

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდias  
გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები

ა. ამირანაშვილი, თ. ბლიაძე, ვ. ჩიხლაძე

# ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში



თბილისი  
2012

ISSN 1512-1135

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდias  
გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXIII

ა. ამირანაშვილი, თ. ბლიაძე, ვ. ჩიხლაძე

**ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში**

**Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics  
of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, vol. LXIII**

**A. Amiranashvili, T. Bliadze, V. Chikhladze**

**Photochemical Smog in Tbilisi**

**Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа  
Тбилисского Государственного Университета им.  
Иванэ Джавахишвили, том LXIII**

**А. Амиранашвили, Т. Блиадзе, В. Чихладзе**

**Фотохимический смог в Тбилиси**

თბილისი

**Tbilisi-2012-Тбилиси**

## ანოტაცია

წიგნში წარმოდგენილია თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და მისი ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზეგავლენის გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც ტარდებოდა 2009-2012 წწ. პროექტ GNSF/ST/5-437-ის ფარგლებში. სმოგის წარმოქმნელი და მისი თანამდევი ატმოსფერული პარამეტრების მონიტორინგი წარმოებდა როგორც ორ სტაციონარულ ბაზაზე მუდმივი გაზომვის რეჟიმში, ასევე ეპიზოდური სამარშრუტო გაზომვების რეჟიმში ქალაქის სხვადასხვა რაიონის 20 პუნქტში (ჰაერში ოზონის, სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების შემცველობა; მზის რადიაციის ინტენსივობა, ხილვადობა, ღრუბლიანობა, ტემპერატურა, ტენიანობა, ქარი, წნევა; ნიადაგის გამა-რადიაცია; გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობა).

მოყვანილია გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის კავშირების დეტალური ანალიზი; განსაზღვრულია ფოტოქიმიური სმოგის წარმოშობის პირობები; გამოვლენილია რადიონუკლიდური გამოსხივების ეფექტების თავისებურებები ქალაქის პირობებში მეორადი აეროზოლების წარმოქმნაში, რომელიც დახასიათებულია როგორც თბილისური ტიპის სმოგი; ჩატარებულია ლაბორატორიული ექსპერიმენტები სმოგურ ოზონზე ზემოქმედების მეთოდების დასამუშავებლად; განსაზღვრულია ფოტოქიმიური სმოგის კომპონენტების (ოზონი, აეროზოლები და სხვა) და ატმოსფეროს სხვა პარამეტრების ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების ეფექტები; შემოთავაზებულია რეკომენდაციები ქალაქის მოსახლეობაზე სმოგის ნეგატიური ზემოქმედების შესარბილებლად და სხვა.

განკუთვნილია მეცნიერ მუშაკებისა და ინჟინრებისთვის, ლექტორებისთვის, სტუდენტებისთვის, სამთავრობო და არასამთავრობო ორგანიზაციებისათვის, რომელთა საქმიანობა დაკავშირებულია ატმოსფეროს ფიზიკის, ეკოლოგიის, ჯანმრთელობის დაცვის და სხვა პრობლემებთან.

## Summary

In the book the results of studies of photochemical smog and its influence on the health of people in Tbilisi, which were conducted in 2009-2012 within the framework of the project GNSF/ST/5-437 are represented. Monitoring of smog forming and its associated atmospheric parameters was conducted both in the regime of stationary measurements on two fixed bases of observation and in the episodic regime of mobile measurements on 20 points in different districts of city (content in air of ozone, sub-micron aerosols, radon, light ions; solar radiation intensity, visibility, cloudiness, temperature, humidity, wind, pressure; the gamma-radiation of soil; intensity of galactic cosmic rays). The detailed analysis of the connections between the investigated parameters is given; the conditions for the formation of photochemical smog are determined; the special features of the effects of radionuclide emission in the formation of secondary aerosols under the conditions of the cities are revealed, which are described as the Tbilisi type of smog; laboratory experiments on the development of the methods of action on smog ozone are carried out; the effects of the action of the components of photochemical smog (ozone, aerosols, etc..) and other atmospheric parameters on the health of people are determined; recommendations regarding the softening of the negative action of smog on the population of city are proposed, etc.

It is intended for the scientific workers and engineers, lecturers, students, government and nongovernmental organizations, connected in their activity with the problems of atmospheric physics, ecology, public health, etc.

## Аннотация

В книге представлены результаты исследований фотохимического смога и его влияния на здоровье людей в Тбилиси, которые проводились в 2009-2012 гг. в рамках проекта GNSF/ST/5-437. Мониторинг смогообразующих и сопутствующих его параметров атмосферы проводился как в режиме постоянных измерений на двух стационарных базах наблюдения, так и в режиме эпизодических маршрутных измерений на 20 пунктах в различных районах города (содержание в воздухе озона, субмикронных аэрозолей, радона, легких ионов; интенсивность солнечной радиации, дальность видимости, облачность, температура, влажность, ветер, давление; гамма-радиация почвы; интенсивность галактических космических лучей).

Приведен детальный анализ связей между исследуемыми параметрами; определены условия образования фотохимического смога; выявлены особенности эффектов радионуклидного излучения в образовании вторичных аэрозолей в условиях города, которые охарактеризованы как Тбилисский тип смога; проведены лабораторные эксперименты по разработке методов воздействия на смоговый озон; определены эффекты воздействия компонент фотохимического смога (озон, аэрозоли и др.) и других параметров атмосферы на здоровье людей; предложены рекомендации по смягчению негативного воздействия смога на население города и др.

Предназначена для научных работников и инженеров, лекторов, студентов, правительственных и неправительственных организаций, связанных в своей деятельности с проблемами физики атмосферы, экологии, здравоохранения и др.

რედაქტორი ვ. ჭიჭინაძე

Editor V. Chichinadze

Редактор В. Чичинадзе

რეცენზენტი აკად. ხარ. დოქტ. ნ. ვარამაშვილი

Reviewers doct. of acad. degr. N. Varamashvili

Рецензент докт. акад. степ. Н. Варамашвили

ISSN 1512-1135

უკ,UDC, УДК 502.3:006.354; 551.510; 523.58

## წინასიტყვაობა

აღნიშნული ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური ხელშეწყობით (გრანტი N GNSF/ST/5-437 „ფოტოქიმიური სმოგის საარსებო გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების შესუსტება – ქ. თბილისის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაჯანსაღების მნიშვნელოვანი ფაქტორი“). წინამდებარე პუბლიკაციაში გამოთქმული ნებისმიერი აზრი ეკუთვნის ავტორებს და შესაძლოა არ ასახავდეს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის შეხედულებებს.

პროექტის შესრულების დროს მიღებული შუალედური შედეგები მოხსენებული იყო თსუ-ს მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის სემინარებზე, გეოფიზიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს სხდომებზე, გეოფიზიკის ინსტიტუტის საქალაქო სემინარებზე, ოთხ საერთაშორისო კონფერენციაზე: რიო დე ჟანეირო, ბრაზილია, 2011 წ., 07-12 აგვისტო – 2 მოხსენება [2,13]; თბილისი, 2011 წ., 14-15 სექტემბერი – 1 მოხსენება [34]; თბილისი, 2011 წ., 15-17 სექტემბერი – 4 მოხსენება [7, 40, 67, 68]; ჩენგდუ, ჩინეთი, 2011 წ., 1-4 ნოემბერი – 1 მოხსენება [6].

გამოქვეყნებულია 13 სტატია [5, 6, 7, 13, 18, 19, 20, 26, 27, 31, 40, 67, 68], ბეჭდვაშია - 1 [34]

პროექტის და ამ ნაშრომის შესრულებაში მონაწილეობა მიიღეს შემდეგმა პირებმა:

ძირითადი პერსონალი: ჯ. ხარჩილავა [19, 67, 68], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1, 3.2; დ. კირკიტაძე [13,18,19,20], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1; ა. ნოდია [13,18,19,20], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1.

დამხმარე პერსონალი: ქ. ჩოჩიშვილი [19, 68], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1; გ. ჩხაიძე [19, 68], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1; ქ. მირიანაშვილი [31], წიგნის ქვეთავი 2.5, 5.2; რ. დანელია [31, 40], წიგნის ქვეთავი 2.5, 5.2; გ. ნიკიფოროვი [13, 18, 19, 20], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1; ა. ჭანკვეტაძე [13, 18, 19, 20, 40], წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1; ი. ტუსკია, წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1; ი. ირემაშვილი [34], წიგნის ქვეთავი 5.1; გ. ლავგილავა, ე. ბერიშვილი, გ. გაბისონია, წიგნის ქვეთავი 2.2, 3.1.

ავტორები მადლობას უხდით პროექტის ყველა მონაწილეს.

## ხშირად ხმარებული აღნიშვნების და შემოკლებების სია

**T** – ჰაერის ტემპერატურა, °C; **U** – ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა - %; **P** – ატმოსფერული წნევა – მმ ვ.წყ.სვ; **V** – ქარის სიჩქარე, მ/წმ; **EET** – ჰაერის ეკვივალენტურ-ეფექტური ტემპერატურა: **T**, **U** და **V**-ს კომბინაცია; **Vis** – მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილი, ბალი; **C** – საერთო ღრუბლიანობა, ბალი; **მოკ**, **SOC**, **O<sub>3</sub>** – მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია, მკგ/მ<sup>3</sup>; **SOC(14-16)** – ოზონის საშუალო კონცენტრაცია 14-16 საათზე (დღის მაქსიმალური კონცენტრაცია); **Rn** – მიწისპირა რადონის კონცენტრაცია, ბკ/მ<sup>3</sup>; **N** – 0.1 მკმ მეტი ზომის სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია, სმ<sup>-3</sup>; **N(+)** – დადებითი მსუბუქი აეროიონების კონცენტრაცია, სმ<sup>-3</sup>; **N(-)** – უარყოფითი მსუბუქი აეროიონების კონცენტრაცია, სმ<sup>-3</sup>; **N(+/-)** – დადებითი და უარყოფითი მსუბუქი აეროიონების ჯამური კონცენტრაცია, სმ<sup>-3</sup>; **N(+)/N(-) = CU** – მსუბუქი აეროიონების უნიპოლარობის კოეფიციენტი; **J** – მზის პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობა, კვტ/მ<sup>2</sup>; **Q** – მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა, კვტ/მ<sup>2</sup>; **τ<sub>a</sub>** – ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქე; **q** – გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის ინტენსივობა, იმპ/წთ; **G** – გამა-რადიაციის ინტენსივობა, ნზვ/სთ; **ტბ** – ტერაგრამი; **ზდკ** – ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია; შეწუხების მოქმედების დონე (**შმდ**).

**M** – ქ. თბილისის მოსახლეობის დღიური სიკვდილიანობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო, 1 მლნ მოსახლეზე; **S** – ქ. თბილისის მოსახლეობის საერთო წლიური სიკვდილიანობა, 1000 მოსახლეზე; **A** – ქ. თბილისის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების დღიური გამოძახების საერთო რაოდენობა; **S<sub>b</sub>** – ქ. თბილისის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების დღიური გამოძახების რაოდენობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო; **H** – ქ. თბილისის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების საშუალებით ჩატარებული დღიური ჰოსპიტალიზაციის რაოდენობა.

**Min** – მინიმალური მნიშვნელობა; **Max** – მაქსიმალური მნიშვნელობა; **Average** – საშუალო მნიშვნელობა; **Median** – მედიანა; **Range** – ვარიაციული განშლადობა; **Range/Mean (%)** – ფარდობითი ვარიაციული განშლადობა; **StDev**, **σ** – სტანდარტული გადახრა; **σ<sub>m</sub>** – სტანდარტული ცდომილება (68%-იანი ნდობის ინტერვალი საშუალო მნიშვნელობიდან); **95%(+/-)** – 95%-იანი ნდობის ინტერვალი საშუალო მნიშვნელობიდან; **C<sub>v</sub>** – ვარიაციის კოეფიციენტი (%-ში); **Count** – მონაცემთა რაოდენობა; **A<sub>s</sub>** – ასიმეტრიის კოეფიციენტი; **K** – ექსცესის კოეფიციენტი; **R** – წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი; **R<sup>2</sup>** – დეტერმინაციის კოეფიციენტი; **R<sub>s</sub>** – სპირმენის რანგული კორელაციის კოეფიციენტი; **R<sub>k</sub>** – კენდელის რანგული კოეფიციენტი; **R<sub>a</sub>** – ავტოკორელაციის კოეფიციენტი; **K<sub>dw</sub>** – დარბინ-უოტსონის კოეფიციენტი; **t** – სტიუდენტის კრიტერიუმი; **α** – ნიშნადობის დონე.

გადმოცემის სიმარტივისთვის წიგნში მოყვანილ ტექსტში გამოსაკვლევი პარამეტრების განზომილება ზოგჯერ არ არის ნაჩვენები.

## შესავალი

ატმოსფერო რთული ფიზიკურ-ქიმიური სისტემაა, რომელიც ურთიერთქმედებაშია მიწის ზედაპირთან, ოკეანესა და ბიოსფეროსთან. მისი შემადგენლობა განუწყვეტლივ იცვლება. ბოლო ასწლეულში ეს ცვლილებები მკვეთრად დააჩქარა ადამიანის საქმიანობამ. მრეწველობა, ტრანსპორტი და კომუნალური სამსახურები ატმოსფეროში გამოყოფს ადამიანისა და ცოცხალი გარემოსთვის საშიშ, ქიმიურად აქტიურ და ტოქსიკურ ნაერთებს. ზოგიერთი მათგანი ფორმირდება უშუალოდ ჰაერში, შედარებით ნეიტრალური ქიმიური წინამორბედებიდან. ისეთ ნივთიერებებს, როგორებიცაა ნახშირწყალბადი, აზოტის, გოგირდის და ნახშირბადის ჟანგეულები, შეუძლიათ შეცვალონ ატმოსფეროს ჟანგვითი თვისებები, ე.ი. ატმოსფეროს შესაძლებლობა ტრანსფორმირება გაუკეთოს დამაჭუჭყიანებელ მინარევებს, გადაიყვანოს ისინი ნეიტრალურ ფორმებში და გამოიყვანოს საჰაერო გარემოდან. ისინი ხელს უწყობენ აგრეთვე ე.წ. ფოტოქიმიური ოზონის და სმოგის შექმნას ტროპოსფეროში, რომლებიც ნეგატიურად მოქმედებს ბიოსფეროზე. როდესაც აზოტისა და გოგირდის ჟანგეულები გაიხსნება წვიმის წვეთებში, ისინი იწვევენ მჟავე ნალექებს, რომლებსაც დიდი ზიანი მოაქვთ ბუნებრივი გარემოსთვის ინდუსტრიულ რეგიონებში [48, 122].

იმისდა მიხედვით, თუ რა პირობებია ატმოსფეროში დედამიწის ზედაპირთან და ჰაერის რა დაჭუჭყიანების წყაროები არსებობს, შეიძლება წარმოიქმნას სმოგის სხვადასხვა ტიპები (ლონდონის, ალიასკის, ლოს-ანჯელესის ტიპის სმოგი, რადიაციული ნისლი და სხვა).

ჩვეულებრივ ამათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია სმოგის ორი ტიპი, დაკავშირებული ჰაერის დაბინძურებასთან ტრანსპორტის გამონაბოლქვით, და დაკავშირებული ჰაერის დაბინძურებასთან ჭვარტლითა და ბოლით, რომლებიც შეიცავენ გოგირდის ორჟანგს. პირველი ტიპის სმოგის (ლოს-ანჯელესის სმოგის) წარმოქმნის პროცესის აუცილებელ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ფოტოქიმიური რეაქციები, მეორე შემთხვევაში (ლონდონის სმოგი) ფოტოქიმიური რეაქციები შეიძლება მონაწილეობდნენ სმოგის წარმოქმნაში, მაგრამ მათი მონაწილეობა არ არის აუცილებელი [200].

ფოტოქიმიური სმოგი – ჰაერში რამდენიმე დამაბინძურებელი ნივთიერების შერევის შედეგია, კერძოდ: აზოტის ჟანგეულების (მაგალითად აზოტის ორჟანგი – წიაღისეული საწვავის წვის პროდუქტი), აქროლადი ორგანული ნივთიერებების (ბენზინის, საღებავების, გამხსნელების, პესტიციდებისა და სხვა ქიმიკატების ორთქლი), ნიტრატების ზეჟანგების. ყველა ეს ნივთიერება გამოირჩევა მაღალი ქიმიური აქტივობით და ადვილად იჟანგებიან, ამიტომ ფოტოქიმიური სმოგი ითვლება თანამედროვე მეგაპოლისების ერთ-ერთ ძირითად პრობლემად. სმოგი შეიძლება წარმოიქმნას ყველანაირ ბუნებრივ და კლიმატურ პირობებში დიდ ქალაქებსა და ინდუსტრიულ ცენტრებში ძალზე დაბინძურებული ჰაერით. ყველაზე მავნებელი სმოგი წლის თბილ პერიოდშია, მზიან უქარო ამინდში, როდესაც ჰაერი საკმარისად გამთბარია საიმისოდ, რომ შეაჩეროს ჰაერის მასების ვერტიკალური ცირკულაცია. სმოგი - სერიოზული პრობლემაა ყველა მსხვილი მეგაპოლისისათვის.

სმოგი ამცირებს ხილვადობას, აძლიერებს მასალების და ნაგებობების კოროზიას, დამლუპველად მოქმედებს მცენარეებზე, უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის

ჯანმრთელობაზე, შეუძლია გამოიწვიოს სასუნთქი გზების დაზიანება, პირღებინება, თვალის ლორწოვანი გარსის გაღიზიანება და საერთო მოთენთილობა. ხშირად ფოტოქიმიურ სმოგში შეიძლება არსებობდეს აზოტის ისეთი ნაერთები, რომლებიც ადიდებს ავთვისებიანი დაავადებების წარმოქმნის ალბათობას. ინტენსიური და ხანგრძლივი ფოტოქიმიური სმოგი შეიძლება დაავადებათა და სიკვდილიანობის ზრდის მიზეზი აღმოჩნდეს. რადგანაც ძალიან ძლიერ მჟანგველ თვისებებს ავლენს, თვით ოზონი უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე და დამანგრეველად მოქმედებს მრავალ მასალაზე. ამიტომ არაფოტოქიმიური წარმოშობის მიწისპირა ოზონის ვარიაციების და ამ ვარიაციების მიზეზების გამოკვლევა აგრეთვე მეტად მნიშვნელოვანია.

იმ მჭიდროდ დასახლებულ ქალაქებს შორის, რომლებიც განიცდიან სმოგის ზემოქმედებას არიან: ათენი, ლონდონი, ლოს-ანჯელესი, მეხიკო, მოსკოვი, ჰონკონგი, პეკინი. ჩინეთის კონტინენტალურ ნაწილში განლაგებული დიდი რაოდენობის საწარმოები იმდენად ძლიერად აბინძურებენ ჰაერს, რომ ჰონკონგის ცათამბჯენები ხშირად არ ჩანან სმოგის მკვრივი ფარდის უკან [208, 199].

ამრიგად, ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნის პირობების შესწავლა დიდი ქალაქის პირობებში, მათი სივრცულ-დროითი მახასიათებლების თავისებურებების განსაზღვრა, ატმოსფეროს ამ მახასიათებლების მოსახლეობაზე ზემოქმედების შეფასება და ღონისძიებების დამუშავება მათი ნეგატიური ზეგავლენისაგან თავდასაცავად თანამედროვეობის აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. იმის გათვალისწინებით, რომ მომავალშიც ტრანსპორტი და მრეწველობა უფრო მნიშვნელოვანად განვითარდება, ზემოთ ნახსენები პრობლემები კიდევ უფრო გაღრმავდება.

საქართველოში ატმოსფერული დაბინძურების მდგომარეობა არსებითად განსხვავდება ატმოსფეროს დაბინძურებისგან განვითარებულ ქვეყნებში. უხარისხო საწვავის გამოყენება, რელიეფის, ჰაერის მასების დინამიკისა და მიკროკლიმატური პირობების თავისებურებები, ტექტონიკური რღვევების არსებობა და სხვა შეიძლება იწვევდეს ფოტოქიმიური სმოგის წარმოშობას, რომლის კომპონენტები არსებითად განსხვავდება ანალოგიური სმოგისგან განვითარებულ ქვეყნებში. ამიტომ მიწისპირა ოზონის ზღვრული დასაშვები ნორმების დაზუსტება ჩვენი პირობებისთვის, რადგან იგი წარმოადგენს ფოტოქიმიური სმოგის ძირითად ინდიკატორს და ახასიათებს მის ინტეგრალურ მოქმედებას მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე, ჩვენი აზრით მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს.

ზემოთქმულის გათვალისწინებით იყო წარდგენილი და შესრულდა პროექტი GNSF/ ST08/5-437 „ფოტოქიმიური სმოგის საარსებო გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების შესუსტება – ქ. თბილისის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაჯანსაღების მნიშვნელოვანი ფაქტორი“.

პროექტის ფარგლებში, როგორც ფოტოქიმიური სმოგისა და ოზონის წარმოქმნის პროცესების გლობალური გამოკვლევების ნაწილის ჩარჩოებში, პირველად იქნა დაყენებული შემდეგი მიზანი და ამოცანები.

პროექტის მიზანი: ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის ზემოქმედებისაგან ქალაქ თბილისის მოსახლეობის მოწყვლადობის შემცირება.

პროექტის მიზნის მისაღწევად დაგეგმილი იყო შემდეგი კვლევა: ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის სივრცულ-დროითი ცვალებადობის კანონზომიერების,

შექმნის და ტრანსფორმაციის პირობების, მოსახლეობაზე ზემოქმედების ხარისხის გამოვლენა ქალაქ თბილისის, როგორც ევროპის და აზიის საზღვარზე მდებარე მეგაპოლისის მაგალითზე და ამ მოვლენის ნეგატიური ეკოლოგიური ეფექტების შერბილების საშუალებების შემუშავება.

აღნიშნული კვლევა ითვალისწინებდა შემდეგი ოთხი მთავარი ამოცანის გადაწყვეტას:

1. ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის, აგრეთვე, მათი თანამდევნი და განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების სივრცულ-დროითი მახასიათებლები გამოკვლევა.
2. ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნის და ტრანსფორმაციის ძირითადი პირობების განსაზღვრა: ფოტოქიმიური სმოგისა და ოზონის წარმოქმნის პროცესების მზის რადიაციასთან, მეტეოროლოგიურ პარამეტრებთან, ატმოსფეროში მაიონიზებელ გამოსხივებასთან (ბუნებრივი რადიოაქტიურობა, კოსმოსური სხივები) კავშირების ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელის შექმნა.
3. ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის ქ. თბილისის მოსახლეობაზე ზემოქმედების ხარისხის შეფასება. მიწისპირა ოზონის რეალური მოქმედების, როგორც ფოტოქიმიური სმოგის ძირითადი ინდიკატორის, რომელიც ახასიათებს მის ინტეგრალურ ზეგავლენას ადამიანის ჯანმრთელობაზე, საქართველოში და საზღვარგარეთ დღეს არსებული ოზონის ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციასთან შესაბამისობის თბილისისათვის დაზუსტება.
4. მიწისპირა ოზონზე აქტიური ზემოქმედებისთვის ტექნიკური მეთოდების შექმნის შეფასება (ლაბორატორიული ექსპერიმენტების დონეზე მიწისპირა ოზონზე აქტიური ზემოქმედების საცდელი მეთოდის დამუშავება). რეკომენდაციების შემუშავება ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის მოსახლეობაზე ნეგატიური ზემოქმედების შესამცირებლად.

პროექტის შედეგების სამეცნიერო ინტერესი იმაში მდგომარეობს, რომ ახალი ცოდნა იქნა მიღებული ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნის მექანიზმებისა და პირობების, სივრცულ-დროითი მახასიათებლების რეგიონული თავისებურებების შესახებ ამ მოვლენაზე ზეგავლენის მქონე, ადრე ნაკლებად შესწავლილი ისეთი ფაქტორების გათვალისწინებით, როგორიცაა ჰაერის მაიონიზებელი გამოსხივება (ბუნებრივი რადიოაქტიურობა, კოსმოსური სხივები). სამეცნიერო შედეგების გამოყენება მეცნიერების ისეთ დარგებში შეიძლება, როგორებიცაა გეოფიზიკა, ატმოსფეროს ფიზიკა, მეტეოროლოგია, კლიმატოლოგია, ეკოლოგია, გარემოს მონიტორინგი, ჯანმრთელობის დაცვა და სხვა.

