკერის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



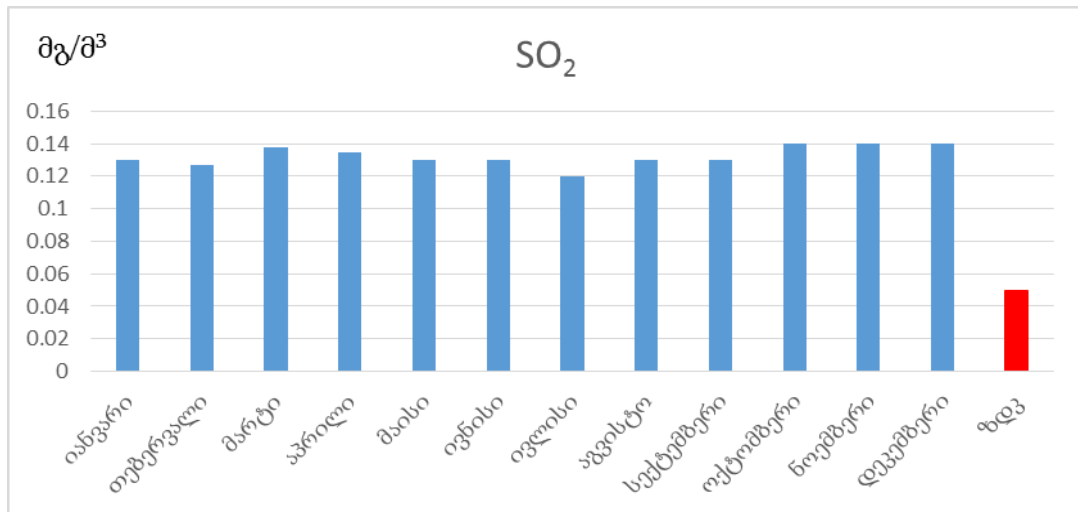
ნახ 30. 2017 წლის მტვერის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



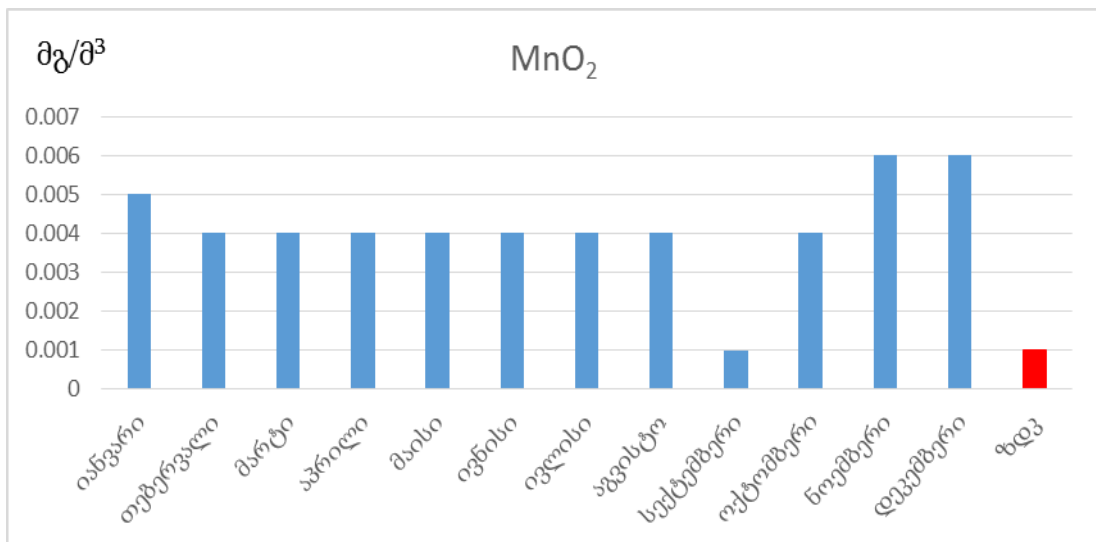
ნახ 31. 2017 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



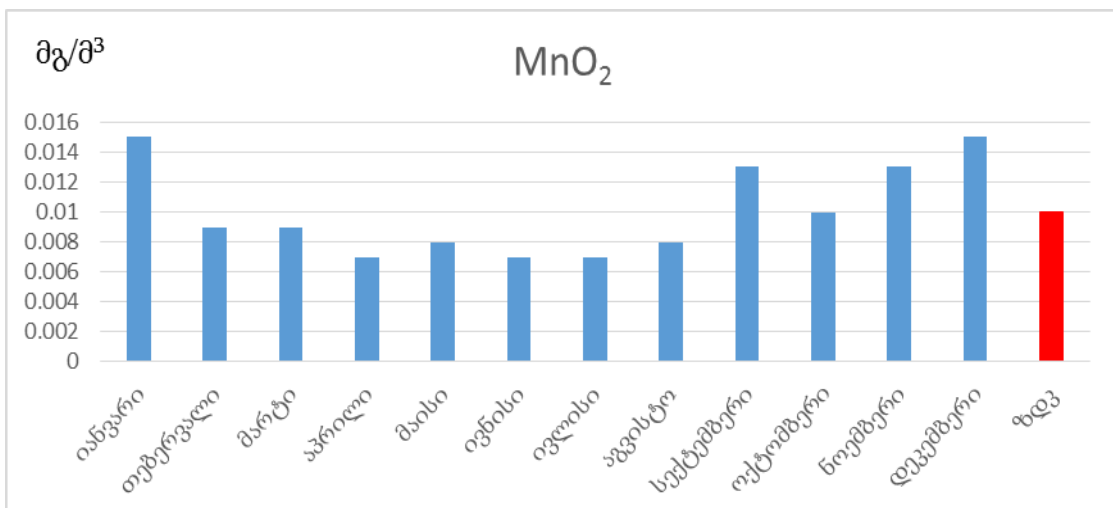
ნახ 32. 2017 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



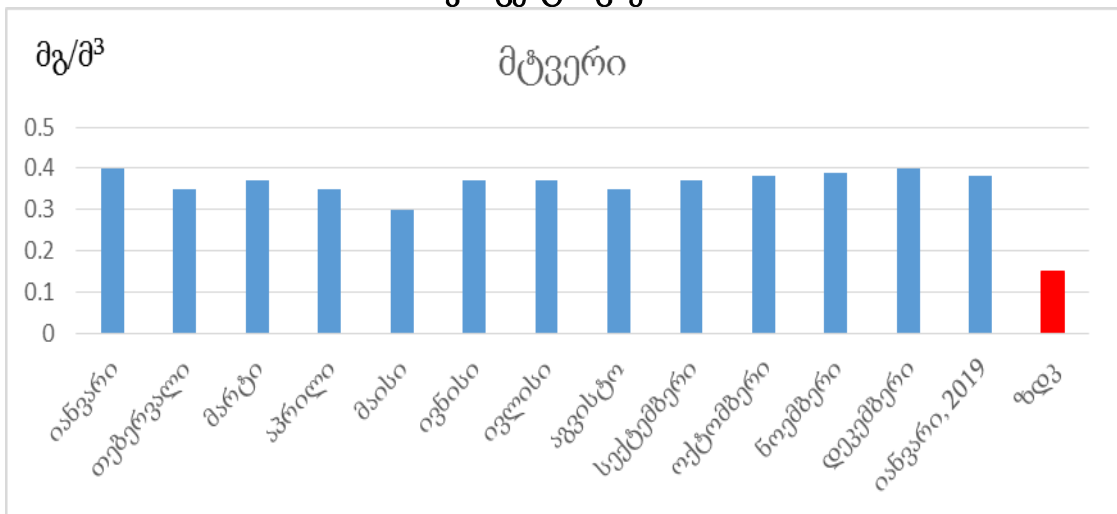
ნახ 33. 2017 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 34. 2017 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 35. 2017 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



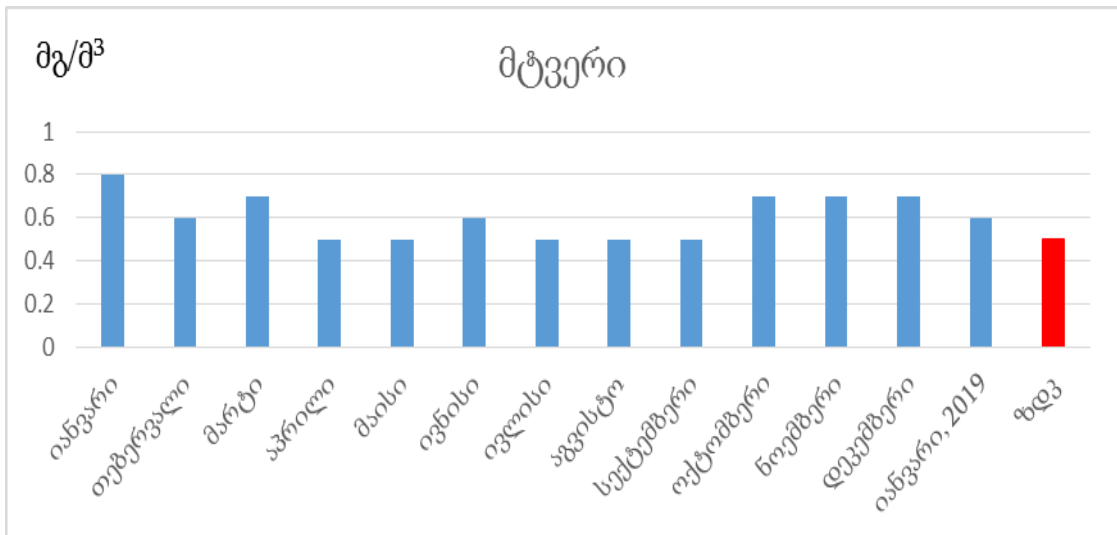
ნახ 36. 2018-2019 წლის მტვერის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები

ცხრილი 8. ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ კომპონენტთა კონცენტრაციების მნიშვნელობები (2018-2019 წელი)

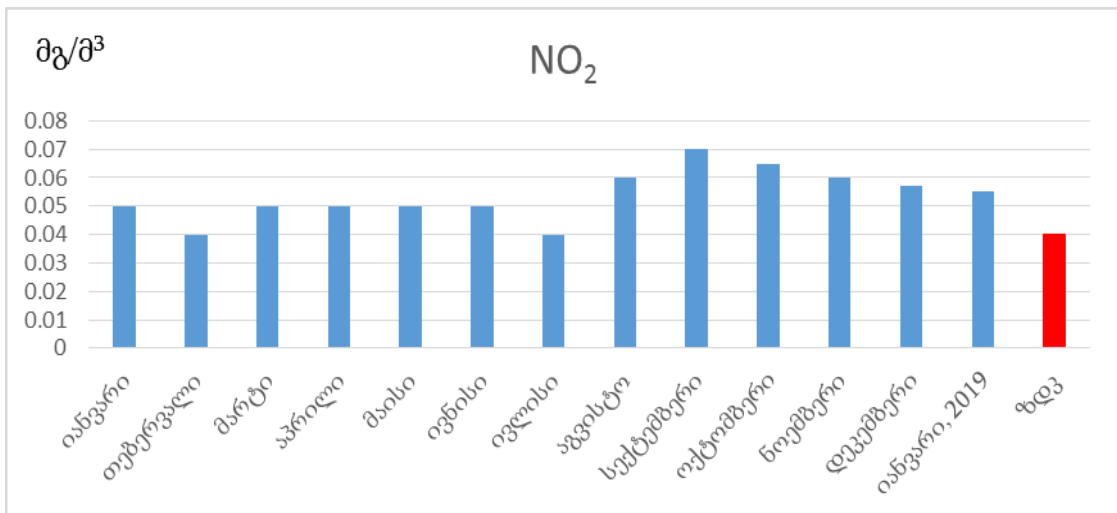
თვე	მტვერი, მგ/მ ³	NO ₂ , მგ/მ ³	SO ₂ , მგ/მ ³	CO, მგ/მ ³	MnO ₂ , მგ/მ ³
1	2	3	4	5	6
იანვარი, საშ. თვიური	0,4	0,05	0,13	1,5	0,005
იანვარი, მაქს. ერთჯერადი	0,8	0,09	0,20	3,0	0,014
თებერვალი, საშ. თვიური	0,35	0,04	0,13	1,4	0,003
თებერვალი, მაქს. ერთჯერადი	0,6	0,08	0,17	2,0	0,010
მარტი, საშ. თვიური	0,37	0,05	0,13	1,6	0,004
მარტი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,08	0,21	4,0	0,009
აპრილი, საშ. თვიური	0,35	0,05	0,13	1,4	0,004
აპრილი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,13	0,17	2,0	0,007
მაისი, საშ. თვიური	0,3	0,05	0,12	1,5	0,004
მაისი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,10	0,17	4,0	0,008
ივნისი, საშ. თვიური	0,37	0,05	0,12	1,6	0,004
ივნისი, მაქს. ერთჯერადი	0,6	0,13	0,17	3,0	0,008

(ცხრილი 8. გაგრძელება)

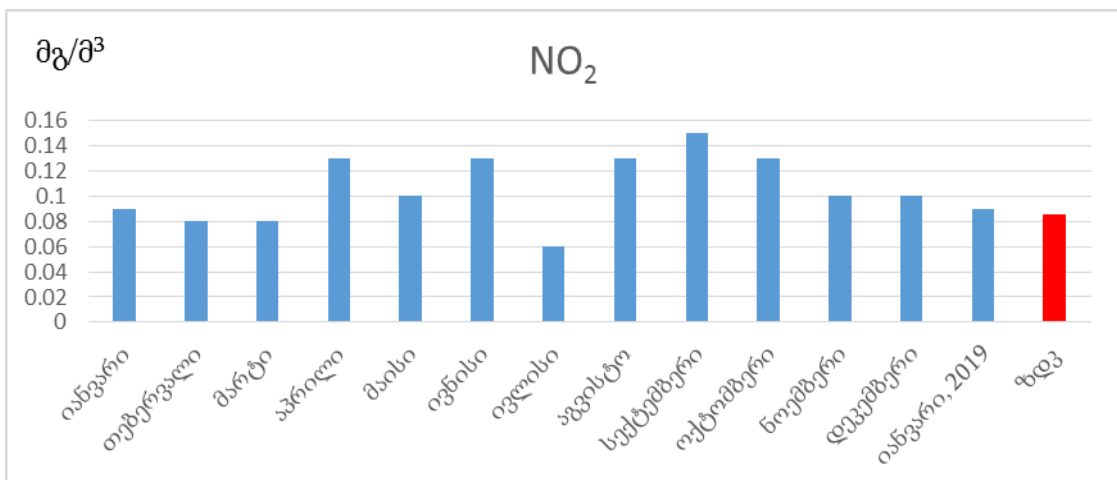
1	2	3	4	5	6
ივლისი, საშ. თვიური	0,37	0,04	0,12	1,3	0,005
ივლისი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,06	0,16	3,0	0,008
აგვისტო, საშ. თვიური	0,35	0,06	0,13	1,8	0,004
აგვისტო, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,13	0,17	4,0	0,008
სექტემბერი, საშ. თვიური	0,37	0,07	0,14	1,6	0,005
სექტემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,15	0,19	3,0	0,009
ოქტომბერი, საშ. თვიური	0,38	0,065	0,13	1,7	0,005
ოქტომბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,130	0,20	3,0	0,010
ნოემბერი, საშ. თვიური	0,39	0,06	0,13	1,6	0,005
ნოემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,10	0,18	4,0	0,012
დეკემბერი, საშ. თვიური	0,4	0,057	0,13	1,6	0,004
დეკემბერი, მაქს. ერთჯერადი	0,7	0,100	0,18	4,0	0,012
იანვარი, საშ. თვიური (2019)	0,38	0,055	0,13	1,6	0,0045
იანვარი, მაქს. ერთჯერადი (2019)	0,6	0,09	0,18	3,0	0,008
ზდკ, საშ. დღე-ღამური	0,15	0,04	0,05	3	0,001
ზდკ, მაქს. ერთჯერადი	0,5	0,085	0,5	5	0,01



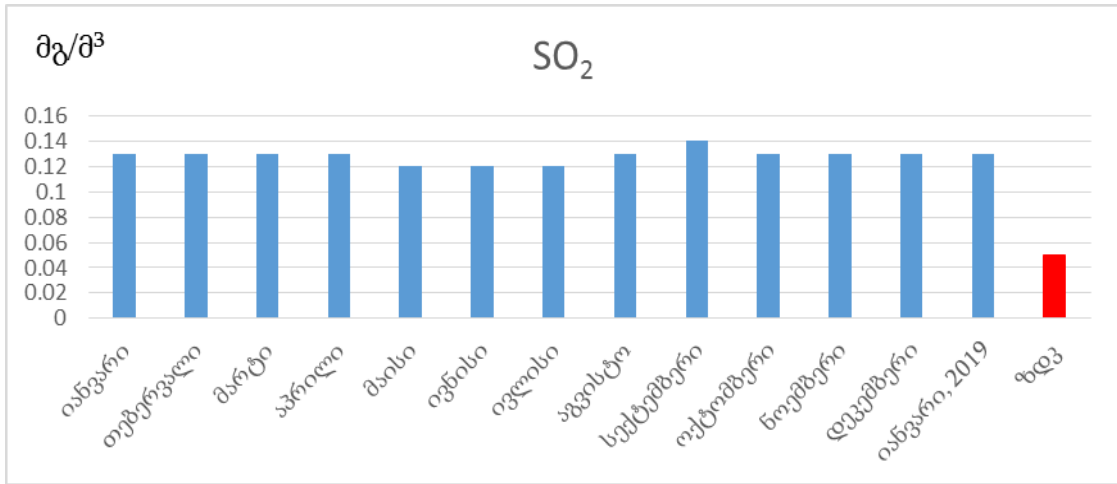
ნახ 37. 2018-2019 წლის მტვრის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



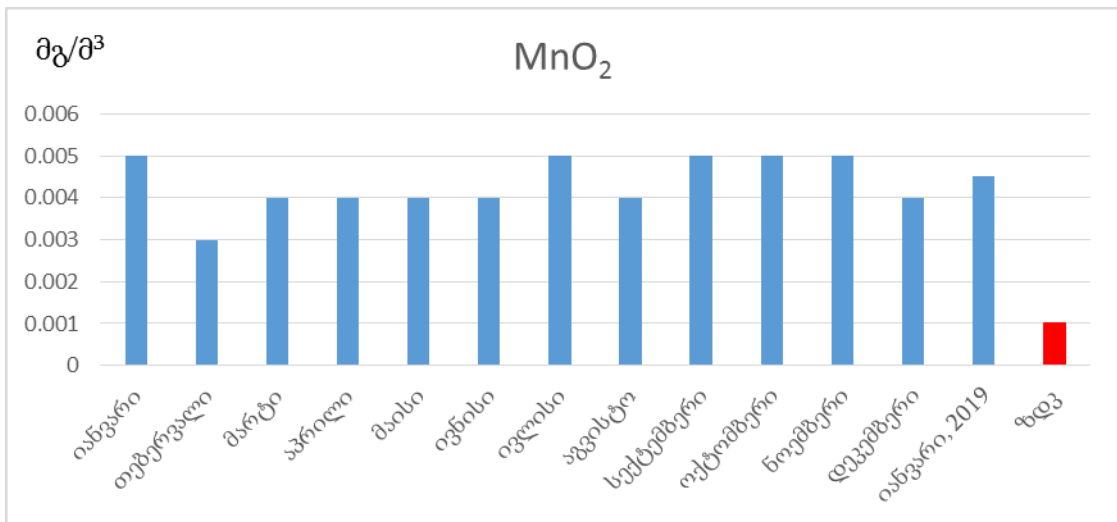
ნახ 38. 2018-2019 წლის აზოტის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



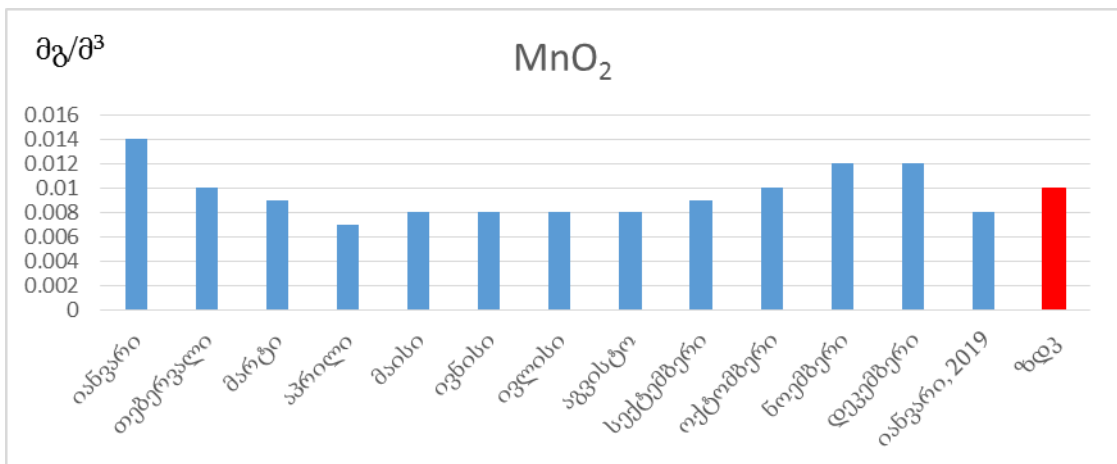
ნახ 39. 2018-2019 წლის აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები



ნახ 40. 2018-2019 წლის გოგირდის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 41. 2018-2019 წლის მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციები



ნახ 42. 2018-2019 წლის მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაციები

ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის სანიტარულ-ჰიგიენური მდგომარეობის შეფასება ხდება შემდეგი ძირითადი მაჩვენებლების მიხედვით:

1. დამაბინძურებელ ქიმიურ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია საწარმოო სამუშაო ზონის ჰაერში (ზდკ-სზ, მგ/მ³), რომელიც 8 საათიანი ყოველდღიური მუშაობის ხანგრძლივობისას ან არაუმეტეს 41 საათის ხანგრძლივობისას კვირის სამუშაო დროის განმავლობაში არ გამოიწვევს სომატურ ან ფსიქიკურ დაავადებებს, ჯანმრთელობის მდგომარეობის ისეთ ცვლილებებს, რომელიც გამოდის შემგუებლურ-ფიზიოლოგიური რეაქციების ზღვრებიდან, რომელიც განისაზღვრება თანამედროვე კვლევის მეთოდებით როგორც დღევანდელი, ასევე მომავალი თაობებისათვის ცხოვრების გარკვეულ პერიოდში.
2. დამაბინძურებელ ქიმიურ ნივთიერებათა ერთჯერადი მაქსიმალური ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები დასახლებული ზონის ატმოსფერულ ჰაერში (ზდკ-მაქ. ერთ, მგ/მ³), რომელიც ჩასუნთქვისას 20 წუთის განმავლობაში არ უნდა იწვევდეს ზემოქმედებას ადამიანის ორგანიზმზე.
3. დამაბინძურებელ ქიმიურ ნივთიერებათა საშუალო დღე-ღამური ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები დასახლებული ზონის ატმოსფერულ ჰაერში (ზდკ-საშ. დღე-ღამური, მგ/მ³), რომელიც უშუალოდ ან არაპირდაპირ არ უნდა მოქმედებდეს ადამიანის ორგანიზმზე წლების განმავლობაში.
4. დამაბინძურებელ ქიმიურ ნივთიერებათა დროებითი დასაშვები კონცენტრაციები ატმოსფერულ ჰაერში (დდკ, მგ/მ³), რომელიც დადგენილია უსაფრთხო საორინეტაციო დონის მიხედვით.
5. დამაბინძურებელ ქიმიურ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები გამონატყორცნი დასახლებული ზონის

ატმოსფერულ ჰაერში (ზდგ, მგ/მ³), რომელიც არახელსაყრელ მეტეოროლოგიურ პირობებში მავნე ნივთიერებათა გარკვეული რაოდენობის გაფანტვის დროს დაცული იქნება ჰიგიენური ნორმატივები [15, 16].

სამრეწველო გაჭუჭყიანებისაგან ატმოსფერული ჰაერის დაცვა დაკავშირებულია წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით დამაბინძურებელი წყაროებისა და ნივთიერებების დადგენასთან. ამჟამად გარემოს დაცვის საკითხები და ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტა შესაძლებელია განხორციელდეს ეკოლოგიურად უსაფრთხო, მცირე ნარჩენიანი ან უნარჩენო ტექნოლოგიური პროცესებით, საწარმოებისა და ტერიტორიულ-საწარმოო პროცესების შექმნით, ასევე საინჟინრო-ეკოლოგიური უსაფრთხოების თვალსაზრისით თანამედროვე გამწმენდი სისტემის დანერგვით.

1.4 რიცხვითი მოდელირება

მათემატიკური და რიცხვითი მოდელირება წარმოადგენს ატმოსფეროში აეროზოლების გავრცელების, კანონზომიერების, კვლევისა და დაბინძურების პროგნოზირების ერთ-ერთ ძირითად მეთოდს. დღეისათვის დამუშავებულია მოდელები, რომლებიც შეიძლება სისტემატიზირებული იქნას ოთხი ჯგუფის სახით: გაუსის მოდელები, ემპირიული მოდელები, ლაგრანჟის მოდელები და ეილერის მოდელები.

გაუსის სტაციონალური და არასტაციონალური მოდელები [17-19] გვადლევენ ამონაფრქვევის შლეიფში კონცენტრაციის სივრცული განაწილების ანალიზურ გამოსახულებას. ისინი ეყრდნობიან დაშვებას, რომ დაბინძურების ღრუბელში კონცენტრაციის განაწილება ახლოსაა გაუსის ნორმალურ განაწილებასთან და წარმოადგენს დიფუზიის განტოლების ანალიზურ ამოხსნას იმ შემთხვევაში, როდესაც ქარის სიჩქარე მუდმივია დროსა და სივრცეში, დიფუზიის კოეფიციენტები არაა დამოკიდებული კოორდინატებზე და ინგრედიენტის ადვექტიური გადატანა მინარევს

გავრცელების მიმართულებით გაცილებით ძლიერია დიფუზიურ გადატანაზე.

ემპირიული მოდელები მიღებულნი არიან მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური გაზომვებისა და ნატურული დაკვირვების მასალების განზოგადების ბაზაზე. ისინი ანალიზური ფუნქციების საშუალებით გამოსახავენ დამაბინძურებელი ინგრედიენტების კონცენტრაციის განაწილებას სივრცეში ქარის ფიქსირებული და მუდმივი მნიშვნელობის, რეგიონის კლიმატური ზონის მახასიათებელი და ამოფრქვევის წყაროს გეომეტრიული, თერმიული პარამეტრების გამოყენებით [20-22]. ემპირიული მოდელები ფართოდ გამოიყენებიან გარემოზე ზემოქმედების დონის შეფასების და ზღვრულად დასაშვები ამონაფრქვევების რაოდენობის განსაზღვრისათვის. ემპირიული მოდელები ძირითადად ასახავენ ლოკალური დიფუზიის პროცესებს.

ლაგრანჟის მოდელში კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობა სივრცის მოცემულ წერტილში და დროის განსაზღვრულ მომენტში განისაზღვრება როგორც დროითი და სივრცითი ინტეგრალი ჰაერის მოცულობის ალბათობის ფუნქციის და წყაროს მახასიათებელი ფუნქციების ნამრავლიდან [23-25]. ლაგრანჟის მოდელები ძირითადად გამოიყენებიან დიდმასშტაბიანი დიფუზიის პროცესების შესწავლისათვის.

განსაკუთრებული გავრცელება ჰპოვა ატმოსფეროს დაბინძურების პროგნოზირებულმა და დიაგნოსტიკურმა ქიმიურმა ეილერის მოდელებმა [26-30]. მათში დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციები განისაზღვრებიან მინარევების ატმოსფეროში გადატანა-დიფუზიის განტოლების რიცხვითი ინტეგრირებით. თანამედროვე მოდელები ითვალისწინებენ ატმოსფეროში არსებული მინარევების ქიმიური გარდაქმნის, რადიაციული დაშლის, ფოტოდისიპაციის, აეროზოლების გამორეცხვის, დალექვისა და სხვა ფიზიკური თუ ქიმიური კინეტიკის პროცესებს. ქიმიური მოდელები არიან ინტეგრირებულნი ამინდის თანამედროვე მაღალი გარჩევის უნარის მქონე ჰიდროსტატიკურ და

არაჰიდროსტატიკურ მეზომეტეოროლოგიურ მოდელებში. ისინი წარმოადგენენ თანამედროვე რთულ გამოთვლილ სისტემებს. მათი რეალიზაცია ხორციელდება მძლავრ სუპერკომპიუტერებზე და ექსპლუატაცია მოითხოვს სპეციალურად მომზადებულ პერსონალს.

ატმოსფეროს დაბინძურების პროგნოზირებული სისტემების გარდა შექმნილია მთელი რიგი დიაგნოსტიკური მოდელები, რომლებიც გამოიყენებიან კვლევითი სამუშაოსა და ცალკეული პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად [31-35]. თითოეული მოდელი დამუშავებულია გარკვეული ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობებისა და დაბინძურების კონკრეტული სიტუაციებისათვის.

კავკასიაში, საქართველოსა და მის ცალკეულ რაიონებში ატმოსფეროს დაბინძურების პრობლემის შესასწავლად დამუშავებულია აეროზოლების გავრცელების დიაგნოსტიკური რეგიონალური [36-40] და ლოკალური [41, 42] მოდელები. ისინი ეყრდნობიან ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის არასტაციონალური არაწრფივი სამგანზომილებიანი კვაზისტატიკური განტოლებათა სისტემისა და ატმოსფეროში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის განტოლების ერთობლივ ინტეგრირებას რთული რელიეფის ტერიტორიებისათვის. მოდელებში რელიეფის ადეკვატური აღწერისათვის გამოყენებულია რელიეფის მიმყოლი კოორდინატთა სისტემა. რიცხვითი ინტეგრირება განხორციელებულია ფ. შუმანის ცხადი და გ. მარჩუკის მიერ დამუშავებული არაცხადი გახლეჩის მეთოდზე დამყარებული რიცხვითი სქემების საშუალებით.

მოდელირებით გამოკვლეულია დამაბინძურებელი ნივთიერებების გადატანის ტრაექტორიები, მერიდიანულად და პარალელების გასწვრივ მიმართული ქედების გავლენა რეგიონალურ დინებებზე და პასიურ დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გადატანაზე, მათი საშუალებით შეფასებულია ნიადაგზე დალექილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზედაპირული კონცენტრაციები, აეროზოლების ლოკალური და რეგიონალური დიფუზიის სხვა თავისებურებები.

2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

ეკოლოგიური პრობლემები სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის თანამდევნი მოვლენაა. იგი დღესაც აქტუალურია, ამიტომ ადამიანთა ჯანმრთელობის დაცვა და უსაფრთხო სასიცოცხლო გარემოს შენარჩუნება ნებისმიერი სახელმწიფოსათვის, მათ შორის საქართველოსთვისაც, უპირველესი ამოცანაა.

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითადი წყაროებია: ავტოტრანსპორტი, ენერგეტიკული სექტორი, სამრეწველო ობიექტები და სოფლის მეურნეობის დარგები. სამრეწველო ზონიდან ეკოლოგიურად ერთ-ერთ რთულ რეგიონს მიეკუთვნება ზესტაფონის რაიონი, სადაც გადამუშავდება მანგანუმის კონცენტრანტი.

ლიტერატურული მონაცემებით ზესტაფონის და მისი მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფერული ჰაერი დაბინძურებულია ქარხნიდან გაფრქვეული მტვრით, რაც იწვევს მოსახლეობის სხვადასხვა დაავადებას. მანგანუმი და მისი ნაერთები მიეკუთვნება სამრეწველო შხამს, რომელიც იწვევს ცენტრალური და პერიფერიული ნერვული სისტემის დაზიანებას, რომელიც გამოიხატება ნეიროტროპული ეფექტით. ასევე ახასიათებს კუმულაციის უნარი, ქრონიკული ინტოქსიკაციის განვითარებისას გროვდება პარენქიმულ ორგანოებში, შინაგან სეკრეციის ჯირკვლებში, ძვლებში, თავისა და ზურგის ტვინში. იწვევს კანოგენურ ბრონქიტს, ალერგიული წარმოშობის ასთმურ ბრონქიტს, ონკოლოგიურ დაავადებებს [43-45].

ამიტომ ქ. ზესტაფონისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის გარემოს ობიექტების მდგომარეობის ეკოლოგიური შეფასება მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ფეროშენადნობი ქარხნის ტექნოლოგიური პროცესიდან გამომდინარე საწარმოო აეროზოლების დამაბინძურებელი წყაროებისა და ნივთიერებების დადგენა, საწარმოო

აეროზოლის კონცენტრაციათა განსაზღვრა როგორც სამუშაო ზონაში, ასევე ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში სხვადასხვა მიმართულების ქარის დროს. ამ მიზნით საწარმოო მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ჩვენი სამუშაოს სიახლეს წარმოადგენს.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში (ზფუ) ამჟამად აღნობენ სილიკომანგანუმსა (120 ათასი ტ. წელიწადში) და საშუალონახშირბადიან ფერომანგანუმს (11 ათასი ტ. წელიწადში). სილიკომანგანუმის გამოდნობას ახორციელებენ №1 საამქროში 11,5 მგტ სიმძლავრის ელექტროლუმელში და №4 საამქროში 22,5 მგტ სიმძლავრის ელექტროლუმელში (სურათი 2).



სურათი 2. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სატელიტური სურათი

2017-2018 წლებში ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ტექნოლოგიური პროცესი, ასევე გამოკვლეული იქნა ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელი აეროზოლების წარმოქმნის წყაროები და თვით აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტები.

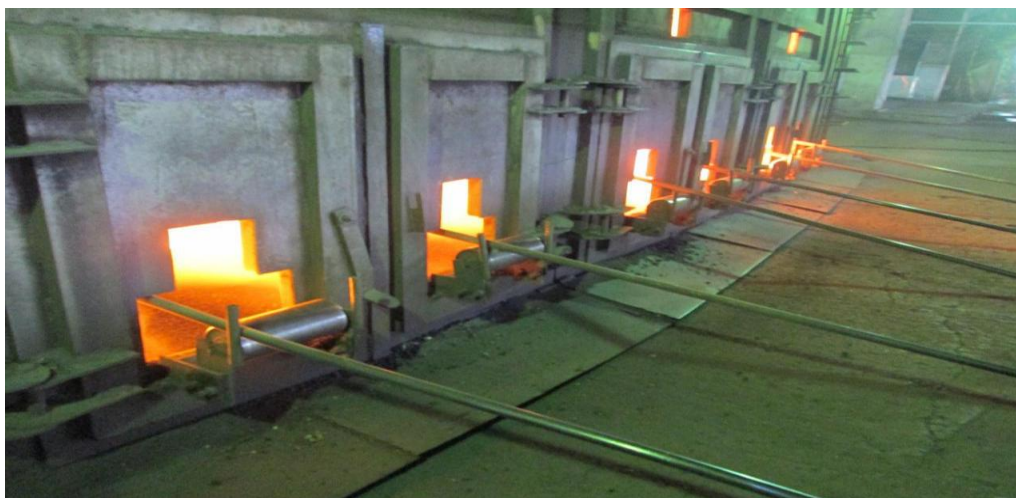
ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ აეროზოლების წარმოქმნის წყაროებია: ნედლეულის მომზადების უბანი, მადნის გამოდნობის ლუმელები, საიდანაც წარმოიქმნება აეროზოლი,

რომელიც შედგება შემდეგი დამაბინძურებელი ნივთიერებებისგან: გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირბადის ოქსიდი და მტვერი.

ნედლეულის დასამუშავებელი უბნებია: უბნები, სადაც ხდება ფრაქციების მიხედვით დანაწილება (სურათი 3). ფრაქციების მიხედვით დანაწილებული ნედლეული კონვერით მიეწოდება გამოსადნობ ღუმელს (სურათი 4). ღუმელში ხდება სილიკომანგანუმის გამოწვა. შემდეგ კი მისი გაცივება (სურათი 5).



სურათი 3. უბანი, სადაც ხდება ფრაქციების მიხედვით დანაწილება



სურათი 4. გამოსადნობი ღუმელი



სურათი 5. გაცივების პროცესი

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 (სურათი 6).



სურათი 6. არაორგანიზებული მტვერი

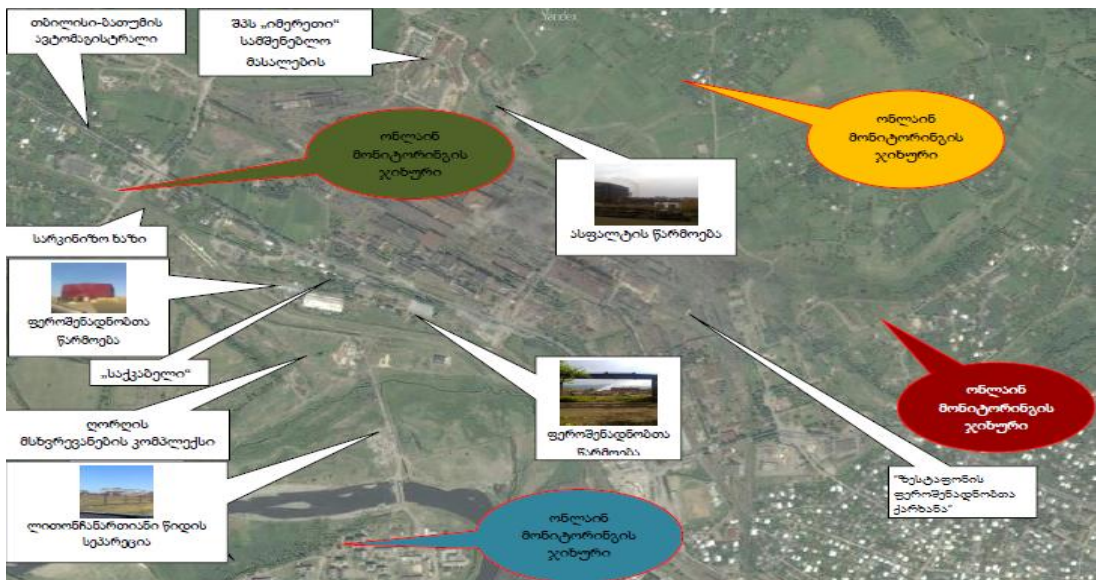
ცხრილი 9. გამწმენდ დანადგარზე მიწოდებული აეროზოლის მოცულობითი ხარჯი

№	პარამეტრები	საზომი ერთეულები	ღუმელი 2	ღუმელი 4	ღუმელი 6
1	ღუმელის სიმძლავრე	მვტ	8	8	8.5
2	აეროზოლის მოცულობითი ხარჯი	ათასი მ ³ /სთ ათასი ნმ ³ /სთ	<u>155÷158</u> 94÷97	<u>152÷156</u> 83÷86	<u>156÷159</u> 93÷96

ცხრილი 10. გაწმენდამდე აეროზოლში შემავალი მტვრის კონცენტრაცია

№	პარამეტრები	საზომი ერთეულები	ღუმელები							
			21	22	23	24	25	26	27	28
1	მტვრის 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 (სურათი 7).



სურათი 7. ონლაინ ჯიხურების განლაგების სქემა

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 მტვრისგან გაწმენდა ხორციელდება ქსოვილოვანი გამფილტრავი სისტემით (მარკა BWF Турция (ип), Testori Италия (ип), სურათი 8, ა).

№4 საამქროდან გამავალი აეროზოლის მტვრისგან გასაწმენდად გამოყენებულია 16800 ფილტრი, ხოლო №1 საამქროდან - 5760 ფილტრი (სურათი 8, ბ).



ა



ბ

სურათი 8. ორგანიზებული სამრეწველო აეროზოლის გაწმენდა ქსოვილოვანი ფილტრით

ა - გაწმენდი დანადგარი (მთლიანი ხედი)

ბ - ქსოვილოვანი სახელოიანი ფილტრი

გოგირდის დიოქსიდი (SO_2) არის უფერო და მკვეთრი სუნის აირი. მცირე კონცენტრაციისას ($20-30 \text{ მგ/მ}^3$) იწვევს ადამიანის პირის ღრუში არასასიამოვნო გემოს, აღიზიანებს სასუნთქი გზებისა და თვალის ლორწოვან გარსს. სუნის ზღვარი შეადგენს $3-6 \text{ მგ/მ}^3$ -ს. SO_2 -ის ზემოქმედების მიმართ ყველაზე მგრძობიარეა წიწვოვანი და ფოთლოვანი ხეები, ვინაიდან იგი გროვდება ფოთლებსა და წიწვებში. ჰაერში $0.23-0.24 \text{ მგ/მ}^3$ კონცენტრაციისას ხდება ნამდვის გახმობა $2-3$ წლის განმავლობაში ფოტოსინთეზისა და წიწვების სუნთქვის დარღვევის შედეგად. ანალოგიური ცვლილებები აღინიშნება ფოთლოვან ხეებში $0.5-1.0 \text{ მგ/მ}^3$ კონცენტრაციისას.

აზოტის დიოქსიდი (NO_2) უფერო და უსუნო აირია. აღიზიანებს ადამიანის სასუნთქ ორგანოებს, განსაკუთრებით საშიშია იმ ქალაქებში სადაც ავტომანქანებიდან გამონაფრქვევ ნახშირწყალბადებთან ურთიერთმოქმედებისას წარმოქმნიან ფოტოქიმიურ სმოგს. მოწამლვა იწყება მსუბუქი ხველით, რომელიც ძლიერდება კონცენტრაციის მომატებისას. NO_2 იწვევს პირღებინებას, თავის ტკივილს. ჰაერში $10-20 \text{ მგ/მ}^3$ კონცენტრაციისას შეიგრძნება სუნი, ხოლო 3 მგ/მ^3 კონცენტრაციისას კი მცირდება. NO_2 ურთიერთქმედებს მრავალ მასალასთან და არღვევს მას.

ნახშირბადის ოქსიდი (CO) არის სისხლის შხამი. ზემოქმედებს ნერვულ და გულსისხლძარღვთა სისტემაზე, იწვევს თავის ტკივილს, თავბრუსხვევას, პირღებინებას, მოუსვენრობას, ხუთვას, კრუნჩხვას და სიკვდილს. CO -ს მაღალი კონცენტრაციისას ადამიანის საფეთქლებში იზრდება პულსაცია და თავბრუსხვევა, ამიტომ CO -ს კონცენტრაცია ჰაერში უნდა შემცირდეს 1.5 -ჯერ.

მტვერი გავლენას ახდენს სასუნთქ ორგანოებზე. ზედა სასუნთქ გზებში ილექება 10 მკ/მ-მდე ზომის ნაწილაკების $80-90\%$ და მხოლოდ 10% -მდე $1-2 \text{ მკ/მ}$ ზომის ნაწილაკები, ფილტვების ალვეოლურ ნაწილში ილექება $1-2 \text{ მკ/მ-მდე}$ ზომის ნაწილაკების $70-90\%$ და უფრო მცირე ნაწილაკები [11].

**2.1 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. თითოეული კომპონენტის კონცენტრაცია შედარებულია მის შესაბამის ზღვ-სთან (ცხრილი 11).

ცხრილი 11. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები ქარის მიმართულების მიხედვით

ადმოს.	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

აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების ყოველდღიური მონაცემები გაბატონებული ქარის მიმართულებით მოცემულია მე-12 ცხრილში.

ცხრილი 12. აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები გაბატონებული ქარის - დასავლეთის მიმართულებით

ქარის მიმართულება	დრო და თარიღი	SO ₂ (მგ/მ ³)	NO ₂ (მგ/მ ³)	CO (მგ/მ ³)	PM ₁₀ (მგ/მ ³)	PM ₂₅ (მგ/მ ³)
დასავლეთი	12/15/2017 10:32	0,034	0,06	0,275	0,003	0,002
	12/16/2017 12:37	0,014	0,06	0,763	0,003	0,002
	12/17/2017 14:51	0,031	0,059	0,688	0,003	0,002
	12/18/2017 18:56	0,013	0,059	1,075	0,003	0,002
	12/19/2017 15:01	0,035	0,059	0,65	0,003	0,002
	12/20/2017 13:06	0,023	0,06	0,75	0,003	0,002
	12/21/2017 16:11	0,025	0,059	0,737	0,003	0,002
	12/22/2017 15:47	0,042	0,063	0,5	0,003	0,002
	12/23/2017 15:47	0,064	0,059	0,463	0,003	0,002
	12/24/2017 15:47	0,045	0,059	0,513	0,003	0,002
	12/25/2017 13:00	0,041	0,059	0,463	0,003	0,002
	12/26/2017 15:47	0,06	0,059	0,463	0,003	0,002
	12/27/2017 22:47	0,062	0,059	0,463	0,003	0,002
	1/8/2018 15:52	0,053	0,06	0,65	0,003	0,002
	1/9/2018 15:57	0,032	0,06	0,638	0,003	0,002
	1/10/2018 10:03	0,042	0,059	0,975	0,003	0,002
	1/11/2018 12:10	0,058	0,059	0,675	0,003	0,002
	1/12/2018 15:07	0,069	0,062	0,513	0,003	0,002
	1/13/2018 18:03	0,044	0,056	0,538	0,003	0,002
	1/14/2018 20:30	0,033	0,061	0,538	0,003	0,002
	1/15/2018 21:15	0,033	0,06	0,5	0,003	0,002

ცხრილი 13. აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები მონაცემები ყველა ქარის მიმართულებით (20.12.2017)

ქარის მიმართულება	დრო და თარიღი	SO ₂ (მგ/მ ³)	NO ₂ (მგ/მ ³)	CO (მგ/მ ³)	PM ₁₀ (მგ/მ ³)	PM ₂₅ (მგ/მ ³)
აღმოსავლეთი	20.12.2017 12:02	0,04	0,063	0,575	0,003	0,002
დასავლეთი	20.12.2017 12:01	0,038	0,055	0,013	0,003	0,002
სამხრეთი	20.12.2017 12:00	0,039	0,06	0,425	0,006	0,005
ჩრდილოეთი	20.12.2017 11:59	0,046	0,06	0,525	0,003	0,002

აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები 2017 წლის 20 დეკემბრისა და 2018 წლის 1 იანვრის დღის 12 საათზე ყველა მიმართულების ქარის მიხედვით მოცემულია მე-13 და მე-14 ცხრილში.

ცხრილი 14. აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების მონაცემები ყველა ქარის მიმართულებით (20.01.2018)

ქარის მიმართულება	დრო და თარიღი	SO ₂ (მგ/მ ³)	NO ₂ (მგ/მ ³)	CO (მგ/მ ³)	PM ₁₀ (მგ/მ ³)	PM ₂₅ (მგ/მ ³)
აღმოსავლეთი	20.01.2018 12:04	0,035	0,058	0,55	0,003	0,002
დასავლეთი	20.01.2018 12:03	0,04	0,06	0,575	0,003	0,002
სამხრეთი	20.01.2018 12:01	0,04	0,06	0,463	0,003	0,002
ჩრდილოეთი	20.01.2018 12:00	0,045	0,057	0,638	0,003	0,002

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/მ³) მცირდება და იანვრის თვეში ზღვ-ს უტოლდება მისი მნიშვნელობა (0.5 მგ/მ³), საშუალო კონცენტრაციები უმნიშვნელოდ იცვლება, ხოლო მინიმალური მნიშვნელობები უცვლელი რჩება (ნახაზი 43).

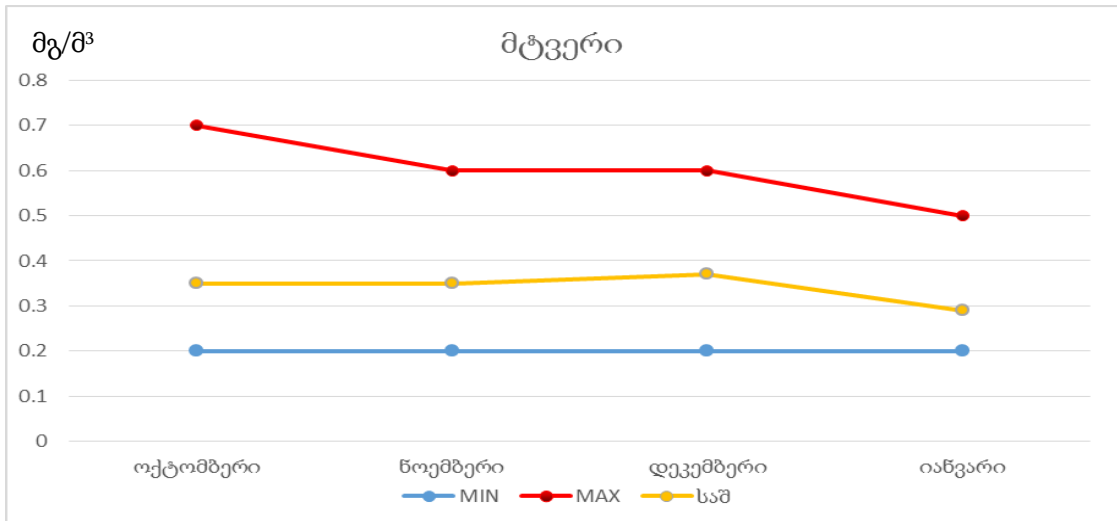
მანგანუმის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაცია ნოემბრის თვეში იკლებს (0,013მგ/მ³), ხოლო დეკემბერში და იანვარში ისევ მატულობს (0.016 მგ/მ³). მისი საშუალო და მინიმალური კონცენტრაციების მნიშვნელობები უმნიშვნელოდ ცვალებადია (ნახაზი 44).

გოგირდის დიოქსიდის შემთხვევაში, მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციები თითქმის შეიძლება ითქვას უცვლელია (ნახაზი 45).

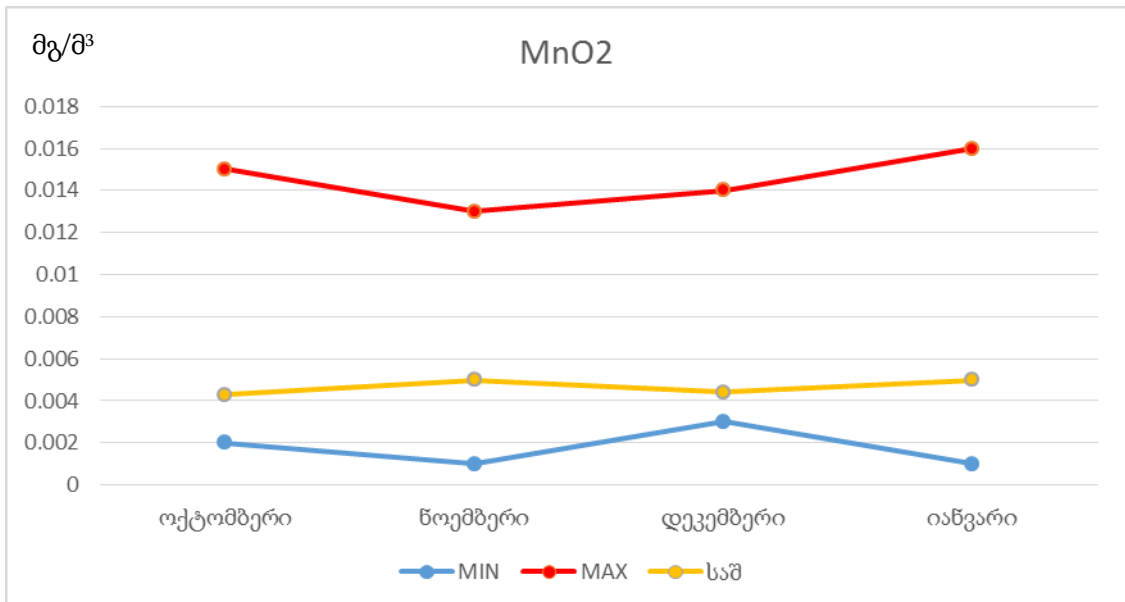
აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაციათა მნიშვნელობები მკვეთრად ცვალებადია, ნოემბერში მატულობს (0,11მგ/მ³), დეკემბერში იკლებს (0.07 მგ/მ³) და იანვარში ისევ იზრდება მისი მნიშვნელობა. საშუალო

კონცენტრაციათა მნიშვნელობები თითქმის უცვლელია, ხოლო მინიმალური კონცენტრაციები უმნიშვნელოდ ცვალებადია (ნახაზი 46).

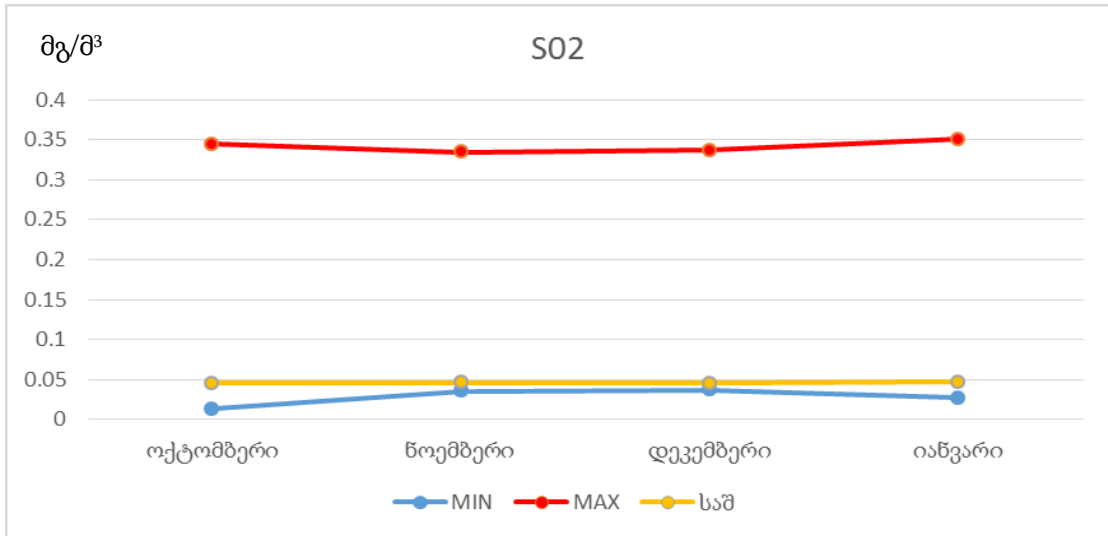
ნახშირჟანგის მაქსიმალური და მინიმალური კონცენტრაციები უცვლელია, ხოლო მისი საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ ცვალებადია (ნახაზი 47) [48].