პრაქტიკულად პროექტის შედეგების გამოყენება (ქ. თბილისის კარტირება ფოტოქიმიური სმოგისა და ოზონის დონეების მიხედვით, მიწისპირა ოზონის ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობის დაზუსტება, მიწისპირა ოზონზე ზემოქმედების საცდელი მეთოდიკა, მოსახლეობისთვის ამ მოვლენის ნეგატიური ეფექტების შერბილებისთვის რეკომენდაციების გაცემა და სხვა) საინტერესო იქნება არა მარტო საქართველოსთვის, არამედ სხვა ქვეყნებისთვისაც, სადაც მსგავსი პრობლემებია საჰაერო გარემოს გაჭუჭყიანებასთან დაკავშირებით. პროექტის პრაქტიკული შედეგების პოტენციური მომხმარებლები საქართველოში შეიძლება იყვნენ ქ. თბილისის მოსახლეობა და მისი



სტუმრები, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის სამინისტროები, ჰიდრომეტეოროლოგიური დეპარტამენტი, ქალაქის მერია, სამკურნალო დაწესებულებები, სასწავლო დაწესებულებები, საკურორტო-ტურისტული საქტორი და სხვა ორგანიზაციები.

მიწისპირა ოზონზე ზემოქმედების ლაბორატორიულ პირობებში დამუშავებული მეთოდების სავსე პირობებში გამოცდისას დადებითი შედეგების მიღების შემთხვევაში, მომავალში ამ მეთოდების პოტენციური მომხმარებლები იქნებიან ის სამინისტროები, უწყებები, ორგანიზაციები და ფირმები, რომლებიც დაინტერესებულნი არიან მოსახლეობის ჯანმრთელობის დაცვის საკითხებში სმოგური სიტუაციების დროს და აგრეთვე სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების, სატყეო მეურნეობის, კულტურის ძეგლების და ა. შ. დაცვაში ოზონის მაღალი კონცენტრაციებისაგან.

**თავი 1 ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის  
წარმოშობის და არსებობის პირობები, მათი სივრცულ – დროითი  
მახასიათებლები, უარყოფითი ზეგავლენა გარემოზე და დაცვის  
საშუალებები.**

**1.1 სმოგის ზოგადი დახასიათება. ფოტოქიმიური სმოგი და ოზონი, მათი  
წარმოქმნის და არსებობის პირობები**

ქვემოთ მოყვანილია სმოგის ზოგადი დახასიათება, მათ შორის განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ამ წიგნის ძირითად კვლევის საგანს ე.წ. ფოტოქიმიურ სმოგს და მის თანამდევ კომპონენტებს, რომელთა შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია მიწისპირა ოზონი.

ცნობილია სმოგის რამდენიმე ტიპი.

ლონდონის ტიპის ტენიანი სმოგი – ნისლის, ბოლის და საწარმოო აირების ნარჩენების შეერთება (შეხამება); ალიასკის ტიპის ყინულოვანი სმოგი – სმოგი, რომელიც წარმოიშვება დაბალი ტემპერატურის დროს გამათბობელი სისტემების ორთქლიდან და საყოფაცხოვრებო აირებისგან; რადიაციული ნისლი – ნისლი, რომელიც წარმოიშვება ნამის წერტილამდე ტენიანი მიწისპირა ჰაერის მასების და დედამიწის ზედაპირის რადიაციული გაცივების შედეგად [205]. ლოს-ანჯელესის ტიპის მშრალი სმოგი – ფოტოქიმიური სმოგია, რომელიც პირველად შეამჩნიეს ლოს-ანჯელესში (აშშ) მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში. ფოტოქიმიური სმოგის წარმოშობას უკავშირებენ საავტომობილო ტრანსპორტის ძლიერ განვითარებას. ქიმიური რეაქციები, რომლებსაც მეორადი დამაბინძურებლების წარმოქმნამდე მივყავართ, ყველაზე ეფექტურად მიმდინარეობს მზის სინათლეზე, ამიტომ ჰაერის ასეთ დაბინძურებას ფოტოქიმიური სმოგი ეწოდება [26, 131, 188, 202, 223, 230].

მაგალითისათვის ცხრილში 1 მოყვანილია ლოს-ანჯელესის და ლონდონის სმოგის შედარება. როგორც ჩანს ამ ცხრილიდან, ლოს-ანჯელესის სმოგი ჩნდება უფრო მაღალი ტემპერატურისა და დაბალი ტენიანობის პირობებში, ვიდრე ლონდონისა. ძირითადი თავისებურებები ფოტოქიმიური სმოგისა, რომელიც გვხვდება ლოს-ანჯელესში, შემდეგია:

1. სმოგი წარმოიქმნება ნათელ, მზიან ამინდში ჰაერის დაბალი ტენიანობის დროს, ამავე დროს გაღიზიანების გამომწვევი ნივთიერებების მაქსიმალური კონცენტრაცია ჩნდება მალევე შუადღის შემდეგ.
2. ქიმიურად ის მოქმედებს როგორც დამჯანგველი და იწვევს რეზინის დანაპრალებას.
3. სმოგი ჩანს როგორც მოთეთრო ნისლი, თუმცა მხედველობის გაუარესება ნაკლებად სერიოზული ეფექტია სხვებთან შედარებით.
4. სმოგი იწვევს ადამიანებში თვალების გაღიზიანებას და ანადგურებს მცენარეების ფოთლებს [200].

ფოტოქიმიურ სმოგში მიმდინარეობს რეაქციები აზოტის ოქსიდებსა და დაუმწვარ ორგანულ ნაერთებს შორის; ოზონის მონაწილეობით აქტიურად მიმდინარეობს რეაქცია სუბმიკრონული ზომის ე.წ. მეორადი აეროზოლების წარმოქმნისათვის სქემით გაზი → ნაწილაკი (სულფატები, ნიტრატები და ა.შ.). ამ რეაქციების პროდუქტებში ბევრი კანცეროგენური ნივთიერებაა. ამრიგად ფოტოქიმიური სმოგი წარმოადგენს გაზებისა და აეროზოლების პირველადი და მეორადი წარმოშობის მრავალკომპონენტურ ნარევს. სმოგის ძირითადი კომპონენტებია: ოზონი, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები, ზეჟანგის ბუნების ორგანული ნაერთები, რომლებსაც ერთობლიობაში ფოტოოქსიდანტები ეწოდება.

ცხრილი 1.1

ლოს-ანჯელესის და ლონდონის სმოგის შედარება

| მახასიათებლები                   | ლოს-ანჯელესი                                                     | ლონდონი                                 |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| ჰაერის ტემპერატურა               | 24 - 32° C                                                       | -1 - + 4° C                             |
| ფარდობითი ტენიანობა              | <70%                                                             | 85% (+ წისლი)                           |
| ტემპერატურის ინვერსია            | 1000მ სიმაღლეზე                                                  | რამდენიმე ასეულ მეტრზე                  |
| ქარის სიჩქარე                    | < 3 მ/წ                                                          | უქარო                                   |
| ხილვადობა                        | <0.8-1.6 კმ                                                      | <30 მ                                   |
| ყველაზე ხშირი გამოვლენის თვეები  | აგვისტო-სექტემბერი                                               | დეკემბერი-იანვარი                       |
| ძირითადი საწვავი                 | ბენზინი                                                          | ნახშირი ( და ბენზინი)                   |
| ძირითადი შემადგენლები            | O <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, ორგანული ნივთიერებები | მცირე ნაწილაკები, CO, გოგირდის ნაერთები |
| ქიმიური რეაქციების ტიპი          | ჟანგვა                                                           | აღდგენა                                 |
| მაქსიმალური შესქელების დრო       | შუადღე                                                           | ადრე დილა                               |
| ჯანმრთელობაზე ძირითადი მოქმედება | თვალის გაღიზიანება, სუნთქვის დარღვევა                            | სასუნთქი გზების გაღიზიანება             |
| ყველაზე დაზიანებული მასალები     | რეზინა                                                           | რკინა, ბეტონი                           |

ატმოსფერულ დამაჯანსაღებლებს მიეკუთვნება გაჯერებული და გაუჯერებელი ნახშირწყალბადები, რომლებიც ნახშირბადის 11-დან 130-დე ატომს შეიცავს. მზის რადიაციით აღზნების შედეგად, სხვა ატმოსფერულ დამაჯანსაღებლებთან ურთიერთქმედებისას, ისინი განიცდიან სხვადასხვანაირ

გარდაქმნებს, ჟანგვას, პოლიმერიზაციას. ამ რეაქციების შედეგად წარმოიშვება ზეჟანგური შენაერთები, თავისუფალი რადიკალები, აზოტის და გოგირდის ოქსიდებთან ნახშირწყალბადების შენაერთები, ხშირად აეროზოლური ნაწილაკების სახით. გარკვეული ამინდის პირობებში ჰაერის მიწისპირა ფენაში შეიძლება მოხდეს მავნე აიროვანი და აეროზოლური მინარევების განსაკუთრებით დიდი ოდენობით დაგროვება. ჩვეულებრივ ეს ხდება იმ შემთხვევებში, როდესაც უშუალოდ მტვრის და აირების ემისიის წყაროს თავზე ჰაერში არსებობს ინვერსია, ე.ი. ცივი ჰაერის ფენა განლაგებულია თბილი ფენის ქვეშ, წინააღმდეგობას უქმნის ჰაერის მასებს და აბრკოლებს მინარევების ზემოთ გადატანას. ამის შედეგად მავნე გამონაფრქვევი ინვერსიის ფენის ქვემოთ გროვდება, მათი შემცველობა მიწის ზედაპირთან მკვეთრად მატულობს, რაც ადრე ბუნებისთვის უცნობი ფოტოქიმიური ნისლის წარმოშობის ერთერთი მიზეზი ხდება [146, 207, 230].

მზის რადიაცია ხანგრძლივი მზიანი ამინდის დროს იწვევს აზოტის დიოქსიდის მოლეკულების გახლეჩვას და შედეგად აზოტის ოქსიდის და ატომარული ჟანგბადის შექმნას. ატომარული ჟანგბადი და მოლეკულური ჟანგბადი წარმოშობენ ოზონს. მოსალოდნელი იყო, რომ აზოტის ოქსიდი ოზონთან ურთიერთობისას ისევ უნდა გადაქცეულიყო მოლეკულარულ ჟანგბადად, ხოლო აზოტის ოქსიდი დიოქსიდად, მაგრამ სინამდვილეში ასე არ ხდება. აზოტის ოქსიდი შედის რეაქციაში გამონაბოლქვი აირების ოლეფინებთან, რომლებიც ამის შედეგად იხლიჩებიან ორმაგი კავშირებით და წარმოქმნიან მოლეკულების ნახლეჩებს და ოზონის ჭარბ რაოდენობას. დისოციაციის გაგრძელების შედეგად ხდება აზოტის დიოქსიდის ახალი მასების გახლეჩვა და ოზონის დამატებითი რაოდენობა ჩნდება. წარმოიშვება ჯაჭვური რეაქცია, რომლის შედეგადაც ატმოსფეროში თანდათან ოზონი გროვდება. ეს პროცესი წყდება ღამის საათებში. თავის მხრივ ოზონი ოლეფინებთან შედის რეაქციაში. ატმოსფეროში ჩნდება სხვადასხვანაირი ზეჟანგების ისეთი კონცენტრაცია, რომლებიც ჯამში ქმნიან ფოტოქიმიურ ნისლისთვის დამახასიათებელ ოქსიდანტებს. უკანასკნელები ეგრეთ წოდებული თავისუფალი რადიკალების წყაროს წარმოადგენენ, რომლებიც განსაკუთრებული რეაქციის უნარიანობით გამოირჩევიან. ასეთი სმოგები არცთუ იშვიათი შემთხვევაა ლონდონის, პარიზის, ლოს-ანჯელესის, ნიუ-იორკის და ევროპის და ამერიკის სხვა ქალაქების თავზე. ადამიანის ორგანიზმზე თავისი ფიზიოლოგიური ზემოქმედებით ისინი განსაკუთრებით საშიშია სუნთქვის და სისხლის მიმოქცევის სისტემებისთვის და ხშირად დასუსტებული ჯანმრთელობის მქონე ქალაქის მაცხოვრებლების ნაადრევი სიკვდილის მიზეზი ხდება.

## 1.2 ფოტოქიმიური სმოგის წინამორბედები

აზოტის ოქსიდები და ზოგიერთი სხვა ნივთიერებები. აზოტის ოქსიდები (უპირველეს ყოვლისა შხამიანი აზოტის დიოქსიდი  $\text{NO}_2$ ), რომლებიც მზის ულტრაიისფერი რადიაციის მეშვეობით ნახშირწყლებთან (მათ შორის განსაკუთრებული რეაქციის უნარით ოლეფინები გამოირჩევა) შეერთდებიან, წარმოქმნიან პეროქსილაცეტილნიტრატს (პან) და სხვა ფოტოქიმიურ მჟანგველებს, მათ შორის პეროქსიბენზოილნიტრატს (პბნ), ოზონს ( $\text{O}_3$ ), წყალბადის ზეჟანგს ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), აზოტის დიოქსიდს. ეს მჟანგველები ფოტოქიმიური სმოგის ძირითადი

შემადგენლებია, რომელთა განმეორადობა განსაკუთრებით დიდია ძლიერ დაბინძურებულ ქალაქებში, რომლებიც განლაგებულია ჩრდილოეთის და სამხრეთის ნახევარსფეროების დაბალ განედებში (ლოს-ანჯელესი, რომელშიც სმოგი წელიწადში დაახლოებით 200 ჯერ დაიკვირვება, ჩიკაგო, ნიუ-იორკი და აშშ-ს სხვა ქალაქები, იაპონიის, თურქეთის, ჩინეთის, საფრანგეთის, ესპანეთის, იტალიის, აფრიკის და სამხრეთ ამერიკის რიგ ქალაქებში) [224, 229, 244].

პან-ის, პზნ-ის და ოზონის შექმნისკენ მიმართული ფოტოქიმიური რეაქციების სიჩქარის შეფასება გვიჩვენებს, რომ ყოფილი საბჭოთა კავშირის რიგ სამხრეთ ქალაქებში ზაფხულში, ნაშუადღევს (როდესაც ულტრაიისფერი რადიაციის მოდინება დიდია), ეს სიჩქარეები აჭარბებენ იმ მნიშვნელობებს, რომლიდანაც აღინიშნება სმოგის შექმნა. ასე მაგალითად, ალმა-ატაში, ერევანში, თბილისში, აშხაბადში, ბაქოში, ოდესაში და სხვა ქალაქებში ჰაერის დაკვირვებულ დონეებისას,  $O_3$ -ს შექმნის მაქსიმალური სიჩქარე შეადგენდა  $0.70-0.86$  მკგ/მ<sup>3</sup>·სთ, მაშინ როდესაც სმოგი წარმოიშვება უკვე  $0.35$  მკგ/მ<sup>3</sup>·სთ სიჩქარისას. პან-ის შემადგენლობაში აზოტის დიოქსიდის და იოდოვანი კალიუმის არსებობა მიაჩნება სმოგს მოყვავისფრო ელფერს. დიდი კონცენტრაციის დროს პან-ი მოდის დედამიწაზე წებოვანი სითხის სახით, რომელიც სპობს მცენარეულ საფარს. ყველა მჟანგველი, და პირველ რიგში პან-ი და პზნ-ი, ძლიერ აღიზიანებენ თვალებს და იწვევენ ანთებას, ხოლო ოზონთან კომბინაციაში აღიზიანებენ ცხვირ-ხახას, იწვევენ გულმკერდის სპაზმს, ხოლო მაღალ კონცენტრაციისას ( $3-4$  მგ/მ<sup>3</sup> მეტი) იწვევენ ხველას და ასუსტებენ ყურადღების გამახვილების შესაძლებლობას.

ფოტოქიმიური სმოგის პრეკურსორების ძირითადი შემონატანი მოდის ძირითადად მრეწველობაზე და ავტოტრანსპორტზე. მრეწველობაში აიროვანი გამონაფრქვევები დიდი რაოდენობით გამოიყოფა ნავთობის გადამუშავებისას ნავთის გამოხდის და კრეკინგის დანადგარებში. აქვს აგრეთვე ადგილი არაკონტროლებად ემისიას, გამოწვეულს სხვადასხვანაირი გადინებებით, ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევით, ავარიებით, აიროვანი ნივთიერებების აორთქლებით და ა.შ. ქიმიური მრეწველობიდან ყველაზე დიდი რაოდენობა გამოიყოფა იქ, სადაც ამზადებენ ან გამოიყენებენ ალკიდურ, ან სხვა პოლიმერებზე დამზადებულ ლაქებს და საღებავებს, და აგრეთვე, ნიტროლაქებს. ამ წარმოებების საერთო გამონაფრქვევი წელიწადში 350 ათას ტონას შეადგენს, მაშინ როდესაც ყველა სხვა დანარჩენი ქიმიური მრეწველობის წარმოებების – 170 ათას ტონას [146, 147, 164, 187].

### ავტოტრანსპორტი

ავტოტრანსპორტის მიერ საჰაერო აუზის დაბინძურება, სტაციონარულ წყაროებთან განსხვავებით, ხდება პატარა სიმაღლეზე და პრაქტიკულად ყოველთვის ლოკალურ ხასიათს ატარებს. ასე მაგალითად, ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი დამაბინძურებლების კონცენტრაცია სწრაფად კლებულობს სატრანსპორტო მაგისტრალიდან მოშორებისას, ხოლო საკმაოდ მაღალი დაბრკოლების (მაგალითად სახლების დახურულ ეზოებში), არსებობისას, შეიძლება 10 ჯერ მეტად შემცირდეს. მთლიანობაში ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი გაცილებით უფრო ტოქსიკურია, ვიდრე სტაციონარული წყაროების გამონაფრქვევი.

ავტომანქანა მუშაობისას მზუთავი აირის, აზოტის ჟანგების და მურის (დიზელის ავტომანქანები) გარდა, გარე სამყაროში 200-ზე მეტ ტოქსიკური მოქმედების მქონე ნივთიერებას და შენაერთს გამოყოფს. მათ შორის უნდა გამოვყოთ მძიმე ლითონების შენაერთები და ზოგიერთი ნახშირწყალბადი, განსაკუთრებით ბენზოპირენი, რომელიც გამოხატული კანცეროგენური ეფექტით ხასიათდება. უეჭველია, რომ ავტოტრანსპორტის მიერ ქალაქების საჰაერო აუზების დაბინძურება უახლოეს მომავალში უდიდეს საშიშროებას წარმოადგენს. ეს ძირითადად იმით აიხსნება, რომ ამჟამად ჯერ კიდევ არ არსებობს ამ პრობლემის კარდინალური გადაწყვეტა, თუმცა ცალკეული ტექნიკური პროექტები და რეკომენდაციები უზვადაა.

უკანასკნელ ათწლეულებში ძირითადად ამით აიხსნება, რომ ავტოტრანსპორტის და ავიაციის სწრაფმა განვითარებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა გამონაფრქვევის წვლილი, რომელიც ხდება ატმოსფეროში მოძრავი წყაროებიდან – მსუბუქი და სატვირთო ავტომანქანები, ტრაქტორები, თბომავლები და თვითმფრინავები. შეფასებების თანახმად, ავტოტრანსპორტის წილზე მოდის (დამოკიდებულია მოცემულ ქალაქში მრეწველობის განვითარებაზე და ავტოტრანსპორტის რაოდენობაზე) გამონაფრქვევის საერთო მასის 30-დან 70%-დე. მთლიანობაში აშშ-ში ხუთი ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების საერთო მასის არა ნაკლებ 40% შეადგენს მოძრავი წყაროების გამონაბოლქვი [163, 164].

ატმოსფეროს დაბინძურებაში ძირითადი წვლილი მოდის ბენზინზე მომუშავე ავტომანქანებზე (მათ წვლილზე აშშ-ში მოდის დაახლოებით 75%), შემდეგ თვითმფრინავები (დაახლოებით 5%), დიზელის ძრავიანი ავტომანქანები (დაახლოებით 4%), ტრაქტორები და სხვა სასოფლო-სამეურნეო მანქანები (დაახლოებით 4%), რკინიგზის და წყლის ტრანსპორტი (დაახლოებით 2%). ატმოსფეროს ძირითად დამაბინძურებელ ნივთიერებებს, რომლებსაც მოძრავი წყაროები გამოაფრქვევენ (მთლიანობაში მათი რიცხვი 40 აღემატება), მიეკუთვნებიან ნახშირბადის ოქსიდი (აშშ-ში მისი წილი საერთო მასის 70% შეადგენს), ნახშირწყალბადები (დაახლოებით 19%) და აზოტის ოქსიდები (დაახლოებით 9%). ნახშირბადის ოქსიდი ( $\text{CO}$ ) და აზოტის ოქსიდები ( $\text{NO}_x$ ) ატმოსფეროში მხოლოდ გამონაბოლქვ აირებიდან ხვდებიან, მაშინ როდესაც არასრულად დამწვარი ნახშირწყალბადები ( $\text{H}_n\text{C}_m$ ) ატმოსფეროში ხვდებიან არა მარტო გამონაბოლქვი აირებიდან (რაც შეადგენს გამოფრქვეული ნახშირბადების საერთო მასის დაახლოებით 60%), არამედ კარტერიდან (დაახლოებით 20%), საწვავის ავზიდან (დაახლოებით 10%), კარბურატორიდან (დაახლოებით 10%); მყარი მინარევები ჩნდება ძირითადად გამონაბოლქვი აირებიდან (90%) და კარტერიდან (10%). დამაბინძურებელი ნივთიერებების უმეტესი რაოდენობა გამოიფრქვევა მანქანის გაქანებისას, განსაკუთრებით სწრაფ გაქანებისას და აგრეთვე დაბალი სიჩქარით მოძრაობისას (ყველაზე ეკონომიური დიაპაზონიდან). ნახშირწყლების და ნახშირბადის ოქსიდის ფარდობითი წილი (გამონაფრქვევის საერთო მასის) განსაკუთრებით მაღალია დამუხრუჭებისას და უქმი სვლისას, ხოლო აზოტის ოქსიდების წილი – გაქანებისას. ამ მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ ავტომანქანები განსაკუთრებით დიდად აბინძურებენ საჰაერო სავრცეს ხშირი გაჩერებისას და დაბალი სიჩქარით მოძრაობისას. ქალაქებში შექმნილი “მწვანე ტალღის” რეჟიმში მომუშავე მოძრაობის სისტემები არსებითად ამცირებენ

გზაჯვარედინებზე ტრანსპორტის გაჩერების რიცხვს, რითაც ხელს უწყობენ ქალაქებში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შემცირებას.

მინარევების გამონაფრქვევის ხარისხზე და რაოდენობაზე დიდ გავლენას ახდენს ძრავის მუშაობის რეჟიმი, კერძოდ შეფარდება საწვავის და ჰაერის მასებს შორის, აალების მომენტი, საწვავის ხარისხი, წვის კამერის ზედაპირის შეფარდება მის მოცულობასთან და ა.შ. წვის კამერაში მიწოდებული ჰაერის და საწვავის მასების შეფარდების გაზრდა იწვევს ნახშირბადის ოქსიდის და ნახშირწყალბადების გამოტყორცნის შემცირებას, მაგრამ იზრდება აზოტის ოქსიდების გამოტყორცნა. მიუხედავად იმისა, რომ დიზელიანი ძრავები უფრო ეკონომიურია და ისეთ ნივთიერებებს, როგორიცაა  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{C}_{\text{m}}$ ,  $\text{NO}_x$ , ისინი გამოაფრქვევენ არა უმეტეს, ვიდრე ბენზინის ძრავები, ისინი გამოყოფენ გაცილებით მეტ ბოლს (ძირითადად დაუმწვარ ნახშირბადს), რომელსაც გააჩნია არასასიამოვნო სუნი, განპირობებული ზოგიერთი დაუმწვარი ნახშირწყალბადებით. თუ ამას დავუმატებთ იმ ხმაურს, რომელიც ახასიათებს დიზელის ძრავებს, ისინი არა მარტო უფრო ძლიერ აბინძურებენ გარემოს, არამედ ზემოქმედებენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე უფრო მეტად, ვიდრე ბენზინის ძრავები.