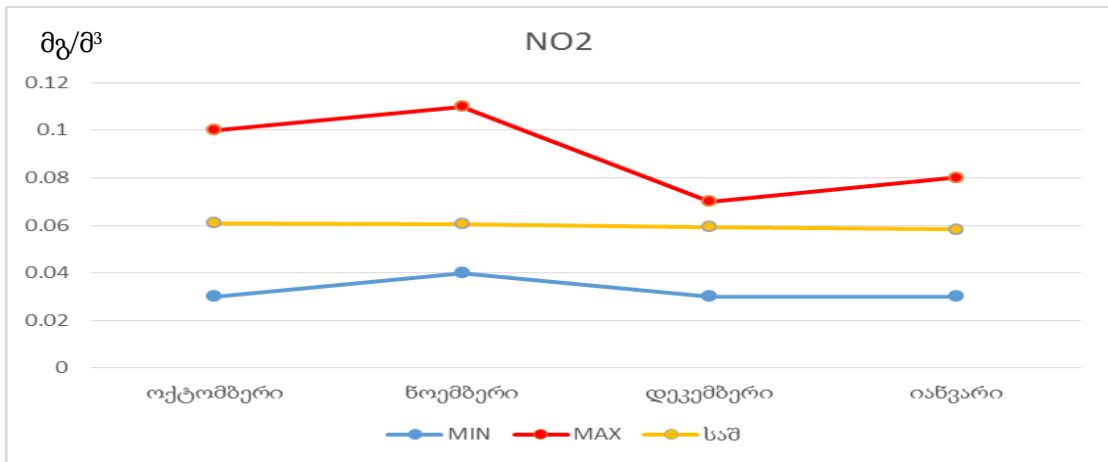
ნახ 43. მტვერის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები თვეების მიხედვით



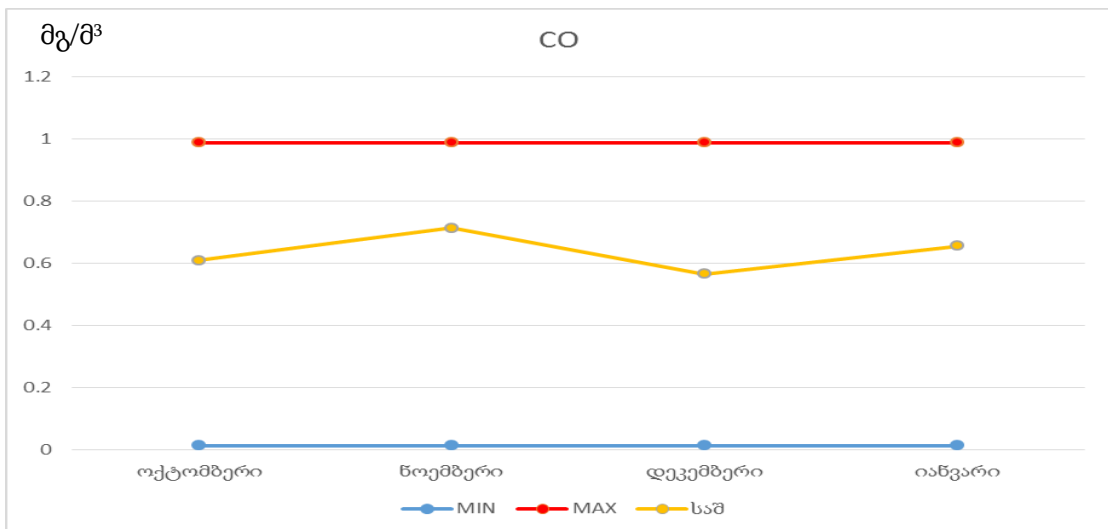
ნახ 44. მანგანუმის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები თვეების მიხედვით



ნახ 45. გოგირდის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები თვეების მიხედვით



ნახ 46. აზოტის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები თვეების მიხედვით



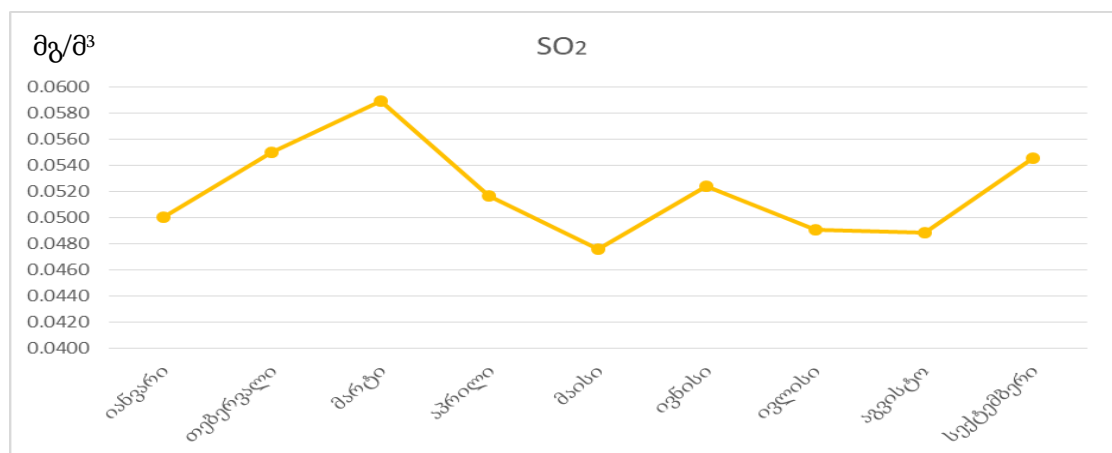
ნახ 47. ნახშირჟანგის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები თვეების მიხედვით

ჩვენს მიერ გამოკვლეულ იქნა 2018 წლის სეზონური ცვლილებების მიხედვით აზოტის დიოქსიდის, გოგირდის დიოქსიდის, ნახშირბადის ოქსიდისა და მტვრის კონცენტრაციათა ცვლილებები, რომელთა მნიშვნელობები მოცემულია მე-15 ცხრილში.

ცხრილი 15. აეროზოლის შემადგენელი მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები (2018 წელი)

თვეები	SO ₂ (მგ/მ ³)	NO ₂ (მგ/მ ³)	CO (მგ/მ ³)	მტვერი (მგ/მ ³)
იანვარი	0.0500	0.0604	0.8900	0.4000
თებერვალი	0.0550	0.0608	0.7300	0.3500
მარტი	0.0589	0.0605	0.6077	0.3700
აპრილი	0.0517	0.0604	0.8051	0.3500
მაისი	0.0475	0.0613	0.8903	0.3000
ივნისი	0.0524	0.0607	0.8980	0.3700
ივლისი	0.0491	0.0615	0.7384	0.3780
აგვისტო	0.0488	0.0608	0.7304	0.3720
სექტემბერი	0.0545	0.0610	0.6709	0.3660

2018 წლის სეზონური ცვლილების მიხედვით აგებული იქნა აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციათა ცვალებადობის ამსახველი დიაგრამები (ნახაზი 48-51).

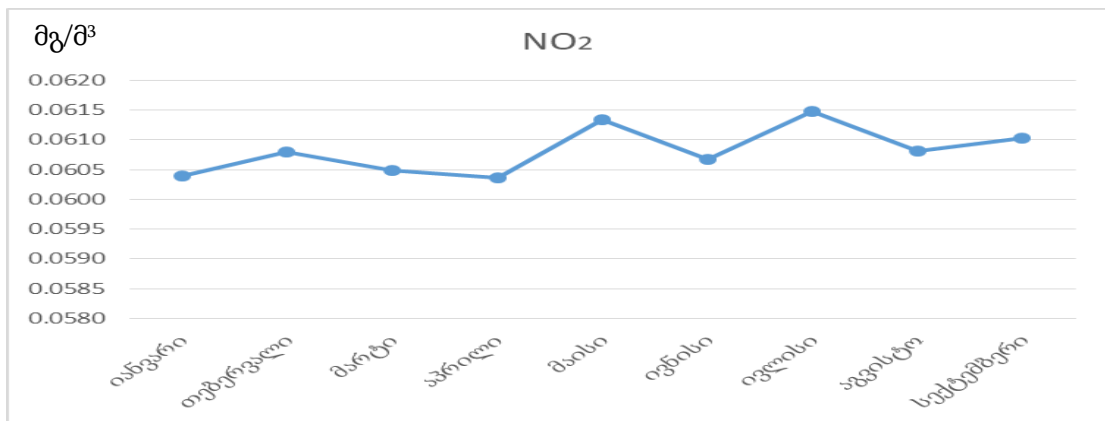


ნახ 48. გოგირდის დიოქსიდის კონცენტრაციის ცვალებადობა 2018 წლის სეზონური ცვლილების მიხედვით

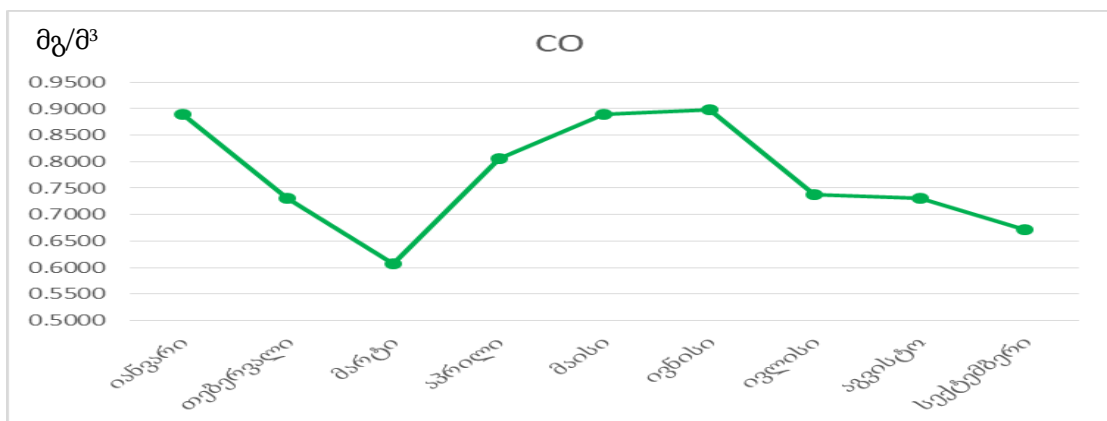
გოგირდის დიოქსიდის კონცენტრაციების მაქსიმალური მნიშვნელობა ფიქსირდება გაზაფხულზე, მარტის თვეში (0.0589 მგ/მ³), ხოლო

მინიმალური მნიშვნელობა კი მაისის თვეში შეადგენს 0.0475 მგ/მ³-ს (ნახაზი 48).

აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღინიშნება გაზაფხულზე მაისის თვეში (0.0613 მგ/მ³) და ასევე ზაფხულის პერიოდში ივლისის თვეში (0.0615 მგ/მ³), ხოლო მისი მინიმალური მნიშვნელობა - გაზაფხულზე აპრილის თვეში (0.0604 მგ/მ³) (ნახაზი 49).



ნახ 49. აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის ცვალებადობა 2018 წლის სეზონური ცვლილების მიხედვით

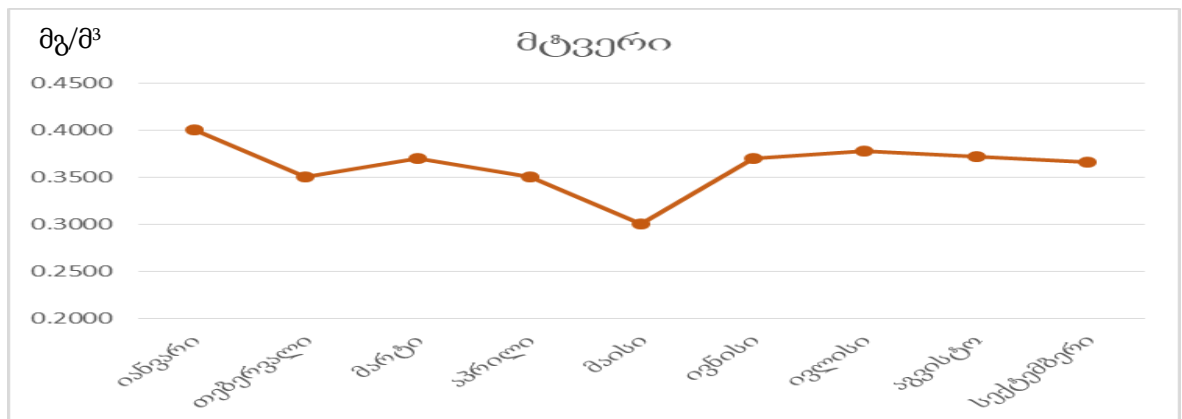


ნახ 50. ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციის ცვალებადობა 2018 წლის სეზონური ცვლილების მიხედვით

ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაცია ყველაზე მაღალია ზამთარში იანვრის თვეში (0.8900 მგ/მ³), შემდეგ მცირდება მისი მნიშვნელობა გაზაფხულზე და აღწევს მინიმალურ მნიშვნელობას მარტის თვეში (0.6077 მგ/მ³), ხოლო ისევ იზრდება მისი კონცენტრაცია გაზაფხულზე მაისის

თვეში და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს ზაფხულში ივნისის თვეში (0.8980 მგ/მ³) (ნახაზი 50).

მტკერის მაქსიმალური კონცენტრაცია ფიქსირდება ზამთრის სეზონზე იანვრის თვეში (0.4000 მგ/მ³), ყველაზე დაბალი კონცენტრაცია კი აღინიშნება გაზაფხულზე, მაისის თვეში (0.3000მგ/მ³), ხოლო შედარებით იზრდება ზაფხულში, ივნისის თვეში (0.3700მგ/მ³) და შემდეგ თვეებში უმნიშვნელოდ იცვლება (ნახაზი 51) [49].



ნახ 51. მტკერის კონცენტრაციის ცვალებადობა 2018 წლის სეზონური ცვლილების მიხედვით

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 (ზდკ) (ცხრილი 16-19).

ცხრილი 16. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები დასავლეთის ქარის დროს

თვე	MnO ₂ (მგ/მ ³)		მტკერი (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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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

(ცხრილი 16. გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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

ცხრილი 17. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები აღმოსავლეთის ქარის დროს

თვე	MnO2 (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO2 (მგ/მ ³)		NO2(მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ
თებერვალი	0,014	0,01	0,5	0,5	0,455	0,5	0,361	0,2	0,988	5
მარტი	0,012	0,01	0,6	0,5	0,272	0,5	0,226	0,2	0,963	5
აპრილი	0,015	0,01	0,6	0,5	0,449	0,5	0,349	0,2	0,988	5
მაისი	0,013	0,01	0,7	0,5	0,149	0,5	0,133	0,2	1,075	5
ივნისი	0,015	0,01	0,5	0,5	0,272	0,5	0,233	0,2	1,063	5
ივლისი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,381	0,5	0,303	0,2	1,25	5
აგვისტო	0,014	0,01	0,6	0,5	0,35	0,5	0,303	0,2	1,25	5
სექტემბერი	0,015	0,01	0,7	0,5	0,465	0,5	0,361	0,2	1,063	5
ოქტომბერი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,381	0,5	0,226	0,2	1,063	5
ნოემბერი	0,013	0,01	0,5	0,5	0,381	0,5	0,326	0,2	0,988	5
დეკემბერი	0,013	0,01	0,5	0,5	0,412	0,5	0,326	0,2	0,975	5

ცხრილი 18. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები ჩრდილოეთის ქარის დროს

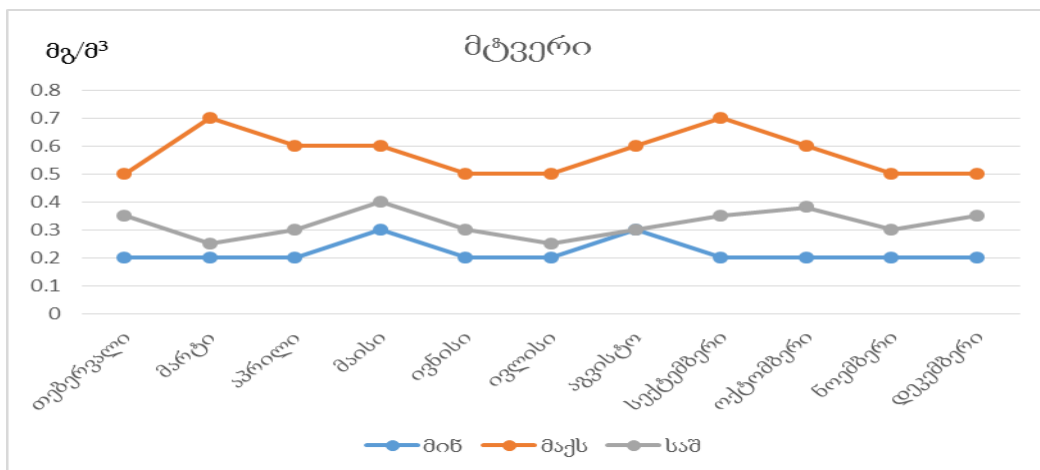
თვე	MnO2 (მგ/მ ³)		მტვერი (მგ/მ ³)		SO2 (მგ/მ ³)		NO2(მგ/მ ³)		CO (მგ/მ ³)	
	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ	C(max)	ზღვ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
თებერვალი	0,015	0,01	0,5	0,5	0,362	0,5	0,289	0,2	0,975	5
მარტი	0,013	0,01	0,7	0,5	0,447	0,5	0,348	0,2	0,988	5
აპრილი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,061	0,5	0,064	0,2	0,988	5
მაისი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,066	0,5	0,07	0,2	0,975	5
ივნისი	0,013	0,01	0,5	0,5	0,088	0,5	0,07	0,2	1,725	5
ივლისი	0,015	0,01	0,6	0,5	0,092	0,5	0,092	0,2	1,725	5
აგვისტო	0,014	0,01	0,6	0,5	0,275	0,5	0,123	0,2	0,998	5

(ცხრილი 18. გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
სექტემბერი	0,015	0,01	0,5	0,5	0,406	0,5	0,32	0,2	0,913	5
ოქტომბერი	0,016	0,01	0,6	0,5	0,362	0,5	0,225	0,2	0,998	5
ნოემბერი	0,014	0,01	0,5	0,5	0,362	0,5	0,108	0,2	0,975	5
დეკემბერი	0,014	0,01	0,5	0,5	0,112	0,5	0,108	0,2	0,975	5

ცხრილი 19. აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციები სამხრეთის ქარის დროს

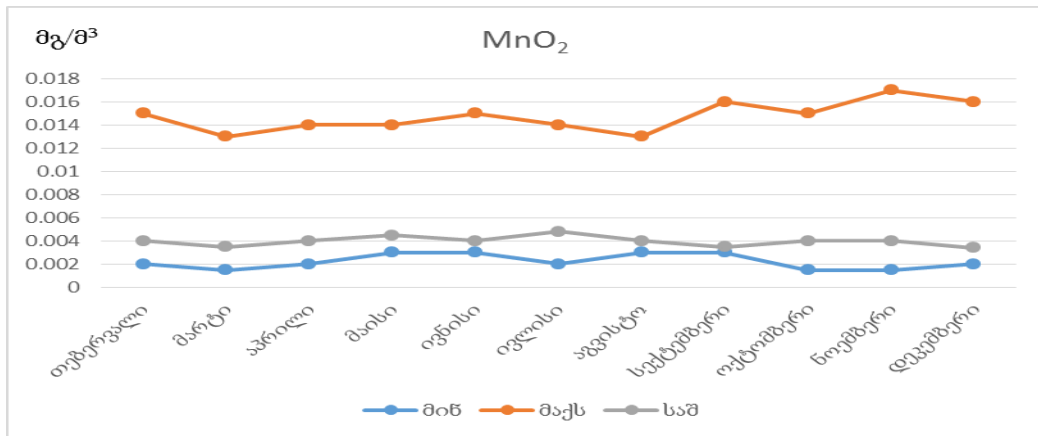
თვე	MnO2 (მგ/მ³)		მტვერი (მგ/მ³)		SO2 (მგ/მ³)		NO2(მგ/მ³)		CO (მგ/მ³)	
	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ	C(max)	ზდკ
თებერვალი	0,014	0,01	0,5	0,5	0,471	0,5	0,365	0,2	0,988	5
მარტი	0,013	0,01	0,7	0,5	0,670	0,5	0,516	0,2	0,85	5
აპრილი	0,015	0,01	0,6	0,5	0,691	0,5	0,521	0,2	0,963	5
მაისი	0,015	0,01	0,5	0,5	0,438	0,5	0,338	0,2	0,800	5
ივნისი	0,014	0,01	0,7	0,5	0,471	0,5	0,365	0,2	0,988	5
ივლისი	0,013	0,01	0,5	0,5	0,061	0,5	0,072	0,2	0,913	5
აგვისტო	0,015	0,01	0,6	0,5	0,125	0,5	0,183	0,2	0,913	5
სექტემბერი	0,013	0,01	0,5	0,5	0,210	0,5	0,183	0,2	0,888	5
ოქტომბერი	0,014	0,01	0,5	0,5	0,210	0,5	0,091	0,2	0,975	5
ნოემბერი	0,014	0,01	0,6	0,5	0,230	0,5	0,072	0,2	0,913	5
დეკემბერი	0,013	0,01	0,6	0,5	0,240	0,5	0,091	0,2	0,975	5



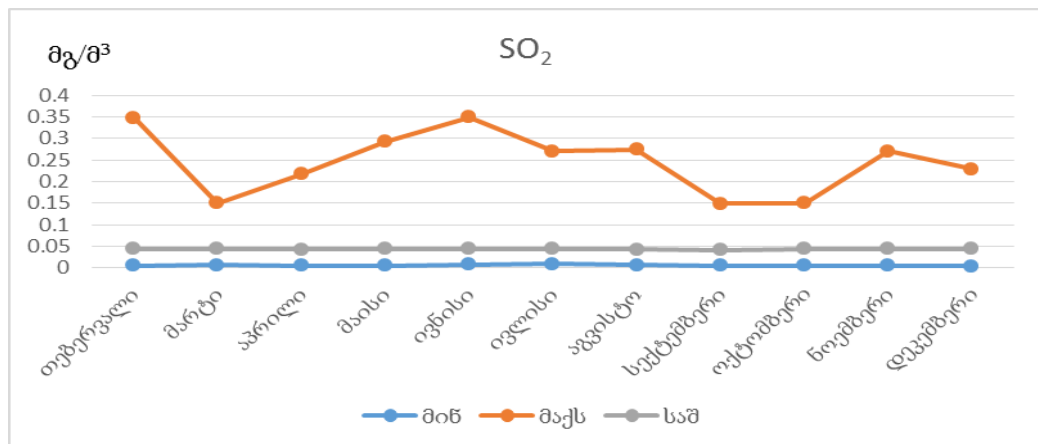
ნახ 52. მტვერის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით

ჩვენს მიერ განსაზღვრული აეროზოლის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების მიხედვით შევადგინეთ მაქსიმალური, მინიმალური და

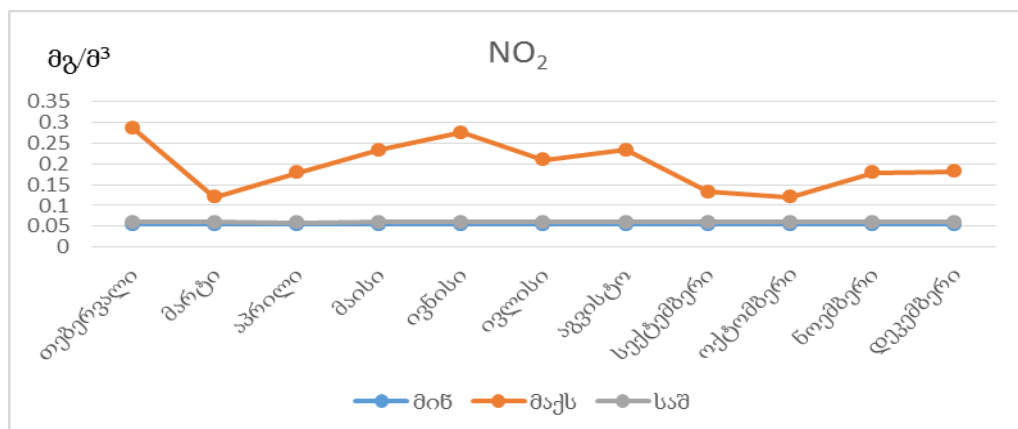
საშუალო კონცენტრაციათა ცვალებადობის დიაგრამები 2018 წლის სეზონური ცვალებადობის მიხედვით (ნახაზი 52-56).



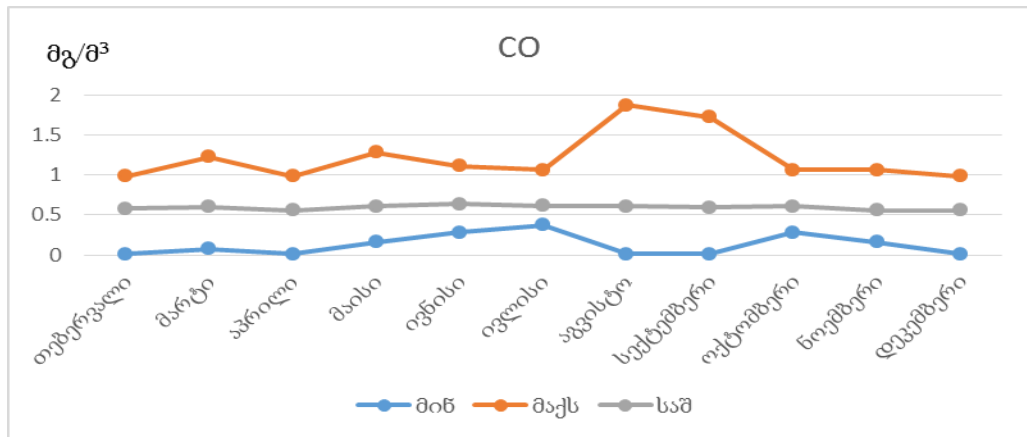
ნახ 53. მანგანუმის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით



ნახ 54. გოგირდის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით



ნახ 55. აზოტის დიოქსიდის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით



ნახ 56. ნახშირჟანგის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სეზონური ცვალებადობის მიხედვით

დიაგრამიდან ჩანს, რომ მტვრის 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 52).

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 53).

გოგირდის დიოქსიდის მაქსიმალური მნიშვნელობა მინიმალურს აღწევს მარტის თვეში (0,15 მგ/მ³), მაქსიმალური მნიშვნელობა აღინიშნება ივნისის თვეში (0,35 მგ/მ³), მინიმალური კი სექტემბერსა და ოქტომბერში,

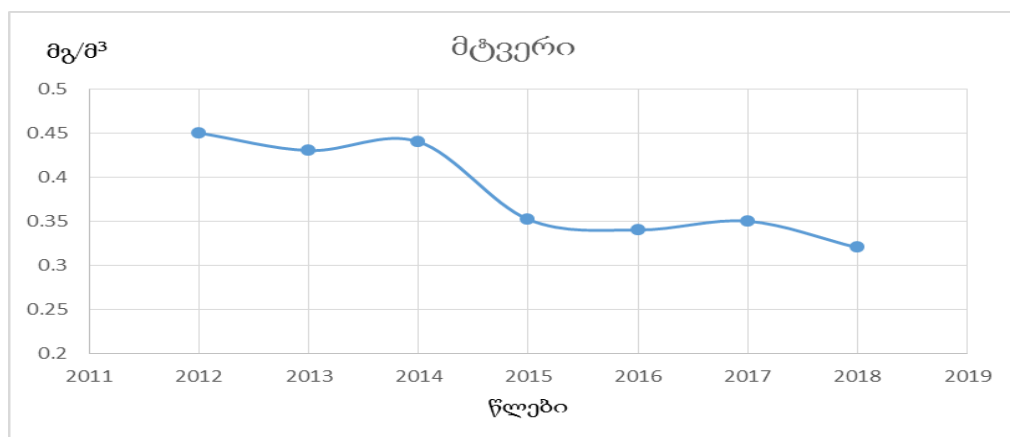
შემდეგ ისევ იზრდება. მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციების მნიშვნელობები უცვლელია (ნახაზი 54).

აზოტის დიოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაციათა მინიმალური მნიშვნელობები აღინიშნება მარტის, სექტემბრისა და ოქტომბრის თვეში (0,1 მგ/მ³), ხოლო მაქსიმალური - თებერვლის, ივნისისა და აგვისტოს თვეში (0,3 მგ/მ³). მინიმალური და საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობები უცვლელია (ნახაზი 55).

ნახშირჟანგის მაქსიმალური კონცენტრაციათა მაქსიმალური მნიშვნელობები აღინიშნება აგვისტოსა და სექტემბრის თვეში (1,9 მგ/მ³), ხოლო დანარჩენ თვეებში უმნიშვნელოდ იცვლება. მინიმალური კონცენტრაციები უმნიშვნელოდ იცვლება, ხოლო მისი საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობა უცვლელია (ნახაზი 56).

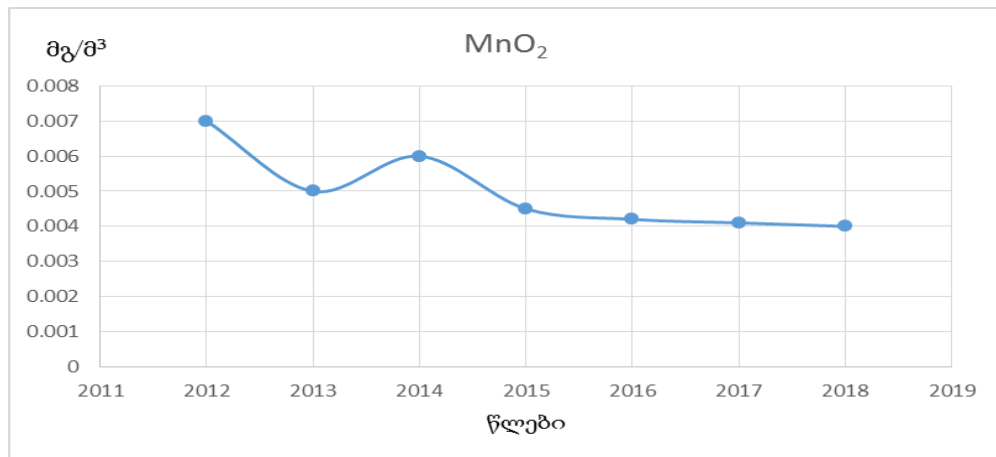
ჩვენს მიერ ასევე განსაზღვრული იქნა მტვრის და მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობები 2017-2018 წლების მიხედვით და შედარებული იქნა 2012-2016 წლის არსებულ ლიტერატურულ მონაცემებთან [14].

57-ე ნახაზზე აღნიშნული დიაგრამიდან გამომდინარე მტვრის საშუალო კონცენტრაციათა მაქსიმალური მნიშვნელობა ფიქსირდება 2012–2014 წლებში. 2015 და 2016 წლებში მისი მნიშვნელობები მცირდება, 2017 წლის მონაცემების მიხედვით წინა წელთან შედარებით ოდნავ მატულობს, ხოლო 2018 წელს კი ისევ მცირდება (ნახაზი 57).



ნახ 57. მტვრის საშუალო კონცენტრაციები წლების მიხედვით

მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციათა მნიშვნელობები ცვალებადია წლების მიხედვით. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა ფიქსირდება 2012 წელს. 2013 წელს მისი მნიშვნელობა მცირდება, შემდეგ ისევ იზრდება და 2015 წლიდან ისევ იკლებს (ნახაზი 58).



ნახ 58. მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციები წლების მიხედვით

ატმოსფერულ ჰაერში სამრეწველო აეროზოლების შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციების გაზრდაზე და გადატანაზე გავლენას ახდენს მეტეოროლოგიური პირობები, ატმოსფერული ინვერსია და ადიაბატური პროცესები.

2.2 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 20, 21).

**ცხრილი 20. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები
(04.01.2018)**

№	სინჯის ალების 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 ღუმელი)	2,92	0,28	0,45
4	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (23-24 ღუმელი)	2,89	0,31	0,5
5	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (25-26 ღუმელი)	2,62	0,183	0,29
6	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (27-28 ღუმელი)	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

**ცხრილი 21. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები
(23.04.2018)**

№	სინჯის ალების ადგილი	მტვერი (მგ/მ ³)	Mn (მგ/მ ³)	MnO ₂ (მგ/მ ³)
1	კაზმის მიწოდების ოპერატორი	2,08	0,12	0,19
2	ბრიგადირების ოთახი	1,8	0,10	0,16
3	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (21-22 ღუმელი)	3,25	0,25	0,4
4	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (23-24 ღუმელი)	3,57	0,28	0,45
5	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (25-26 ღუმელი)	2,94	0,16	0,26
6	№4 საამქროში მიმწოდებელი ლენტის დოზატორი (27-28 ღუმელი)	3,88	0,32	0,51
7	ხიდური ამწის მემანქანე (საკაზმე)	2,87	0,13	0,22
8	კოქსის მსხვრევანა	11,05	0,20	0,33
9	კოქსის საცერი	1,29	0,25	0,41
10	ზღვ	2,0	0,01	0,3

ასევე, 2018 წლის ნოემბერში განსაზღვრული იქნა I საამქროს გამოსადნობი ღუმელის სამუშაო ზონაში არაორგანიზებული მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები აღემატება ზღვ-ს (ცხრილი 22).

ცხრილი 22. მტვრის, მანგანუმისა და მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები

№	სინჯის ალების 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 მექნიზმი (+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	ზღვ	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 ზღვ-ზე (ცხრილი 23). ასევე 2018 წლის ოქტომბრის თვეში განსაზღვრული იქნა ქ.ზესტაფონის ტერიტორიაზე მძიმე ლითონთა კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობებიც ნაკლებია ზღვ-ზე (ცხრილი 24). ხოლო 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 ზღვ-ს, ხოლო დასახლებულ პუნქტში კი ნაკლებია ზღვ-ზე (ცხრილი 25).

ცხრილი 23. 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
ზღვ-ზღვრულად დასაშვები ერთჯერადი მაქსიმალური კონცენტრაცია			0.01	0.5	5.0	0.2

ცხრილი 24. ქ.ზესტაფონის ტერიტორიის ატმოსფერულ ჰაერში მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები (21.10.2018)

№	სინჯის აღების ადგილი	Pb	Cu	Zn	Cd	Mn
		მკგ/მ ³	მგ/მ ³			
1	ბაზრის მიმდებარე ტერიტორია	0,07	0,0002	0,0006	0,000002	0,014
2	საქ. კაბელის მიმდებარე ტერიტორია	0,09	0,0002	0,0007	0,000001	0,017

ცხრილი 25 . მტვერისა 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 ღუმელი)	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

2.3 ქ. ზესტაფონის ტერიტორიის ნიადაგში მძიმე ლითონთა მნიშვნელობების განსაზღვრის შედეგები

ცხრილი 26. 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*
ზღვ-ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია	3	6	700	

მძიმე ლითონთა კონცენტრაციები ნიადაგში განისაზღვრა ISO სტანდარტული მეთოდების მიხედვით [62]. ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე (ცხრილი 26) სპილენძის და ტყვიის რაოდენობა შეესაბამება მიწის ქერქში არსებულ საშუალო მნიშვნელობებს, მანგანუმის კონცენტრაცია კი აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობას ფ.კლარკისა და ა.ფერსმანის მიხედვით [65]. ხოლო საქართველოს ნორმატივებით დაშვებულ სიდიდეთა მონაცემების მიხედვით სპილენძის, ტყვიისა და მანგანუმის მნიშვნელობები აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს [67].

2.4 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 [30],

რომელიც რაიონის რელიეფის სირთულის გათვალისწინებით ჩაწერილია რელიეფის მიმყოლ კოორდინატთა სისტემაში [46]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (\tilde{w} - \frac{w_0}{h}) \frac{\partial C}{\partial \zeta} = \mu \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial C}{\partial \zeta} \quad (1)$$

სადაც t დროა, x , y , და z - დეკარტეს მართკუთხა საკოორდინატო ღერძებია, $\zeta = (z - \delta) / h$ - რელიეფის მიმყოლი ღერძი, $\delta(x, y)$ - რელიეფი, $h = H$ - ატმოსფეროს სისქეა, $H(t, x, y)$ - ტროპოპაუზის სიმაღლე, C - მტვრის კონცენტრაცია, u , v და \tilde{w} - ქარის სიჩქარის მდგენელები x , y და ζ ღერძების გასწვრივ, შესაბამისად. მათი მნიშვნელობები გამოითვლებიან რეგიონალური მოდელის [47] გამოყენებით ყოველ კონკრეტულ სინოპტიკურ სიტუაციაში, რიცხვით ექსპერიმენტში დასახული მიზნის შესაბამისად. w_0 არის მტვრის გრავიტაციული დალექვის სიჩქარე. ის გამოითვლება სტოქსის ფორმულის საშუალებით. μ და ν ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კინემატიკური კოეფიციენტებია.

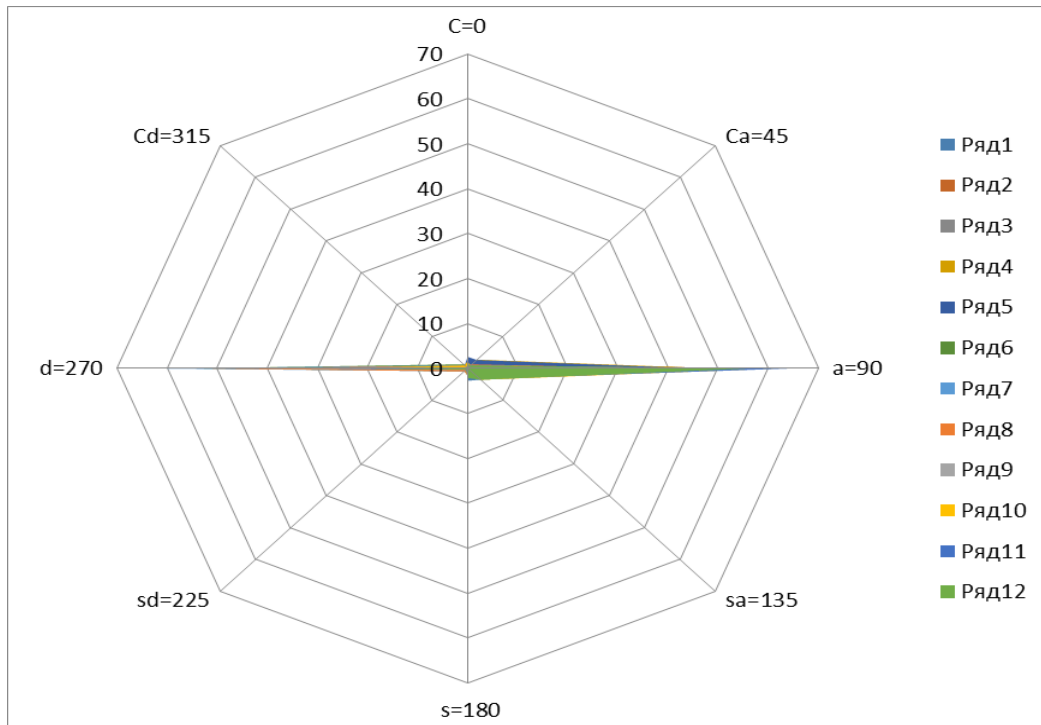
(1) განტოლება რიცხობრივად ინტეგრირდება კრანკლ-ნიკოლსონის სქემითა და გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით 118x90x31 კვანძისაგან შემდგარ სივრცულ ბადეზე ჰორიზონტალური 0.8 კმ და ვერტიკალური 1/31 ბიჯებით. ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ სისქის ფენაში ვერტიკალური ბიჯი იცვლება 2-დან 15მ-მდე, 17 წერტილიან ბადეზე. დროითი ბიჯი 5 წამია.

საქარის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით, ქ. ზესტაფონის მიდამოებში გაბატონებულია აღმოსავლეთისა და დასავლეთის ფონური ქარები, თითოეულის განმეორადობა აღემატება 40%-ს, სხვა მიმართულების ქარების განმეორადობა არ აღემატება 2%-ს. კონცენტრაცია ქალაქის ტერიტორიაზე მუდმივია და უდრის 0.8 მგ/მ³ (ცხრილი 27, ნახაზი 59).

ქ. ზესტაფონის ატმოსფეროში მავნე დამაბინძურებელი ნივთიერებების განზნევის პირობების განმსაზღვრელი მეტეოროლოგიური მახასიათებლები და კოეფიციენტები მოცემულია ცხრილში 27.

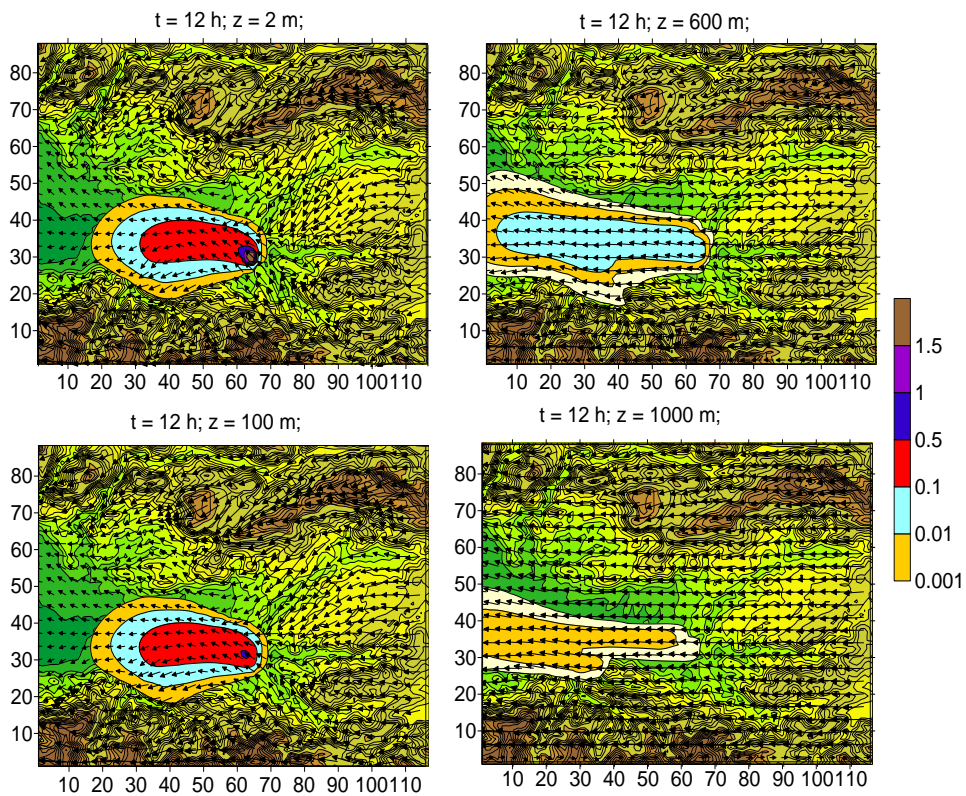
ცხრილი 27. ქ. ზესტაფონის ატმოსფერული ჰაერის განმსაზღვრელი მახასიათებლები

მახასიათებლების დახასიათება	სიდიდე
ატმოსფეროზე დამოკიდებული კოეფიციენტი განსაზღვრავს	
ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებათა ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გაბნევის პირობებს: $A = \frac{m}{\rho} \cdot \frac{g}{v}$ გრად ^{1/3} /წელიწადი	200
ადგილობრივი რელიეფის კოეფიციენტი	1,2
წლის ყველაზე ცხელი თვის საწყისი ტემპერატურა	28,8
წლის ყველაზე ცივი თვის საშუალო ტემპერატურა	3,9
ქარის საშუალო წლიური განაწილების სქემა%	26
ჩრდილოეთი - ჩ	3
ჩრდილო-აღმოსავლეთი - ჩ.ა	4
აღმოსავლეთი - ა	25
სამხრეთ-აღმოსავლეთი -ს.ა	8
სამხრეთი - ს	2
სამხრეთ-დასავლეთი - ს.დ	4
დასავლეთი -დ	28
ჩრდილო-დასავლეთი - ჩ.დ	3
ქარის სიჩქარე, რომლის განმეორება აჭარბებს 5%-იან ქარის სიჩქარეს U მ/წმ	8



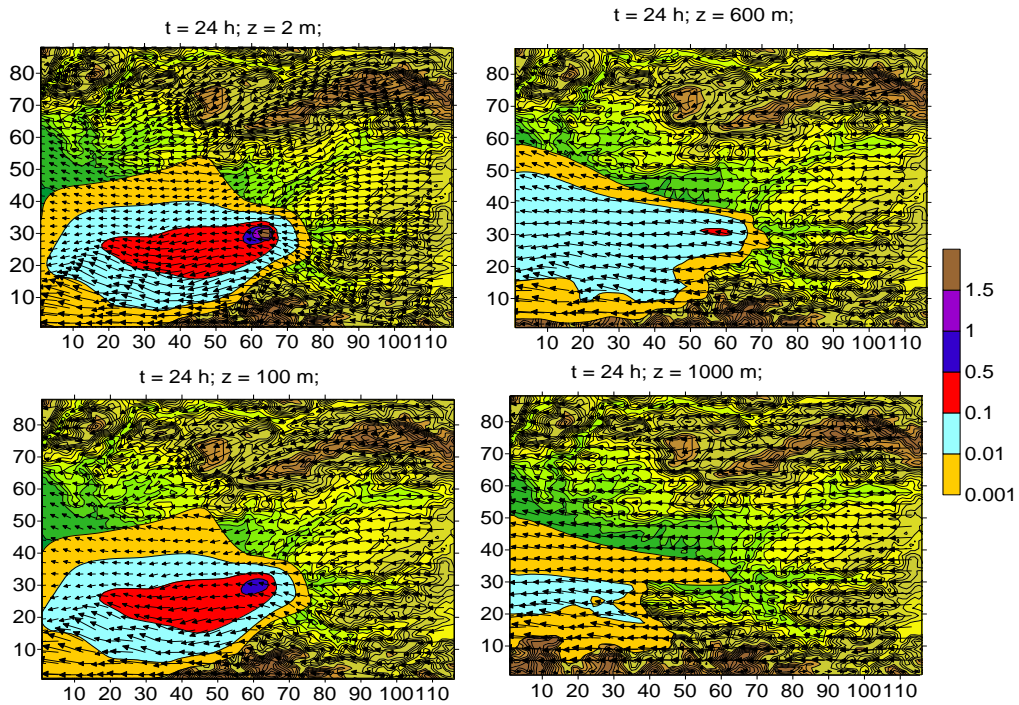
ნახ. 59 ქ. ზესტაფონის ქართა თაიგული

ნახ. 60 და ნახ. 61 ნაჩვენებია რიცხვითი მოდელირების შედეგად მიღებული მიწისპირა ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ივნისის თვეში 12 სთ-ზე და 24 სთ-ზე, შესაბამისად, აღმოსავლეთის ფონური სუსტი ქარის შემთხვევაში ($u_{back} = 1$ მ/წმ). ნახაზებზე მტვრის კონცენტრაციის იზოზოლები მოცემულია ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების (ზდკ) ერთეულებში (ზდკ = 0.5 მგ/მ^3).



ნახ. 60. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 12$ სთ.

ნახაზებიდან 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.



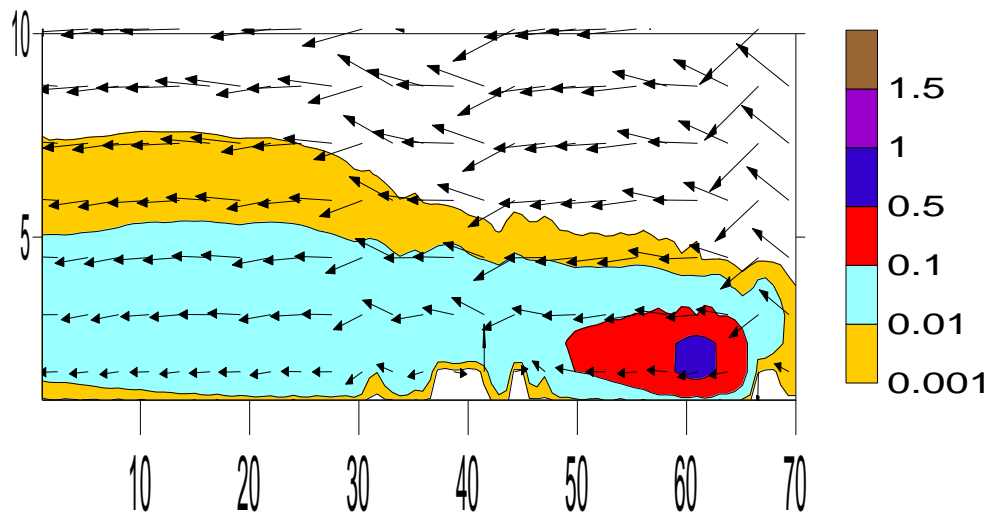
ნახ. 61. ქარის სიჩქარისა და მტვერის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.

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 (ნახ. 61), კონცენტრაცია 0.5-1 მიღებულია უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიაზე, 0.1-0.5 ზღვ - ქ. ზესტაფონიდან დაახლოებით 6 კმ მანძილზე, $C < 0,1$ ზღვ კი მთელს დარჩენილ სივრცეში და გადის რიცხვითი მოდელირების არედან.

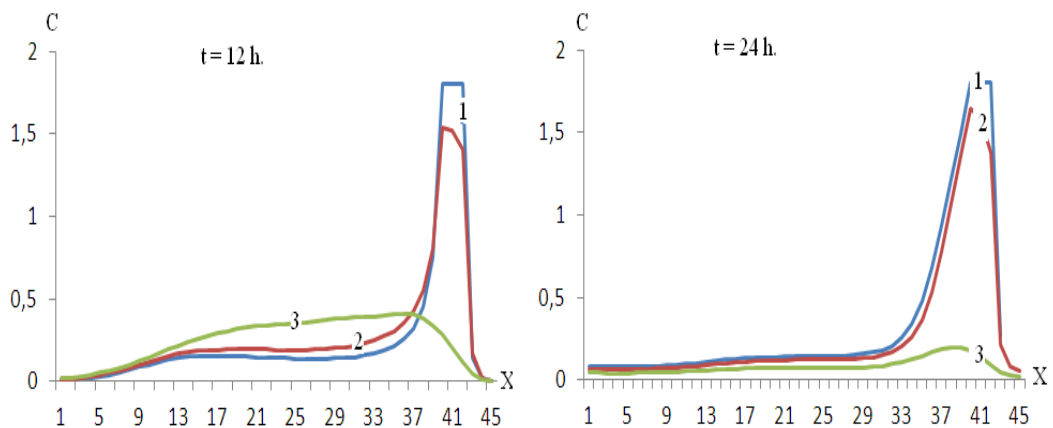
ნახ. 62-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და კონცენტრაციის განაწილება ვერტიკალურ XOZ სიბრტყეში, რომელიც გადის ქ. ზესტაფონზე. ნახ. 60 და ნახ. 61-დან ვასკვნით, რომ მტვერის ძირითადი მასა კონცენტრირებულია დაახლოებით 32 კმ სიგების, 10 კმ სიგანისა და 1 კმ სიმაღლის არეში. მტვერი

მიღებულია ქ. ზესტაფონიდან უფრო დიდ მანძილებზე, მაგრამ იქ კონცენტრაცია 100 – 1000-ჯერ ნაკლებია ზღვ-ზე.



ნახ. 62. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 24$ სთ.

კონცენტრაციის x ღერძის გასწვრივ განაწილება (ნახ. 63) გვიჩვენებს, რომ წყაროდან დაახლოებით 8 კმ-ზე მეტ მანძილზე მისი სიდიდე $t=12$ სთ-სთვის მეტია ვიდრე სიდიდე, რომელიც მიღებული იქნა, როცა $t=24$ სთ. უფრო მცირე მანძილებზე სურათი საწინააღმდეგოა – კონცენტრაცია, როცა $t=12$ სთ, ნაკლებია $t=24$ სთ-ზე მიღებულ კონცენტრაციაზე.

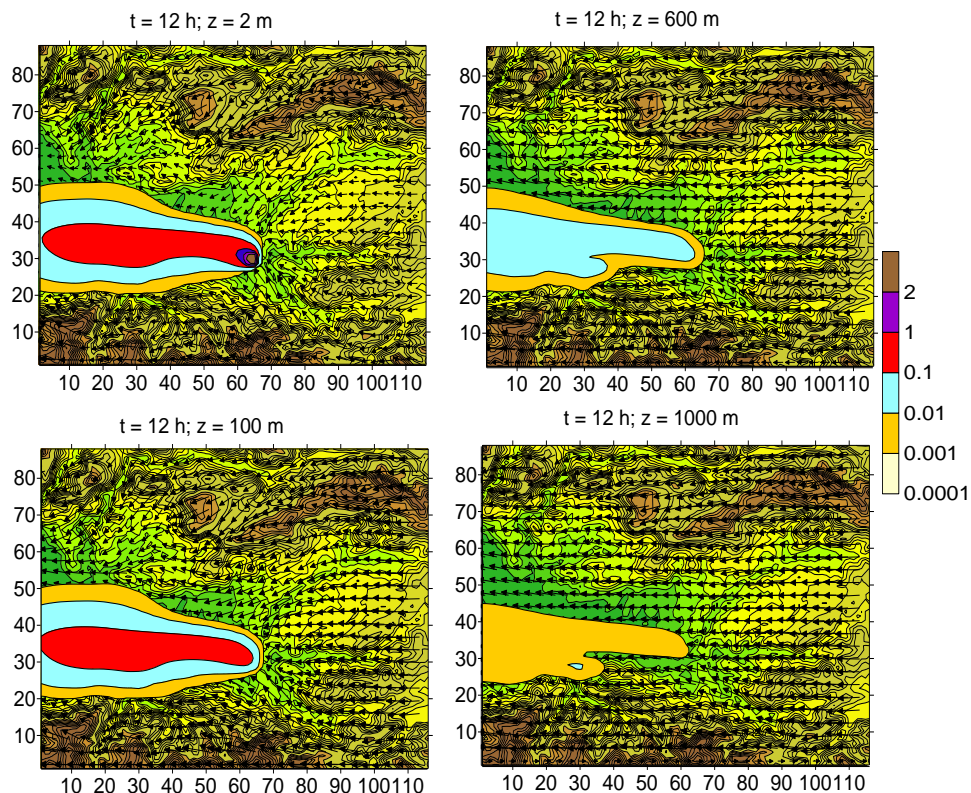


ნახ. 63. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზღვ ერთეულში) გრაფიკები სუსტი ფონური ქარის დროს $z=2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე (გრაფიკები 1, 2 და 3, შესაბამისად) ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში, როცა $t=12$ და 24 სთ.