### თვითმფრინავები

თუმცა თვითმფრინავის ძრავების მიერ ატმოსფეროში გამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერებების ჯამური რაოდენობა ქალაქისათვის ან ქვეყნისთვის შედარებით მცირეა, აეროპორტის რაიონში გარემოს დაბინძურებაში მათი შენატანი განმსაზღვრელია. ამასთან თვითმფრინავის ტურბორეაქტიული ძრავები, ისევე, როგორც დიზელის ძრავები, აფრენისას და დაჯდომისას გამოაფრქვევენ კარგად შესამჩნევ ბოლის შლეიფს. აეროპორტში მინარევების მნიშვნელოვან ნაწილს გამოყოფენ აგრეთვე მომსახურე ქვეითი სატრანსპორტო საშუალებები და საერთო სარგებლობის ავტომანქანები. მიღებული მონაცემების თანახმად, საწვავის საერთო ხარჯის დაახლოებით 42% იხარჯება ასაფრენ-დასაფრენ ზოლიდან თვითმფრინავის გადმოყვანაზე დაჯდომის შემდეგ და ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე მის მიყვანაზე აფრენის წინ (ერთ ციკლზე დაახლოებით 22 წუთი). ამასთანავე ამ პროცესის დროს დაუმწვარი და ატმოსფეროში გამოფრქვეული საწვავის რაოდენობა გაცილებით მეტია, ვიდრე ფრენის დროს. ძრავების მუშაობის გაუმჯობესების გარდა (საწვავის გაფრქვევა, წვის ზონაში საწვავის ნარევის გამდიდრება, საწვავის დანამატების გამოყენება, წყლის შემხაპუნება და სხვა), გამონაფრქვევის არსებითი შემცირება შესაძლოა მიღწეული იყოს მიწაზე მომუშავე ძრავების რაოდენობის და მუშაობის დროის შემცირებით (მხოლოდ ამის ხარჯზე მიიღწევა გამონაფრქვევის 3–8 ჯერ შემცირება) [115].

მაგრამ შესაძლოა ფოტოქიმიური სმოგის ამ ძირითად წყაროებს დაემატოს ახალიც: ფინეთის ჰელსინკის უნივერსიტეტის მკვლევართა ჯგუფმა [Nature, 2003 წლის 18 მარტი] *Pinus sylvestris* სახის ფიჭვის კვლევისას აღმოაჩინა, რომ მისი წიწვები მზის პირდაპირი დასხივების დროს გამოყოფენ  $\text{NO}_x$ , ამასთანავე მისი ემისია მკვეთრად იზრდებოდა მზის რადიაციის ინტენსივობის მომატებისას. აზოტის დიოქსიდის გამოყოფის რაოდენობა ადგილობრივი მასშტაბით იყო უმნიშვნელო,

მაგრამ გლობალური შეფასებით და პლანეტაზე წიწვოვანების რაოდენობის გათვალისწინებით, ჯამური გამონაფრქვევი მოცულობით თანაზომადია დედამიწაზე მთელი საწარმოო გამონაფრქვევის რაოდენობასთან.

მსოფლიოში მიმდინარე ცვლილებები იწვევენ ფოტოქიმიური სმოგის პრეკურსორების ემისიის ძირითადი წყაროების გადანაცვლებას, რისი მაგალითიც არის ევროპული კოსმოსური სააგენტოს მიერ გამოქვეყნებული [97] ატმოსფეროში აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის (მოლექულა 1 სმ<sup>2</sup>-ზე) რუკა. ეს რუკა შედგენილია თანამგზავრ "Envisat"-ის მეშვეობით 2003 წლის იანვრიდან 2004 წლის ივლისამდე შესრულებული გაზომვების შედეგად. ყველაზე დაბინძურებული არეები აღმოჩნდა ევროპასა და აშშ-ში და ჩინეთის ჩრდილო-აღმოსავლეთი ნაწილები. NO<sub>2</sub>-ის მაქსიმალური კონცენტრაცია ატმოსფეროში გამოვლენილია პლანეტის უდიდესი ქალაქის, მეხიკოს და სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკის ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარე თბოელექტროსადგურების თავზე.

### 1.3 მიწისპირა ოზონის წინამორბედები

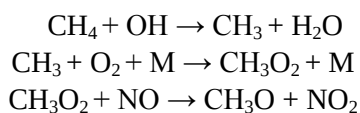
ოზონი ატმოსფეროში უმეტესწილად წარმოიქმნება როგორც ბუნებრივი, ასევე ანტროპოგენური ოზონწარმომქმნელი გაზების ემისიის შედეგად. მტკიცდება, რომ ანტროპოგენური ემისია ზრდის ტროპოსფერულ ოზონს ინდუსტრიალურისწინა პერიოდთან შედარებით. ყველაზე მნიშვნელოვანი ამ წინამორბედებიდან არის მეთანი, ნახშირბადის ჟანგი, აქროლადი ორგანული ნაერთები და აზოტის ჟანგეულები [41, 50, 58, 61, 62, 73, 74, 76, 77, 103, 114, 147].

#### მეთანი

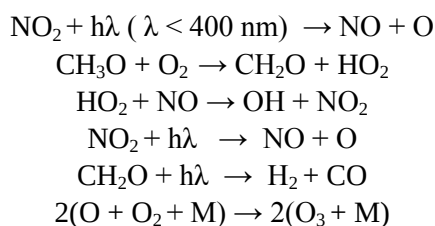
მეთანი წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ სათბურ გაზს. სხვა ნახშირწყალბადების მსგავსად, მეთანი NO<sub>x</sub> – ების არსებობის შემთხვევაში და ამის გამო ფოტოქიმიური სმოგის წარმოქმნისაკენ მიდის. მეთანის წლიური ემისია 600 ტგრ აღწევს წელიწადში. ამათგან 60%-ზე მეტი ანტროპოგენური წარმოშობისაა. ძირითადად ესენია წიაღისეული წარმოშობის საწვავი, აგროკულტურა და მცოხნავი პირუტყვი. მეთანის გლობალური რაოდენობა აღემატება 500 ტგრ და მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა 9 წელს შეადგენს [58].

მეთანი, როგორც სათბური გაზი, წარმოადგენს რადიაციის ინტენსივობის ფაქტორს. მეთანის დამატებითი ემისია იწვევს რადიაციის დონის არაპირდაპირ ცვლილებას და ამის შედეგად ოზონის წარმოქმნას, რომელსაც ადგილი აქვს NO<sub>x</sub>- ების არსებობისას.

დაკვირვებული დადებითი ტრენდის სიჩქარის ზრდა და ოზონის წლიდან წლამდე ცვლილება წარმოადგენს მეთანის OH რადიკალში გადასვლის ისტორიის შედეგს. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ მეთანის ჰაერში დაჟანგვის რეაქციები, რომლებსაც მივყავართ ოზონის წარმოქმნამდე [52]:





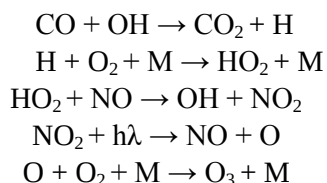


ეს მექანიზმი ადასტურებს ოზონის წარმოქმნის შესაძლებლობას აზოტის ჟანგეულებისა და ნახშირწყალბადების მონაწილეობით ფოტოქიმიური რეაქციების შედეგად (ჰიდროქსილის წყაროდ ატმოსფეროში შეიძლება იყოს წყლის, წყალბადის ზეგანგის, ფორმალდეჰიდის, აზოტმჟავას და სხვათა ფოტოლისოციაციის პროდუქტები).

### ნახშირჟანგი CO

ნახშირჟანგის ემისიის ძირითადი წყაროა ბიომასისა და წიაღისეული საწვავის წვის პროცესი. სხვა უმნიშვნელო წყაროებია ნახშირწყალბადების ჟანგეულები, ნაწილობრივ მეთანის და წარმოების აქტიურობა. ამის გამო ნახშირჟანგის შემცველობა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ორჯერ მეტია, ვიდრე სამხრეთში. სიცოცხლის ხანგრძლივობა დაახლოებით 1 - 2 თვეა, საერთო რაოდენობა შეფასებულია როგორც დაახლოებით 360 ტგრ [58] **CO** ხელს უწყობს ტროპოსფერული ოზონის გენერაციას. წარსულში **CO** – ს ზრდადი ტრენდი უკანასკნელ ათწლეულებში შეიცვალა უარყოფითით, ძირითადად ტრანსპორტზე წვის პროცესის კატალიტიკური დამასრულებლების მასიური გამოყენებით.

ოზონის **CO**-დან წარმოქმნის გამარტივებული რეაქციები მოყვანილია ქვევით:



აქ წარმოიქმნება არა მარტო ოზონი, არამედ ხდება ჰიდროქსილ **OH**-ის რეგენერაცია.

### აქროლადი ორგანული ნაერთები

ეს ნაერთები, რომლებსაც ასევე არამეთანურ ნახშირწყალბადებსაც უწოდებენ, ისევე როგორც მეთანი წარმოქმნიან ოზონს, თუ არის  $\text{NO}_x$  და მზის რადიაცია. გლობალურ მასშტაბში გადამწყვეტია ბუნებრივი წყაროები (იზოპრენი, ტერპენი და სხვა), თუმცა მძლავრი ანტროპოგენური წყაროების არსებობა (ბიომასის და წიაღისეული საწვავის წვა, ავტოტრანსპორტი) რომლებიც ლოკალური და რეგიონალური ემისიის წარმოქმნას უწყობენ ხელს, მიყვავართ შექმნილი ოზონის კონცენტრაციის მკვეთრ ზრდასთან.

დაკვირვებების მონაცემებიდან, 1950-დან 1980 წლამდე ოზონის რაოდენობა გაიზარდა, მაგრამ შემდეგ შეინიშნებოდა კლება, დაახლოებით  $-2.7\%$  წელიწადში, სადგურ იუნგფრაუს მონაცემებით, ანალოგიურად არიზონაში (აშშ) და ახალ

ზელანდიაში. 1990 წლიდან მცირდებოდა აგრეთვე პროპანის, N-ბუთანის, ტოლუოლის და ბენზოლის კონცენტრაცია სადგურ ვალდჰოფის (გერმანია) მონაცემებით 20-50%-ით 1993 - 2000 წლების განმავლობაში [61, 62, 103, 114]. საინტერესოა, რომ ამ ნახშირწყალბადების კონცენტრაციების სვლის მრუდი  $\text{NO}_2$ -ის კონცენტრაციის სვლის მრუდის ანალოგიურია.

### აზოტის ჟანგეულები $\text{NO}_x$

აზოტის ჟანგეულები ტროპოსფეროში ოზონის წარმოქმნის კატალიზებას ახდენენ. მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა იცვლება ერთიდან ათ დღემდე, ხოლო კონცენტრაცია რამდენიმე ppbv ერთეულიდან დაშორებულ ოკეანურ რეგიონებში ppbv – ს რამდენიმე ასეულ ერთეულამდე დაბინძურებულ ქალაქის რაიონებში. ოზონის მონიტორინგის გლობალური ექსპერიმენტიდან (GOME) მიღებულმა თანამგზავრულმა ინფორმაციამ აჩვენა  $\text{NO}_2$  – ის მაქსიმალური კონცენტრაცია ჩრდილოეთ ამერიკის, ევროპის და აზიის ინდუსტრიალური რაიონების თავზე [105].  $\text{NO}_x$  – ების მთავარ ანტროპოგენურ წყაროს წარმოადგენს წიაღისეული სათბობის წვა (დაახლოებით 33 ტგრ აზოტი წელიწადში), რომელთაგან დაახლოებით 40% სატრანსპორტო სექტორზე მოდის. ემისიამ და კონცენტრაციამ ევროპაში შემცირება დაიწყო 1990 წლიდან [103]. სამხრეთ აღმოსავლეთ აზიაში ამის საწინააღმდეგოდ ემისიამ და კონცენტრაციამ ზრდა დაიწყო 1980 წლიდან და ახლაც იზრდება, რაც იწვევს სათბური გაზების კონცენტრაციის გაზრდას ამ რეგიონში.

$\text{NO}_x$ - ების თანამედროვე დომინანტურ წყაროდ რჩება ბუნებრივი სათბობის წვა. მიუხედავად ამისა ანტროპოგენური ემისია  $\text{NO}_x$  – ების მთელი რაოდენობის 50%-ს არ აღემატება. თუმცა, აშშ-ს და ევროპის ზოგიერთ რეგიონში  $\text{NO}_x$  – ბის და აქროლადი ნახშირწყალბადების(მეთანის გარდა) ანტროპოგენური ემისია ძალიან გაიზარდა მეოცე საუკუნის განმავლობაში. აშშ-ში N – ის ემისია გაიზარდა 0.75 ტგრ-დან 1900 წელს 6 ტგრ-მდე 2000 წელს [50]. სადისკუსიო საკითხში  $\text{NO}_x$  – ების ტრენდის შესახებ სათბობის წვის შედეგად  $\text{NO}_x$  – ების მიწისპირა წყაროების გარდა საჭიროა შევითნოთ აგრეთვე ავიაციაც. ამერიკაში  $\text{NO}_x$ -ებების მიწისპირა ემისია 1970 წლიდან 1980 წლამდე გაიზარდა 20% ით, ხოლო დასავლეთ ევროპაში 27% ით, თუმცა რჩებოდა დაახლოებით მუდმივი 1990 წლისათვის. ემისია აშშ-ში, რომელიც იყო მუდმივი 1994 წლისათვის, შემცირდა 1995 წელს 9%-ით [50]. CORINAIR პროგრამის მონაცემების მიხედვით [41] გერმანიის აღმოსავლეთ ნაწილში (მიუერთდა გფრ-ს 1990 წელს) გამონაბოლქვის დაფიქსირებული მნიშვნელობა 1990 წლიდან 1994 წლამდე შემცირდა 8%-ით. სხვადასხვა ქვეყნებში ამ პერიოდისათვის იყო ტრენდების შემდეგი მნიშვნელობები – გერმანია - -25%, დიდი ბრიტანეთი - -14%, საფრანგეთი და ესპანეთი - +6%. ამავე დროს ემისია აშშ-ში რჩებოდა მუდმივი 6.3 ტგრ-ის დონეზე წელიწადში [50], რაც შეადგენდა წელიწადში 21 ტგრ N-ს სათბობის წვის გამო მსოფლიო ემისიის 30%-ს და 90%-ს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს დასავლეთ ნაწილისათვის.

## ავიაციის ემისია

ავიაცია წარმოადგენს ერთადერთ ანტროპოგენურ წყაროს პლანეტარულ სასაზღვრო ფენაში (თუ არ მივიღეთ მხედველობაში ბალისტიკური და კოსმოსური რაკეტების გაშვება) და მის მოქმედებას აქვს ისეთივე ეფექტი, როგორიც აქვს ხანმოკლე ატმოსფერულ  $\text{NO}_x$ -ებს. ავიაციის ემისიის მთავარი კომპონენტია -  $\text{CO}_2$  და  $\text{N}_2\text{O}$  - ნავთის წვის პროდუქტები. ავიაციის გლობალური ემისია შეადგენს დაახლოებით 0.56 ტგრ  $\text{N}$ -ს წელიწადში [59].

ცხრილი 1.2

### ოზონის წინამორბედების ემისია მსოფლიოში

| წყარო                             | $\text{CH}_4$ ტგრ/წ  | $\text{CO}$ ტგრ/წ      | NMHC ტგრ/წ            | $\text{NO}_2$ ტგრ/წ |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| ენერგეტიკა                        | 110 (65-155)         | 500 (300-900)          | 70 (60-100)           | 22 (20-24)          |
| ავიაცია                           |                      |                        |                       | 0.5 (0.2-1)         |
| ბიომასის წვა                      | 40 (10-70)           | 500 (400-700)          | 40 (30-90)            | 8 (3-13)            |
| ვეგეტაცია                         |                      | 100 (60-160)           | 400 (230-1150)        |                     |
| ნიადაგი                           |                      |                        |                       | 7 (5-12)            |
| ელქეტი                            |                      |                        |                       | 5 (2-20)            |
| მცოხნავი ცხოველები                | 85 (60-105)          |                        |                       |                     |
| ბრინჯის მოყვანა                   | 80 (30-120)          |                        |                       |                     |
| ცხოველების ნარჩენი                | 30 (15-45)           |                        |                       |                     |
| ნაგავსაყრელები                    | 40 (20-60)           |                        |                       |                     |
| $\text{NH}_3$ -ს დაჟანგვა         |                      |                        |                       | 0.9 (0-1.6)         |
| $\text{N}_2\text{O}$ -ს გადმოტანა |                      |                        |                       | 0.6 (0.4-1)         |
| ბინძური წყლები                    | 25 (20-30)           |                        |                       |                     |
| ჭაობები                           | 145 (115-175)        |                        |                       |                     |
| ოკეანეები                         | 10 (5-15)            | 50 (20-200)            | 50 (20-150)           |                     |
| მტნარი წყლები                     | 5 (1-10)             |                        |                       |                     |
| $\text{CH}_4$ -ის ჰიდრატები       | 10 (5-15)            |                        |                       |                     |
| ტერმიტები                         | 20 (1-40)            |                        |                       |                     |
| ჯამი                              | <b>600</b> (520-680) | <b>1150</b> (780-1960) | <b>560</b> (340-1490) | <b>44</b> (30-73)   |

თვითმფრინავების მიერ  $\text{NO}_x$  - ების ემისია განუწყვეტლივ იზრდებოდა 1970 წლებიდან. თუ 1976 წელს ავიაციის ემისია შეადგენდა 0.3 ტგრ  $\text{N}$ -ს წელიწადში, უკვე 1984 წლისათვის ის შეადგენდა 0.39 ტგრ-ს წელიწადში, ხოლო 1992 წელს 0.51 ტგრ-ს წელიწადში. პროგნოზებით, 2015 წლისათვის ემისია გაიზრდება 1.26 ტგრ-მდე წელიწადში.  $\text{NO}_x$  - ების ემისია ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ძირითადად წარმოებს 9-დან 13 კმ-მდე სიმაღლეზე [59, 59, 60].

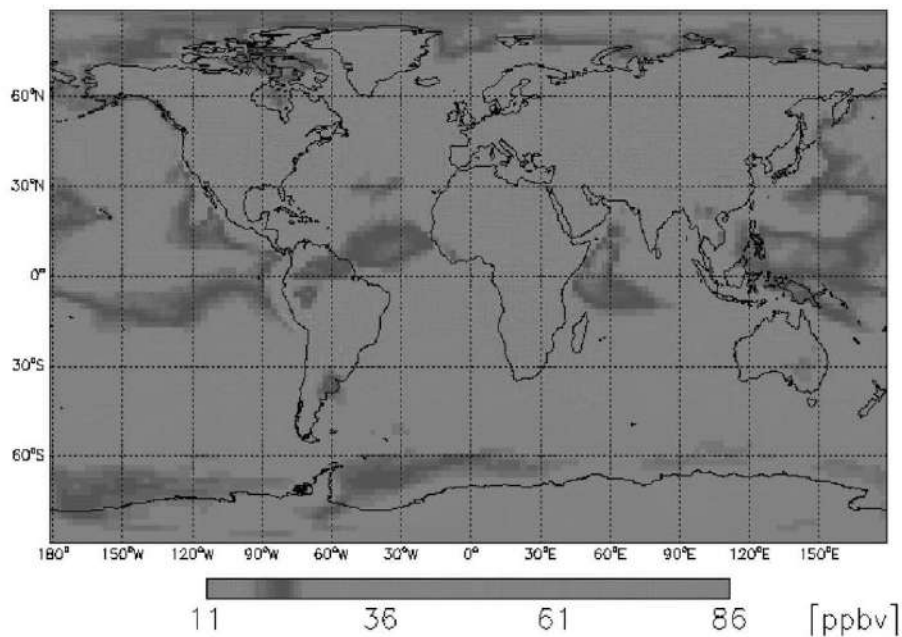
ბალისტიკური და კოსმოსური რაკეტების გაშვების რაოდენობის, აგრეთვე საწვავისა და დამჟანგველების რაოდენობისა და შემადგენლობის შესახებ

ინფორმაციის დახურულობა არ იძლევა ატმოსფეროს მთელ ფენაში ანტროპოგენური დაბინძურების ემისიის წვლილის შეფასების შესაძლებლობას.

ცხრილ 1.2-ში მოყვანილია მონაცემები [115] მსოფლიოში ოზონის წინამორბედების ემისიის შესახებ 1998 წლის მაგალითზე. აქ ტგ/წ – ტერაგრამი წელიწადში; **NMHC** არამეთანური ნახშირწყალბადები.

#### 1.4 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და ფოტოქიმიური სმოგის სივრცულ-დროითი მახასიათებლები

დაბინძურება ოზონით წარმოადგენს საშიშროებას ზაფხულის თვეების განმავლობაში, რადგანაც ინტენსიური მზის გამოსხივება და ცხელი ამინდი ხელს უწყობს ჰაერში, რომლითაც ჩვენ ვსუნთქავთ, ოზონის მავნე კონცენტრაციების წარმოქმნას [75, 152, 174, 179]. რიგ ეკონომიკურად განვითარებულ ქვეყნებში ბევრი ქალაქის და გარეუბნების რაიონებში მოკ-ის მაღალი დონეებია. მაგრამ ბევრი სოფლის ადგილებიც აგრეთვე განიცდის ოზონის მაღალი კონცენტრაციების ზემოქმედებას, ვინაიდან ქარებს ასეული კილომეტრებით გადააქვთ დაბინძურებები მათი წყაროებიდან [216].



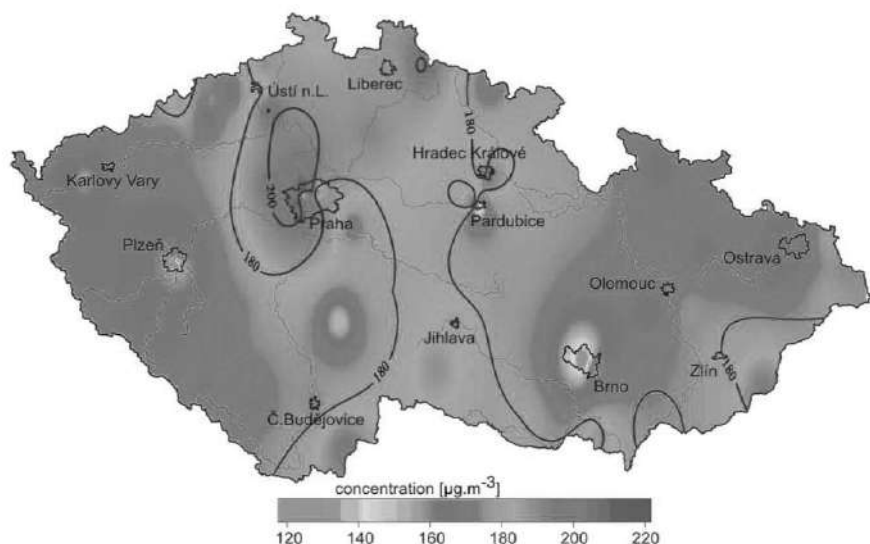
ნახ. 1.1

მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის გლობალური განაწილების მაგალითი.

$$1 \text{ ppbv} = 2.14 \text{ მკგ/მ}^3$$

ნახ. 1.1-ში მოყვანილია მოკ-ის გლობალური განაწილების მაგალითი [242]. მოკ-ის მაღალი მნიშვნელობები (180 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე) დაიმზირება 30-40<sup>ა</sup> ჩრდ. განედებს შორის., ევროპის დიდ ნაწილზე, მთელი არაბეთის ნახევარკუნძულზე, აფრიკის სამხრეთ ნაწილზე, ჩინეთის ჩრდილო აღმოსავლეთში.