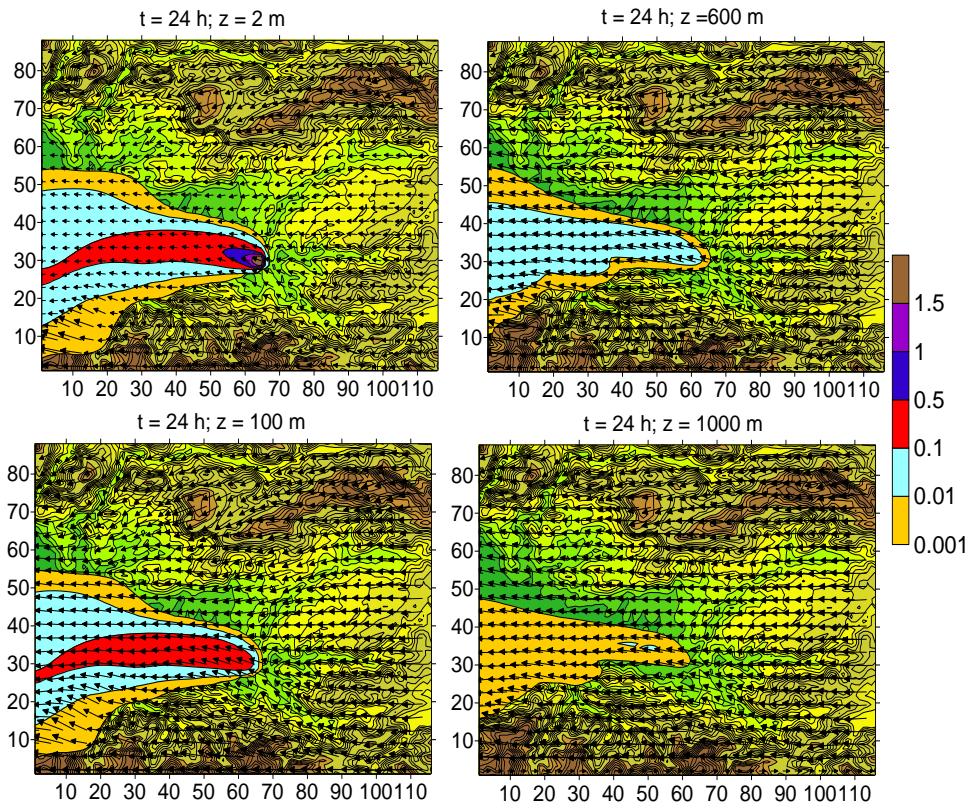
აღნიშნული ეფექტი დაკავშირებულია ტემპერატურის დღეღამური სვლით გამოწვეულ სტრათიფიკაციის ცვლილებასთან და შესაბამის დინამიკურ და კინემატიკურ პროცესების განვითარებასთან [50].

ნახ. 64 და ნახ. 65-ზე ნაჩვენებია მიწისპირა ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება $t=12$ და 24 სთ, შესაბამისად, ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის შემთხვევაში ($u_{back} = 5$ მ/წმ).

ნახ. 64 და ნახ. 65-დან 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 100მ ფენაში. კონცენტრაცია 100მ ზევით სწრაფად მცირდება და მიწის ზედაპირიდან 600მ სიმაღლეზე მისი მნიშვნელობა 100-ჯერ და უფრო მეტად ნაკლებია ზღვ-ზე.

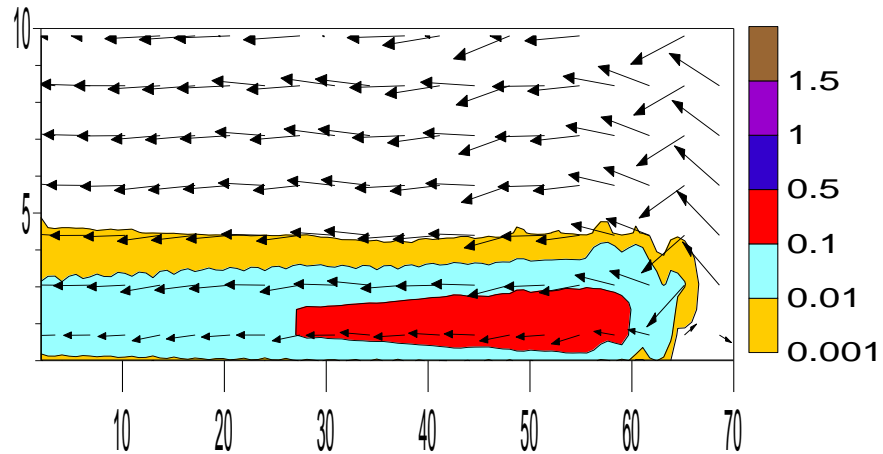


ნახ. 64. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 12$ სთ.



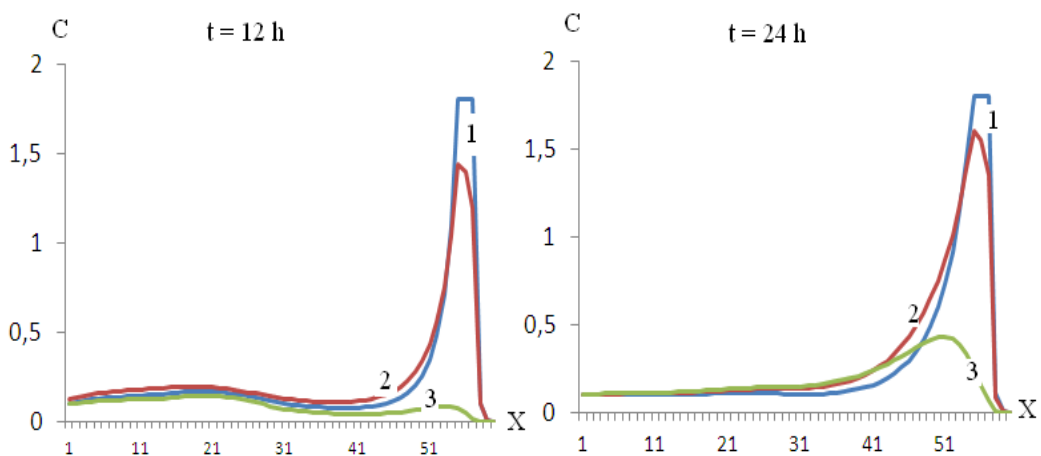
ნახ. 65. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.

მტვერი გადაიტანება ფონური ქარის მიმართულებით და დაახლოებით 24 სთ-ის შემდეგ მყარდება კვაზისტაციონალური მდგომარეობა. ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში მტვრის ღრუბელს გააჩნია წაგრძელებული ჩირაღდნის ფორმა (ნახ. 65), 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.



ნახ. 66. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ფონური საშუალო ქარის XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 24$ სთ.

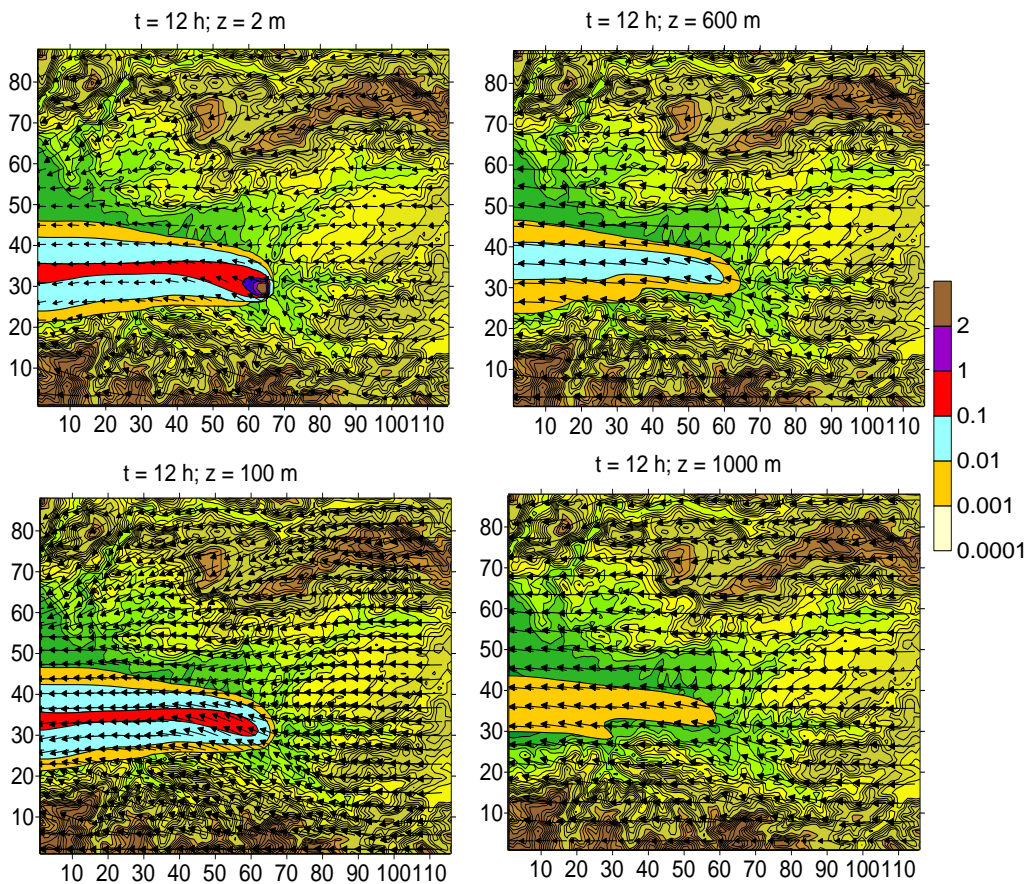
ნახ. 66–ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ზონალურ ვერტიკალურ კვეთაში, რომელიც გადის ქ. ზესტაფონიდან ჩრდილოეთით 1,6 კმ მანძილზე, ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში, როცა $t=24$ სთ. კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიღებულია ქალაქის ტერიტორიის თავზე. ქალაქიდან დაშორებისას, ფონური ქარის მიმართულებით, კონცენტრაცია სწრაფად მცირდება და 20 კმ მანძილზე მისი სიდიდე არ აღემატება 0,01 ზდკ-ს. მერიდიანული მიმართულებით კონცენტრაცია, ტურბულენტური დიფუზიისათვის დამახასიათებელი, ექსპონენციალური კანონით მცირდება.



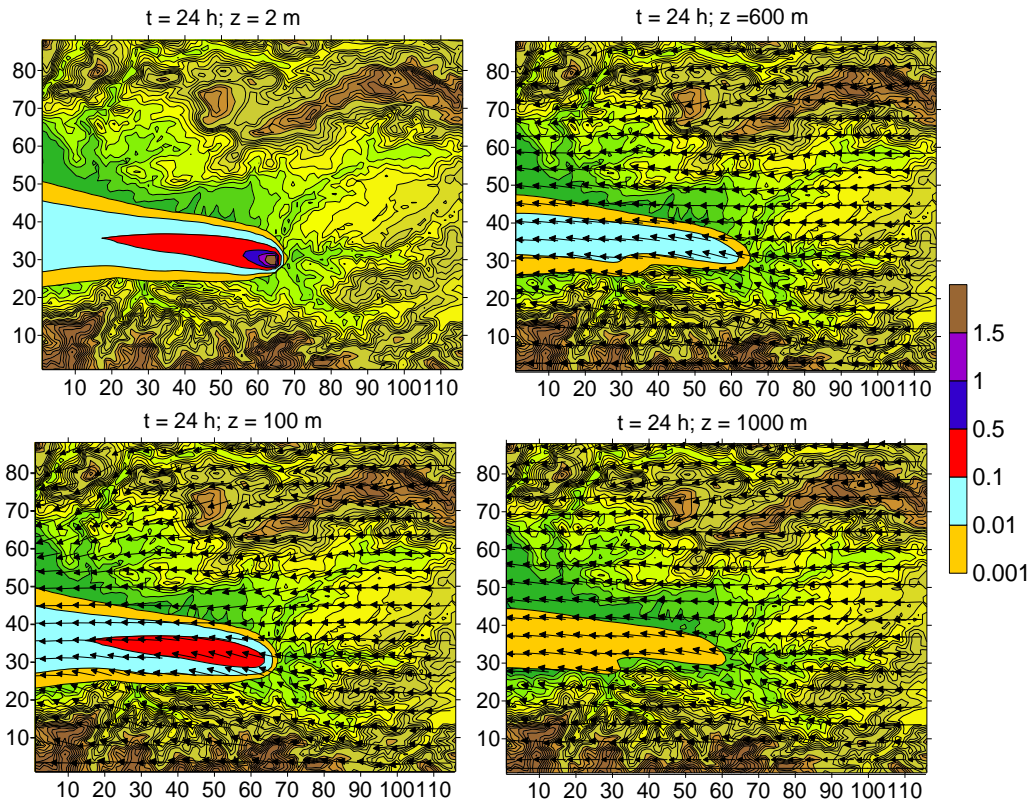
ნახ. 67. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზდკ ერთეულში) გრაფიკები საშუალო ფონური ქარის დროს $z=2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე (გრაფიკები 1, 2 და 3 შესაბამისად) ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში, როცა $t=12$ და 24 სთ.

ძლიერი ქარის შემთხვევაში ($u_{back} \geq 10$ მ/წმ, ნახ. 68, ნახ. 69) მტვრის გავრცელების პროცესი თვისებრივად ანალოგიურია საშუალო ქარის შემთხვევაში მიღებული პროცესის.

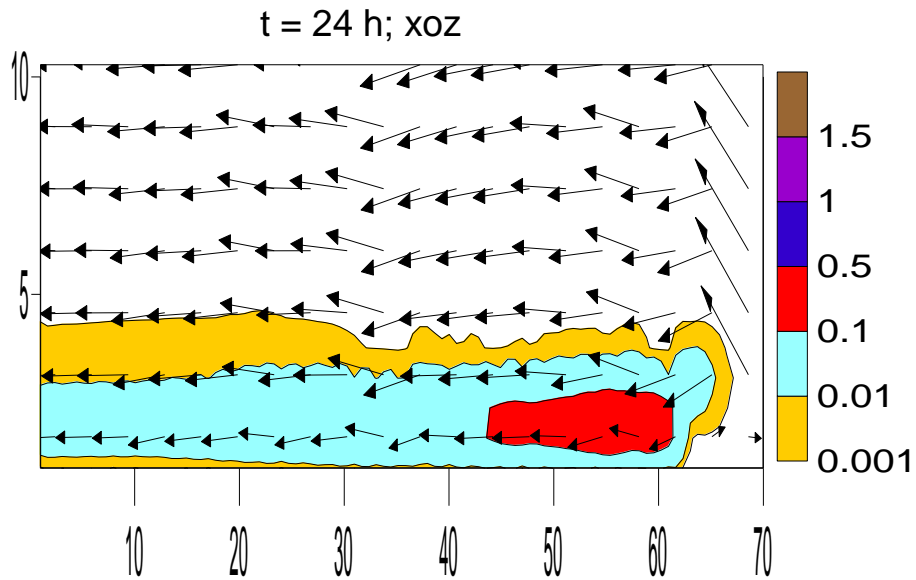
განსხვავება რაოდენობრივი ხასიათისაა: მტვრის გადატანა ქარის მიმართულებით ხდება უფრო სწრაფად ვიდრე სუსტი ფონური ქარის დროს. კონცენტრაცია >0.1 ზღვ მიღებულია მტვრის ვიწრო და გრძელ ზოლში. მტვრის გავრცელების არეალი მერიდიანული მიმართულებით მნიშვნელოვნად ნაკლებია სუსტი ან საშუალო ქარის შემთხვევაში მიღებულ არეალებზე. ვერტიკალური მიმართულებით მტვრის მაქსიმალური გავრცელების ზონა არ აღემატება 1,5 კმ-ს.



ნახ. 68. ქარის სიჩქარისა და მტვრის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს, როცა $t=12$ სთ.

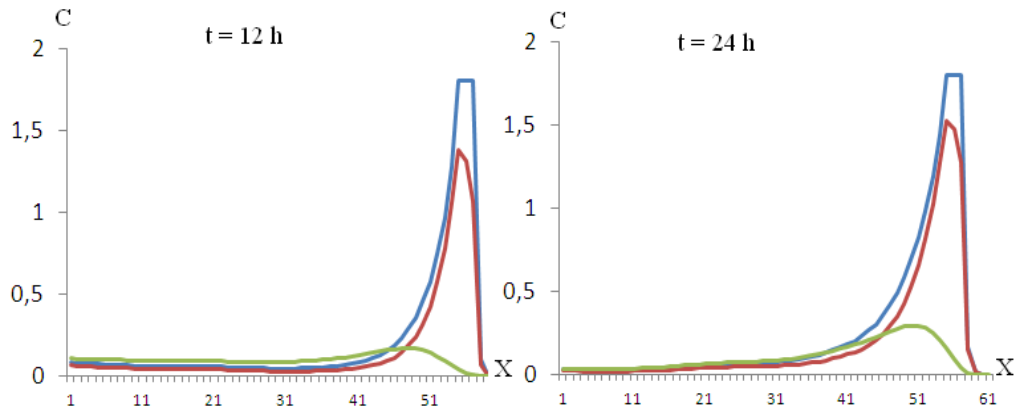


ნახ. 69. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე ფონური აღმოსავლეთის ძლიერი ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ.



ნახ. 70. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ფონური ძლიერი ქარის შემთხვევაში XOZ სიბრტყეში, როცა $t = 24$ სთ.

რაც შეეხება მტვრის გავრცელების გრაფიკებს, ისინი თვისებრივად მსგავსნი არიან და რაოდენობრივად განსხვავდებიან სუსტი და ძლიერი ქარის შემთხვევაში (ნახ. 63, ნახ. 67 და ნახ. 71) მიღებული გრაფიკებისაგან.



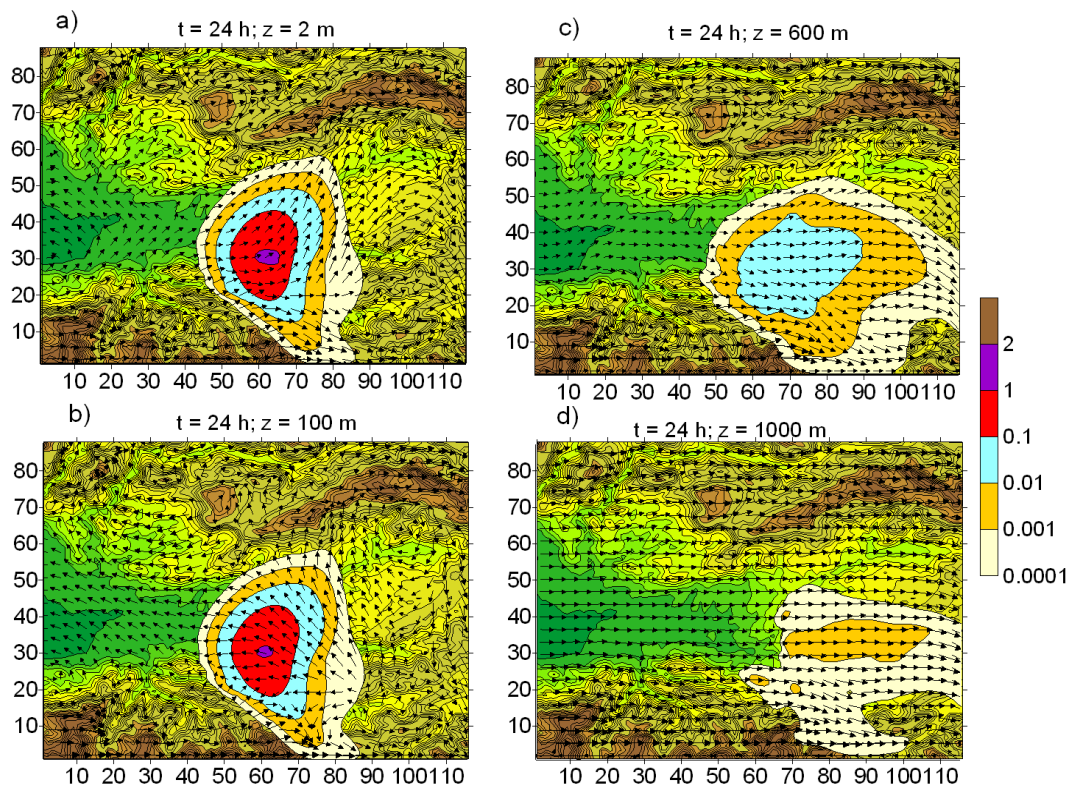
ნახ. 71. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზღვ ერთეულში) გრაფიკები ძლიერი ფონური ქარის დროს $z=2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე (გრაფიკები 1, 2 და 3 შესაბამისად) ქ. ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყეში, როცა $t=12$ და 24 სთ.

ნახ. 72-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. 72, 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 შედეგად მტვრის ღრუბელი მნიშვნელოვნად დეფორმირდება და იღებს წაგრძელებულ ფორმას, განსაკუთრებით ქარის სიჩქარის ლოკალური ზრდის ზონაში - მდ. ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების (ნახ. 72, a, b) გასწვრივ.

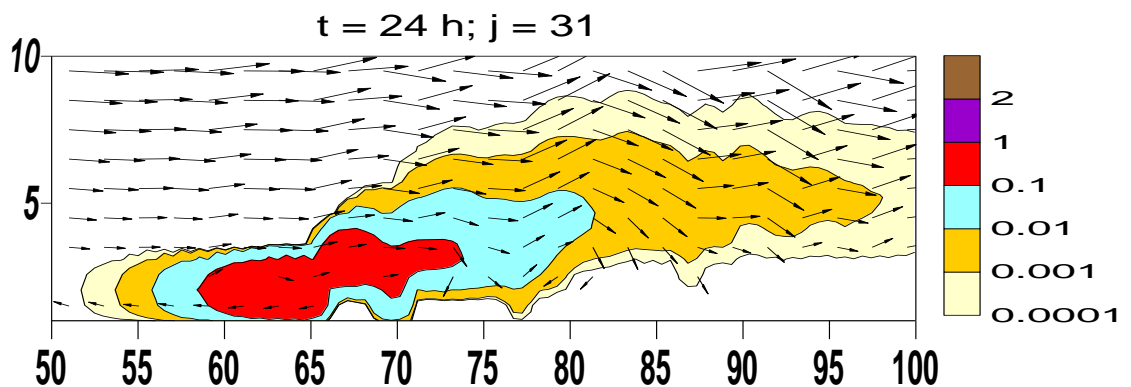
ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (როცა $Z > 100$ მ) მტვრის გავრცელების ფართობი იზრდება. მტვრის ადვექცია აჭარბებს ტურბულენტურ დიფუზიას (ნახ. 72, c, d).



ნახ. 72. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე სუსტი დასავლეთის ქარის დროს, $t = 24$ სთ.

ეფექტი კარგად ჩანს ნახ. 73-ზე, სადაც წარმოდგენილია ქარის სიჩქარის ზონალური მდგენელისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ქ.ზესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყის კვეთაში 3 კმ-იანი სისქის ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში. ჩანს, რომ დამტვერიანების არე ქმნის ერთიან წაგრძელებულ ღრუბელს ატმოსფეროს მიწისპირა 2კმ-იან ფენაში.

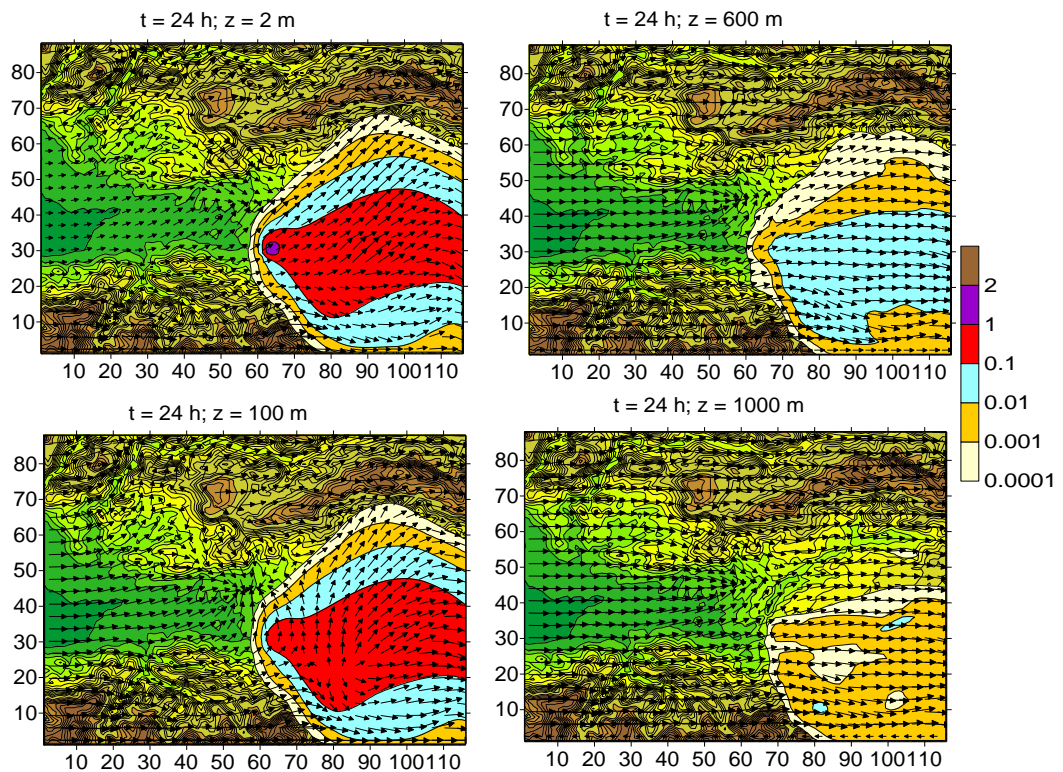
კონცენტრაცია 0.1-1 ზღვ მიღებულია დაახლოებით 9 კმ სიგრძისა და 0.8 კმ სისქის ფენაში, 0.01-0.1 ზღვ - 15 კმ სიგრძისა და 1.2 კმ სისქის ფენაში, 0.01-0.001 ზღვ - 20 კმ სიგრძისა და 2 კმ სისქის ფენებში. ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით მტვერი ვრცელდება დაახლოებით 5 კმ მანძილზე, ხოლო ქარის მიმართულებით - 20 კმ-ზე.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



ნახ. 73. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს 3 კმ-იან ფენაში ქ.ზესტაფონის თავზე (j=31) XOZ სიბრტყეში

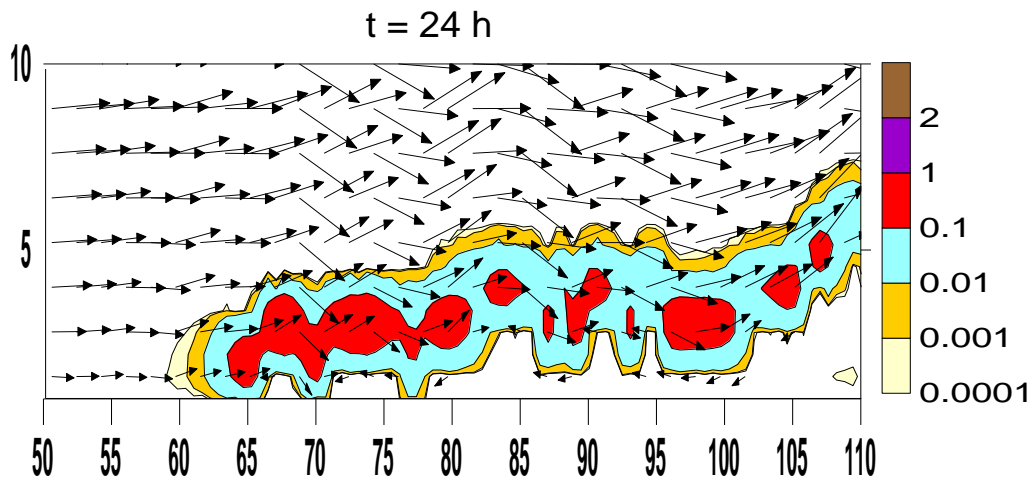
აღსანიშნავია, რომ საშუალო სიძლიერის ფონური ქარის დროს 24 საათის განმავლობაში მტვერი ვრცელდება მნიშვნელოვნად უფრო დიდ მანძილზე, ვიდრე სუსტი ფონური ქარის დროს (ნახ. 74). ამასთან, მტვერი ვრცელდება როგორც ფონური ქარის, ასევე ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მნიშვნელოვანია ლიხის ქედის ზემოქმედება და ჰაერის ჰორიზონტალური ტურბულენტობის გავლენა მტვერის დიფუზიის პროცესზე. მათი მოქმედების შედეგად მტვრის ღრუბელი დეფორმირდება, ფართოვდება სიგანეში და მტვერის გარკვეული ნაწილი ვრცელდება

ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მდ. ყვირილასა და მდ. ჩხერიმელას ხეობების გასწვრივ.