ზოგ შემთხვევაში მოკ-ის მაღალი კონცენტრაციები დაიკვირვება საკმაოდ დიდ ტერიტორიებზე. ასე, მაგალითად, აშშ - ს ტერიტორიაზე სმოგური მოკ -ის მნიშვნელობა საშუალოდ 150-260 მკგ/მ<sup>3</sup> - ის ფარგლებშია, ამასთანავე სამხრეთ შტატებში მოკ-ის მნიშვნელობა უფრო მაღალია, ვიდრე ჩრდილოეთ შტატებში [210]. 1995 წ. 1 აგვისტოს 160 და 260 მკგ/მ<sup>3</sup> -ზე მეტი მოკ - ის მნიშვნელობები იყო დასავლეთ ევროპის მთელ ტერიტორიაზე ( პორტუგალია, ინგლისი, გერმანია, ავსტრია, საბერძნეთი და სხვ.) [215]. 21.07.2006 წ. მთლიანად ჩეხეთის ტერიტორიაზე მოკ - ის მაღალი მნიშვნელობები (140 მკგ/მ<sup>3</sup> და მეტი) იყო. ყველაზე დიდი კონცენტრაციები (200 მკგ/მ<sup>3</sup> - ზე მეტი) პრაღის რაიონში, ლიბერეცის აღმოსავლეთით და სხვ. ადგილებში დაიკვირვებოდა (ნახ. 1.2) [209].



Spatial distribution of maximum hourly concentrations of ground-level ozone on the territory of the Czech Republic, 21.7.2006

ნახ. 1.2

მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის განაწილება ჩეხეთში 21.07.2006.

მე-XIX საუკუნის ბოლოს ჩატარებულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ მოკ-ი წელიწადში 11 - 22 მკგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებში მერყეობდა [88]. მიწისპირა ოზონი იცვლება სივრცეში და დროში [30, 41, 50, 87, 89, 91, 116, 161, 176, 183]. ასე მაგალითად, ევროპაში მოკ-ის გრადიენტი ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის

მიმართულებით იცვლება [96]. აშშ-ი მოკ-ის გრადიენტი ანალოგიურად დაიკვირვება [78, 82]. ევროპაში მოკ-ის ფონური მნიშვნელობები [101] თანახმად, კონტინენტზე (ცენტრალურ ევროპაში)  $40 - 60 \text{ მკგ/მ}^3$ , ხოლო დასავლეთ სანაპიროზე  $79 \text{ მკგ/მ}^3$  შეადგენენ. მაკედონი (ირლანდიის ჩრდილო-დასავლეთი) [101] და ევროპულ ალპებში (აროზა, 1840 მეტრი ზღვის დონიდან) [89] დაუბინძურებულ ჰაერში დაიკვირვებოდა მნიშვნელობა  $75 \text{ მკგ/მ}^3$ . მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ფონური მნიშვნელობა ქვედა თავისუფალ ტროპოსფეროში კონტინენტალურ ევროპის თავზე (მთა იუნგფრაუ, 3580 მეტრი ზღვის დონიდან)  $86 \text{ მკგ/მ}^3$  აღწევს. ხმელთაშუა ზღვის რეგიონში ფონური მნიშვნელობა აღწევს  $130 \text{ მკგ/მ}^3$ , ხოლო განსაკუთრებით დაბინძურებულ ადგილებში იგი ხშირად აჭარბებს ამ მნიშვნელობას. იცვლება არა მხოლოდ ოზონის კონცენტრაცია, არამედ მისი სეზონური ციკლიც [98].

მოკ-ზე დაკვირვების მონაცემები მიუთითებენ იმაზე, რომ ევროპაში მე-XX საუკუნეში მოხდა მისი ზრდა ორი ხარისხით [58]. ოზონის მე-XIX საუკუნის ჩანაწერების რაოდენობა მწირია, ამიტომ დოკუმენტები ქვედა ტროპოსფეროში მის დადებით ტრენდზე ეყრდნობიან ისტორიულ მონაცემებს და პარიზის ობსერვატორიის რაოდენობრივ ჩანაწერებს.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში მიწისპირა ოზონის პირველი საკმარისად წარმომადგენლობითი დაკვირვებები 1970-ი წლების დასაწყისში ა.ს. ბრიტანეთმა ჯერ ქ. დოლგოპრუდნიში (ცაო) ჩაატარა, ხოლო შემდგომ მოსკოვის ცენტრალურ ჰიდრომეტეოსადგურში გ.პ. ფარაპონოვასთან ერთად გააგრძელა. მოსკოვში მიწისპირა ოზონის დღე-ღამური და სეზონური ცვლილებები იყო შეფასებული. 1970-ანი წლების მეორე ნახევარში დაკვირვებები მოძრავი პლატფორმებიდან (გემები და თვითფრინავები) დაიწყო. მაგრამ პირველი რეგულარული დაკვირვებები, რომლებიც ამჟამად გრძელდება, დაიწყო საქართველოში (თბილისი) და ლიტვაში, ბალტიის ზღვის სანაპიროზე, 1980 წლების დასაწყისში [136, 174].

მიწისპირა ოზონის რეგულარული გაზომვები ქ. კისლოვოდსკის მახლობლად რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის ატმოსფეროს ფიზიკის ინსტიტუტის მაღალმთიან სადგურში, ხოლო 1990 წლების დასაწყისიდან – ქ. დოლგოპრუდნიში (ცაო), ქ. ტომსკში (ატმოსფეროს ოპტიკის ინსტიტუტი), ფონური მონიტორინგის ქსელის სადგურებზე (ИГКЭ) დაიწყო. 1990 წლიდან რეგულარული დაკვირვებები დაიწყო კოლის ნახევარკუნძულზე პოლარული გეოფიზიკის ინსტიტუტის ბაზაზე დაბა ლოვოზეროში და სულ ცოტა ხნის წინათ – ბაიკალის ტბის რაიონში. 1995 წლიდან პრაქტიკულად ყოველწლიურად მარშრუტებზე მოსკოვი – ხაბაროვსკი და მურმანსკი – კისლოვოდსკი სპეციალურად მომზადებული ვაგონით, რომელიც აღჭურვილია ატმოსფეროს ბევრი მცირე მინარევების (მათ შორის ოზონის) და სხვადასხვა მეტეოპარამეტრების (მათ შორის უნიკალური) გამზომი აპარატურის დიდი რაოდენობით, ტარდება სარკინიგზო ექსპედიციები “ტროიკა”. გამოკვლევის შედეგები პირველ რიგში მიწისპირა ოზონზე მეტეოროლოგიური ფაქტორების გავლენის მნიშვნელობის შესახებ მეტყველებენ. მომავლისთვის ყველაზე აქტუალურ ამოცანებს შორის მონიტორინგის ქსელის გაფართოება და ევროპის ქვეყნებში მიღებულ დონეზე მათი მეტეოროლოგიური უზრუნველყოფა იყო დასახელებული [99, 123, 128, 143, 151, 160].

ქალაქ კისლოვოდსკში დაკვირვებული მოკ-ის ფართო ზაფხულის მაქსიმუმის მქონე სეზონური სვლა კონტინენტალურ სადგურებისთვის არის დამახასიათებელი და უმთავრესად ფოტოქიმიური წარმოშობა გააჩნია. ქალაქ კისლოვოდსკში მიწისპირა ოზონის სეზონური სვლის ამპლიტუდა 54 მკგ/მ<sup>3</sup> შეადგენს. მაქსიმალური ზაფხულის მნიშვნელობა ივნის-ივლისში დაახლოებით 88 მკგ/მ<sup>3</sup>, ხოლო მინიმალური – 34 მკგ/მ<sup>3</sup>, ნოემბერ-დეკემბერში დაიკვირვებოდა [99, 123, 129, 159-161].

ანალოგიური სეზონური სვლა აგრეთვე შეერთებული შტატების ჩრდილოეთით დაიკვირვება [85]. ოზონის სეზონური ვარიაციების დაკვირვების მონაცემების მიხედვით დაფიქსირებული ტრენდი უკანასკნელ ათწლეულების განმავლობაში NO<sub>x</sub> ემისიის შემცირებას შეესაბამება.

გაზომვებმა კასაბლანკაში (ჩ.გ. 26°, 50 მეტრი ზღვის დონიდან) აჩვენა, რომ მაუნა ლონასგან განსხვავებით (ჩ.გ. 19°), სადაც მაქსიმუმი (70 მკგ/მ<sup>3</sup>) აპრილ-მაისზე, ხოლო მინიმუმი (30 მკგ/მ<sup>3</sup>) ნოემბერ-იანვარზე მოდის, აქ მაქსიმუმი იანვარ-მარტში (160 მკგ/მ<sup>3</sup>-დე), ხოლო მინიმუმი – მაის-ივნისში (17-27 მკგ/მ<sup>3</sup>) აღინიშნება. უნდა შევნიშნოთ, რომ კუბაზე როგორც უფრო მაღალი განედების, ასევე ტროპიკული და სუბტროპიკულტ ზონების მიმართ ადგილი აქვს მაქსიმუმის დაყოვნებას. მაქსიმალური მნიშვნელობა ჩვეულებრივ დაკავშირებულია “შშრალ პერიოდთან”, როდესაც ზომიერ განედებიდან იწყება კუნძულზე ცივი ჰაერის შემოდინება, რაც ცივი ფრონტის ზურგში ჰაერის ტემპერატურის 3-6 C° დაწევას, ხოლო მოკ-ის მნიშვნელობის 270 მკგ/მ<sup>3</sup> გაზრდას იწვევს. უნდა აღინიშნოს, რომ მახლობლად განლაგებული ჰავანას დაჭუჭყიანებული ატმოსფეროს არსებობა შტილის ან სამხრეთის ქარის დროს ფოტოქიმიური პროცესების გამო შესაძლოა 60 – 150 მკგ/მ<sup>3</sup> მოკ-ის ზრდა გამოიწვიოს. მოკ-ის დღეღამური ცვალებადობა 0-150 მკგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებშია. ხშირია შემთხვევები, როდესაც მოკ-ი ნულის ტოლია – ეკვატორიალური ზონის დაბალი წნევის გავლენა გამომჟღავნდება განსაკუთრებით ზაფხულში, ტენიანი ტროპიკული ჰაერის მასების შემოჭრის ფორმით [117].

ბულგარეთში 1750 მეტრის სიმაღლეზე განლაგებულ ეკოლოგიურად სუფთა რაიონში ელექტროქიმიური ოზონომეტრით ჩატარებულმა გაზომვებმა შემდეგი შედეგი მოიტანა: მიწისპირა ოზონის საშუალო დღეღამური კონცენტრაცია 60 მკგ/მ<sup>3</sup>-ის ტოლია, ე.ი უფრო მაღალია, ვიდრე დაბლობზე, რაც ატმოსფეროში ბუნებრივი ვერტიკალური განაწილებით არის განპირობებული. დღეღამის განმავლობაში ოზონის კონცენტრაციის ცვალებადობის მცირე ამპლიტუდა და ღამის საათებში მისი მაღალი დონეები დაიკვირვებოდა [135].

ყოფილ საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში, ისევე როგორც დასავლეთის ინდუსტრიალურ ქვეყნებში, ფოტოქიმიური სმოგური მოვლენები და მიწისპირა ოზონის მაღალი კონცენტრაციები ინსტრუმენტალურად იყო დაფიქსირებული რამდენიმე ათეული წლის წინათაც. 1983-1987 წლებში ლენინგრადში, ალმა-ატაში, პეტროდვორეცში და რილსკში “Dasibi”-ს ტიპის ოზონომეტრებით მოკ-ის გაზომვები ჩატარდა. მოკ-ის დღეღამური ვარიაციების ყველაზე დიდი მნიშვნელობები აღინიშნა ზაფხულში ალმა-ატაში და ლენინგრადში. ალმა-ატაში დილით ოზონი თითქმის მთლიანად მოსპობილია, ხოლო დღისით, დაახლოებით 14 საათზე, ანომალურად მაღალი – 323 მკგ/მ<sup>3</sup> მნიშვნელობები დაიკვირვება. ლენინგრადისთვის მოკ-ის მკვეთრი ნახტომებია დამახასიათებელი, რაც დაჭუჭყიანების სხვადასხვა ხარისხის

მქონე ჰაერის მასების გადაადგილებით არის განპირობებული. სუფთა არასაწარმოო პეტროდვორეცში და რილსკში მოკ-ი სოფლის რაიონების მსგავსია [144]

1978-1985 წლებში ECC-005 (აშშ) ტიპის ელექტროქიმიური ოზონომეტრით ვოიკოვოში ოზონის გაზომვები ჩატარდა. შედეგები – მოკ-ის საშუალო მნიშვნელობა მთელი პერიოდისთვის –  $32.6 \text{ მკგ/მ}^3$ , აბსოლუტური მინიმუმი –  $2 \text{ მკგ/მ}^3$ , აბსოლუტური მაქსიმუმი –  $124 \text{ მკგ/მ}^3$ . მოკ-ის მაღალი მნიშვნელობები აპრილ-აგვისტოს პერიოდში, ამასთან მაქსიმალური მნიშვნელობა 15-18 საათის პერიოდში, მზის რადიაციის მაქსიმუმიდან რამდენიმე საათის დაგვიანებით დაიკვირვებოდა.

მოკ-ის მნიშვნელობის მაქსიმალური დღედამური ცვალებადობა გაზაფხულ-ზამთრის პერიოდში დაიკვირვება, შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში ცვალებადობა ან უმნიშვნელოა, ან საერთოდ არ არის [134].

ლენინგრადსა და კარადაგში (ყირიმი) მცირე ინერციის მქონე Dasibi (მოდელი 1003 AH) ტიპის ოზონომეტრით ჩატარებულმა მოკ-ის გაზომვებმა კერძოდ აჩვენა, რომ ოზონის შემცველობის მინიმუმი ყოველთვის აეროზოლის მსხვილდისპერსულ ფრაქციას ( $2 \text{ მკმ}$  მეტი დიამეტრით) შეესაბამება; ოზონის მაქსიმუმს თან ახლავს წვრილდისპერსული ( $0.5 \text{ მკმ-ზე}$  ნაკლები) აეროზოლების მინიმალური კონცენტრაცია [132].

გამოყენებითი გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლებმა შეისწავლეს ქალაქებში ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების ფოტოქიმიური ტიპი, რომელიც წარმოადგენს ოზონის დამატებით წყაროს როგორც უშუალოდ ქალაქების, ასევე “სუფთა” რაიონების მიწისპირა ატმოსფეროში დაჭუჭყიანებული ჰაერის მასების გადატანის შედეგად. გაზომვები ტარდებოდა ერევანში (1976), ალმა-ატაში (1979, შემოდგომა), ბაქოში (1980, ოქტომბერი) და თბილისში (ორთვიანი სერიები 1977 და 1981 წლებში).

თბილისში 1977 წლის ზაფხულში ჩატარებულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ ოზონის კონცენტრაცია  $160 \text{ მკგ/მ}^3$  არ აღემატებოდა [155]. იგივე 1977 წლის მონაცემებით, ავტორებმა აჩვენეს [154], რომ ერევანში და თბილისში ოზონის დღის მაქსიმუმები აზოტის ჟანგების ჯამის დილის კონცენტრაციებთან ( $R = 0.49, \alpha < 0.01$ ) და განსაკუთრებით აზოტის ჟანგისა ( $R = 0.55, \alpha < 0.001$ ), და აგრეთვე რეაქციისუნარიანი ნახშირწყალბადების ჯამის დილის კონცენტრაციებთან ( $R = 0.52, \alpha < 0.01$ ) იყო დაკავშირებული.

მთლიანობაში ოზონის ანტროპოგენური წინამორბედების ემისიის შედეგად გარკვეულ რეგიონებში ტროპოსფერული ოზონი გაიზარდა და უწყვეტად აგრძელებს ზრდას. ტროპოსფერული ოზონი ზრდის მზის რადიაციის და დედამიწის გამოსხივების შთანთქმას, ვინაიდან რადიაციის ინტენსივობის ზრდასთან ერთად აგრეთვე ოზონის კონცენტრაციაც იზრდება. ოზონის მაღალი კონცენტრაციის არსებობისას მისი დროში მკვეთრი ცვალებადობის გამო საკმაოდ ძნელია რადიაციის ინტენსივობის ცვალებადობის და კლიმატური ეფექტების რაოდენობრივი შეფასება.

ინგლისში, საქართველოში (თბილისი) და კანადაში [182, 211, 231] მოკ-ის ცვალებადობის მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ მნიშვნელოვანი ზრდა განიცადა  $100 \text{ მკგ/მ}^3$ -ზე მეტი მოკ - ის მქონე დღეების რაოდენობამ ინგლისის ურბანიზებულ რაიონებში. კანადაში 1990-2006 წ. საშუალოდ 74 სადგურის მიხედვით მოკ-ი იცვლებოდა 75-დან  $81 \text{ მკგ/მ}^3$ -მდე.



1970 წლიდან დაწყებული ტროპოსფერული ოზონის ცვალებადობის თანამედროვე მოდელების უმეტესობას თავის საფუძველში უდევთ ავიაციის ემისია [58, 59, 60]. ოზონზე ავიაციის გავლენის მოსალოდნელი ეფექტი უმნიშვნელოა, ზედა ტროპოსფეროში ოზონის რამდენიმე ppbv-თი (~5%) ზრდას წელიწადში ავიაციისგან დაახლოებით 0.5 ტერაგრამი აზოტი ესაჭიროება. მაგრამ 1976-დან 1992 წლამდე ზემო ტროპოსფეროში ემისიის ზრდამ ავიაციისაგან დაახლოებით ათწლეულში 2 % შეადგინა. მაგრამ ვროპაში დაკვირვებულ ტრენდთან შედარებით, რომელიც 1976-1996 წლების პერიოდში საშუალოდ ათწლეულში 5-25% შეადგენდა, ეს უმნიშვნელო სიდიდეა, ეს კი სრულებით არ შეესაბამება იაპონიის და ჩრდილოეთ ამერიკის აღმოსავლეთ ნაწილის თავზე ზედა ტროპოსფეროში დაკვირვებულ ზრდას და ოზონის ბუნებრივ ვარიაციებს შეესაბამება.

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ზოგიერთი რაიონებისათვის როდია დიდი სიურპრიზი ის გარემოება, რომ 1980 წლიდან დაკვირვებული  $\text{NO}_x$  მიწისპირა ემისია შედარებით მცირეა, ასევე შედარებით მცირეა ავიაციის ემისიის მოსალოდნელი ეფექტი, ხოლო 1980 წლიდან ოზონის დიდი ტრენდი არ ფიქსირდება. ტრენდის ზოგი თვისება ძნელად ასახსნელია, კერძოდ, 1960 წლის ბოლოდან ევროპაში ოზონის სიდიდის გაზრდა, შემცირება კანადის თავზე და მცირე ზრდა იაპონიის თავზე. 1970 წლიდან 1980-ის შუამდე ოზონის რაოდენობა ევროპაში გაიზარდა 30%-ით. ოზონის ზრდა მეტია, ვიდრე  $\text{NO}_x$  ემისიის ზრდა [77]. სამგანზომილებიანი მოდელირება არავის ჩაუტარებია, მაგრამ ის მოდელები, რომლებიც იკვლევენ სასაზღვრო ფენას ჩრდილოეთ ამერიკის თავზე, ითვალისწინებენ, რომ ოზონის ზრდას უკუკავშირი აქვს  $\text{NO}_x$  ემისიის ერთ მესამედთან [63]. ევროპის თავზე დაკვირვებული ცვლილებები არ ფიქსირდება აშშ-ს თავზე, მაგრამ იმავე დროს აღინიშნება ზრდა იაპონიის თავზე, თუმცა მონაცემები იშვიათია.

რაც შეეხება საქართველოს, 1980 – 1997 წლების პერიოდში თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის არსებითი ზრდა დაიკვირვებოდა აეროზოლების წონითი კონცენტრაციის ერთდროული შემცირებისას [9, 183].

ფოტოქიმიური სმოგი თავს იჩენს რეგიონულად და ლოკალურად. ის ჩნდება იმისდა მიხედვით, თუ როგორია რელიეფი, ატმოსფეროს ანთროპოგენული დაბინძურების რაოდენობა და ხასიათი, ჰაერის ცვლა და სხივური ენერგიის მოდინება, რომელიც საჭიროა ქიმიური რეაქციებისთვის და სხვა რეგიონული თუ ლოკალური თავისებურებები. ქალაქის პირობებში ის თავს უკიდურესად მოზაიკურად ავლენს და ხშირად მეგაპოლისებში ერთ ქუჩაზეც კი არ არის ერთიანი სურათი. რადგანაც ის რეგიონულ და ლოკალურ მოვლენას წარმოადგენს, ფოტოქიმიური სმოგი დამოკიდებულია არა მარტო ადგილზე, არამედ დროზეც.

### 1.5 ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის ზემოქმედება ადამიანსა და მის საარსებო გარემოზე

ფოტოქიმიური სმოგი და მიწისპირა ოზონი უკიდურესად უარყოფით ზეგავლენას ახდენს როგორც ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ასევე მთლიანად მის საარსებო გარემოზე. ოზონი, როგორც ძლიერი მჟანგველი, აზიანებს სამშენებლო მასალებს, ავტომანქანების რეზინის დეტალებს, მცენარეებს და ა.შ. კერძოდ,

უარესდება ახალშენი ნერგების გადარჩენა, ზიანდება ფოთლები და მცირდება მცენარეების დაავადებებისადმი მდგრადობა [3, 27, 42, 66, 86, 94, 118, 180, 216].

ქვემოთ მოყვანილია სმოგის ძირითადი კომპონენტები, რომლებიც მავნეა ადამიანის ორგანიზმისათვის.

**ნახშირწყალბადები:** წარმოიქმნებიან სათბობის არასრული წვის დროს. ავტოტრანსპორტი პასუხისმგებელია ინდუსტრიულად განვითარებულ ქვეყნებში გამოყოფილი ნახშირწყალბადების დაახლოებით 39%–ზე. ბენზინის ძრავები გამოყოფენ უფრო მეტ ნახშირწყალბადებს, ვიდრე ანალოგიური დიზელის ძრავები.

ერთ–ერთ ყველაზე საშიშ ნახშირწყალბადად ითვლება ბენზოპირენი. ის ბუნებრივად გვხვდება ნედლ ნავთობში. ბენზოპირენის მაღალი კონცენტრაციები დაიკვირვება ქალაქის მაგისტრალზე და აგრეთვე ბენზინგასამართი სადგურების სიახლოვეს. დამტკიცებულია, რომ ბენზოპირენი წარმოადგენს ძლიერ კანცეროგენს, კერძოდ, იწვევს ლეიკემიას, თანდაყოლილ სიმსხინჯეებს. ბენზოპირენისთვის არ არსებობს ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციები. ის წარმოადგენს საშიშროებას ჯანმრთელობისათვის ნებისმიერი რაოდენობით. რეალურ საშიშროებას წარმოადგენს სათამაშო მოედნების ქვიშისა და გაზონების ნიადაგის დაბინძურება ბენზოპირენით. ტოქსიკური ნივთიერებების ბავშვის ორგანიზმში შეღწევა წარმოებს პირიდან ჭუჭყიანი ხელებითა და სათამაშოებით. ზოგიერთი შეფასებით, ჭუჭყიან ხელებზე მოდის ბავშვის ორგანიზმში ტოქსიკური ნივთიერებების დღეღამური შეღწევის 63%–ზე მეტი [214].

**მხუთავი გაზი (CO).** ავტომობილები – მხუთავი გაზის ძირითადი წყაროა. მხუთავი გაზი – ერთ–ერთი ყველაზე ტოქსიკური ნაერთია, რომელიც ნეგატიურად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ის მოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე, ამცირებს რა სისხლის გაჯერებას ჟანგბადით და ამით ასუსტებს შეგრძნებებს, იწვევს რეფლექსის შენელებას და ძილიანობას. ეს ზრდის თავის ტკივილის სიხშირეს და ნეგატიურად აისახება ნერვულ სისტემაზე და აგრეთვე გულზე და სისხლის მიმოქცევაზე. დიდი დოზებით – სასიკვდილოა.

**აზოტის ჟანგეულები (NO და NO<sub>2</sub>).** აზოტის ორჟანგი უარყოფითად მოქმედებს როგორც ადამიანზე, ასევე მცენარეებზე. აფერხებს მარცვლეულების ზრდასა და იწვევს მათ დაზიანებას. ადამიანებში იწვევს სასუნთქი გზების დაავადებებს, ნეგატიურად მოქმედებს ფილტვების ფუნქციებზე, ადიდება ვირუსული დაავადებების ალბათობას. აზოტის ჟანგი და აზოტის ორჟანგი ძირითად როლს თამაშობენ მჟავე წვიმების ფორმირებაში (ევროპაში ისინი ქმნიან მჟავე ნალექების 50%–მდე). მჟავე წვიმებმა გამოიწვია ტყის დიდი მასივების გახმობა ჩრდილოეთ ევროპაში. ისინი წარმოადგენენ აგრეთვე ნიადაგის ფლორის ცვლილების მიზეზს – ხდება აზოტის მოყვარული სახეობების განვითარება სხვა სახეობების სანაცვლოდ და მიკროფლორის განვითარება ზღვებსა და ტბებში, რაც ჟანგბადის ნაკლებობას იწვევს წყალში და დამლუპველად მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე. ინდუსტრიულად განვითარებულ ქვეყნებში 47% აზოტის ჟანგისა ატმოსფეროში – ავტომობილების გამონაბოლქვია. ეპიდემიოლოგიურმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ასთმით დაავადებული ბავშვების ბრონქიტის სიმპტომები NO<sub>2</sub> – ის ხანგრძლივად ზემოქმედების შედეგად ღრმავდება. ფილტვების ფუნქციის შესუსტებას ასევე უკავშირებენ NO<sub>2</sub>– ის ზემოქმედებას იმ

კონცენტრაციებისას, რომელიც რეგისტრირებულია (ან დაიკვირვება) ამჟამად ევროპისა და ჩრდილო ამერიკის ქალაქებში [1, 2, 214, 241].

მიწისპირა ოზონი. ატმოსფეროს ზედა ფენებში ოზონი არსებობს ბუნებრივად (ოზონის ფენა), და ეს ის უპირატესობაა, რაც იცავს დედამიწას ულტრაიისფერი გამოსხივებისაგან. ტროპოსფეროს ქვედა ფენებში ოზონი წარმოადგენს დამაბინძურებელს. ის მავნებელია ადამიანის ჯანმრთელობისათვის, ბუნებისათვის, ბუნებრივი და ხელოვნური სამშენებლო მასალებისათვის. მიწისპირა ოზონის ფორმირება – არაპირდაპირი შედეგია დაბინძურებისა, რომელიც გამოწვეულია მანქანებით. ის ჩნდება როგორც ფოტოქიმიური რეაქციის შედეგი, რომელშიც მონაწილეობენ ავტომობილების მიერ გამოყოფილი აზოტის ოქსიდები და ნახშირწყალბადები. ოზონი – ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი შემადგენელია ფოტოქიმიური სმოგისა, რომელიც იწვევს თვალის დაავადებებს, თავის ტკივილს, ფილტვების დაავადებებს და სხვა. ნეგატიურ ზემოქმედებას განსაკუთრებით ექვემდებარებიან ასთმით დაავადებულნი და ბავშვები. ერთხელ ათენში ამგვარი ტიპის სმოგმა მოკლა 8 ადამიანი, სხვა 200 კი საავადმყოფოებში მოხვდა. ტროპოსფერული (მიწისპირა) ოზონის რაოდენობა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში გაორმაგდა, წინა ასწლეულთან შედარებით.

**გოგირდის ნაერთები ( $\text{SO}$ ,  $\text{SO}_2$  და სხვები).** იწვევენ ნიადაგისა და წყლების მჟავიანობის გაზრდას, უარყოფითად მოქმედებენ ადამიანის ჯანმრთელობასა და ბუნებრივ გარემოზე.  $\text{SO}_2$ -ს შეუძლია სასუნთქ სისტემაზე და ფილტვების ფუნქციაზე ზემოქმედება და თვალის გაღიზიანების გამოწვევა. სასუნთქი გზების ანთებას მივყავართ ხველებასთან, ლორწოს სეკრეციასთან, ასთმის გამწვავებასთან და ქრონიკული ბრონქიტის განვითარებასთან, აგრეთვე ადამიანების მოწყვლადობის გადიდებასთან სასუნთქი გზების ინფექციების მიმართ.  $\text{SO}_2$  – ის მაღალი დონის კონცენტრაციების დღეებში მატულობს ჰოსპიტალიზაციის შემთხვევები გულის დაავადებებით და სიკვდილიანობა.  $\text{SO}_2$  – ის შეერთებით წყალთან წარმოიქმნება გოგირდმჟავა, რომელიც არის ტყეების გაქრობის მიზეზი და მჟავე წვიმების ძირითადი კომპონენტი [1, 2, 214, 241].

**ალდეჰიდები.** ნივთიერებათა ჯგუფი, რომელიც ჩნდება მანქანების გამონაბოლქვებში საწვავის არასრული წვის დროს. ჩვეულებრივ მათ აქვთ მძაფრი სუნი და პასუხისმგებლები არიან ამ სუნის ძირითად ნაწილზე, რომელიც ასოცირდება საგზაო მოძრაობასთან. ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული – ფორმალდეჰიდი – იწვევს თვალის და ცხვირხახას გაღიზიანებას, სურდოს, ხველებას, სუნთქვის გაძნელებას, ბავშვები მის მიმართ განსაკუთრებით მგრძნობიარეები არიან. არის მტკიცებულებები, რომლებიც ადასტურებენ ფორმალდეჰიდის კანცეროგენობას ცხოველებისათვის, თუმცა ამჟამად ეს არ დასტურდება სარწმუნოდ ადამიანებისათვის. დიზელის ძრავები გამოტყორცნიან უფრო მეტ ალდეჰიდებს, ვიდრე ბენზინის ძრავები. ყველაზე ცუდები არიან ძრავები მეთანოლზე. საშუალოდ, მანქანები მეთანოლზე გამოისვრიან 2-6 ჯერ მეტ ალდეჰიდს, ვიდრე ბენზინის ძრავები.

**მური.** ეს ძირითადად ნახშირის პატარა ნაწილაკებია, რომლებზედაც აბსორბირდება პოტენციურად საშიში ნივთიერებები (კერძოდ, პოლიარომატული ნახშირწყალბადები, რომლებიც იწვევენ კიბოს). ნაწილაკები საკმაოდ პატარებია, რის

გამოც სუნთქვისას ღრმად აღწევენ ფილტვებში. დიზელის მოტორები უფრო მეტი ნაწილაკის პროდუცირებას ახდენენ, ვიდრე ბენზინისა. ამ ნაწილაკებს ჰაერში შეუძლიათ ისეთი რესპირატორული დაავადებების გამწვავება, როგორებიცაა ბრონქიტი და ასთმა.

**მყარი ნაწილაკები 10 მკმ-ზე (PM10) და 2.5 მკმ-ზე (PM2.5) ნაკლები აეროდინამიკური დიამეტრით.** მეორე ზომის ნაწილაკები გაცილებით სახიფათოა ჩასუნთქვისას, რადგან მათ შეუძლიათ მიაღწიონ ბრონქიოლების პერიფერიულ ნაწილებამდე და ხელი შეუშალონ გაზურ ცვლას ფილტვებში. მყარი ნაწილაკები უფრო მეტად მოქმედებენ ადამიანზე, ვიდრე ჰაერის სხვა დამაბინძურებელი. მყარი ნაწილაკების ძირითადი კომპონენტებია სულფატები, ნიტრატები, ამონიუმი, ნატრიუმის ქლორიდი, ნახშირბადი, მინერალური მტვერი და წყალი. ისინი წარმოადგენენ ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების მყარი და თხევადი ნაწილაკების რთულ ნარევს, რომლებიც არსებობენ ჰაერში შეწონილ მდგომარეობაში.

მყარი ნაწილაკების ამჟამინდელი კონცენტრაციების დონის მოქმედებას თავის ჯანმრთელობაზე განიცდის ქალაქისა და სოფლების მოსახლეობის უმეტესი ნაწილი როგორც განვითარებულ, ასევე განვითარებად ქვეყნებში. ნაწილაკების მუდმივი ზემოქმედება ზრდის გულ-სისხლძარღვთა და რესპირატორული დაავადებების და აგრეთვე ფილტვების კიბოს განვითარების რისკს. განვითარებად ქვეყნებში იმ დამაბინძურებლების ზემოქმედებით, რომლებიც წარმოიქმნებიან მყარი სათბობის წვისას ღია ცეცხლზე ან ტრადიციულ ღუმელში, იზრდება ადრეული ასაკის ბავშვებში ქვემო სასუნთქი გზების მწვავე ინფექციების განვითარების და მათთან დაკავშირებული სიკვდილიანობის რისკი. შენობის შიგნით მყარი სათბობის გამოყენებისას ჰაერის დაბინძურება არის აგრეთვე ერთერთი ძირითადი ფაქტორი ფილტვების ობსტრუქციული ქრონიკული დაავადებისა და ფილტვების კიბოს განვითარებისა მოზრდილ ადამიანებში. სიკვდილიანობა ქალაქებში ჰაერის მაღალი დაბინძურებით 15-20%-ით მაღალია სუფთა ქალაქებთან შედარებით. ევროკავშირშიც კი **PM2.5**-ის ზემოქმედების შედეგად, რომელიც ადამიანების საქმიანობის შედეგია, ხდება საშუალო მოსალოდნელი სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირება დაახლოებით 9 თვით [1, 2, 241].

**მძიმე მეტალები.** მანქანები გამოაფრქვევენ ისეთ მძიმე მეტალებს, როგორებიცაა ნიკელი, ვერცხლისწყალი, ქრომი, კადმიუმი, თუთია, რკინა, დარიშხანი, მანგანუმი და ბერილიუმი. ზოგიერთი მათ შორის – დარიშხანი, ვერცხლისწყალი, კადმიუმი და ტყვია – შეიძლება მაღალტოქსიკურები იყვნენ ძალზე დაბალი კონცენტრაციების დროსაც. მძიმე მეტალების დაგროვებისას ნიადაგში ისინი ცვლიან მის ქიმიურ და ბიოლოგიურ თვისებას. მეტალების აკუმულირებისას ცოცხალ ორგანიზმებში ისინი ხვდებიან ნივთიერებათა ცვლის ბიოქიმიურ ჯაჭვში. კერძოდ, ძროხის რძისა და თევზის მეშვეობით ისინი ხვდებიან ადამიანის ორგანიზმში და იწვევენ მთელ რიგ მძიმე დაავადებებს. მძიმე მეტალების გამოფრქვევის ძირითადი წყაროებია – მეტალურგია, თბოელექტროსადგურები, ნაგვისსაწვავი ქარხნები და ავტომობილების ნაკადი. ტეტრაეთილტყვია ძალზე ტოქსიკურია და შეუძლია დააზიანოს ადამიანის ორგანიზმის პრაქტიკულად ყველა ორგანო და სისტემა. დიდი ხნის განმავლობაში პატარა დოზებით მუდმივი ზემოქმედება ნეგატიურად მოქმედებს ნერვულ და სისხლის მიმოქცევის სისტემაზე, ასუსტებს ბავშვების გონებრივ უნარებს [214].

ქვემოთ, ცხრილ 1.3-ში მოცემულია სმოგის ზოგიერთი შემადგენლის ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების შედეგის განზოგადოებული მონაცემები [195].

ცხრილი 1.3

ზოგიერთი მავნე ნივთიერების ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედების შედეგები

| მავნე ნივთიერებები                      | ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედების შედეგები                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ნახშირჟანგი                             | ეწინააღმდეგება სისხლის ჟანგბადით აბსორბირებას, რაც ასუსტებს აზროვნების შესაძლებლობებს, ანელებს რეფლექსებს, იწვევს ძილიანობას და შეიძლება იყოს გონების დაკარგვისა და სიკვდილის მიზეზი                               |
| ტყვია                                   | მოქმედებს სისხლის, ნერვულ და შარდსასქესო სისტემებზე, შესაძლოა, იწვევს ბავშვების გონებრივი შესაძლებლობების დაქვეითებას, გროვდება ძვლებში და სხვა ქსოვილებში, ამიტომ საშიშია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში           |
| აზოტის ოქსიდები                         | შეუძლიათ გაზარდონ ორგანიზმის მგრძნობიარობა ვირუსულ დაავადებათა მიმართ (გრძიპის ტიპის), აღიზიანებს ფილტვებს, იწვევს ბრონქიტს და პნევმონიას                                                                          |
| ოზონი                                   | აღიზიანებს სასუნთქი ორგანოების ლორწოვან გარსს, იწვევს ხველას, აფერხებს ფილტვების მუშაობას, ასუსტებს წინააღმდეგობას გაციების მიმართ, შეუძლია გააძწავოს გულის ქრონიკული დაავადებანი, აგრეთვე იწვევს ასთმას, ბრონქიტს |
| ტოქსიკური გამონაყოფები (მძიმე მეტალები) | იწვევენ კიბოს, სასქესო სისტემის ფუნქციის დარღვევას და დეფექტებს ახალშობილებში                                                                                                                                      |

ამგვარად, ადამიანის ორგანიზმზე ავტომობილის გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების ზემოქმედების შედეგები ძალზე სერიოზულია და აქვთ ზემოქმედების ძალზე ფართო დიაპაზონი ხველებიდან ლეტალურ შემთხვევამდე. ჩვეულებრივ, სმოგის დროს მნიშვნელოვნად მატულობს ჰოსპიტალიზაციების, რემისიების და სიკვდილის შემთხვევები რესპირატორული და გულის დაავადებების გამო [206].

მძიმე მეტალები ატმოსფეროს ჰაერში 10 დღემდე რჩებიან და შეიძლება გადატანილ იქნან 2000 კმ-დე. ადამიანის ჯანმრთელობას ძალიან დიდი ზიანი მიაყენა ტეტრაეთილტყვიამ, ნივთიერებამ, რომელსაც უმატებენ საწვავს მოტორის სიმძლავრის გასადიდებლად (ეთილირებული ბენზინი). ჯენერალ მოტორსმა დანერგა საწვავი ტყვიის დანამატით 1923 წელს. მაგრამ 1924 წლის ოქტომბერში ნიუ-ჯერსიში იმ ქარხნის 5 მუშა 49-დან, სადაც აწარმოებდნენ ტყვიის დანამატს, გარდაიცვალა. სხვა 35 დაავადდა სერიოზული ნევროლოგიური გართულებებით. ჟურნალისტებმა გამოიკვლიეს სიკვდილის შემთხვევები სხვა ქარხნებშიც [214].

7 ბავშვს 10 - დან მეხიკოში, მედიკოსების გამოკვლევებით, აღენიშნება შეფერხება განვითარებაში, რომელიც გამოწვეულია მოწამვლის შედეგად იმ ტყვიით,

რომლის წყაროა მანქანები. ქალაქ ნიჟნი-ნოვგოროდის ბავშვების ორგანიზმის მიკროელემენტების გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ უმცროსი მოსწავლეების 10% და სკოლამდელების 26% –ში აღმოჩენილია ტყვია თმებში იმ რაოდენობით, რომელიც აღემატება დასაშვებ ნორმებს. ტყვიის მომეტებული და მაღალი კონცენტრაციების არსებობა განპირობებულია ატმოსფერული ჰაერისა და ნიადაგის დაბინძურებით იმ მიკროტერიტორიებზე, სადაც მუდმივად იმყოფებიან ბავშვები და ამ დაბინძურების ძირითადი წყაროა ავტოტრანსპორტი [214].

ტრანსპორტით ქალაქის ჰაერის დაბინძურების შედეგმა არ დააყოვნა: დაავადებების ზრდის მრუდი ქალაქებში ავტოპარკის ზრდის მრუდის პარალელურია. ყველგან პატარა მოქალაქეების ჯანმრთელობა იმას ადასტურებს, რომ მოსახლეობის ჯანმრთელობის დონე კლებულობს. ბავშვების დაავადებების ზრდასთან შეხება აქვთ პირველ ყოვლისა თანამედროვე დედებს, რომლებიც აღმოაჩენენ, რომ ბავშვი დაბადებისთანავე სამკურნალოა: საჭიროა ნაწლავური მიკროფლორის აღდგენა, ტვინისა და ნერვული სისტემის რეაბილიტაცია – მასაჟით, ნემსებით, წამლებით და სხვა. პოლიკლინიკებსა და აღდგენით ცენტრებში რიგების მიხედვით ისინი ხვდებიან, რომ ანალოგიურ მდგომარეობაშია უმრავლესობა [214].

დაბალ კონცენტრაციებზეც კი ოზონმა შეიძლება გამოიწვიოს ასთმის გამწვავება ბავშვებში. სმოგი აგრეთვე ასუსტებს იმუნიტეტს, ადიდებს მოწყვლადობას ზოგიერთი ავადმყოფობისადმი, ისეთებისადმი, როგორებიცაა პნევმონია და ბრონქიტი. ხანში შესული ადამიანები, განსაკუთრებით გულის დაავადებებით და ფილტვების პრობლემებით, განსაკუთრებით მგრძნობიარეები არიან ოზონისა და სმოგისადმი [196].

აშშ მეცნიერებათა აკადემიის მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ სიკვდილიანობის შემთხვევები არ არის შემოსაზღვრული მარტო მაღალი რისკის ჯგუფებით. ადამიანის ჯანმრთელობაზე მხოლოდ მავნე გაზური წარმონაქმნების შესწავლისათვის არსებულმა 13 ადამიანისგან შემდგარმა სპეციალისტების ჯგუფმა გამოკვლევის შედეგად დაადგინა, რომ ადამიანის ორგანიზმზე სმოგის მოკლე ვადით (24 საათით და ნაკლები) ზემოქმედებამაც შეიძლება გამოიწვიოს ფილტვების დაავადება, ჰოსპიტალიზაცია და სიკვდილიც კი. მათი აზრით, საჭიროა კვლევების გაგრძელება იმისათვის, რომ განისაზღვროს სმოგის ხანგრძლივი ზემოქმედების შედეგები ადამიანის ორგანიზმზე.

ჩატარებული გამოკვლევები არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ ზუსტად განისაზღვროს ქალაქის ჰაერში მავნე გაზების რომელი კონცენტრაციის და რა ხანგრძლივობის ზემოქმედება იწვევს დაავადებას და სიკვდილს. მაგრამ მეცნიერები დარწმუნებულნი არიან, რომ ატმოსფეროში ზოგიერთი ნივთიერების კონცენტრაციის არასახიფათო დონე გაცილებით დაბალი უნდა იყოს იმასთან შედარებით, რაც ამჟამად ითვლება დასაშვებად.

2008 წლის მარტში აშშ-ში ჩატარდა აქცია “სუფთა ჰაერისათვის”. სწორედ მაშინ გადახედეს ოზონის დასაშვებ კონცენტრაციის ნორმებს ჰაერში, რომლებიც საშუალებას იძლეოდნენ მავნე გაზური წარმონაქმნების რაოდენობის შეზღუდვას [196].

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (ჯმო) მონაცემებით, ჰაერის დიდი ხნით დაჭუჭყიანება ავსტრიაში, შვეიცარიაში და საფრანგეთში მიზეზია 21000 გულითა და სასუნთქი გზებით დაავადებული ადამიანის უდროოდ გარდაცვალებისა წელიწადში.

ეს მაჩვენებელი მეტია იმ ადამიანების რაოდენობაზე, რომლებიც კვდებიან ამავე ქვეყნებში საგზაო შემთხვევების დროს [214].

20 გარდაცვლილიდან ერთი სმოგის მსხვერპლია. ჯმო-ს მონაცემებით, სმოგისაგან კვდება სამჯერ მეტი ადამიანი, ვიდრე საგზაო ავარიებში. ეს მონაცემები ადასტურებენ იტალიელი მეცნიერების დასკვნებს იმის შესახებ, რომ მსოფლიოს 8 ყველაზე დიდ ქალაქში ყოველწლიურად სმოგისაგან კვდება 3500 კაცი. მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ შემთხვევების 5%-ში სიკვდილის მიზეზი იყო ის შხამები, რომლებიც იმყოფებიან ჰაერში. როგორც აღნიშნა რობერტო ბერტოლინიმ, ჯმო-ს კოორდინატორმა ევროპაში, ძველ კონტინენტზე ყოველ წელს ატმოსფეროს დაბინძურების მსხვერპლი ხდება სულ ცოტა 100 ათასი ადამიანი. საფრანგეთში, შვეიცარიასა და ავსტრიაში ყოველწლიურად ჰაერის დაბინძურებით კვდება 40 ათასი ადამიანი. აშშ-ში მსხვერპლის რაოდენობა აღწევს 70 ათასს. ამდენივე ადამიანი იღუპება ფილტვებისა და პროსტატის კიბოთი [228].

წლის სხვადასხვა სეზონში მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორების მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე სხვადასხვაა. ასე მაგალითად, 1980-1990 წლების საშუალოთვიური მონაცემებით მიღებულია, რომ მიწისპირა ოზონის ნეგატიური წვლილი თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობის ვარიაციაში გულსისხლძარღვთა დაავადებების მიზეზით წლის ცივ პერიოდში (7.4%) სავსებით თანაზომადია წვლილისა ისეთი მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორებისა, როგორებიცაა ჰაერის ტემპერატურა (11.4%), ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა (10.4%), მაგნიტური ქარიშხლების რაოდენობა და ხანგრძლივობა (6.2% და 11.5% შესაბამისად), ვოლფის რიცხვი (7.2%). ყველაზე დიდ როლს სიკვდილიანობის ვარიაციაში წლის ცივ ნახევარში თამაშობენ ჰაერში მსუბუქი იონების რიცხვის ვარიაციები – 23.3%. ქარის სიჩქარის ვარიაციის წვლილი სიკვდილიანობაში პატარაა (2.8%). წლის თბილ ნახევარში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ცვალებადობის წვლილი სიკვდილიანობის ვარიაციაში თანაზომადია მაგნიტური ქარიშხლების რაოდენობის და ხანგრძლივობის წვლილისა (5.5% და 8.0% შესაბამისად). ყველაზე დიდ როლს სიკვდილიანობის ვარიაციებში წლის თბილ ნახევარში თბილისში თამაშობენ ჰაერის ტემპერატურის ვარიაციები (32.4%), ვოლფის რიცხვები (15.4%), ქარის სიჩქარე და ფარდობითი ტენიანობა (13.7% და 13.6% შესაბამისად). ჰაერში მსუბუქი იონების შემცველობის ვარიაციების წვლილი სიკვდილიანობის ცვლილებაში არსებითი არ არის (2.9%) [10, 32, 66, 118].

იაპონიის დედაქალაქის ატმოსფეროში სმოგიანი დღეების რიცხვმა პიკს 1970-ანი წლების დასაწყისში მიაღწია. 1970-ნი წლების პირველ ნახევარში გარემოს დაცვის სამსახურები ყოველწლიურად აქვეყნებდნენ 20-დან 40-მდე გაფრთხილებას ატმოსფეროს გადიდებული დაბინძურების შესახებ და ათას კაცზე მეტი წელიწადში სმოგის გამო მძიმედ ავადდებოდა. მაგრამ მას შემდეგ, რაც მიიღეს ზომები ატმოსფეროს დაბინძურების წინააღმდეგ, ასეთი გაფრთხილებები ისმოდა სულ უფრო იშვიათად და 1980-ნი წლების შუაგულიდან 1990 წლამდე გამოდიოდა არა უმეტეს 10 გაფრთხილებისა წელიწადში. ამის გარდა რამდენიმე წლის განმავლობაში არ იყო არც ერთი განცხადება იმის თაობაზე, რომ ვინმე დაავადდა გარემოს დაბინძურების მიზეზით.

მაგრამ 2000 წლიდან მდგომარეობა კვლავ დამძიმდა. 2000 და 2001 წლებში გამოქვეყნებული იყო უკვე 23 გაფრთხილება სმოგის მომეტებულ საფრთხეზე, ხოლო 2002 წელს – 19. 2003 წელს გრილი ზაფხულის გამო სმოგიანი დღეების რიცხვი რამდენამდე შემცირდა და გამოქვეყნდა მხოლოდ 8 გაფრთხილება, მაგრამ 2004 წელს სმოგის ზემოქმედებისაგან დაზარალდა 150-ზე მეტი ადამიანი (მხოლოდ ზაფხულში 17 გაფრთხილება დაბინძურების ისეთ კონცენტრაციებზე ტოკიოს ატმოსფეროში, რომლებიც აღემატებოდა ყველა დასაშვებ ნორმებს).