ნახ.74. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე საშუალო დასავლეთის ქარის დროს, $t = 24$ სთ.

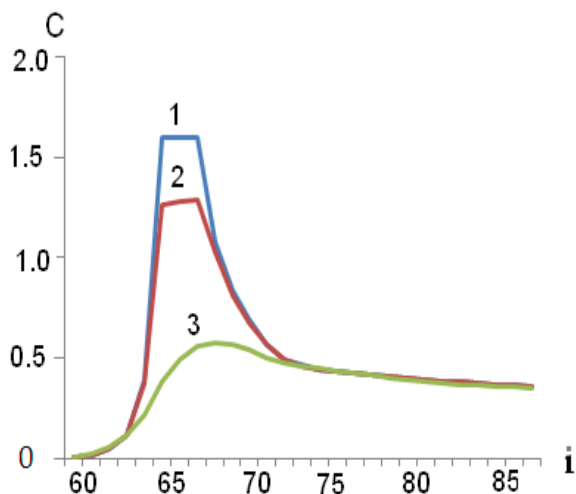
ნახ.75-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ქ. ზესტაფონის თავზე XOZ სიბრტყეში ატმოსფეროს ქვედა 3 კმ-იანი ფენაში დასავლეთის საშუალო ფონური ქარის დროს. მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია მტვრის ღრუბლის ცენტრში და მცირდება მის ზედა და ქვედა საზღვრებისკენ. ოროგრაფიის ზემოქმედებით წარმოშობილი ლოკალური ვერტიკალური დინებები იწვევენ მტვრის ღრუბლის დეფორმაციას და ყოფენ მას მაქსიმალური კონცენტრაციის მცირე ნაწილებად.



ნახ. 75. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს 3 კმ-იან ფენაში ქ. ზესტაფონის თავზე (j=31) XOZ სიბრტყეში

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

76-ე ნახაზზე ნაჩვენებია დასავლეთის ფონური საშუალო ქარის შემთხვევაში გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციის $C(x)$ გრაფიკები XOZ სიბრტყეში, როცა $z = 2, 100$ და 600 მ (წირები 1, 2 და 3 შესაბამისად). ნახაზიდან ჩანს, რომ კონცენტრაცია მაქსიმალურია ქალაქის თავზე. დაბინძურების წყაროდან 5 კმ-ზე უფრო ნაკლებ მანძილზე ადგილი აქვს კონცენტრაციის ვერტიკალურ შემცირებას. ქალაქიდან 5 კმ-ზე მეტ მანძილზე, ატმოსფეროს 600 მ სისქის ფენაში კონცენტრაცია ვერტიკალური მიმართულებით ერთნაირია და თანდათანობით მცირედით ქალაქიდან დაშორებისას [51, 52, 53].



ნახ. 76. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ (ზღვ ერთეულში) გრაფიკი საშუალო ფონური ქარის დროს $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეებზე ქ. ზესტაფონზე გამავალ X0Z სიბრტყეში

2.5 სამრეწველო მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე

ატმოსფეროში თერმიული კონვექციის სამგანზომილებიან არაწრფივ არაკვაზისტატიკურ განტოლებაზე დაყრდნობით დამუშავებულია ატმოსფეროში ამოფრქვეული მტვრის 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 მანგანუმი“ №1 და №4 საამქროების აირდამჭერი დანადგარების აერაციული ფანრებიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული 10 მკმ ზომის მტვრის ნაწილაკების გავრცელების კინემატიკა. განხილულია ორი მეტეოროლოგიური სიტუაცია - შტილი და ფონური ჩრდილო - დასავლეთის ქარი.

მოდელირებით მიღებულია, რომ ატმოსფეროში ამოფრქვეული მტვრის გავრცელების კინემატიკა, შტილისა და ფონური მოძრაობების

შემთხვევებში, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. შტილის დროს მტვრის გავრცელებას განაპირობებს თერმიული კონვექციის შედეგად წარმოშობილი სიჩქარეთა ველი. ამ დროს აერაციული ფანრებისმიდამოებში ფორმირდება ქარის სიჩქარის კონვერგენციის ზონა. ეს ზონა სიმაღლის ზრდასთან ერთად თანდათანობით მცირდება და ატმოსფეროსმიწისპირა ფენის ზედა ნაწილში გარდაიქმნება დივერგენციის ზონად. თითოეული წყაროს თავზე მიიღება ჰაერის და მტვრის აღმავალი კონვექციური ნაკადი. კონვექციური პროცესის შედეგად ფორმირებული ვერტიკალური სიჩქარე აღწევს 5 მ/წმ. დივერგენციისა და კონვერგენციების ზონაში ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელები არ აღემატებიან 3 მ/წმ.

მტვრის სივრცეში გავრცელება ხორციელდება როგორც მოწესრიგებული ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ნაკადების, ასევე მცირე მასშტაბის გრიგალური და დიფუზიური მოძრაობების შედეგად. მტვრის ადვექციური, კონვექციური და ტურბულენტური დიფუზია ფონური მოძრაობების ზემოქმედებით წარმოშობს დამტვერიანების ვერტიკალურად დახრილი შლეიფის მაგვარ ზონას. მიღებულ ზონაში გრიგალურ მოძრაობას არ აქვს ადგილი.

ატმოსფერული ჰაერის ანტროპოგენული დაბინძურების მოდელირება ინდუსტრიულ ცენტრებში, მისი სივრცული და დროითი განაწილების თავისებურებების გამოკვლევა ადამიანთა ჯანმრთელობის და გარემოს დაცვის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. მრავარიცხოვანია დამაბინძურებელი ნივთიერებები, მრავალნაირია მათი წარმოშობის წყარო [54], გარდაქმნის კინემატიკა და გავრცელების დინამიკა [32]. შესაბამისად, მრავალფეროვანია მათემატიკური მოდელები, რომლებიც აღწერენ პრობლემის ფართო სპექტრს ლოკალური და გლობალური მასშტაბის პროცესებამდე [55-57]. კვლევის ერთ-ერთ მიმართულებას წარმოადგენს დამაბინძურებელი ინგრედიენტების გავრცელება ცალკეული წყაროებიდან ლოკალური მასშტაბის ტერიტორიებზე. მათემატიკური სისტემები,

რომლებიც აღწერენ ინგრედიენტების ლოკალურ გავრცელებას იყენებენ ნახევრადემპირიულ მეთოდებს, სტაციონალურ და არასტაციონალურ გაუსის მოდელებს ან ეყრდნობიან ნავიე-სტოქსის არასტაციონალურ არაწრფივ არასტატიკურ განტოლებათა რიცხვით ინტეგრირებას მაღალი გარჩევის მქონე რიცხვით ბადეებზე.

საქართველოში და პოსტსაბჭოთა ქვეყნებში ფართო გავრცელება ჰპოვა ატმოსფეროს დაბინძურების შეფასების ემპირიულმა სისტემამ [20, 22]. ის გამოიყენება გარემოს დაბინძურების ექსტრემალური დონის, ზღვრულად დასაშვები ამონაფრქვევების და დაბინძურების ზოგადი სურათის შესაფასებლად და არ ასახავს ცალკეული წყაროების მიერ გამოწვეული დაბინძურების ლოკალურ თავისებურებებს.

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია, თერმიული კონვექციის განტოლებებზე დაყრდნობით, დამუშავდეს მაღალი (1-100 მ) გარჩევის უნარის მქონე ბადეზე ცალკეული წყაროდან ამოფრქვეულ ნივთიერებათა გადატანა-დიფუზიის რიცხვითი მოდელი და მისი საშუალებით გამოკვლეულ იქნეს შპს „ჯორჯიან მარგანეზის“ ფეროშენადნობთა ქარხნიდან ატმოსფეროში ორგანიზებულად გაფრქვეული მტვრის გავრცელების ლოკალური თავისებურებები.

ჰიდროთემოდინამიკის განტოლებათა სისტემა, რომელიც აღწერს მშრალ ატმოსფეროში მეზომასშტაბის (≈ 1 კმ) ატმოსფერული პროცესების და ცალკეული წყაროდან ამოფრქვეული ნივთიერებების გავრცელებას ჩაიწერება შემდეგი სახით [30, 58]:

$$\begin{aligned} \frac{du'}{dt} &= -\frac{\bar{p}}{\rho} \frac{\partial \phi'}{\partial x} + l_z v' - l_y w' + \mu \Delta u' + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial u'}{\partial z}, \\ \frac{dv'}{dt} &= -\frac{\bar{p}}{\rho} \frac{\partial \phi'}{\partial y} - l_z u' + \mu \Delta v' + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial v}{\partial z}, \\ \frac{dw'}{dt} &= -\frac{\bar{p}}{\rho} \frac{\partial \phi'}{\partial z} + g \theta' + l_y u' + \mu \Delta w' + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial w'}{\partial z}, \\ \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} &= 0, \end{aligned} \tag{2}$$

$$\frac{d\vartheta'}{dt} + S w = \mu \Delta \vartheta' + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \vartheta'}{\partial z}$$

$$\frac{dC'}{dt} - w_c \frac{\partial C}{\partial z} = \mu \Delta C' + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial C'}{\partial z},$$

$$\text{ოპერატორები } \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \text{div}(\mathbf{V} \cdot), \quad \Delta = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2},$$

სადაც t დროა; x , y და z აღმოსავლეთით, ჩრდილოეთით და ვერტიკალურად ზევით მიმართული საკორდინტო ღერძების კორდინატებია. p - წნევაა, ρ სიმკვრივეა, T ტემპერატურაა, \mathbf{V} ქარის სიჩქარის ვექტორია, რომლის მდგენელები x , y და z ღერძების გასწვრივ არის u , v და w . მეტეოროლოგიური სიდიდეები წარმოდგენილია სტანდარტული, ფონური მნიშვნელობისა და ფონური მნიშვნელობიდან გადახრის ჯამის სახით: $p = \bar{p} + \tilde{p} + p'$, $\rho = \bar{\rho} + \rho'$, $T = \bar{T} - \gamma z + \tilde{T} + T'$, $C = \tilde{C} + C'$, $u = \tilde{u} + u'$, $v = \tilde{v} + v'$, $w = \tilde{w} + w'$. ხაზი “ $\tilde{\quad}$ ” აღნიშნავს იმას, რომ ფიზიკური სიდიდე შეესაბამება სტანდარტულ ატმოსფეროს, ტალღოვანი ხაზი “ \sim ” - დიდმასშტაბიანი ატმოსფერული პროცესის შესაბამის (ფონურ) მნიშვნელობას, ხოლო შტრიხი “ $'$ ” უჩვენებს, რომ ფიზიკური სიდიდე წარმოადგენს ფონური მნიშვნელობიდან გადახრას და ახასიათებს ლოკალურ ატმოსფერულ პროცესებს, თანაც $\frac{p'}{\bar{p}} \ll 1$, $\frac{\tilde{p}}{\bar{p}} \ll 1$, $\frac{\rho'}{\bar{\rho}} \ll 1$, $\frac{\tilde{\rho}}{\bar{\rho}} \ll 1$, $\frac{T'}{\bar{T}} \ll 1$, $\frac{\tilde{T}}{\bar{T}} \ll 1$, $\frac{p'}{\bar{p}} - \frac{\rho'}{\bar{\rho}} = \frac{p'}{\bar{p}}$, $\bar{p} = \bar{p}(z)$, $S = (\gamma_a - \gamma) / \bar{T}$, $\bar{T} = 300\text{K}$. γ_a არის ტემპერატურის მშრალი ადიაბატური გრადიენტი, γ - ფონური ატმოსფეროს ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი. μ და ν წარმოადგენს ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კინემატიკურ კოეფიციენტებს, l_y და l_z - კორიოლისის პარამეტრების y და z მდგენელებს.

(2) განტოლებათა სისტემა მიღებულია დაშვებით, რომ ფონური ქარის სიჩქარეები აკმაყოფილებენ გეოსტროფიული ქარის განტოლებებს და მათი

ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ცვლილებები ლოკალურ არეში, პირველ მიახლოებაში, შეიძლება უგულებელვყოთ: $\tilde{u} = \text{const}$, $\tilde{v} = \text{const}$, $\tilde{w} = 0$.

(2) სისტემა განსაზღვრულია დროის $0 \leq t \leq T$ ინტერვალში და სივრცით $\omega\{0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y, 0 \leq z \leq Z\}$ არეში. (2) სისტემას მივუერთოთ საწყისი

$$u' = v' = w' = \vartheta' = C' = 0, \text{ როცა } (x, y, z) \notin \Omega_1 \text{ და } t = 0,$$

$$u' = v' = 0, w' = w_0, \vartheta' = \vartheta_0, C' = C_0, \text{ როცა } (x, y, z) \in \Omega_1 \text{ და } t = 0 \quad (3)$$

და სასაზღვრო პირობები:

$$(u', v', w', \vartheta', C')_{x=0} = (u', v', w', \vartheta', C')_{x=X},$$

$$(u', v', w', \vartheta', C')_{y=0} = (u', v', w', \vartheta', C')_{y=Y}, \quad (4)$$

$$(u', v', w', C')_{z=0} = (u', v', \vartheta', C')_{z=Z} = 0,$$

$$\vartheta' = \vartheta_0, w' = w_0, C' = C_0(x, y, z), \text{ როცა } (x, y, z) \in \Omega_1,$$

სადაც, Ω_1 არის მტვრის ატმოსფეროში გაფრქვევის არე. $\vartheta_0(x, y, z)$, $w_0(x, y, z)$ და $C_0(x, y, z)$ გაფრქვევის არეში ამოფრქვეული აირის ტემპერატურის ანალოგი, ამოფრქვევის სიჩქარე და მტვრის კონცენტრაციაა, შესაბამისად. მათი მნიშვნელობები ცნობილი სიდიდეებია.

განტოლებათა სისტემა (2), პირობებით (3) და (4), ინტეგრირდება ცხადი და არაცხადი რიცხვითი სქემებით [30, 58]. ისინი რეალიზირებულია $81 \times 81 \times 51$ წერტილებისაგან შემდგარ რიცხვით ბადეზე. ბადის ბიჯები x და y ღერძების გასწვრივ 20 მ-ია, z ღერძის გასწვრივ – 10 მ, დროითი ბიჯი უდრის 0,2 წმ-ს.

ინტეგრირების არის ზომებია $1600 \times 1600 \times 500$ მ. ამ არეში მოთავსებულია შპს „ჯორჯიან მანგანუზის“ ძირითადი ობიექტები, რომლებიდანაც ხდება ატმოსფეროში მყარი აეროზოლების ორგანიზებული ამოფრქვევა. არაორგანიზებული აეროზოლების გაფრქვევა მოდელირების პროცესის დროს არ განიხილება. აეროზოლების ზომად მიღებულია 10 მკმ. მათი დალექვის სიჩქარე $w_c = 0,01$ მ/წმ.

შპს „ჯორჯიან მანგანუზი“-დან მიღებული მასალების თანახმად, საწარმოში მყარი აეროზოლები ამოიფრქვევა ორი ძირითადი ობიექტიდან,

კერძოდ, №1 და №4 საამქროების სახელოებიანი ფილტრებით აღჭურვილი გამწმენდი მოწყობილობების აერაციული ფანჯრებიდან. ამოფრქვეული მანგანუმის ორჟანგის ძირითადი მახასიათებელი სიდიდეები მოცემულია ცხრილი 28-ში.

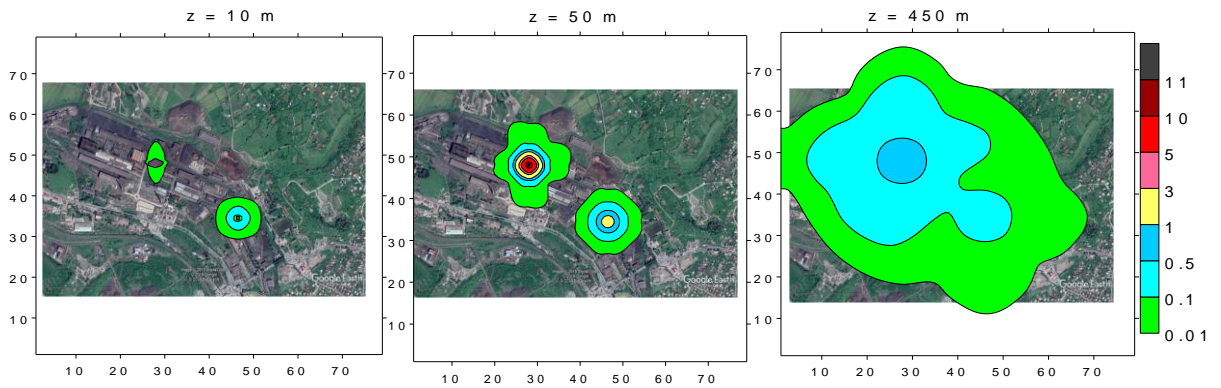
ცხრილი 28. ფეროშენადნობთა ქარხნის მტვრის წარმოქმნის წყაროებისა და გაფრქვევის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრები

№	სიმაღლე H (მ)	ფართობი S (მ ²)	აირმტვრიანი ნარევის ტემპერატურა T ₀ ' (°C)	ამოფრქვევის სიჩქარე W ₀ (მ/წმ)	კონცენტრაცია C ₀ (მგ/მ ³)
საამქრო №1	22	110	50°C	1	1,8
საამქრო № 4	42	440	31-63	1	5,4

რიცხვითი ექსპერიმენტებით გამოკვლეულია ქ. ზესტაფონის შპს „ჯორჯიან მანგანუმის“ (ფეროშენადნობთა ქარხნის) მიერ ატმოსფეროში გაფრქვეული მტვრის კინემატიკა ორგანიზებული გაფრქვევის ორი ძირითადი წყაროდან (№1 და №4 საამქრო). მოდელირება განხორციელდა ორი მეტეოროლოგიური სიტუაციისთვის: შტილი და ჩრდილო-დასავლეთის ქარი, როდესაც ქარის სიჩქარე იზრდება 0–დან 10 მ/წმ-დე, მიწის ზედაპირიდან 500 მ სიმაღლეზე. ამ მიმართულების დროს ადგილი აქვს ორივე წყაროდან ამოფრქვეული მტვრის გავრცელებას ერთი წრფის გასწვრივ და მათი კონცენტრაციების ზედდებას. რიცხვითი მოდელირება ჩატარებულია ატმოსფეროში მტვრის გაფრქვევის დაწყებიდან მისი კვაზისტაციონალური განაწილების დამყარებამდე – დაახლოებით 0,5 სთ–ის განმავლობაში.

ნახ.77 და 78-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული მტვრის კონცენტრაციის განაწილება სივრცეში ფონური შტილის დროს, როდესაც მტვრის გავრცელების ძირითად მექანიზმს თერმიული კონვექცია წარმოადგენს. კონცენტრაციის იზოზოლები ნაჩვენებია ზღვრულად

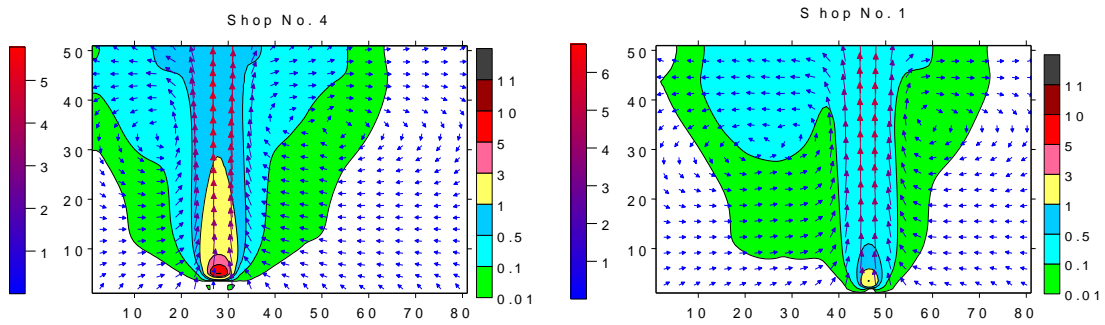
დასაშვები კონცენტრაციის ($\text{ზდკ}=0.5\text{მგ/მ}^3$) ერთეულებში. ამ ნახაზებიდან ჩანს, რომ აირგამწენდი დანადგარებიდან ამოფრქვევის შემდეგ მტვერი ატმოსფეროში ვრცელდება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ორი ვერტიკალური ცილინდრული ნაკადის სახით. მტვერის ძირითადი მასა (კონცენტრაციით $>0,1\text{ზდკ}$) განაწილებულია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



ნახ. 77. ატმოსფეროში მტვერის კონცენტრაციების იზოზოლები შტილის დროს 10, 50 და 450 მ 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, მტვერის კონცენტრაცია 0,5-0,01 ზდკ მიღებულია დაბალი, №1 საამქროს გამწმედი დანადგარების ირგვლივ. შედარებით მაღალი №4 საამქროს გამწმედი დანადგარების მიდამოში, მტვერის კონცენტრაცია 0,1-0,01 ზდკ მიღებულია მნიშვნელოვნად მცირე ფართობზე.

გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციის სივრცული სურათი, ფორმირებულია თერმიული კონვექციისათვის დამახასიათებელ სიჩქარეთა განაწილებით (ნახ. 78 და 79).

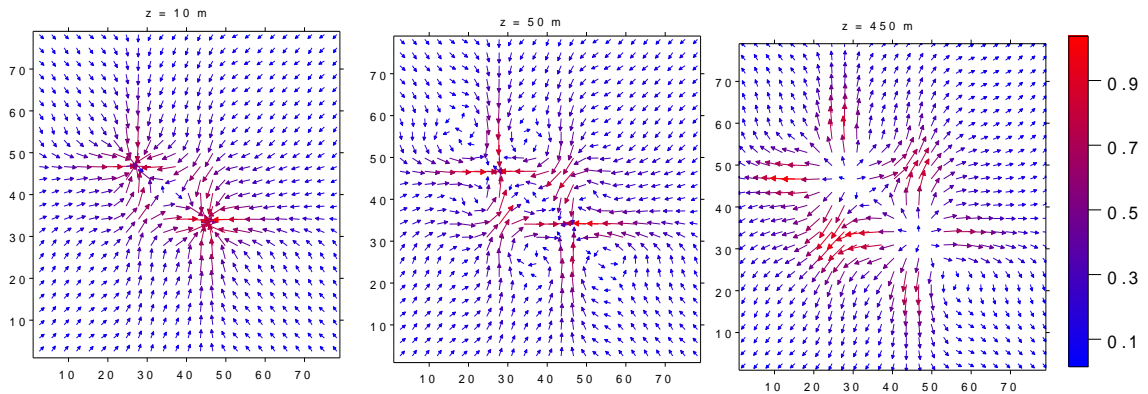


ნახ. 78. მტვრის კონცენტრაციის იზოზოლების და ქარის სიჩქარის ვექტორის გეგმილები გამწმენდ მოწყობილობებზე გამავალ XOZ სიბრტყეში

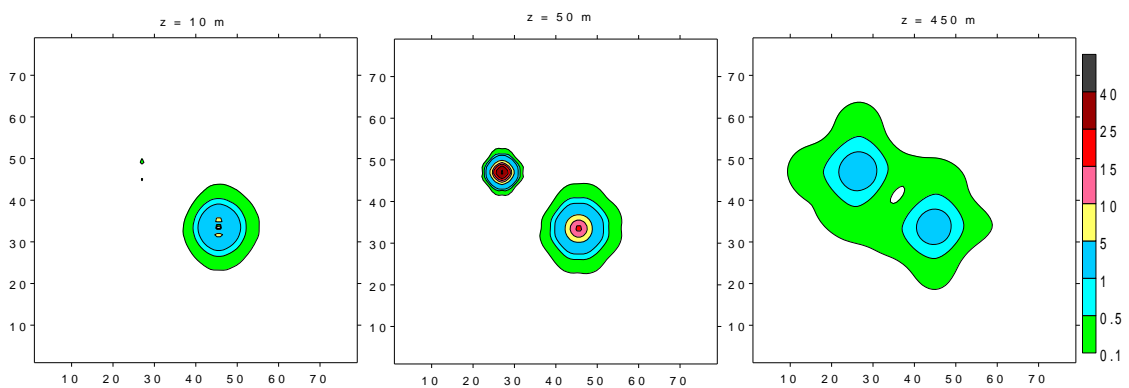
ნახაზებიდან ჩანს, რომ ამოფრქვეული თბილი მტვერ-აეროვანი მასა იწვევს თერმიული კონვექციის განვითარებას. მისთვის დამახასიათებელია მძლავრი ვერტიკალური ნაკადის ფორმირება. ნაკადის 350 მ სისქის ფენაში წარმოიშვება მკაფიოდ გამოხატული კონვერგენციული არე, ხდება ვერტიკალური მოძრაობის ინტენსიფიცირება და მტვრის გადატანა 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.