ცხრილი 1.4

პენსილვანიის შტატში ადამიანის ჯანმრთელობაზე სმოგის (მიწისპირა ოზონის) ყოველწლიური ზემოქმედება

| ეფექტი ჯანმრთელობაზე                               | შემთხვევების საგარაუდო რიცხვი | დიაპაზონი         |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| ჰოსპიტალიზაცია სასუნთქი ორგანოების დაავადების გამო | 7000                          | 5100 – 9000       |
| ასთმის შეტევა                                      | 300000                        | 150000 – 420000   |
| შრომითი ქმედების დღეების შეზღუდვა                  | 1000000                       | 1000000 - 1800000 |
| ავადმყოფობათა სიმკტომების გადიდება                 | 4000000                       | 1800000 - 5500000 |

ცხრილი 1.5

პენსილვანიის შტატში ბავშვების ჯანმრთელობაზე ჰაერის დაბინძურების ყოველწლიური ზემოქმედება

| ეფექტი ჯანმრთელობაზე                       | შემთხვევების საგარაუდო რიცხვი | დიაპაზონი        |
|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| ჩვილების სიკვდილიანობის შემთხვევები (მური) | 20                            | 12 - 22          |
| ასთმა (სმოგი)                              | 3000                          | 400 - 7300       |
| მწვავე ბრონქიტი (მური)                     | 40000                         | 21000 - 51000    |
| ასთმის შეტევები (მური)                     | 150000                        | 12000 - 180000   |
| გამოტოვებული სკოლის დღეები                 | 900000                        | 700000 - 1000000 |



როგორც გარემოს დაცვის სამინისტროს მიმოხილვა გვაცნობებს, იაპონიაში 28 პრეფექტურაში 47-დან 2007 წელს გაცემული იქნა რეკორდული რაოდენობის გაფრთხილება ფოტოქიმიურ სმოგზე, მათ შორის ნიიგატასა და ოიტას პრეფექტურებში, სადაც ასეთი გაფრთხილება პირველად გაიცა. სმოგისაგან ჯანმრთელობის პრობლემების ჩივილით ადამიანების რაოდენობამ, რომლებსაც აწუხებდათ წვა თვალებში და ტკივილი ყელში 1910-ს მიაღწია 14 პრეფექტურაში. საიტამას პრეფექტურაში გაფრთხილებები გაიცა 32 დღით, რაც ყველაზე დიდი ვადაა. შემდეგ მოდიან კანაგავას პრეფექტურა (20 დღე) და ტიბა ტოკიოსთან ერთად (17 დღე) [197].

ცხრილებში 1.4 და 1.5 მოცემულია ყოველწლიური მონაცემები პენსილვანიის შტატში (აშშ) ადამიანის ჯანმრთელობაზე ჰაერის დაბინძურების ზემოქმედების შესახებ [81].

მძიმე სიტუაცია შეიქმნა მოსკოვში 2010 წლის ზაფხულში. როგორც კი მოსკოვი სმოგმა დაფარა, “სასწრაფო დახმარების” გამოძახება 15 პროცენტით გაიზარდა. დედაქალაქის მორგების თანამშრომლებმა აღიარეს, რომ ამ დროს მათთან შევიდა ორჯერ მეტი გვამი, ვიდრე ჩვეულებრივ დღეებში. სიკვდილის შემთხვევათა რაოდენობა გაიზარდა, განსაკუთრებით ონკოლოგიურ ავადმყოფებს შორის [231]. 1 ივლისიდან 15-მდე მოსკოვში გარდაიცვალა 1560 კაცი. ეს მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივ ნახევარ თვეში. 140 წლის განმავლობაში ყველაზე ცხელი თვის მეორე ნახევარში გარდაცვლილების რაოდენობა გაიზარდა ორჯერ და მეტად – 3595 კაცი [233]. რუსეთის ხელისუფლება იძულებული იყო ეღიარებინა, რომ მათი უმოქმედობის გამო ზაფხულში კატასტროფული კლიმატური პირობების და ხანძრების გამო გარდაიცვალა 55000 ადამიანი მეტი. გამოცემა “Независимая газета” აცნობებდა, რომ მოსახლეობის ზრდის დადებითი ტენდენცია, რომელიც დაიკვირვებოდა გასულ წელს, მკვეთრად შემცირდა და შეჩერდა. რვა თვის განმავლობაში ბუნებრივი სიკვდილით გარდაიცვალა 198000-ზე მეტი ადამიანი. გაზეთის მონაცემებით, ხელისუფლების უმოქმედობის გამო 2010 წლის ზაფხულში გარდაიცვალა უფრო მეტი ადამიანი, ვიდრე ჩეჩნეთის ომში. სიკვდილიანობის ზოგადი მაჩვენებელი 2.8 პროცენტს უდრიდა. მხოლოდ 2010 წლის ივლისისა და აგვისტოს თვეში რუსეთში გარდაიცვალა 55800-ზე მეტი ადამიანი [193].

მთლიანობაში, 2010 წლის ზაფხულში სიტუაცია მოსკოვში აღმოჩნდა უფრო უარესი, ვიდრე 1952 წლის დეკემბერში ლონდონში, როდესაც ინგლისის დედაქალაქი ჩაეფლო სმოგში, რომელსაც შემდეგში უწოდეს “დიდი სმოგი”. სმოგი ქალაქზე ბატონობდა 4 დღე, 1952 წლის 5-დან 9 დეკემბრამდე, მაგრამ ეკოლოგიური კატასტროფის შედეგები საშინელი იყო. ლონდონის მედიკოსების მონაცემებით, იმ მომენტისათვის გარდაცვლილთა რაოდენობა (განსაკუთრებით ჩვილების, მოხუცებისა და რესპირატორული დაავადებებით შეპყრობილი ადამიანებისა) მკვეთრად გაიზარდა და “გაუთვალისწინებელ” 4000-ს მიაღწია. მაგრამ, როგორც მიაჩნიათ ხელისუფალთ, შედეგები კიდევ უფრო საშინელი იყო – დაახლოებით 12000 გარდაცვლილი და 100000 დაავადებული ამ პერიოდისათვის [205, 245].

ცნობილი ლონდონის სმოგი ამოკლებს ლონდონელების ცხოვრებას საშუალოდ 10 წლით. ამის შესახებ აცნობეს ლონდონის სამეფო კოლეჯის მეცნიერებმა. როგორც მათ მიერ ჩატარებულმა გამოკვლევებმა ცხადყო, როდესაც ალებულ იქნა რამდენიმე

ათასი ნიმუში ჰაერიდან ქალაქის 80 სხვადასხვა წერტილში, სმოგში მტვრის მიკრონაწილაკების კონცენტრაცია რამდენჯერმე მეტი აღმოჩდა ზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე [232].

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემების თანახმად, საქართველოში დაავადებების 17% და სიკვდილიანობის 19% განპირობებულია გარემოს მავნე ზემოქმედებით, რაც განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ მაჩვენებლებს აღემატება [198, 226].

ცხრილი 1.6

ჰაერში ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საშიში ზოგიერთი მინარევის ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციები (ზდკ).

საშიშროების კლასები: 1 – განსაკუთრებით საშიში, 2 – მაღალი საშიშროების, 3 - საშიში, 4 – შედარებით დაბალი საშიშროების.

| საშიშროების კლასი | დამაბინძურებელი ნივთიერება | ზდკ მგ/მ³            |                     |                      |               |                 | გასაშუალების დრო |
|-------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------------|------------------|
|                   |                            | ნორმები საქართველოში | ჯმო –ს რეკომენდაცია | ევროკავშირის ნორმები | აშშ-ს ნორმები | რუსეთის ნორმები |                  |
| 1                 | O <sub>3</sub>             | 0.16                 | -                   | -                    | -             | 0.16            | 30 წუთი          |
|                   |                            | -                    | -                   | 0.180                | 0.235         | -               | 1 საათი          |
|                   |                            | -                    | 0.12                | 0.120                | 0.157         | -               | 8 საათი          |
|                   |                            | 0.03                 | -                   | -                    | -             | 0.03            | 24 საათი         |
| 2                 | NO <sub>2</sub>            | 0.2                  | -                   | -                    | -             | 0.2             | 30 წუთი          |
|                   |                            | -                    | 0.2                 | 0.2                  | -             | -               | 1 საათი          |
|                   |                            | 0.04                 | -                   | 0.125                | -             | 0.04            | 24 საათი         |
|                   |                            | -                    | 0.04                | 0.04                 | 0.1           | -               | 1 წელი           |
| 3                 | SO <sub>2</sub>            | -                    | 0.5                 | -                    | -             | -               | 10 წუთი          |
|                   |                            | 0.5                  | -                   | -                    | -             | 0.5             | 30 წუთი          |
|                   |                            | -                    | -                   | 0.350                | -             | -               | 1 საათი          |
|                   |                            | 0.05                 | 0.125               | 0.125                | 0.365         | 0.05            | 24 საათი         |
|                   |                            | -                    | 0.05                | 0.02                 | 0.08          | -               | 1 წელი           |
| 3                 | შეწონილი ნივთიერება        | 0.5                  | -                   | -                    | -             | 0.5             | 30 წუთი          |
|                   |                            | 0.15                 | -                   | -                    | -             | 0.15            | 24 საათი         |
|                   | PM10                       | -                    | 0.05                | 0.05                 | 0.15          | -               | 24 საათი         |
|                   |                            | -                    | -                   | 0.02                 | -             | -               | 1 წელი           |
|                   | PM2.5                      | -                    | 0.025               | -                    | 0.035         | -               | 24 საათი         |
|                   |                            | -                    | 0.01                | 0.025                | 0.015         | -               | 1 წელი           |
| 4                 | CO                         | -                    | 100                 | -                    | -             | -               | 10 წუთი          |
|                   |                            | 5                    | 60                  | -                    | -             | 5               | 30 წუთი          |
|                   |                            | -                    | 30                  | -                    | 40            | -               | 1 საათი          |
|                   |                            | -                    | 10                  | 10                   | 10            | -               | 8 საათი          |
|                   |                            | 3                    | -                   | -                    | -             | 3               | 24 საათი         |

ცხრილი 1.6-ში წარმოდგენილია ჰაერში ადამიანის ჯანმრთელობისათვის ზოგიერთი მავნე ნივთიერებების ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციების სიდიდეები [53, 137, 138, 139, 194, 216, 237, 241].

აღსანიშნავია, რომ მნიშვნელოვანი განსხვავებაა მიწისპირა ოზონის, გოგირდის ორჟანგის და ნახშირჟანგის კონცენტრაციის ზღვრული დასაშვები ნორმების შეფასებაში სხვადასხვა ქვეყანაში. მნიშვნელოვანია ის, რომ ოზონი მაღალი კონცენტრაციის დროს განეკუთვნება პირველი კლასის საშიშროების ნივთიერებებს – ”განსაკუთრებით საშიში ნივთიერებანი” და ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ იგი იმ ხუთ ძირითად დამაბინძურებელთა სიაში ჩართო, რომელთა შემცველობა აუცილებლად უნდა კონტროლდებოდეს ჰაერის ხარისხის განსაზღვრისას [139]. სხვადასხვა ქვეყანაში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზღვრული დასაშვები ნორმები სხვადასხვაა.

ასე მაგალითად, რუსეთში ჰიგიენურ ნორმატივების [138] ”სამუშაო ზონის ჰაერში მავნე ნივთიერებების ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციები” შესაბამისად, ოზონის მაქსიმალური ზღვ – 100 მკგ/მ<sup>3</sup>. ორგანიზმზე ზემოქმედების თავისებურება: ოზონი არის ნივთიერება მოქმედების მკვეთრად მიმართული მექანიზმით, რომელიც მოითხოვს ავტომატურ კონტროლს მის შემცველობაზე ჰაერში [137, 138].

შესაბამისად ჰიგიენური ნორმატივებისა [137] ”დასახლებული ადგილების ატმოსფეროს ჰაერში დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციები” მაქსიმალური ერთჯერადი (ნახევარი საათის განმავლობაში) ზღვ ოზონისთვის 160 მკგ/მ<sup>3</sup>. საშუალო დღიური ზღვ – 30 მკგ/მ<sup>3</sup>. აღსანიშნავია, რომ საქართველოში ჯერჯერობით რუსეთის ნორმებზეა ორიენტაცია.

ამერიკის შეერთებულ შტატებში მიწისპირა ოზონის ზღვ შეადგენს 235 მკგ/მ<sup>3</sup> ერთი საათის მოქმედების დროს და 160 მკგ/მ<sup>3</sup> საშუალოდ 8-საათიანი ზემოქმედებისას [50].

ცხრილი 1.7

#### ოზონით ინტოქსიკაციის სიმპტომები

| კონცენტრაცია, მკგ/მ <sup>3</sup> | ინგალაციის ხანგრძლივობა, სთ | ეფექტი                                                     |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|
| 4 – 15                           | –                           | ადამიანი შეიგრძნობს ოზონის სუნს                            |
| > 120                            | 8                           | შრომისუნარიანობის შემცირება მაღალი დატვირთვისას            |
| > 160                            | 24                          | ფილტვების ფუნქციის გაუარესება                              |
| > 200                            | 8                           | ხველება, ხრინწიანობა, ყელში ქავილი                         |
| > 240                            | 3                           | მგრძნობიარობის დაკარგვა სხვა ტოქსინებთან და ალერგენებთან   |
| > 400                            | 8                           | ქვედა სასუნთქი გზების ანთება, შესაძლებელია ლეტალური შედეგი |

ევროკავშირში ეს სიდიდე 180 მკგ/მ<sup>3</sup> შეადგენს საათობრივი ზემოქმედებისას და 120 მკგ/მ<sup>3</sup> საშუალოდ 8 საათიანი ზემოქმედებისას. საშუალოსათობრივი კონცენტრაციისას 180 მკგ/მ<sup>3</sup> ხდება მოსახლეობის ინფორმირება, ხოლო საშუალოსათობრივი კონცენტრაციისას 240 მკგ/მ<sup>3</sup> და მეტის შემთხვევაში – მოსახლეობის გაფრთხილება [49].

კვლევებმა, რომლებიც შესრულებული იყო იელის უნივერსიტეტში და ჰარვარდის სამედიცინო სკოლაში აჩვენეს, რომ ჰაერში ოზონის კონცენტრაციის გაზრდა 20 მკგ/მ<sup>3</sup>-ით ზრდის მოსახლეობის სიკვდილიანობას ერთი პროცენტით უახლოესი სამი დღის განმავლობაში [239].

ცხრილი 1.7-დან ჩანს, რაში მდგომარეობს მთავარი საშიშროება ოზონის სხვადასხვა კონცენტრაციების სასუნთქი ორგანოების მეშვეობით ორგანიზმში მოხვედრისას [189].

ადამიანზე ოზონის ზემოქმედების კვლევებმა მოგვცა საშუალება შემდეგი დასკვნების გაკეთებისა:

1. ოზონი იწვევს სუნთქვის ორგანოების გაღიზიანებას, ხველებას, სიმძიმის შეგრძნებას მკერდში. ეს ეფექტები შეიძლება გრძელდებოდეს რამდენიმე საათი და გადავიდეს მტკივნეულ ფაზაში.
2. ოზონი ამცირებს ფილტვების ფუნქციას. ღია ჰაერზე მუშაობისას ხშირდება სუნთქვა და მცირდება შესუნთქვის სიღრმე.
3. ოზონი ხელს უწყობს ასთმის განვითარებას და ზრდის შეტევების რაოდენობას.
4. ოზონი იწვევს ალერგიას ყველაზე გავრცელებულ ნივთიერებების მიმართ – მტვერისადმი, ყვავილების მტვერისადმი და აგრეთვე მწერებისადმი და შინაური ცხოველებისადმი.
5. ოზონი აზიანებს ფილტვების ქსოვილს
6. ოზონი იწვევს ბრონქიტის და ფილტვების ემფიზემის გამწვავებას.
7. ოზონი საგრძნობლად ამცირებს იმუნიტეტს ინფექციების მიმართ.  
ძალზე საშიშია ოზონის ზემოქმედება ბავშვებზე: მათი ფილტვები შესაძლოა ძლიერ დაზიანდნენ ოზონის ზემოქმედების შედეგად და ეს უარყოფითად იმოქმედებს მათ შემდგომ განვითარებაზე. ქვემოთ მოყვანილია ადამიანების ის 4 რისკის ჯგუფი, რომლებიც განსაკუთრებით მგრძნობიარეა ოზონისადმი:
  1. ბავშვები (ღრმა სუნთქვის დროს ოზონი აღწევს ფილტვების იმ უბნებში, რომლებიც მგრძნობიარეა ოზონისადმი).
  2. სუნთქვის ორგანოების დაავადებების მქონე უფროსები (შესაძლოა დაზარალდნენ ოზონის მცირე კონცენტრაციებისგანაც).
  3. არაჩვეულებრივად მგრძნობიარე ოზონისადმი ადამიანები (აშშ-ში მაგალითად ასეთები ყოველი მესამეა, მეცნიერები ვერ ხსნიან, რატომ არის ზოგიერთი ადამიანი უფრო მგრძნობიარე ოზონისადმი, ვიდრე სხვები).
  4. ხანდაზმულები და გულით დაავადებული ადამიანები.

ოზონის შემცველობის ნორმატივები არსებობს მცენარეებისთვისაც. მაგალითად, ევროკავშირში შემოღებულია ე.წ. მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის დაგროვებული ნორმა **AOT40** - მიწისპირა ოზონის 80 მკგ/მ<sup>3</sup> მაღალი საათობრივი მნიშვნელობის კონცენტრაციასა და 80 მკგ/მ<sup>3</sup> შორის სხვაობათა ჯამი 1 მაისიდან 31 ივლისამდე, როცა გაზომვები წარმოებს საშუალო ევროპული დროით 8 საათიდან 20 საათამდე. **AOT40** მცენარეებისათვის შეადგენს 6000 მკგ/მ<sup>3</sup>•სთ, ტყეებისათვის – 20000 მკგ/მ<sup>3</sup>•სთ (ამ შემთხვევაში ათვლა იწყება 1 აპრილიდან 30 სექტემბრამდე) [49, 90].

აღსანიშნავია ის, რომ მსუბუქი აეროიონების კონცენტრაცია როგორც თავისთავადაა მნიშვნელოვნად განმსაზღვრელი ჰაერის ეკოლოგიური მდგომარეობისა, ასევე წარმოადგენს ჰაერის სისუფთავის ინდიკატორს აეროზოლური დაბინძურების ასპექტში [21, 36, 92, 93, 100, 108]. ანუ, რაც მეტია იონების კონცენტრაცია, მით ნაკლებია ჰაერის აეროზოლური დაბინძურება.

ჰაერში მსუბუქი იონების შემცველობის ნორმებისა და ადამიანის ორგანიზმზე მათი ფიზიოლოგიური ზემოქმედების შესახებ მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში 1.8 [95].

ცხრილი 1.8

ჰაერში მსუბუქი იონების შემცველობა და ადამიანის ორგანიზმზე მათი ფიზიოლოგიური მოქმედება.

| იონების კონცენტრაცია<br>სმ <sup>-3</sup> |           | დონე                  | ფიზიოლოგიური ზემოქმედება                                                                                                                            |
|------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N (+)                                    | N (-)     |                       |                                                                                                                                                     |
| <300                                     | <300      | მინიმალურზე ნაკლები   | დადებითი, ყურადღების შესუსტება, რეაქციის შენელება, მეხსიერების გაუარესება, თავის ტკივილი, სისხლის წნევის რეჟიმის დარღვევა და სხვა                   |
| 400                                      | 600       | მინიმალური აუცილებელი | დადებითი ზემოქმედება, განსაკუთრებით უარყოფითი იონების დადებითთან შედარებით მომეტებული კონცენტრაციის დროს                                            |
| 1500-3000                                | 3000-5000 | ოპტიმალური            | სისხლის წნევის ოპტიმიზაცია, სასუნთქი ორგანოების დაავადებების, ბრონქიალური ასთმის მიმდინარეობაზე დადებითი ზეგავლენა, ანტისეპტიკური მოქმედება და სხვა |
| ≥50000                                   | ≥50000    | მაქსიმალური           | ორგანიზმის უარყოფითი რეაქცია                                                                                                                        |

იმის გასარკვევად, თუ როგორ ეკიდება ხელისუფლება და საზოგადოება ეკოლოგიურ პრობლემებს, დამუშავებულია სხვადასხვა ტიპის ინდიკატორები (ინდექსები). მაგალითად, ჰაერის დაჭუჭყიანების ფარდობითი ინდექსის მაღალი მნიშვნელობები არის დსთ-ში, კანადაში, ავსტრალიაში (94.9-100%). დაბალი - აფრიკაში (48.4-64.8%). საქართველოში ეს ინდექსი შეადგენს (64.9-84.4%). ჰაერის დაჭუჭყიანების ფარდობით ინდექსს დაახლოებით 12.5% შეაქვს ე.წ. ეკოლოგიური მიღწევების ინდექსში (ემი). საქართველოში 2008 წ. ემი შეადგენდა 82.2%, (მსოფლიოში 37-ე ადგილი). პირველ ადგილზე შვეიცარია იმყოფებოდა (95.5%), ბოლო 149-ე ადგილზე - ნიგერი - 39.1%. დაბინძურებული ჰაერის მოსახლეობის სიკვდილიანობაზე გავლენის მაღალი ეფექტი დაიკვირვებოდა მაგალითად, დსთ-ში (მ.შ. საქართველოში), ჩინეთში (200-230 შემთხვევა 1 მლნ მოსახლეზე), აღმოსავლეთ ევროპაში (150-200 შემთხვევა 1 მლნ მოსახლეზე). დაბალი დონეა დასავლეთ ევროპაში, სუდანში, არაბეთის ნახევარკუნძულზე, ირანში ( 30-60 შემთხვევა 1 მლნ მოსახლეზე). ჩრდილოეთ და სამხრეთ ამერიკაში

ეს დონე შეადგენს 60-100 შემთხვევას 1 მლნ მოსახლეზე [192, 201]. აქვე აღვნიშნავთ, რომ 2012 წლის მონაცემების მიხედვით საქართველო გარემოს დაცვის ინდექსის მიხედვით 132 ქვეყანას შორის 47 ადგილზე იმყოფება [51].

აშშ-ში და დასავლეთ ევროპაში, სადაც საზოგადოება ყურადღებით ეკიდება ეკოლოგიურ პრობლემებს, შემუშავებულია დეტალური ნორმები ოზონის შემცველობაზე იმ ჰაერში, რომლითაც სუნთქავენ ადამიანები. ბუნების დაცვის ორგანიზაციებმა, მთავრობებმა და ქალაქების ადგილობრივმა ხელისუფლებამ შეიმუშავეს მთელი რიგი მრავალმხრივი პროგრამებისა, რათა დაცული იქნას ეს ნორმატივები. ძირითადად, ეს მიმართულია ავტომობილებიდან, სამრეწველო საწარმოებიდან და ელექტროსადგურებიდან ჰაერში  $\text{NO}_x$  და  $\text{VOC}$ -ის გამონაბოლქვის შემცირებაზე. პროგრამა აგრეთვე მიმართულია დაბინძურების შემცირებაზე საწვავისა და ისეთი საწარმო-სამომხმარებლო საქონლის შემადგენლობის შეცვლაზე, როგორებიცაა საღებავები და ქიმიური გამხსნელები, რომლებიც შეიცავენ  $\text{VOC}$ -ს. საზოგადოებრივი პროგრამები ხელს უწყობენ ავტოტრანსპორტის რაციონალურ გამოყენებას, მაგალითად თანამშრომლების გაერთიანებას სამუშაოზე ერთი ავტომობილით მგზავრობისათვის, რათა შემცირდეს მავნე გამონაბოლქვი [216]. რეგულარულად ხდება მოსახლეობის შეტყობინება ატმოსფეროში ოზონის შემცველობის სახიფათო სიდიდის შესახებ და სხვა.

## 1.6 მიწისპირა ოზონზე და ფოტოქიმიურ სმოგზე ზემოქმედების და მათგან დაცვის არსებული მეთოდები

მთელი რიგი ეკოლოგიური პროგრამებისა, რომლებიც მიმართულია სმოგისა და ოზონის მოსახლეობაზე მავნე ზემოქმედების შესამცირებლად, პირობითად შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად:

1. მოსახლეობის რეგულარული ოპერატიული შეტყობინება მასობრივი ინფორმაციის საშუალებებით სმოგისა და ოზონის საშიში დონეების შესახებ და სათანადო რეკომენდაციების გაცემა.

2. ისეთი ეკონომიკური ღონისძიებების გატარება, რომლებიც აიძულებს ანტროპოგენური დაბინძურების ძირითად წყაროებს შეამცირონ ატმოსფეროში მავნე გამონაბოლქვი.

3. შემუშავდეს ოზონზე და სმოგზე აქტიური ზემოქმედების ეფექტური საშუალებები.

ყველა ამ მიმართულებით მსოფლიოს არაერთ ქვეყანაში ტარდება მნიშვნელოვანი ღონისძიებები.

მაგალითისთვის ქვემოთ არის მოყვანილი რუსეთის ჯანდაცვის და სოციალური განვითარების სამინისტროს ოფიციალური რეკომენდაციები იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა მოვიქცეთ სმოგის პირობებში [222]:

- უნდა ვეცადოთ თავიდან ავიცილით ადრე დილით ჰაერზე ხანგრძლივი ყოფნა. ამ დროს ჰაერში დაიკვირვება მავნე ნივთიერებების მაქსიმალური რაოდენობა;

- რაც შეიძლება იშვიათად ვიყოთ ღია ჰაერზე, განსაკუთრებით დღეღამის ყველაზე ცხელ დროს;

- რეკომენდებულია სითხის უხვი მიღება, რადგანაც მაღალი ტემპერატურის დროს ადამიანი ჭარბად ოფლიანდება და სასუნთქი გზებით და კანის საფარის მეშვეობით კარგავს ნატრიუმის და სითხის საკმარისად დიდ რაოდენობას. მარილების და მიკროელემენტების დანაკარგის ასანაზღაურებლად რეკომენდებულია ოდნავ მარილიანი და მინერალური ტუტე წყალი, უცხიმო რძე, მჟავე რძიანი სასმელები (დო), წვენები, მინერალიზებული სასმელები, ჟანგბად-ცილებიანი კოქტეილები. უნდა გამოირიცხოს გაზირებული სასმელები;

- აუცილებელია ფიზიკური დატვირთვების შეზღუდვა;

- სმოგის ტოქსიკური ზემოქმედების შემცირების მიზნით პოლივიტამინების მიღება (უკუჩვენების არარსებობისას);

- ბოლის სუნის გაძლიერებისას რეკომენდებულია დამცავი ნიღბის გაკეთება, რომელიც ხშირად უნდა დასველდეს, ხოლო ფანჯრის და კარის ღიობებს იზოლაცია უნდა გაუკეთდეს სველი ქსოვილით. განსაკუთრებით ეს ეხება ხანდაზმულებს, ბავშვებს და იმათ, ვინც დაავადებულია გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებით, შაქრიანი დიაბეტით, ფილტვების ქრონიკული დაავადებებით, ალერგიული დაავადებებით და სხვა ქრონიკული სენით;

- სათავსოებში საჭიროა ყოველდღიური მოწმენდა სველი ტილოთი;

- ტანსაცმლის შერჩევისას უპირატესობა ნატურალურ ქსოვილებს უნდა მიენიჭოს;

- დღეში რამდენმჯერმე შხაპის მიღება;

- ყელის და ცხვირის გამოირეცხვა;

- ადვილად ასათვისებელი, მინერალური ნივთიერებებით და ვიტამინებით გამდიდრებული საკვების მიღება, უპირატესად ხილის და ბოსტნეულის;

- არ მივირთვათ ალკოჰოლური სასმელები და ლუდი, გამოვრიცხოთ მოწევა, რადგანაც ეს აპროვოცირებს გულსისხლძარღვთა და სასუნთქი სისტემების ქრონიკული და მწვავე დაავადებების განვითარებას;

- მწვავე დაავადების ან შეუძლოდ ყოფნის სიმპტომების გაჩენის შემთხვევაში (უძილობის, ხველის ან ქოშინის ნიშნების გაჩენისას) აუცილებელია მივმართოთ ექიმს;

- ქრონიკული დაავადების არსებობისას მკაცრად შევასრულოთ ექიმის დანიშნულება.

ექიმებმა დაასახელეს აგრეთვე ადამიანების ის კატეგორია, რომლებისთვისაც ბოლიანი ჰაერი შეიძლება წარმოადგენდეს განსაკუთრებულ საშიშროებას [225].

ესენი არიან: ალერგიკები; ასთმატიკები, პატარა ბავშვები, რომლებსაც ჯერ არ ჩამოუყალიბდათ დამცავი სისტემა; ხანდაზმული ადამიანები – მათ ხშირად გააჩნიათ ბევრი ქრონიკული დაავადება; გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების მქონე ადამიანები, ნევროტიკები, ადამიანები, რომლებსაც მიდრეკილება აქვთ პანიკური შეტევებისკენ.

ყველა მათგანს მედიკოსები რეკომენდაციას აძლევენ ყურადღებით მოეპყრონ თავის ჯანმრთელობას – შეძლებისდაგვარად გადაიტანონ სიცხე და სმოგი დახურულ სათავსოებში, ქუჩაში გამოსვლისას აუცილებელია ნიღბის გაკეთება (არ უნდა დაგვავიწყდეს მათი რეგულარული დასველება), ყოველთვის თან ვიქონიოთ აბები ან ინგალატორები, მივიღოთ დამამშვიდებელი ან გამოვიყენოთ მოდუნების მედიტაციური ტექნიკა [225].

მედიკოსების რეკომენდაციების თანახმად, ძლიერი სმოგის პერიოდში დასუსტებული ჯანმრთელობის მქონე ადამიანებმა უნდა დატოვონ ქალაქები და სამრეწველო ცენტრები, ხოლო ყველა დანარჩენმა – რაც შეიძლება იშვიათად იყვნენ ქუჩაში, ფანჯრები უნდა იყოს დაკეტილი, საცხოვრებელ და სამუშაო სათავსოებში ჩავრთოდ ჰაერის დამატენიანებელი მოწყობილობები, ვისარგებლოთ თავისუფალი ტანსაცმლით, შევამციროთ ფიზიკური დატვირთვები (მათ შორის შევამციროთ სპორტული მეცადინეობების რაოდენობა და ხანგრძლიობა), მივირთვათ რაც შეიძლება მეტი სითხე, ხოლო ღია სივრცეში გადაადგილებისას ნუ უგულვებელყოფთ სველი მარლის პირბადეს.

ამის გარდა “დაბოლებასთან” ბრძოლაში ორგანიზმს შეიძლება არსებითად დაეხმაროს საკვებად ისეთი პროდუქტების გამოყენება, რომლებიც ანტიოქსიდანტებს შეიცავენ: მწვანე ბოსტნეული, მწვანილი, მოცხარი, ზღვის თევზი და ზეთუნის ზეთი. დამამშვიდებელ და ანტისტრესულ საშუალებებიდან სპეციალისტები უპირატესობას ანიჭებენ მცენარეულებს: კატაბალახას ნაყენი, ჭინჭარის, გვირილას, სვინას ნახარშები და ა.შ. [206].

ატმოსფეროში ანტროპოგენური დაბინძურების ძირითადი წყაროების შემცირებისათვის ეკონომიკური ღონისძიებების გატარებისას, კერძოდ, გერმანიის მთავრობამ მოიწონა 14 გადაწყვეტილება, რომელთა მიზანია შეამცირონ ჰაერში ზაფხულის თვეებში მავნე ნივთიერებების მომეტებული კონცენტრაცია, რომლებიც წარმოიქმნება ავტომობილების გამონაბოლქვით. ყველაზე მნიშვნელოვანი ამ გადაწყვეტილებებიდან – საგადასახადო ზეწოლაა ავტომობილების იმ მფლობელებზე, რომლებიც აბინძურებენ ჰაერს [234]. ამგვარ ავტომობილებზე გადასახადი მოიმატებს იმგვარად, რომ მფლობელი იძულებული იქნება გამოიყენოს ახალი კატალიზატორი [204], რომელიც ანეიტრალებს გამონაბოლქვ გაზებს, ან გააჩეროს მანქანა.

სამთავრობო გეგმა ითვალისწინებს აგრეთვე საქალაქო ტრანსპორტზე მგზავრობის ფასის შემცირებას იმ თვეებში, როდესაც დაბინძურება აღემატება 180 მკგ/მ<sup>3</sup>-ში. ამ ღონისძიებების მიზანია რაც შეიძლება სწრაფად შესრულდეს ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის ამოცანა — ოზონის შემცველობა ჰაერში დაყვანილ იქნას 120 მკგ/მ<sup>3</sup>-ში.

მოსალოდნელია, რომ მსოფლიოს წამყვანი სამშენებლო ორგანიზაციები უახლოეს მომავალში საქალაქო მშენებლობაში გამოიყენებენ ე.წ. კატალიზურ ცემენტს და მასალებს ბეტონისაგან, რომლებიც დაფარულია ტიტანის დიოქსიდით [119, 240]. ეს მასალები ძალზე რეაგირებენ ულტრაიისფერ გამოსხივებაზე. ულტრაიისფერი სხივები, მოქმედებენ რა ტიტანის დიოქსიდზე, იწვევენ კატალიზურ რეაქციას, რომელიც შლის ატმოსფეროს დამაბინძურებელი ელემენტების მოლეკულებს, მათ შორის აზოტის ჟანგს. კატალიზური რეაქციები ხელს უშლის აგრეთვე ბაქტერიებს და ჭუჭყს დარჩენ ზედაპირზე, გარდაქმნიან რა მათ წყლით იოლად მოსაშორებელ მასალად.

ავტოტრანსპორტისაგან შექმნილი საფრთხისაგან თავის დაღწევის მიზნით სატვირთო გადაზიდვებისათვის შექმნილია სპეციალური მაგისტრალები, წრიული ხაზები ქალაქებიდან მათი თავიდან აცილების მიზნით. თვით ქალაქებში აშენებენ მიწისქვეშა გადასასვლელებსა და გვირაბებს ავტომანქანებისათვის. იმისათვის, რომ გამონაბოლქვი ნაკლებად ტოქსიკური იყოს, კეთდება სხვადასხვანაირი დანამატები,



მაგალითად, კეთდება სპირტის, წყლისა და ბანზინის ნარევი. წყლის ორთქლი ხელს უწყობს საწვავის უკეთ წვას. სპირტის არსებობა კი ამცირებს მხუთავი გაზის შემცველობას გამონაბოლქვში. საწვავი ნარევი 85 და აგრეთვე მაღალკონცენტრირებული ნარევი 95 (95% ეთანოლი და 5% ბენზინი) ალტერნატიულ საწვავებად ითვლებიან. ბენზინში დამატებული ეთანოლი ხელს უწყობს მის სრულ წვას. 85 და E95 გამოყენების შედეგად ნავთობპროდუქტების მოხმარება შესაბამისად 73-75 და 85-88 პროცენტით, სათბური აირების გამონაფრქვევი – 14-19 და 19-25 პროცენტით, წიაღისეული საწვავის გამოყენება - 34-35 და 42-44 პროცენტით მცირდება [3, 80, 113]. რამდენიმე წელია, რაც მთელი რიგი წამყვანი ავტომშენებელი ფირმები სერიულად აწარმოებენ ე.წ. ჰიბრიდულ ავტომანქანებს, მათ შორის მსუბუქ, სატვირთოს და ავტობუსებს [219, 220, 235, 238].

ამ მანქანებს, ჩვეულებრივი ბენზინის ან დიზელის ძრავის გარდა, გააჩნია ელექტროძრავაც და აკუმულატორების ბატარეაც. დამუხრუჭებისას რეკუპერაციის ხარჯზე ბატარეებში დაგროვილი ენერგია საშუალებას იძლევა საწვავის ხარჯი შემცირდეს 3.3 – 3.7 ლიტრამდე 100 კმ გარბენაზე. ამ მიმართულების შემდგომი ნაბიჯია წყალბადზე მომუშავე ჰიბრიდული მანქანები, ან ელექტრომობილები [219].

ჰაერის დაბინძურების პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ უნარჩუნო წარმოების ორგანიზაციით. ჩნდება სულ უფრო მეტი საწარმოები, რომლებიც მუშაობენ ჩაკეტილი ციკლით.

სმოგთან ბრძოლის მნიშვნელოვანი წარმატებები იქნა მიღწეული კატალიზური გარდამქმნელების საფუძველზე, რომლებიც ასუფთავებენ გამონაბოლქვ გაზებს ნახშირწყალბადებისა და ნაწილობრივ აზოტის ჟანგეულებისაგან. ეს მოწყობილობა წარმოადგენს ცილინდრს, რომელიც შეიცავს პლატინის, რადიუმისა და პალადიუმის თხელი ფენით დაფარულ გრანულებს. ეს მეტალები თავისთავად რეაქციაში მონაწილეობას არ იღებენ, არამედ ასრულებენ კატალიზატორის ფუნქციას, აიძულებენ რა დამაბინძურებლის მოლეკულას და ჟანგბადს ერთმანეთთან რეაგირებას, რომლის შედეგად წარმოიქმნება უვნებელი გაზები. კატალიზატორების ზუსტი ქიმიური შემადგენლობა წარმოადგენს ავტომრეწველობის გიგანტების ყველაზე დაცულ საიდუმლოებებს, თუცა ცხადია, რომ ამ მიმართულებით შემდგომი პროგრესი დაკავშირებულია გრანულების შემადგენლობისა და მათი კონფიგურაციის უფრო ეფექტური კომბინაციის მოძებნასთან. გარდა ამისა, განუწყვეტლივ წარმოებს ძიება ძვირფასი მეტალების ჩანაცვლებისათვის უფრო იაფი კატალიზატორით [204].

ამასთან ერთად მუშავდება და რიგ შემთხვევებში უკვე პრაქტიკაში გამოიყენება დაბინძურებული ჰაერის გაწმენდის სხვადასხვა საშუალებები.

ასე, მაგალითად, რუსეთში “როსგიდრომეტ”-მა გამოიყენა თვითმფრინავები, საიდანაც პიროვნებებით ამუშავებდნენ ქალაქის თავზე ატმოსფეროს ნალექების გაზრდის მიზნით სმოგზე ზემოქმედებისათვის [191].

რუსეთის სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანებამ “Лидар” შეიმუშავა ატმოსფერულ ციკლებზე ზემოქმედების ტექნოლოგია ე.წ. იონური გენერატორების გამოყენებით [203]. ტექნოლოგიის შესაძლებლობები სმოგური სიტუაციების წინააღმდეგ ასეთია:

- დასაცავი ტერიტორიების თავზე ნალექების სტიმულირება,
- ქალაქებში, კარიერებში, სატრანსპორტო მაგისტრალებსა და სხვა ობიექტების თავზე სმოგისა და აეროზოლური დაჟუჟყიანების ლიკვიდაცია.

ატმოსფერულ მოვლენებზე ზემოქმედების საფუძველია ატმოსფეროში ჰაერის კონვექტიური ნაკადების შექმნის პრინციპი ელექტრული ველის საშუალებით, რომელიც იქმნება იონური გენერატორებით. როგორც ავტორები თვლიან, იონური გენერატორების გამოყენებაზე დაფუძნებული ეს ტექნოლოგია ატმოსფეროზე ზემოქმედების სხვა ტრადიციულ საშუალებებთან შედარებით უფრო ეფექტურიცაა და ეკონომიურიც.

ჰაერის ლოკალურად, სხვადასხვა დანიშნულების შენობების შიგნით მტვრისაგან, ბოლისგან, სხვადასხვა ალერგენებისა და ორგანული ნაერთებისაგან გასაწმენდად ბრიტანული კომპანია “VECTRA” აწარმოებს სხვადასხვა სიმძლავრის ჰაერის გამწმენდს [217].

საინტერესო გამოკვლევებია ჩატარებული მიკრობოჭკოვანი სტრუქტურის მქონე ე.წ. პეტრიანოვის ფილტრების შემადგენლობაში არსებული პოლისტიროლის ოზონთან ურთიერთქმედების შესწავლისათვის [227].

ოზონის ფართო გამოყენების გამო ქიმიურ და ცელულოზურ წარმოებაში, აგრეთვე მიკროელექტრონიკასა, წყლის გასაწმენდათ და მედიცინაში, აქტუალური ხდება ჭარბი ოზონის განეიტრალების მეთოდის შემუშავება, მათ შორის პირადი და კოლექტიური თავდაცვის საშუალებებისათვის, რომლებიც გამოიყენება იმ შენობებებში, როდესაც ოზონის კონცენტრაცია აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ ნორმას.

ოზონის გასანეიტრალებლად იყენებენ ციკლურ პოლიმერებს, პოლიარილენურ ეთერებს და გოგირდის შემცველ პოლიმერებს, ტიოეთერებს, გაუჯერებელ პოლიციკლოოლენებს, აგრეთვე ნონბორნენს და მის უმაღლეს ჰომოლოგებს: ნონბორნოდიენს და დიციკლოპენტადიენს. არაციკლური პოლიმერების სახით გამოიყენება პოლიეთილენი და პოლიპროპილენი.

ბოჭკოვანი მასალების გამოყენების უპირატესობაა მათი მცირე ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობა, კარგად განვითარებული ზედაპირი, რომელიც თანაბრად მისადგომია ოზონის ყოველი მოლეკულისათვის, სამუშაო ტემპერატურები ოთახის ტემპერატურაა. ამჟამად ბოჭკოვანი ფილტრები ფართოდ გამოიყენება აეროზოლური ნაწილაკების დასაჭერად.

ამრიგად, მსოფლიოში ფოტოქიმიური სმოგისა და ოზონის გამოკვლევის საკითხის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ბოლო ათწლეულებში მიღწეულია მნიშვნელოვანი წარმატებები ამ გამოკვლევის სხვადასხვა ასპექტებში, მათ შორის ეკოლოგიური ეფექტების გააზრების საქმეში. ამავე დროს გამოვლენილია რიგი ამოცანებისა, რომელთა გადაწყვეტა შესაძლებელს გახდის გაღრმავდეს საერთო ცოდნა ატმოსფეროში ფოტოქიმიური პროცესების შესახებ, მოიძებნოს ამ ცოდნის პრაქტიკული გამოყენება.

საქართველოში მიწისპირა ოზონის პირველი რეგულარული დაკვირვებები დაიწყო თბილისში, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში 1980 წელს. იგი ამჟამადაც გრძელდება. წინამდებარე პროექტის დაწყებამდე ჩატარებული იყო შემდეგი სამეცნიერო გამოკვლევები:

– შესწავლილ იქნა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ვარიაციების თავისებურებები საქართველოს სხვადასხვა რაიონებში, ამ ვარიაციების დამოკიდებულება ატმოსფერულ პროცესებზე, ატმოსფეროში აეროზოლების შემცველობაზე და სხვა.

– შესწავლილ იქნა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის გრძელვადიანი ტრენდები თბილისში.

– დადგენილი იყო ფოტოქიმიური სმოგის წარმოშობის ფაქტები თბილისში და ამ მოვლენის ზოგადი თვისებრივი მიზეზები. გამოვლენილია მიწისპირა ოზონის ეკოსისტემაზე და მათ შორის ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების ზოგიერთი ეფექტი.

– დადგენილი იყო მიწისპირა ოზონის ზოგიერთი ლოკალური კლიმატური ეფექტი [8, 9, 30, 37, 66, 172, 173, 182 - 185].

როგორც აღნიშნულია ზემოთ, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის სისტემატური გამოკვლევები საქართველოში დაიწყო 1980 წელს. ამ კვლევების პირველი შედეგები წარმოდგენილია სამუშაოში [140], სადაც მოყვანილია მონაცემები მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობების შესახებ თვეების მიხედვით, აგრეთვე მონაცემები მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის დღედამურ ცვლილებებზე ალაზნის ველზე და თბილისში. მოყვანილია აგრეთვე მონაცემები მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზრდისა და შემცირების შესახებ სხვადასხვა ბარიული ველების დროს. შემდგომ ეს სამუშაოები მნიშვნელოვნად გაფართოვდა, ეკოლოგიური ასპექტების ჩათვლით, რაც აისახა მრავალ პუბლიკაციაში, კერძოდ [11, 37, 66, 79, 109, 118, 140, 172-178, 180, 182-185].

თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის დღიურ სვლას ორი მაქსიმუმი აქვს – 15-16 და 23-24 სთ, მინიმუმები კი – 7-8 და 19-20 სთ. მიწისპირა ოზონის წლიური სვლა თბილისში ხასიათდება მკვეთრი სხვაობით თბილ და ცივ პერიოდებში. ცივ პერიოდებში ტემპერატურული შემაკავებელი ფენები ხელს უშლიან ოზონის გადმოტანას ატმოსფეროს ზედა ფენებიდან – ეს ერთ-ერთი მიზეზია დაბალი მიწისპირა კონცენტრაციისა. წლის თბილ პერიოდში ინტენსიური ტურბულენტური შერევა ხელს უწყობს ოზონის მოდინებას მიწისპირა ფენაში. ამასვე უწყობს ხელს ჰაერის მაღალი დაჭუჭყიანებისას ფოტოქიმიური რეაქციები დღის ნათელ დროს, რაც მიწისპირა ოზონის მაღალი კონცენტრაციის მიზეზია [175].

განხილულია 62 შემთხვევა ანომალურად მაღალი (90-150 მკგ/მ<sup>3</sup>) მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის თბილისში 1982-1987 წლების ზაფხულის პერიოდში. ანალიზმა აჩვენა, რომ სმოგური ოზონი წარმოიქმნება არაგრადიენტული ბარიული ველის დროს ტემპერატურული შემაკავებელი ფენის ქვეშ ძალზე დაბინძურებულ ატმოსფეროში მზის ნათების დიდი ხანგრძლივობისას. ღამე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია ნულამდე ეცემა. ალაზნის ველზე (რუისპირი) ასეთი რამ არაა შემჩნეული [175].

მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის შესახებ ათწლეულების მონაცემებისა და მეტეოროლოგიური პარამეტრების (თსუ) მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციებისთვის  $< 20$  მკგ/მ<sup>3</sup> და მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციებისთვის  $> 60$  მკგ/მ<sup>3</sup> ნაჩვენებია, რომ ეს მნიშვნელობები კარგ კორელაციაშია მზის ნათების ხანგრძლივობასთან, ქარის სიჩქარესთან, ტენიანობასა და ტემპერატურასთან. მზის ნათების ხანგრძლივობის და ტემპერატურის მატება მიწისპირა ოზონის მაღალი კონცენტრაციის გარანტიაა. ამავ დროს შედარებით მაღალი ფარდობითი ტენიანობის დროს უნდა ველოდოთ მხოლოდ შედარებით

დაბალ კონცენტრაციებს. სმოგურ დღეებში ტემპერატურის მატებამ შეიძლება 40°C შეადგინოს [79].

ტროპოსფერული და მიწისპირა ოზონი აქტიურად მონაწილეობენ მეორადი აეროზოლური ნაწილაკების გენერაციაში სქემით გაზი→ნაწილაკი [54, 84, 125, 127]. ამგვარი გამოკვლევები ბოლო დროს ჩატარდა საქართველოში [9, 11]. ჩატარებულია აგრეთვე გამოკვლევები აეროზოლების ყინულწარმომქმნელ აქტიურობაზე ოზონის გავლენის შესასწავლად [120, 174].

ბოლო წლებში დაწყებულია ავტოტრანსპორტის გავლენის შესწავლა ქალაქ თბილისის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე [45, 46, 53, 70, 86, 94, 111].

აღსანიშნავია, რომ თბილისში 2009 წელს რეგისტრირებული იყო 274441 ავტომანქანა, მათ შორის 235057 მსუბუქი და 15635 ავტობუსი და მიკროავტობუსი. 2010 წელს თბილისში რეგისტრირებული ავტომანქანების საერთო რაოდენობამ მიაღწია 325000, რაც შეადგენს სრულიად საქართველოს სატრანსპორტო საშუალებების დაახლოებით 41 %. 15 წლიანი მანქანების რაოდენობა შეადგენს საერთო რაოდენობის 57.3 %, ხოლო 20 წელზე მეტის – დაახლოებით 33 %. ახალი ავტომანქანების (5 წელზე ნაკლები) წილი შეადგენს მხოლოდ 8.1 %. თბილისში საავტომობილო გზების საერთო სიგრძე შეადგენს დაახლოებით 1200 კმ. ქალაქის გზებით საათში დაახლოებით 1500 მანქანა გადაადგილდება.