მოძრაობის კინემატიკა აჩვენებს, რომ მტვრის გავრცელება მოდელირების არის ცენტრალურ ნაწილში ხორციელდება კონვექციური, ადვექციური, გრიგალური პროცესებისა და ტურბულენტური დიფუზიის შედეგად. ვერტიკალურ სიბრტყეში კონვექციური გადატანისა და

ვერტიკალურ ტურბულენტური დიფუზიის წვლილი დაახლოებით ერთნაირია. ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გრიგალური ტურბულენტური დიფუზია უპირატესია ადვექციურ გადატანასთან შედარებით.



ნახ. 79. ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე

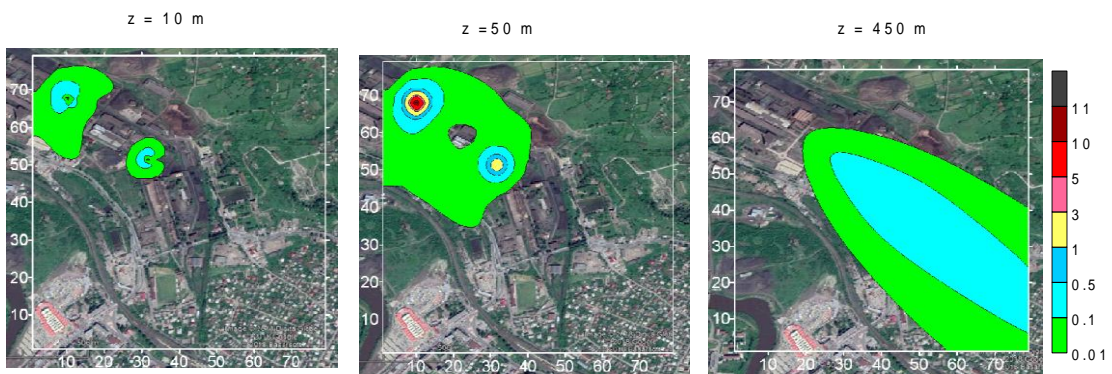


ნახ. 80. კონვექციის შედეგად ფორმირებული ტემპერატურის შეშფოთების ველი 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე

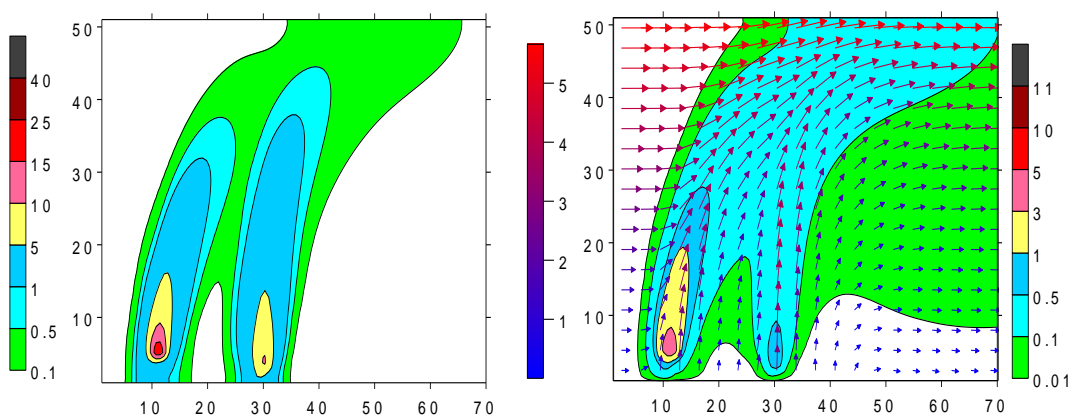
გამწმედი დანადგარებიდან ამონაფრქვევი აირი ცვლის ატმოსფეროს ტემპერატურას წყაროსთან მდებარე ვერტიკალურ ცილინდრულ არეში (ნახ.80). ტემპერატურის ცვლილება მინიმალურია მიწის სიახლოვეს და მაქსიმალურია აერაციული ფანრების მიდამოებში. თბილი ჰაერის სვეტი განჭოლავს სივრცეს მის ზედა საზღვრამდე. 450 მ სიმაღლეზე გარემოს ტემპერატურის შეშფოთების მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს 5°C.

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

ნახ. 81 და 82–ზე ნაჩვენებია მტვრის კონცენტრაციების განაწილება 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე. ნახაზებიდან ჩანს, რომ მტვერი გადაიტანება სამხრეთ – ამოსავლეთის მიმართულებით. გადატანასთან ერთად მტვრის ნაკადი ფართოვდება სივრცეში 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 უშუალოდ ამოფრქვევის მიდამოებში და მცირდება როგორც ფონური ქარის, ასევე მისიმართობული მიმართულებით.

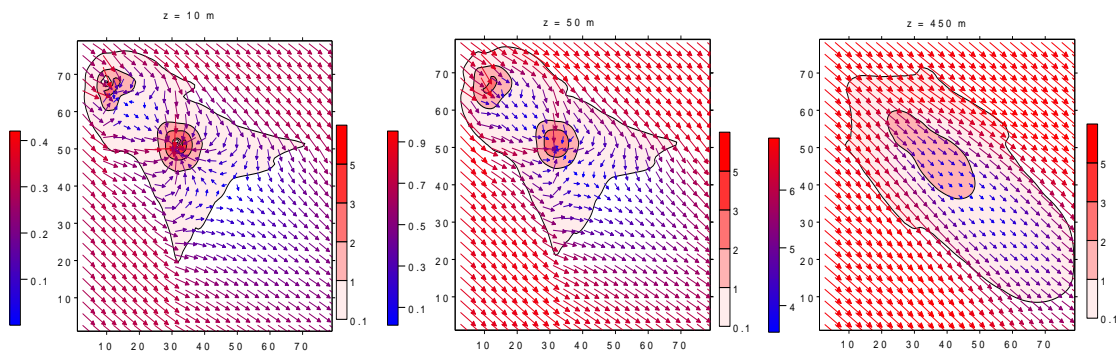


ნახ. 81. ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციების იზოზოლები ჩრდილო – აღმოსავლეთის ქარის დროს 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე



ნახ. 82. ტემპერატურის შეშფოთების და მტვრის კონცენტრაციის იზოზოლებისა და ქარის სიჩქარის ვექტორის განაწილება ფონური ქარის გასწვრივ მიმართულ ვერტიკალურ კვეთში

მტვრის კლასიკური [21] გავრცელებისაგან განსხვავებული სურათია მიღებული მისი ნაკადის შუა ნაწილში 50 მ სიმაღლეზე, სადაც დაბინძურების ორივე წყაროს მიერ შექმნილი ჯამური კონცენტრაციის მნიშვნელობა ნულის ტოლია. მიღებული ეფექტი გამოწვეულია მტვრის კონვექციური გადატანის დროს ფორმირებული ლოკალური აღმავალი მოძრაობით (ნახ. 82 და 83).



ნახ. 83. ქარის სიჩქარისვერტიკალური მდგენელის იზოზოლებისა და ჰორიზონტალური მდგენელების განაწილება 10, 50 და 450 მ სიმაღლეებზე

ნახ. 82 და 83-დან ჩანს, რომ თერმიული კონვექციის განვითარება, რომელიც თან სდევს ცხელი აირმტვრიანი მასის ამოფრქვევას ატმოსფეროში, წარმოშობს ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალურ კონვერგენციის ზონას (ნახ.83) და მძლავრ აღმავალ მოძრაობას ამოფრქვევის ქარზურგა მხარეს (ნახ.82). აღმავალი მოძრაობის სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება მტვრის ნაწილაკების დალექვის სიჩქარეს. შედეგად, წყაროდან 30 მეტრზე მეტ მანძილებზე გრავიტაციულ და ტურბულენტურ დალექვას აკარბებს მტვრის კონვექციური გადატანა ზედა დონეებზე და ამცირებს მიწისპირა დამტვერიანებას. ორი წყაროს შემთხვევაში, ორი კონვექციური უჯრედის ერთობლივი მოქმედება აძლიერებს კონვექციური გადატანის ეფექტს და ამცირებს მტვრის დალექვას ქვეფენილ ზედაპირზე. შედეგად მიწის სიახლოვეს მიიღება მცირე კონცენტრაციისა და მტვრისაგან თავისუფალი არე.

ზედა ფენებში ბაროკლინური ქარი და ჩამოყალიბებული კონვექციური მოძრაობები იწვევენ მტვრის რკალისებრ გადატანას ვერტიკალურ სიბრტყეში ფონური მოძრაობის მიმართულებით.

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

ჩატარებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტებმა გამოავლინეს მტვრის ლოკალური გადატანის ზოგიერთი თავისებურებები, რომლებიც არ მიიღება ფართოდ გავრცელებული მეზომასშტაბის და კვაზისტატიკური მოდელების საშუალებით [21, 32]. კერძოდ გამოვლენილი იქნა, რომ თერმიული კონვექციის დინამიკა მოქმედებს ტურბულენტური დიფუზიის და სედიმენტაციის პროცესების საწინააღმდეგოდ, მნიშვნელოვნად ამცირებს მტვრის კონცენტრაციას წყაროს მიდამოებში ატმოსფეროს ქვეფენილი ზედაპირის სიახლოვეს. ამოფრქვევის წყაროს მიდამოებში ხდება მტვრის გადატანა ქვედა დონეებიდან უფრო მაღალ დონეებზე და მათი შემდგომი ადვექციური გავრცელება. წყაროს სიახლოვეს და ქვედა 300მ ფენაში თბილი ამონაფრქვევის და შტილური სიტუაციის დროს უპირატესია მტვრის ვერტიკალური გადატანა, ხოლო ზედა ნაწილში აღინიშნება დივერგენციული მოძრაობით გამოწვეული ჰორიზონტალური ადვექციური და ტურბულენტური გადატანა.

მტვრის კონცენტრაცია ატმოსფეროს მიწისპირა არეში ფონური ბაროკლინური ქარის დროს უფრო მეტია, ვიდრე ფონური შტილის დროს. აღნიშნული ეფექტი, სავარაუდოდ, გამოწვეულია ბაროკლინურ მოძრაობასთან დაკავშირებული ვერტიკალური ტურბულენტობის გადატანის ზრდით.

უნდა აღინიშნოს, რომ გამოთვლების შედეგები თვისობრივ თანხმობაშია საწარმოთა ამონაფრქვევი ინგრედიენტების ზოგად, დაკვირვებით მიღებულ [59, 60] შედეგებთან, რაც შესაძლებელია გამოვიყენოთ მსგავსი სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოების შესრულებისას.

2.6 კ. ზესტაფონისა და მის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების რიცხვითი მოდელირება

ნიადაგი წარმოადგენს მიწის ქერქის რთული შემადგენლობის ფხვიერ ზედაპირულ ფენას, სადაც ბიოლოგიური პროცესების ზეგავლენით მიმდინარეობს მინერალური და ორგანული ნივთიერებების ურთიერთ-გადასვლის ქიმიური პროცესები. ნიადაგის დეგრადაციას იწვევს ანთროპოგენული ფაქტორები, ერთ-ერთ ფაქტორს წარმოადგენს ტექნიკური ეროზია, რაც გამოწვეულია სამრეწველო ნარჩენების არასწორი განთავსებით, რომელთა თვითგაწმენდა პრაქტიკულად არ მიმდინარეობს ან მიმდინარეობს ძალიან ნელა. ტოქსიკური ნივთიერებების დაგროვება თანდათან ცვლის ნიადაგის ქიმიურ შემადგენლობას, გეოქიმიური არისა და ცოცხალი ორგანიზმების ერთიანობას. გარემოს ობიექტების (წყლის, ჰაერის, ნიადაგის) სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო დაბინძურება განსაკუთრებით საშიშია მჭიდროდ დასახლებული ისეთი რაიონისათვის, როგორც არის ქალაქი ზესტაფონი [61, 62].

წარმოდგენილ ნაშრომში რიცხობრივად მოდელირებული და შესწავლილია კ. ზესტაფონში არსებული მტვრის გავრცელების მექანიზმი და არეალი. ამ მიზნით, მოდელირებისათვის გამოყენებულია საქართველოს ტერიტორიაზე მეზომასტაბის რეგიონში ატმოსფერული პროცესების განვითარების და დამაბინძურებელ ინგრედიენტთა გავრცელების რეგიონალური მოდელი. მოდელში მტვრის გავრცელება აღიწერება უწვეტ გარემოში პასიური ინგრედიენტის გადატანა-დიფუზიის განტოლების საშუალებით [63], რომელიც რაიონის რელიეფის სირთულის

გათვალისწინებით ჩაწერილია რელიეფის მიმყოლ კოორდინატთა სისტემაში [46].

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (\tilde{w} - \frac{w_0}{h}) \frac{\partial C}{\partial \zeta} = \mu \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial C}{\partial \zeta} \quad (5)$$

სადაც t დროა, x , y , და z - დეკარტეს მართკუთხა კოორდინატთა ღერძებია, $\zeta = (z - \delta) / h$ - რელიეფის მიმყოლი ღერძი, $\delta(x, y)$ - რელიეფი, $h = H - \delta$ - ატმოსფეროს სისქე, $H(t, x, y)$ - ტროპოპაუზის სიმაღლე, C - მტვრის კონცენტრაცია, u , v , და \tilde{w} ქარის სიჩქარის მდგენელები x , y და ζ ღერძების გასწვრივ, შესაბამისად. მათი მნიშვნელობები გამოითვლება რეგიონალური მოდელის [47] გამოყენებით ყოველ კონკრეტულ სინოპტიკურ სიტუაციაში, რიცხვით ექსპერიმენტში დასახული მიზნის შესაბამისად. w_0 არის მტვრის გრავიტაციული დაღეჟვის სიჩქარე, ის გამოითვლება სტოქსის ფორმულის საშუალებით. μ და ν ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კინემატიკური კოეფიციენტებია.

(5) განტოლება რიცხობრივად ინტეგრირდება კრანკ-ნიკოლსონის სქემითა და გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით 118x90x31 კვანძისაგან შემდგარ სივრცულ ბადეზე ჰორიზონტალური 0.8 კმ და ვერტიკალური 1/31 ბიჯებით. ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ სისქის ფენაში ვერტიკალური ბიჯი იცვლება 2-დან 15 მ-მდე, 17 წერტილიან ბადეზე. დროითი ბიჯი 5 წამია.

ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული კონცენტრაცია C_s , დროის ნებისმიერ $t = j \Delta t$ მომენტში და რიცხვითი ბადის წერტილებში (k, l), განისაზღვრება (5) განტოლების რიცხვითი ინტეგრებით მიღებული მტვრის კონცენტრაციით ნიადაგის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე, შემდეგი ფორმულით

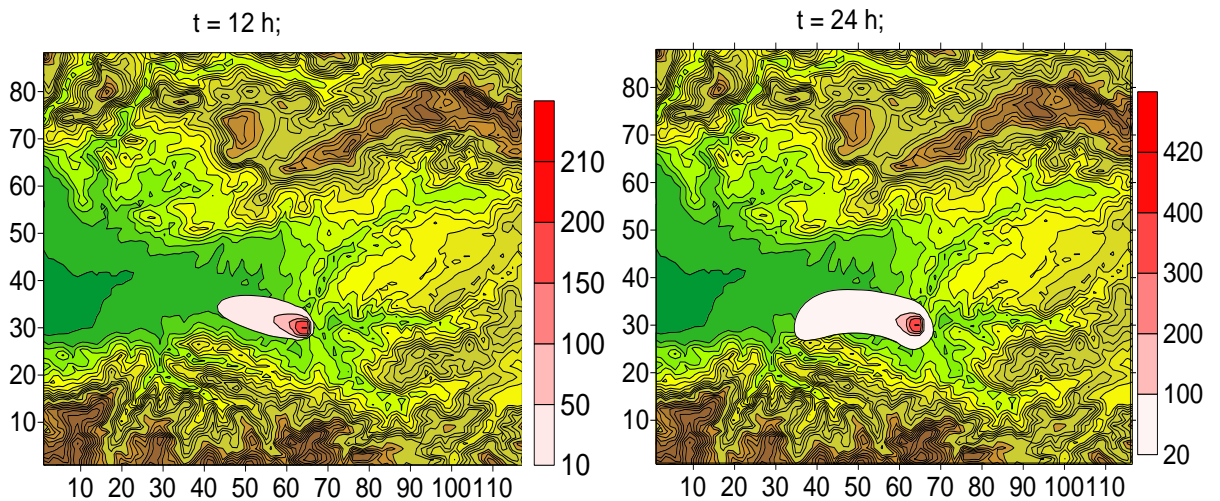
$$C_{s,j,k,l} = C_{s,j-1,k,l} + \Delta t \left\{ - \left[(0.5 \times \tilde{w}_{j,k,l,1} - w_0 / h_{j,k,l}) \times c_{j-1,k,l} / (2\Delta\zeta) \right] + \left[v_{k,l,1} \times C_{j-1,k,l,1} / (4\Delta\zeta^2 \times h_{j-1,k,l}^2) \right] \right\}$$

სადაც ინდექსები $j, k, l, 1$ არის დროისა და x, y და ζ ღერძზე არსებული ბადური წერტილების ნომრები, Δt - დროის ბიჯი, $\Delta\zeta$ - ვერტიკალური ბიჯი,

$C_{sj, k, 1}$ - ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე, $C_{j, k, 1, 1}$ - მტვრის კონცენტრაცია 2 მეტრ სიმაღლეზე.

ჩატარებულია გამოთვლები აღმოსავლეთისა და დასავლეთის სუსტი (1 მ/წმ), საშუალო (5 მ/წმ) და ძლიერი (10 მ/წმ) ქარების შემთხვევაში. მიღებული შედეგები ნაჩვენებია ნახ.84 და ნახ.85-ზე.

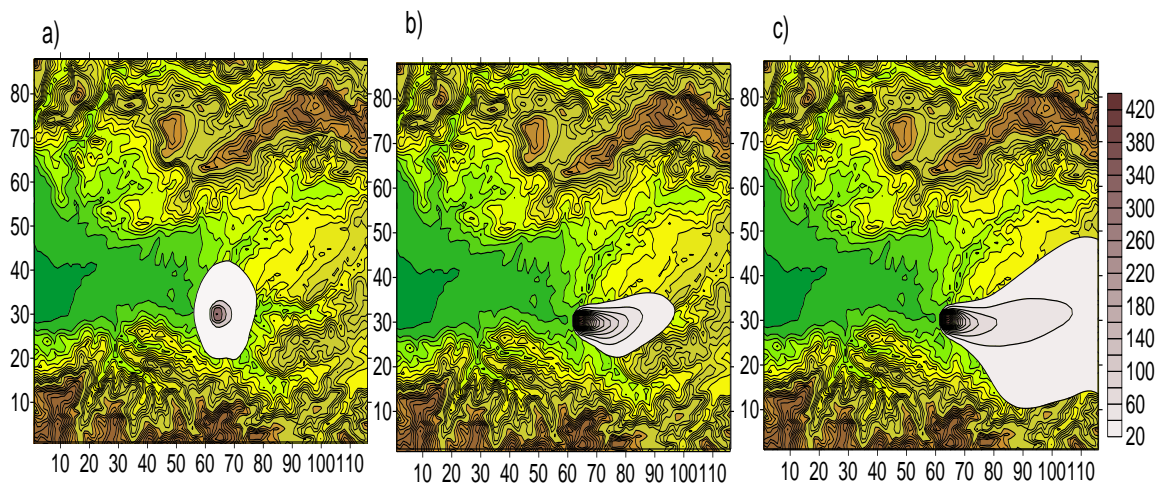
აღმოსავლეთის ფონური ქარის შემთხვევაში ნიადაგზე მტვერი ეფინება ვიწრო ჰორიზონტალურ ჩირაღდნის მსგავს ზოლზე, ფონური ქარის მიმართულებით (ნახ.84). მაქსიმალური დალექვა ხდება უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიაზე, სადაც 1 მ² ფართობზე 12 და 24 საათის განმავლობაში დალექილი მტვრის მაქსიმალური მასა შეადგენს, შესაბამისად, 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. 84. ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე (მგ/მ²) აღმოსავლეთის ფონური ქარის დროს, როცა t =12 და 24 სთ.

85-ე 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 სივრცეში, ასევე სიგანეში. აღნიშნული ეფექტი აჩვენებს, რომ მტვრის სივრცეში გავრცელების პროცესში, ტურბულენტური და ადვექციური გადატანის მნიშვნელობა დიდია და დაახლოებით ერთნაირი.



ნახ. 85. ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე (მგ/მ²) 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 მგ/მ²-ს [64].

3. ექსპერიმენტული ნაწილი

3.1 მტვრის განსაზღვრის მეთოდი ატმოსფერულ ჰაერში

ატმოსფერული ჰაერის სინჯის აღება სამრეწველო სამუშაო ზონიდან ხორციელდება შთანთქმელი ხელსაწყოთა ასპირატორით, რომლის საშუალებითაც ხდება განსაზღვრული სიჩქარით ჰაერის გატარება. აეროზოლების (მტვრის, ნისლის, კვამლის) შეკავება ხდება სხვადასხვა გამფილტრავი მასალით - ქაღალდით, მინით, პერქლორვინილით და სხვა. ხოლო დასახლებულ ტერიტორიაზე ატმოსფერული ჰაერის სინჯის აღება ხდება სამრეწველო აეროზოლებით, ავტოტრანსპორტით ან სხვა დამაბინძურებელი წყაროებით ყველაზე დაბინძურებულ სტაციონალურ პუნქტებზე.

ატმოსფერულ ჰაერში მტვრის განსაზღვრავად გამოიყენება ასპირატორი ASA-4M (სურათი 10), ანალიზური ფილტრი AΦA-XII-20-1 (სურათი 9) და ფილტრდამჭერი - ალონჟი ИРА-20-1 (სურათი 9). მტვრის მასური კონცენტრაციის განსაზღვრავად მტვრის სინჯის ასაღებად თავდაპირველად ანალიზურ ფილტრს ათავსებენ დღე-ღამის განმავლობაში ღია პაკეტში ექსიკატორში, რომელშიც ტენის შთანთქმელად მოთავსებულია კალციუმის ქლორიდი ან ატმოსფერულ ჰაერზე 1,5 საათის განმავლობაში. პინცეტით პაკეტიდან იღებენ ფილტრს და წონიან ანალიზურ სასწორზე 0,1 მგ-მდე სიზუსტით (სურათი 11). შემდეგ ისევ ათავსებენ პაკეტში, აწერენ მასზე ფილტრის მასას და სინჯის ნომერს. საკონტროლოდ ერთი საანალიზო ფილტრი იწონება აგრეთვე ლაბორატორიულ პირობებში საკვლევი საანალიზო ფილტრის ანალოგიურად, იდება შესაბამის პაკეტში. საანალიზო ფილტრის წონათა მნიშვნელობათა სიდიდეები შეაქვთ ჟურნალში. ფილტრი ინახება მშრალ შენობაში ოთახის ტემპერატურულ პირობებში, რომელიც დაცულია მტვრის მოქმედებისაგან. ლაბორატორიაში დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობები (სახელმწიფო სტანდარტის 15150-69 მიხედვით): ჰაერის ტემპერატურა $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, ატმოსფერული წნევა - 84,0-106,7 კპა (630-800 მმ ვერცხლისწყლის

სვეტის წნევა), ჰაერის ტენიანობა - არაუმეტეს 80%-სა 25°C ტემპერატურაზე. შემდეგ ფილტრს დებენ ფილტრდამჭერში - ალონჟეში, რომელსაც მილით აერთებენ ასპირატორს. ალონჟიან ფილტრს ხელით იჭერენ და ათავსებენ საანალიზო ჰაერის ასაღებად საწარმოო ზონაში ან დასახლებული პუნქტის ტერიტორიაზე გარკვეული დროის განმავლობაში. ჩვენს მიერ მტვრის განსაზღვრა მოხდა ფეროშენადნობი ქარხნის №1 საამქროს გამოსადნობი ღუმელის მოედანზე და საჩამომსხმელო უბნის მოედანზე, აგრეთვე ქარხნის გარეთ, ქ. ზესტაფონის გ. ნიკოლაძის სახელობის სკვერის ტერიტორიაზე და საქ.კაბელის ტერიტორიაზე. სინჯის აღების შემდეგ ფილტრი იხსნება ალონჟიდან და თავსდება შესაბამის პაკეტში. ხოლო ლაბორატორიულ პირობებში პაკეტები იხსნება და იდება ღიად იგივე პირობებში, როგორც საწყისი საანალიზო ფილტრი 1,5 საათის განმავლობაში (ან დღე-ღამის განმავლობაში). პაკეტიდან პინცეტით იდება ფილტრი და იწონება ანალიზურ სასწორზე, რომლის მნიშვნელობების შეტანახდება სამუშაო ჟურნალში. მტვრის კონცენტრაციის განსაზღვრავად გამოიყენება შემდეგი ფორმულა

$$V_0 = \frac{T_0 P}{P_0 (273 + t)} u(\tau_2 - \tau_1) = K \frac{P V}{273 + t} u(\tau_2 - \tau_1) \quad (6)$$

სადაც V_0 არის აღებული ატმოსფერული ჰაერის სინჯის მოცულობა ნორმალურ პირობებში, დმ³;

u - აღებული ჰაერის სინჯის ხარჯი, დმ³/წმ;

V - სინჯის აღებისას განსაზღვრული ჰაერის მოცულობა, დმ³;

t - ჰაერის ტემპერატურა აპარატის შესასვლელზე, °C;

τ_1 და τ_2 - სინჯის აღების საწყისი და საბოლოო დრო, წმ;

P - ატმოსფერული წნევა ჰაერის სინჯის აღებისას, კპა ან მმ ვერცხლისწყლის სვეტის წნევა;

K - გადათვლის კოეფიციენტი; $K=2,7$, როდესაც P იზომება კპასკალებში, ხოლო $K=0,358$, როდესაც P იზომება მმ ვერცხლისწყლის სვეტში;

ჰაერის სინჯის მოცულობის განსაზღვრისას ნორმალურ პირობებში შეიძლება გამოყენებული იქნას შემდეგი მარტივი ფორმულა:

$$V_0 = K'V,$$

სადაც V_0 და V იგივე სიდიდეებია რაც (6) ფორმულაში, ხოლო K კოეფიციენტის მნიშვნელობა აიღება ცხრილიდან 29.

საშუალო ტემპერატურული სხვაობა გამოითვლება მტვრის განსაზღვრის ყოველი ციკლის საწყის და საბოლოო ტემპერატურათა სხვაობით. ატმოსფერული წნევის საშუალო მნიშვნელობა დღე-ღამური სინჯის აღებისას გამოითვლება ფორმულით

$$P = (P_{საწყ} + P_{საბ}) / 2,$$

სადაც $P_{საწყ}$ და $P_{საბ}$ არის სინჯის აღების დაწყებისას და დამთავრებისას ატმოსფერულ წნევათა მნიშვნელობები.

ატმოსფერულ ჰაერში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციათა მნიშვნელობები განისაზღვრება ერთ-ერთი ფორმულით:

$$\rho = \frac{m \nu_p}{\nu_a V_0}; \quad (7) \quad \rho = \frac{m_1}{V_0}; \quad (8) \quad \rho = K_e \frac{m_1}{V_0}, \quad (9)$$

სადაც ρ არის ატმოსფერულ ჰაერში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაცია, მგ/მ³;

m - დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მასაა, რომელიც განისაზღვრება საანალიზო ხსნარის მოცულობაში გრადუირებული მახასიათებლის მიხედვით;

ν_a - საანალიზოდ აღებული ხსნარის მოცულობა, სმ³;

ν_p - საანალიზო ხსნარის საერთო მოცულობა, სმ³;

V_0 - საანალიზო ხსნარის მოცულობა ნორმალურ პირობებში, დმ³;

m_1 - დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მასა მთლიან სინჯში, მკგ;

K_e - ემპირიული შესწორების კოეფიციენტი [68, 69].

ცხრილი 29. ნორმალურ პირობებში ჰაერის მოცულობის გადათვლის კოეფიციენტი

ტემპერატურა, °C	წნევა, მმ ვერცხლისწყლის სვეტი (კპა)					
	730 (97,3)	735 (98,0)	740 (98,7)	745 (99,3)	750 (100,0)	755 (100,7)
0	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
5	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98
10	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96
15	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94
20	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,94
25	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,93
30	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90
35	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88
40	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87
	760 (101,3)	765 (102,0)	770 (102,7)	775 (103,3)	780 (104,0)	
0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	
5	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	
10	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	
15	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	
20	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	
25	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	
30	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	
35	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91	
40	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	



სურათი 9. მტვრის სინჯის ასაღები ფილტრები და ფილტრდამჭერი



სურათი 10. ასპირატორი ASA-4M



სურათი 11. ანალიზური სასწორი

ASA-4M ტიპის ასპირატორის ტექნიკური მახასიათებლები

- სინჯის ასაღები მაქსიმალური ჯამური ხარჯი - 100 ლ/წთ;
- ელექტრული დენის კვების ვარიანტები - 230 ვ 50 ჰც/12 ვ აკ.;
- აკუმულატორი ჩადგმული Li-ით – 17A.სთ;
- არხების რაოდენობა - 4 ც;
- ტაიმერის რაოდენობა - 4 ც;
- არხებში მაქსიმალური გაუხშობა: 1 არხი - 400 მმ წყლის სვეტის, 2 არხი - 200 მმ წყლის სვეტის, 3 არხი - 200 მმ წყლის სვეტის, 4 არხი - 400 მმ წყლის სვეტის;
- როტამეტრი: 1 არხი - 1m P1 (0.1-1ლ/წთ) გადართვა 1b – P5- (0.1-5 ლ/წთ), 2 არხი - P50 (10-50 ლ/წთ), 3 არხი – P50 (10-50ლ/წთ), 4 არხი - 4m – P1 (0.1-1ლ/წთ) გადართვა 4b – P5- (0.1-5 ლ/წთ);
- წონა - არაუმეტეს 7,9 კგ;
- გაზარიტები - 450x350x200 მმ [70]



სურათი 12. მტვრის კონცენტრაციის განსაზღვრა სამუშაო ზონის ატმოსფერულ ჰაერში

3.2 მანგანუმის განსაზღვრა

მანგანუმის განსაზღვრის მეთოდიკით ხდება დასახლებული პუნქტის ატმოსფერულ ჰაერში აღებულ 2 მ³ მოცულობის სინჯში (0,001-0,005 მგ/მ³ დიაპაზონში) მანგანუმის კონცენტრაციის განსაზღვრა და მისი გადათვლა მანგანუმის დიოქსიდად. განსაზღვრის ხელის შემშლელია ქრომის ნაერთები. მეთოდი დაფუძნებულია ჰაერიდან ფილტრით შეკავებული მანგანუმის ნაერთების მანგანუმჟავამდე ამონიუმის პერსულფატით დაჟანგვაზე მჟავათა ნარევის თანაობისას მოვარდისფრო იისფერ შეფერილობის მიღებამდე. მანგანუმის მასა განისაზღვრება ფოტომეტრულად და გადაითვლება მანგანუმის დიოქსიდზე.

ატმოსფერული ჰაერიდან მანგანუმის სინჯის აღება და განსაზღვრა ხდება მტვრის სინჯის ანალოგიურად ფილტრის საშუალებით. დამუშავებული და აწონილი ფილტრი ფრთხილად მოიკეცება და იდება ტიგელში (სურათი 13), რომელსაც ათავსებენ მუფელის ღუმელში (სურათი 14) დანაცრებისათვის 500-600 °C ტემპერატურაზე. დანაცრებულ ფილტრს უმატებენ 0,5 სმ³ მჟავათა ნარევის (5%-იანი გოგირდმჟავა, 20%-იანი

ორთოფოსფორმჟავა და 8%-იანი მჟაუნმჟავა). შემდეგ ტიგელს ათავსებენ სილის აბაზანაზე და აცხელებენ გოგირდმჟავას თეთრი ორთქლის გამოყოფის შეწყვეტამდე, წარმოიქმნება მანგანუმის სულფატი, რომელსაც ხსნიან 4 სმ³ 5%-იან გოგირდმჟავას ხსნარში. ხსნარს ფილტრავენ წაგრძელებული დაბოლოებიანი ძაბრით. ძაბრში ჩადებულია სინთეზური 0,5 სმ სიგრძისქაღალდის ფილტრი, აცენტრიფუგირებენ თითოეული სინჯიდან იღებენ 3,5 სმ³ გამჭვირვალე ხსნარს, შემდეგ გადააქვთ სხვა სინჯარაში, უმატებენ 0,1 სმ³ აზოტმჟავა ვერცხლის ხსნარს, ასევე 0,1 სმ³ ორთოფოსფორმჟავას და ამონიუმის პერსულფატის რამდენიმე კრისტალს. ამ სინჯარას კარგად შეანჯღრევენ. შემდეგ სინჯარას 5 წუთის განმავლობაში ათავსებენ 70 °C-მდე გაცხელებულ წყლის აბაზანაზე. გაცივების შემდეგ საზღვრავენ ოპტიკურ სიმკვრივეს ფოტოკოლორიმეტრით (სურათი 15) 545 ნმ სიგრძის ტალღაზე. საკონტროლო სინჯისათვის აიღება სუფთა ფილტრი და იგივე ოპერაცია სრულდება ანალიზის ჩასატარებლად. განსაზღვრის დროს იღება მანგანუმიანი სინჯის ოპტიკური სიმკვრივისა და საკონტროლო სინჯის ფილტრის ოპტიკური სიმკვრივის სხვაობა, განსაზღვრა წარმოებს 7-ე ფორმულით.

ხსნარების მომზადება:

1. გამოხდილი წყალი;
2. 5%-იანი გოგირდმჟავა - 200 სმ³ წყალს თერმომდგრად ჭურჭელში ფრთხილად ემატება 5,5 სმ³ კონცენტრირებული გოგირდმჟავა;
3. 20%-იანი ორთოფოსფორმჟავა - 22,9 გ (13,3 სმ³) კონცენტრირებულ ფოსფორმჟავას ხსნიან 50 სმ³ წყალში 100 სმ³-იან მზომ კოლბაში, გაცივების შემდეგ ხსნარის მოცულობა გამოხდილი წყლით მიყავთ ჭდემდე;
4. 8%-იანი მჟაუნმჟავა - 8 გ მჟავას ხსნიან წყალში და მოცულობა მიყავთ 100 სმ³-მდე;

5. გოგირდმჟავასა და მჟაუნმჟავას ნარევი - 50 სმ³ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას ფრთხილად უმატებენ 50 სმ³ 8%-იან მჟაუნმჟავას ხსნარს, ხსნარს ამზადებენ ანალიზის წინ;
6. 0,1%-იანი ვერცხლის ნიტრატი - 0,1 გ რეაქტივს ხსნიან წყალში და მოცულობა მიყავთ 100 სმ³-მდე, ხსნარს ინახავენ მუქი ფერის მინის ჭურჭელში;
7. საწყისი ხსნარი გრადუირებისათვის შეესაბამება $\rho=1$ მგ/სმ³ მანგანუმის დიოქსიდს. 0,27-0,33 გ მანგანუმის სულფატს ($MnSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნიან 5%-იან გოგირდმჟავას ხსნარში 100 სმ³ მოცულობის მზომ კოლბაში; სამუშაო ხსნარის ($\rho=10$ მკგ/სმ³) დასამზადებლად საწყის ხსნარს 100-ჯერ ანზავებენ 5%-იანი გოგირდმჟავას ხსნარით [68].

ცხრილი 30. მანგანუმის დიოქსიდში გადათვლით მანგანუმის კონცენტრაციის განსაზღვრისას დამაგრადუირებელი მახასიათებლების დამდგენი ხსნარები

დამაგრადუირებელი ხსნარის ნომერი	1	2	3	4	5
სამუშაო ხსნარის მოცულობა ($\rho=10$ მკგ/სმ ³), სმ ³	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
მანგანუმის დიოქსიდის მასას შეესაბამება ხსნარში, მკგ	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0



სურათი 13. ფაიფურის ტიგელი



სურათი 14. მუფელი



სურათი 15. ფოტოკოლორიმეტრი

3.3 გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციების განსაზღვრა ექსპრეს მეთოდით ინდიკატორული მილების გამოყენებით

3.3.1 გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციების განსაზღვრა ასპირატორი AM-5-ის გამოყენებით

ISO 8760 და 8761 საერთაშორისო სტანდარტით განისაზღვრება გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის მასური კონცენტრაცია სამუშაო ზონის ჰაერში უშუალო გაზომვით ინდიკატორული მილების საშუალებით (სურათი 16). გამზომი სისტემა

შედგება ინდიკატორული მილისაგან და ტუმბოსაგან. ინდიკატორული მილები შევსებული უნდა იყოს ადსორბენტით თანაბრად. მათი კონსტრუქცია უნდა უზრუნველყოფდეს შეფერვის სიგრძეს არანაკლები 15 მმ-ისა თითოეული კომპონენტის მაქსიმალური კონცენტრაციისას გაზომვის დიაპაზონში.

ინდიკატორული მილის ტუმბო (ასპირატორი AM-5, სურათი 17) წარმოადგენს ხელით მომქმედ სილფონურ ტუმბოს. ჰაერის შეწოვა ხდება შეკუმშული სილფონით, რომელსაც გახსნილი აქვს წინასწარ ზამბარები, ხოლო ჰაერის გამოშვება სილფონიდან ხდება სარქველების საშუალებით ზამბარების შეკუმშვისას. ზამბარებიანი რეზინის სილფონი უზრუნველყოფს ასპირატორის მსვლელობას, რომელიც შემოზღუდულია ჯაჭვით, რითაც რეგულირდება ჰაერის შეწოვა (100 ± 5 სმ³) და შეწოვის შეწყვეტა.

ანალიზის მსვლელობა: ინდიკატორული მილის ორივე ბოლოს ხსნიან, ერთი ბოლოთი მჭიდროდ უერთებენ ტუმბოს, ხოლო მეორე ბოლოს ათავსებენ საანალიზო სამუშაო არეში. ინდიკატორული ფერის შეცვლის შემდეგ ხსნიან ინდიკატორულ მილს და ათავსებენ თეთრ ფონზე შეფერვის შესაფასებლად. გოგირდის დიოქსიდის განსაზღვრისას ინდიკატორული მილის ადსორბენტის შეფერილობა იცვლება თეთრიდან ლურჯამდე. აზოტის დიოქსიდისას - თეთრი ფერიდან მოყვითალო-ნარინჯისფრამდე. ნახშირბადის ოქსიდისას - თეთრიდან მწვანე შეფერილობამდე, ხოლო მაღალი კონცენტრაციისას კი ყავისფრამდე (სურათი 18). განსაზღვრავი კომპონენტის კონცენტრაციას (მგ/მ³) არეგისტრირებენ ინდიკატორული მილის შკალაზე აღნიშნული მონაცემით. ppm-ში მასური კონცენტრაციის გადასაყვანად გამოიყენება შემდეგი ფორმულა:

$$C_i = M * p * 293.2 / 24.05 (T + 273.2) * 101.3, \quad (10)$$

სადაც p არის ჰაერის სინჯის წნევა, კპა;

T - ჰაერის სინჯის ტემპერატურა, °C;

M - განსაზღვრავი კომპონენტის მოლური მასა, გ/მოლი;

24,05 - იდეალური აირის მოლური მოცულობა 293,2 K ტემპერატურაზე და 101,3 კპა წნევაზე, ლ/მოლი;

აზოტის დიოქსიდისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტი 293,2 K ტემპერატურაზე და 101,3 კპა წნევის დროს არის: $1\text{ppm} = 1.91 \text{ მგ/მ}^3$, $1 \text{ მგ/მ}^3 = 0,52 \text{ ppm}$.

ნახშირბადის ოქსიდისათვის გადასაყვანი კოეფიციენტი 293,2 K ტემპერატურაზე და 101,3 კპა წნევის დროს არის: $1\text{ppm} = 1.16\text{მგ/მ}^3$, $1 \text{ მგ/მ}^3 = 0,86 \text{ ppm}$ [68].

ცხრილი 31. ინდიკატორული მილების მახასიათებლები

დასახელება	მოცულობითი წილის (%) განსაზღვრის დიაპაზონი
ინდიკატორული მილი - SO ₂ – 0.007	0.0002 – 0.007
ინდიკატორული მილი - NO+NO ₂ – 0.005	0.0001 – 0.005
ინდიკატორული მილი - CO – 0.25	0.0005 - 0.025; 0.005 – 0.25
ინდიკატორული მილი - CO – 5	0.25 – 5

ცხრილი 32. AM-5 ტიპის ასპირატორის ტექნიკური მახასიათებლები

მახასიათებლები	მნიშვნელობა
1 სამუშაო სვლისას შეწოვილი ჰაერის მოცულობა, სმ ³	100±5
1 წუთის განმავლობაში შეწოვილი ჰაერის მოცულობა, სილფონის შეკუმშვისას და ინდიკატორული მილის შესაერთებელის დახშვისას, ასპირატორის ჰერმეტიკულობის განსაზღვრისას, სმ ³	<3
გაბარიტული ზომები, მმ :	არაუმეტეს:
სიმაღლე, მმ	90±5
სიგრძე, მმ	155±5
სიგანე, მმ	56±2
შალითას გარეშე ასპირატორის მასა, კგ	0,31



სურათი 16. ინდიკატორული მილები



www.gazoanalizators.ru



AM-5

სურათი 17. AM-5 ტიპის ასპირატორი (ქიმიური აირგანმსაზღვრელი)



ა



ბ



გ

სურათი 18. დამაზინებელი ინგრედიენტთა ინდიკატორული მილები

- ა - SO₂ განსაზღვრავი ინდიკატორული მილი
- ბ - NO₂ განსაზღვრავი ინდიკატორული მილი
- გ - CO განსაზღვრავი ინდიკატორული მილი

3.3.2 გოგირდის დიოქსიდის, აზოტის დიოქსიდისა და ნახშირბადის ოქსიდის კონცენტრაციების განსაზღვრა აირანალიზატორი YI-2-ის გამოყენებით



აირანალიზატორი შედგება (სურათი 19):

- ჭოკისაგან, რომელზეც აღნიშნულია შესაწოვი ჰაერის მოცულობები, მლ;
- ფიქსატორისაგან;
- რეზინის მილისაგან, რომლითაც ინდიკატორის ერთი ბოლო შეერთებულია აირანალიზატორთან, ხოლო ინდიკატორის მეორე ბოლო მოთავსებულია საკვლევ არეში.

სურათი 19. აირანალიზატორი YI-2

უნივერსალური აირანალიზატორი YI-2 გამოიყენება ატმოსფეროს დამაბინძურებელი ნივთიერებების მასური კონცენტრაციების განსაზღვრისთვის ინდიკატორული მილების საშალებით. აირანალიზატორის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ინდიკატორული მილის ფხვნილის შეფერილობის შეცვლაზე სამუშაო ზონიდან განსასაზღვრავი აირადი სინჯის შეწოვის შემდეგ. ინდიკატორული მილის შეფერვის სიგრძე პირდაპირპროპორციულია ჰაერში საანალიზო აირის კონცენტრაციისა და განისაზღვრება შკალაზე დაგრადუირებული მნიშვნელობების მიხედვით (მგ/მ³).

ჰაერში საანალიზო აირის განსაზღვრის დიაპაზონი:

SO₂ – 5 – 120 მგ/მ³;

NO₂ - 1 – 250 მგ/მ³;

CO - 10 – 250 მგ/მ³;

დასკვნა

1. დადგენილი იქნა სილიკომანგანუმის ტექნოლოგიური პროცესის შედეგად წარმოქმნილი საწარმოო აეროზოლის წარმოქმნის წყაროები (ნედლეულის მომზადების უბანი, მადნის გამოდნობის ლუმელები) 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.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Бреншнайдер Б., Курфюрест И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений (перевод с английского). Ленинград, Химия, 1989, 288 с.
2. საქართველოს კანონი (№ 2116) ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ.
3. ნ. წერეთელი, ქ. წერეთელი, ფეროშენადნობების წარმოების ტექნოლოგია, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008 წელი, 128 გვ.
4. საქართველოში ფეროშენადნობთა წარმოების მიერ სათბური გაზების ემისია 1980 წლიდან, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2003 წელი, ტომი II, თბილისი, 46 გვ.
5. З. М.И.Гасик Марганец. Москва, „Металлургия“, 1992.
6. М.И. Гасик, Н.П. Лякишев. Физикохимия и технология электроферросплавов. „Системные технологии“, Днепропетровск, 2005.
7. Tsereteli N., Tsereteli K., Mshvildadze M., Obtaining Manganese Ferroalloys From Special Composition Concentrates and Products, *International Conference “Innovative Technologies in Metallurgy and Materials Science*, 2015, pp. 211-212.
8. М.И.Гасик, Н.П.Лякишев, Б.И.Емлин. Теория и технология производства ферросплавов. Москва, „Металлургия“, 1988.
9. 4. А.Ф.Каблуковский. Производство электростали и ферросплавов. Москва, ИКЦ „АКАДЕМКНИГА“, 2003.
10. Gvelesiani V., Industrial Updates at “Georgian Manganese” Zestafoni Ferroalloys Plant, *International Conference “Innovative Technologies in Metallurgy and Materials Science*, 2015, pp. 57-58.
11. ლ. გვერდწითელი, რ. ალასანია, სამრეწველო ტოქსიკოლოგია, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2005 წელი, 139 გვ.
12. <https://www.radiotavisupleba.ge/a/zestafoni-factory/24605779.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
13. <https://factcheck.ge/ka/story/9390-qalaq-zestaphonshi-aghebuli-haeris-nimushebshi-manganumis-orzhangis-shemtsveloba-237-jer-aghemateba-sashualo-dgheghamuri-kontsentratsiis-normas>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
14. გარემოს ეროვნული სააგენტო, <http://nea.gov.ge/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
15. ნ. ჩხუბიანიშვილი, ლ. გვერდწითელი, გარემოს დაცვა სამრეწველო გაჭურჭყიანებისაგან, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2000 წელი, 56 გვ.

16. Кирпатовский И. П. Охрана природы. Справочник, Москва. Химия, 1980.
17. Монин А. С. Уравнения турбулентной диффузии. Доклады АН СССР, 1955, т. 105, с. 256-259.
18. R. W Boubel, Donald L. F, D. B. Turner, A. C. Stern. [Fundamentals of Air Pollution - \(Third Edition\)](#). Academic Press, 1994, 574 pp.
19. AERMOD: Latest Features and Evaluation Results. United States. Environmental Protection Agency. EPA-454/R-03-003. 2003, 41 p. https://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mep.pdf.
20. M. E. Berliand: Modern problems of atmospheric diffusion and atmospheric pollution. Leningrad, Russia, 1975.
21. M.E. Berliand: Forecast and adjustment atmospheric pollution. Leningrad, Russia, 1985.
22. Methods of Calculating Pollutant Concentrations in Atmospheric Air as Present in Factory Discharges. OND-86. Leningrad, Russia, 1987.
23. Schwere, S., A. Stohl and M. W. Rotach, 2002: Practical considerations to speed up Lagrangian stochastic particle models. Computers & Geosciences Vol. 28, pp. 143-154.
24. Tinarelli, G., D. Anfossi, M. Bider, E. Ferrero and S. T. Castelli, 2000: A New High Performance Version of the Lagrangian Particle Dispersion Model SPRAY, Some Case Studies. NATO challenges of modern society Vol. 23A, pp. 499-508.
25. Wilson, J. D. and B. L. Sawford, 1996: Review of Lagrangian stochastic models for trajectories in the turbulent atmosphere. Boundary-Layer Meteorology Vol. 78, pp. 191-210.
26. Суркова Г.В., Кирсанов А.А., Кислов А.В., Ревокатова А.П., Ривин Г.С. Прогноз концентрации загрязняющих веществ с помощью объединенной модели COSMO-RU7-ART, Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2014. № 352. с. 115-138.
27. Grell G. A., Prkham S. E., Schmitz R., McKeen S. A. Fully coupled „online” chemistry within the WRF model: description and applications. Atmospheric Environment. 2005, v. 39, Issue 37, pp. 6957-6975.
28. Grell G. A., Emeis S., Stockwell W. R., Schoenemeyer T., Forkel R., Michalakes J., Knoche R., Seide W. Application of a multiscale, coupled MM5/chemistry model to the complex terrain of the VOTALD valley campaign. Atmos. Env. 2000, vol. 34, pp. 1435-1453.

29. Karsholm U. S., Baklanov A., Gross A., Mahura A., Sass B. H., Kaas E. Online coupled chemical weather forecasting based on HIRLAM – overview and prospective of Enviro – HIRLAM. HIRLAM Newsletter, 2008, No. 54.
30. G.I Marchuk: Mathematical modeling in the environmental problem. Leningrad, Russia, 1982.
31. V. V. Penenko, A. E. Aloyan: Models and methods for environmental protection tasks. Novosibirsk, Russia, 1985.
32. A. E. Aloyan: Modeling of dynamics and kinetics of gaseous admixtures and aerosols in the atmosphere. Moscow, Russia, 2008.
33. A. M. Grishin: Mathematical modeling of forest fires and new methods of struggle against them. Novosibirsk, Russia, 1992.
34. A. E. Aloyan: Modeling of aerosols dynamics during forest fires. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 45, 2009, pp. 62-75.
35. V. A. Shlichkov, V. M. Malbakhov, A. A. Leghenin, Numerical modeling of atmospheric circulation and transfer of contaminating impurities in Norilsk valley. Atmospheric and Oceanic Optic. 2005, 18 (5-6), pp. 490-496.
36. Сурмава А. А. Кваарацхелия Д. У., Кухалашвили В. Г. О возможных траекториях облаков загрязнения в атмосфере Кавказского региона. Сборник трудов Ин-та геофизики им. М. З. Нодиа. 2008, т. LX. с. 179-185.
37. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere from hypothetical source in the case of the background western wind. J. Georgian Geoph. Soc., 2009, v. 13(b), pp. 15-21.
38. A. Surmava. Numerical investigation of the modeling of transportation and deposition of the radioactive pollution in the Caucasian Region in case of the hypothetical accident on the Armenian Nuclear Power Plant. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, 2011/2012, v.15, pp. 32-45.
39. A. A. Kordzadze, A. A. Surmava, V. G. Kukhalashvili. Numerical investigation of the air possible pollution in case of large hypothetical accidents in some industrial territories of the Caucasus. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, 2013, v.16B, pp. 13-23.
40. ა. კორძაძე, ა. სურმავა, შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო ზონებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების ავარიული ამოფრქვევების შემთხვევებში ჰაერის შესაძლო დაბინძურების რიცხვითი მოდელირება, მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენციის შრომები, 2014, გვ. 3-10.

41. Сурмава А. А., Мишвеладзе Б. А. Моделирование загрязнения воздушного бассейна г. Рустави. Труды ЗакНИГМИ (длясл. пользования). 1985, вып.2, с. 92-105.
42. Мишвеладзе Б. А., Сурмава А. А. Математическое моделирование загрязнения атмосферы Кавказа в результате аварииного выброса из гипотетического источника расположенного в окрестностях г. Поты. 2010, с. 139-143.
43. <http://zestafoni.ge/statiebi/zestafonshi-daavadebebi-genetikur-saxes.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
44. <https://www.kvirispalitra.ge/public/13176-zestafonis-qferoq-onkologiuri-daavadebis-keram.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
45. <http://www.uzo.kurgan-med.ru/files/downloads/profgs.pdf>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
46. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвиди Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния рельефа Кавказского региона на распределение гидрометеорологических полей. ИзвестияРАН, сер. Физика атмосферы и океана, 2007, т. 43, с. 783-791.
47. N. Gigauri, A. Surmava. Spatial Distribution of the Local Meteorological Fields and Dust Concentration in Kakheti Atmosphere in Case of the Northern Background Wind. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue A, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, 2017, v. 20 A, pp. 37-43.
48. 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.
49. 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.
50. ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინჭკირველი, ზესტაფონის რაიონში მტვრის გავრცელების გამოკვლევა გაბატონებული ფონური ქარების შემთხვევაში, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2018, ტომი 18 №1, გვ. 234-238.
51. 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 Engineering News, 2018, No.2 (vol. 86), pp. 58-61.

52. N.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.
53. N.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.
54. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
55. https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_dispersion_modeling, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
56. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_atmospheric_dispersion_models, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
57. Daly, A. and P. Zannetti. 2007. Air Pollution Modeling – An Overview. Chapter 2 of AMBIENT AIR POLLUTION. P. <http://home.iitk.ac.in/~anubha/Modeling.pdf>.
58. Gutman L. N. Introduction to the Nonlinear Theory of Mesoscale Meteorological Processes. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1969, p 295 (in Russian).
59. <https://www.google.ge/search?q=загрязнение+атмосферы>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.
60. ლ. გვერდწითელი, ატმოსფერული ჰაერის დაცვის ტექნიკა, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2017, 190 გვ.
61. ლ. გვერდწითელი, ჰიდროსფეროსა და ნიადაგის დაცვის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2014 წელი, 215 გვ.
62. Г.С.Фомин, А.Г.Фомин, Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. Москва, ВНИИСтандарт, 2000, стр.300.
63. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Гидрометеоизда, Ленинград, 1982, 320 с.
64. ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინჭკირველი, ზესტაფონის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების მოდელირება, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2018, №2 ტომი 86, გვ. 62-64.

65. Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров, Справочник по геохимии, Москва, „Недра“, 1990, ст. 82-83.
66. Я. М. Грушко, Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу, Справочник, Ленинград „Химия“, 1987, ст. 181.
67. ბრძანება #38/ნ - „გარემოს ხარისხობრივი მდგომარეობის ნორმების დამტკიცების შესახებ“ საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2001 წლის 16 აგვისტოს N297/ნ ბრძანებაში დამატებების შეტანის თაობაზე.
68. Г.С.Фомин, О.Н.Фомина, Воздух. Контроль качества загрязнений по международным стандартам. Справочник. Москва, ВНИИСтандарт, 2000, стр.422.
69. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, Министерство здравоохранения СССР, Руководство по контролю загрязнения атмосферы, РД 52. 04, 1991, pp. 186-89.
70. <https://aep.kiev.ua/shop/ekologicheskie-pribory/4-h-kanalnye-aspiratory-dlya-otbora-prob-vozduha-serii-asa-4m/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 05.05.2019.