თბილისში ავტოტრანსპორტის მიერ ზოგიერთი მინარევის წლიური ემისია შეადგენს: CO – 103165 ტ, NO<sub>2</sub> – 10155 ტ, SO<sub>2</sub> – 3460 ტ, მყარი ნაწილაკები – 2423 ტ. სტაციონალური პუნქტებისათვის იგივე მაჩვენებლები შეადგენს: CO – 30 ტ, NO<sub>2</sub> – 14 ტ, SO<sub>2</sub> – 3 ტ, მყარი ნაწილაკები – 105 ტ. გამოტყორცნილი მავნე მინარევების პრაქტიკულად მთელი რაოდენობა მოდის ავტოტრანსპორტზე. 2010 წელს დავით აღმაშენებლის გამზირზე ზოგიერთი მინარევის საშუალო წლიური კონცენტრაცია შეადგენდა: CO – 3.5 მგ/მ<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> – 0.09 მგ/მ<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> – 0.1 მგ/მ<sup>3</sup>, მყარი ნაწილაკები – 0.4 მგ/მ<sup>3</sup> [53]. ამავე დროს ამსტერდამში NO<sub>2</sub>-ს კონცენტრაცია შეადგენს 0.025 - 0.075 მგ/მ<sup>3</sup>, ხოლო ჰოლანდიის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში – 0.011-0.053 მგ/მ<sup>3</sup> (მტვერი -0.011-0.025 მგ/მ<sup>3</sup>), რაც გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე თბილისში [47]. ეს უეჭველად დაკავშირებულია საქართველოში ავტოტრანსპორტის მოძველებულ პარკთან და უხარისხო საწვავთან. შედარებისთვის აღვნიშნავთ აგრეთვე, რომ თბილისში 1985 – 1990 წლებში ზემოთ აღნიშნული მინარევების საშუალო წლიური კონცენტრაციები შეადგენდა: CO – 5 მგ/მ<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> – 0.09 მგ/მ<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> – 0.11 მგ/მ<sup>3</sup>, მყარი ნაწილაკები – 0.5 მგ/მ<sup>3</sup> [9].

ამგვარად, თბილისში ბოლო წლებში დაკვირვებული ჰაერის დაჭუჭყიანების დონე სავსებით შესაბამისია ატმოსფეროს დაჭუჭყიანებისა საბჭოთა პერიოდის ბოლო წლებში. ამჟამად რამდენადმე დაბალია CO -ს და მყარი ნაწილაკების კონცენტრაცია.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ მიუხედავად მძიმე სიტუაციისა, რომელიც ქალაქ თბილისში ჰაერის დაჭუჭყიანების მხრივ დაიკვირვება, მთლიანობაში საქართველო გარემოს დაცვის ინდექსის მიხედვით 132 ქვეყანას შორის 47 ადგილზე იმყოფება [51].

პერსპექტივაში 2020 წლამდე თბილისში დაგეგმილია მთელი რიგი ღონისძიებებისა ენერგიის დაზოგვის დარგში, რამაც თავის მხრივ უნდა გამოიწვიოს ქალაქში ეკოლოგიური სიტუაციის რამდენადმე გაჯანსაღება [106].

როგორც ზემოთთქმულიდან ჩანს, საქართველოში შესრულებული იყო საკმაოდ მნიშვნელოვანი კვლევები ჰაერის დაჭუჭყიანების დონის შესასწავლად.

იმავდროულად არ იყო გამორკვეული ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის სივრცულ-დროითი მახასიათებლები თბილისისისათვის. გაზომვები წარმოებდა ერთ პუნქტში გეოფიზიკის ინსტიტუტის ტერიტორიაზე. ამ მონაცემებს შეეძლოთ დაეხასიათებინათ მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ცვლილების ზოგადი სურათი, აგრეთვე დაეფიქსირებინათ ფოტოქიმიური სმოგის არსებობა. თუმცა რაოდენობრივი თვალსაზრისით ისინი შეიძლებოდა მნიშვნელოვნად განსხვავებულნი ყოფილიყვნენ ოზონის შემცველობით და ფოტოქიმიური სმოგის სხვა შემადგენლებით თბილისის სხვადასხვა რაიონში, რომლებიც ძალზე დაბინძურებულია ტარნსპორტის გამონაბოლქვით.

არ ჩატარებულა ფოტოქიმიური სმოგის წარმოქმნის პირობების გამოკვლევა, განსაკუთრებით ატმოსფეროს აეროზოლური და გაზური შემადგენლობის, მზის რადიაციის, მეტეოროლოგიური პარამეტრების, მაიონიზებული გამოსხივების (ბუნებრივი რადიოაქტიურობა, კოსმოსური სხივები) კომპლექსური მოქმედება ამ პროცესზე. არსებული ლიტერატურული და ჩვენი მონაცემებით რადონი და ატმოსფეროს იონიზაციის სხვა ფაქტორები გარკვეულ პირობებში წარმოადგენენ ჰაერში მეორადი აეროზოლების - ფოტოქიმიური სმოგის ერთ-ერთი შემადგენლის წარმოქმნის კატალიზატორს [4, 9, 11, 55, 84, 102]. ამიტომ მოსალოდნელი იყო ფოტოქიმიური პროცესების ინტენსივობის გაძლიერება ტექტონიკური რღვევების ზონაში, სადაც ნიადაგიდან რადონის გადიდებული გამოსვლაა და გარდა ამისა შესაძლებელია დამატებით ე.წ. ლითოსფერული ოზონის არსებობა.

ამის გათვალისწინებით იყო დასმული მიზანი და ამოცანები ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის კომპლექსური კვლევების შესახებ, რომელიც შესრულდა პროექტ GNSF/ ST08/5-437 ფარგლებში (იხილე შესავალი).

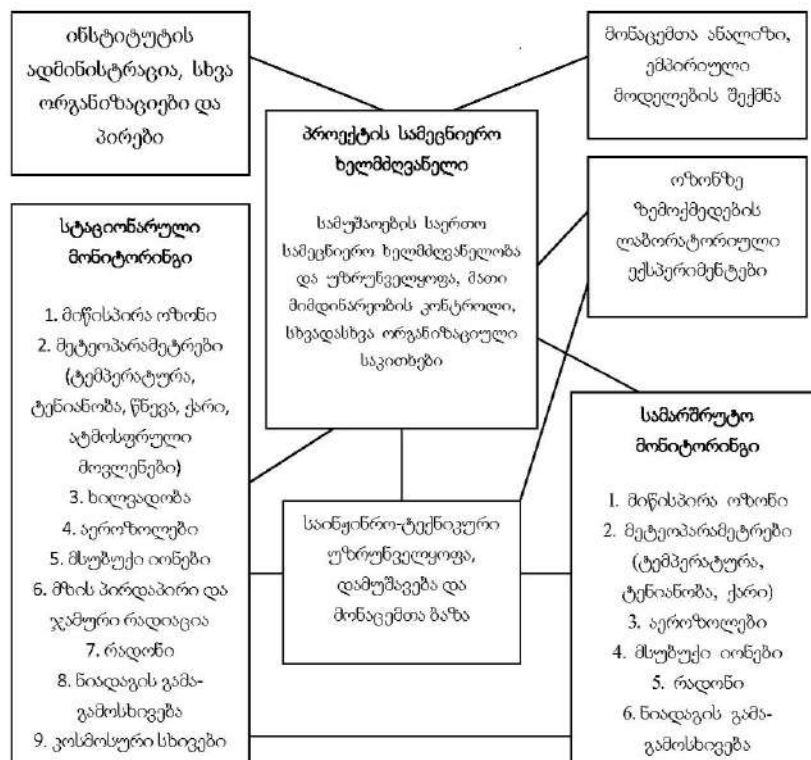
წიგნის შემდგომ თავებში მოცემულია აღნიშნული პროექტით შესრულებული ექსპერიმენტული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ძირითადი შედეგები.

## თავი 2 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების გაზომვის მეთოდოლოგია. მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და მასზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდოლოგია.

სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა ფიზიკური და ფიზიკურ-სტატისტიკური (ემპირიული) კვლევის მეთოდები. ტარდებოდა როგორც საველე სტაციონარული და სამარშრუტო სამუშაოები, ასევე ლაბორატორიული ექსპერიმენტები.

### 2.1 საველე და ლაბორატორიული ექსპერიმენტების ზოგადი აღწერა

ნახ. 2.1-ზე წარმოდგენილია საველე და ლაბორატორიული ექსპერიმენტების ზოგადი სქემა.



ნახ. 2.1 საველე და ლაბორატორიული ექსპერიმენტების ზოგადი სტრუქტურა

ჩატარებული იქნა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობის, მსუბუქი იონების კონცენტრაციის, სტანდარტული მეტეოროლოგიური პარამეტრების (ტემპერატურა, წნევა, ჰაერის ტენიანობა, ქარის სიჩქარე და მიმართულება), ატმოსფერული მოვლენების (დრუბლიანობა, წვიმა, ნისლი და სხვ.), მზის პირდაპირი და ჯამური რადიაციის ინტენსივობის, ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის, ხილვადობის, ჰაერის ბუნებრივი რადიოაქტიურობის (მიწისპირა ჰაერში რადონის კონცენტრაცია და ნიადაგის გამა-გამოსხივება) და გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობის კომპლექსური მონიტორინგი.

აღნიშნული პარამეტრების მონიტორინგი ტარდებოდა როგორც სტაციონარულ ბაზებზე (გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერის ტერიტორია და კოსმოფიზიკური ლაბორატორია), ასევე თბილისის სხვადასხვა რაიონში 20 პუნქტში.

ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტები მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნისა და მასზე აქტიური ზემოქმედებისათვის ოზონის მაღალი კონცენტრაციების შემცირების მიზნით.

### სტაციონარული მონიტორინგი ტარდებოდა შემდეგ ვადებში:

- მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია იზომებოდა დღის საათებში (9 სთ. – 17-18 სთ. სეზონის მიხედვით) უწყვეტად. გამოყენებულია 1 საათის სიხშირის მონაცემები.

- ტემპერატურა, ჰაერის ტენიანობა, წნევა, ქარის სიჩქარე და მიმართულება, ატმოსფერული მოვლენები - იზომებოდა დღე-ღამეში 8-ჯერ (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 და 21 საათზე).

- ხილვადობა და საერთო დრუბლიანობა იზომებოდა ვიზუალური მეთოდებით დღის საათებში 1 საათის ინტერვალით.

- სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების კონცენტრაცია იზომებოდა დღის საათებში 4 ჯერ (9, 12, 15 და 17-18 საათზე).

- მზის პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობა იზომებოდა დღის საათებში 4 ჯერ (9-30, 12-30, 15-30 და 17-30 ან 18-30 საათზე). დღეებისათვის, როდესაც ატმოსფერო გამჭვირვალეა, გამოთვლილი იქნა ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის მნიშვნელობები.

- მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა იზომებოდა დღის საათებში 1 საათის ინტერვალით (9-30, 10-30...18-30 საათზე).

- ნიადაგის გამა-გამოსხივება იზომებოდა ეპიზოდურად.

- გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობა იზომებოდა დღე-ღამეში უწყვეტად 1 საათის ინტერვალით.

მობილური მონიტორინგი ტარდებოდა თვეში 4-6 ჯერ.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტები ტარდებოდა თვეში 4-8 ჯერ.

## 2.2 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევნი და განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების სტაციონარული მონიტორინგი.

გამოსაკვლევ პარამეტრების (გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის გარდა) სტაციონარული მონიტორინგი ტარდებოდა გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერის ტერიტორიაზე ( $41.754^{\circ}$  ჩ.გ.,  $44.927^{\circ}$  ა.გ., სიმაღლე ზღვის დონიდან 442 მ) [221]. ქარის სიჩქარის და მზის რადიაციის ინტენსივობის გარდა ყველა გაზომვები ტარდებოდა თერმობაროკამერის მე-3 სართულის სიმაღლეზე სათანადოდ აღჭურვილი ლაბორატორიებიდან (8 მ. მიწის დონიდან).



ნახ. 2.2 თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერის შენობა.

ჰაერის ტემპერატურის, ფარდობითი ტენიანობის და მზის პირდაპირი რადიაციის გაზომვები ტარდებოდა თერმობაროკამერის ეზოში, ხოლო ქარის სიჩქარის და მიმართულების და მზის ჯამური რადიაციის – თერმობაროკამერის კოშკიდან (40 მ. მიწის დონიდან). ინფორმაცია აღნიშნულ მეტეოროლოგიურ პარამეტრებზე და მზის ჯამურ რადიაციაზე დისტანციურად გადაიცემოდა სათანადო ლაბორატორიაში. მზის ჯამური რადიაციის მიმღებს გაზომვის დროს დისტანციურად ეხსნებოდა ჩვენს მიერ სპეციალურად დამზადებული დამცავი სახურავი, რომელიც იხურებოდა გაზომვის შემდეგ. თერმობაროკამერის ფოტოსურათი წარმოდგენილია ნახ. 2.2-ზე.



გამოყენებული იქნა შემდეგი გამოზომი აპარატურა.

მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია იზომებოდა OMG-200 ტიპის ელექტროქიმიური ოზონომეტრის საშუალებით [19,74]; სუბმიკრონული აეროზოლების (დიამეტრი  $\geq 0.1$  მკმ) კონცენტრაცია იზომებოდა ნეფელომეტრი ΦAH-ის საშუალებით, რომელიც მუშაობდა თვლის რეჟიმში [18]; მსუბუქი იონების (ძვრადობა  $\geq 0.8$  სმ/წამი/ვოლტი) კონცენტრაცია იზომებოდა ჩვენს მიერ დამზადებული გერდინის ტიპის ხელსაწყოთი [13, 44].

რადონის კონცენტრაციის განსაზღვრა ტარდებოდა მისი უახლოესი ალფა დაშლის პროდუქტების გაზომვის შედეგად (რადიუმი A და რადიუმი C'). ჰაერის სინჯი 5 წუთის განმავლობაში ტარდებოდა АΦА-PMΠ-20 ტიპის ფილტრში სპეციალური ჰაერსაქაჩის მეშვეობით. ამის შემდეგ ხდებოდა ფილტრიდან გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების თვლა БД3А ტიპის მიმღების და სათანადო იმპულსების მთვლელის საშუალებით [18, 162, 167].

მზის პირდაპირი რადიაცია იზომებოდა M-3 ტიპის აქტინომეტრით, ხოლო ჯამური რადიაცია - M-80MM ტიპის პირანომეტრით [19, 165, 166].

ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის გამოთვლა ტარდებოდა კ. თავართქილაძის მეთოდით [169].

გამა-რადიაცია იზომებოდა AT1117M ტიპის ხელსაწყოს საშუალებით [6].

გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობა იზომებოდა ნეიტრონული მონიტორის საშუალებით [221].

სტანდარტული მეტეოროლოგიური პარამეტრების გასაზომად გამოყენებული იყო მეტეოსადგური ИТВ-1М (ტემპერატურა, ტენიანობა), ანემომომეტრი M-47 (ქარის სიჩქარე და მიმართულება) და ბარომეტრი M-67 (ატმოსფერული წნევა) [19, 20, 165, 166].

ატმოსფერული მოვლენები და საერთო ღრუბლიანობა ფიქსირდებოდა ვიზუალური მეთოდით [19, 20, 40, 165, 166]. ხილვადობის დასადგენად არჩეულ იქნა თერმობაროკამერიდან სხვადასხვა მანძილზე მყოფი 10 ობიექტი. ხილვადობა განისაზღვრებოდა ცხრილი 2.1 მიხედვით.

ცხრილი 2.1

მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილი ბალების მიხედვით [166]

| ბალი | ობიექტამდე მანძილი (კმ) |                  | ბალი | ობიექტამდე მანძილი (კმ) |                 |
|------|-------------------------|------------------|------|-------------------------|-----------------|
|      | ობიექტი ჩანს            | ობიექტი არ ჩანს  |      | ობიექტი ჩანს            | ობიექტი არ ჩანს |
| 0    |                         | 0.05- ზე ნაკლები | 5    | 2                       | 4               |
| 1    | 0.05                    | 0.2              | 6    | 4                       | 10              |
| 2    | 0.2                     | 0.5              | 7    | 10                      | 20              |
| 3    | 0.5                     | 1                | 8    | 20                      | 50              |
| 4    | 1                       | 2                | 9    | 50- ზე მეტი             |                 |

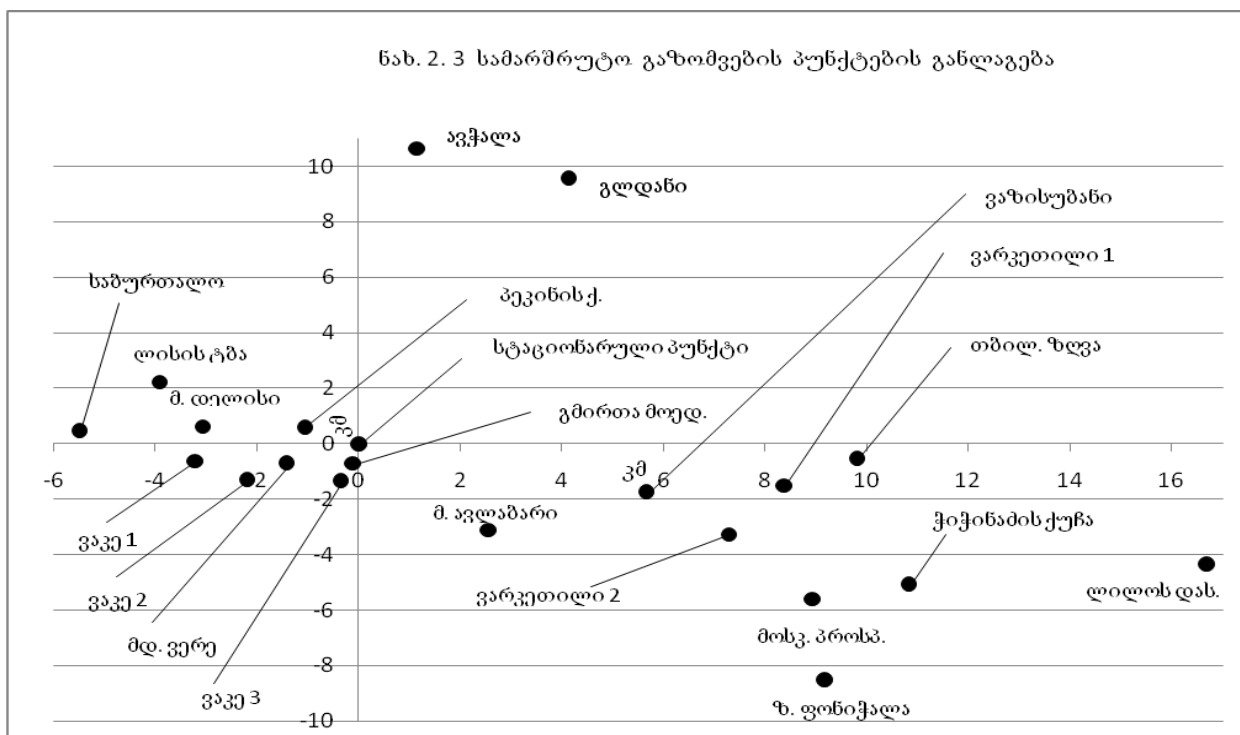
## 2.3 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევნი და განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების მობილური მონიტორინგი.

ქ. თბილისის სხვადასხვა რაიონში სამარშრუტო მონიტორინგი ტარდებოდა საჭიროების მიხედვით სმოგურ დღეებში. იზომებოდა ატმოსფეროს პარამეტრები ნახ. 2.1 მიხედვით. სულ არჩეული იყო 20 პუნქტი, ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის და საცობების არსებობის მიხედვით – რვა შედარებით სუფთა და რვა გაჭუჭყიანებული ადგილები. გაზომვები ტარდებოდა აგრეთვე ოთხი ტექტონიკური რღვევის ადგილში.

ცხრილი 2.2

სამარშრუტო გაზომვების პუნქტების კოორდინატები

| პუნქტის დასახელება      | მანძილი ს.პ.-დან |        | სამაღლე<br>(მ) | შენიშვნა             |
|-------------------------|------------------|--------|----------------|----------------------|
|                         | X (კმ)           | Y (კმ) |                |                      |
| თერმობაროკამერა         | 0                | 0      | 442            | საბაზო პუნქტი (ს.პ.) |
| ავჭალა                  | 1.15             | 10.64  | 465            | შედარებით სუფთა      |
| გლდანი                  | 4.13             | 9.59   | 533            | შედარებით სუფთა      |
| გმირთა მოედანი          | -0.12            | -0.71  | 416            | გაჭუჭყიანებული       |
| ლილოს დასახლება         | 16.68            | -4.34  | 526            | შედარებით სუფთა      |
| ლისის ტბა               | -3.91            | 2.22   | 648            | შედარებით სუფთა      |
| მეტრო ავლაბარი          | 2.55             | -3.11  | 429            | გაჭუჭყიანებული       |
| მეტრო დელისი            | -3.07            | 0.61   | 479            | გაჭუჭყიანებული       |
| მდინარე ვერე            | -1.41            | -0.70  | 441            | ტექტონიკური რღვევა   |
| მოსკოვის პროსპექტი      | 8.92             | -5.59  | 404            | შედარებით სუფთა      |
| პეკინის ქუჩა            | -1.05            | 0.60   | 492            | გაჭუჭყიანებული       |
| საბურთალო               | -5.48            | 0.48   | 537            | გაჭუჭყიანებული       |
| თბილისის ზღვა           | 9.81             | -0.54  | 581            | ტექტონიკური რღვევა   |
| ვაკე 1                  | -3.21            | -0.64  | 470            | ტექტონიკური რღვევა   |
| ვაკე 2                  | -2.19            | -1.30  | 490            | გაჭუჭყიანებული       |
| ვაკე 3                  | -0.34            | -1.33  | 456            | გაჭუჭყიანებული       |
| ვარკეთილი 1             | 8.36             | -1.50  | 546            | შედარებით სუფთა      |
| ვარკეთილი 2 (მეტროსთან) | 7.29             | -3.27  | 471            | გაჭუჭყიანებული       |
| ვაზისუბანი              | 5.67             | -1.74  | 562            | შედარებით სუფთა      |
| ჭიჭინაძის ქუჩა          | 10.83            | -5.07  | 441            | შედარებით სუფთა      |
| ზემო ფონიჭალა           | 9.16             | -8.51  | 455            | ტექტონიკური რღვევა   |



სამარშრუტო გაზომვების პუნქტების კოორდინატები მოცემულია ცხრილში 2.2-ში, მათი განლაგების სქემა კი – ნახ. 2.3-ში.



ნახ. 2.4 მოძრავი ლაბორატორია

მიწისპირა ოზონის და სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია იზომებოდა სტაციონარულ ბაზაზე მყოფი ხელსაწყოების მეორე კომპლექტით. გამა

რადიაცია იზომებოდა იგივე ხელსაწყოთი, რაც სტაციონარულ ბაზაზე. რადონი იზომებოდა PB-4 ტიპის ხელსაწყოთი. მსუბუქი იონები - პორტატულ იონომეტრ “AlphaLab, Inc.” საშუალებით. მეტეოროლოგიური პარამეტრები – მეტეოსადგურ PCE-FWS 20 გამოყენებით.

სამარშრუტო მონიტორინგისათვის აღნიშნული აპარატურა და პორტატული ელექტროგენერატორი დამონტაჟებული იყო ვაზ-2106 ტიპის ავტომანქანაზე (ნახ. 2.4).

## **2.4 მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და მასზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდოლოგია.**

ამჟამად ფოტოქიმიურ სმოგზე (აირების და წვრილდისპერსული აეროზოლური ნაწილაკების ნარევი) პირდაპირი ზემოქმედების მეთოდები დაფუძნებულია ატმოსფეროს აეროზოლურ-აიროვანი გაჭუჭყიანების ეგრეთ წოდებული სველი გამორეცხვის (დრუბლები, ნისლი, წვიმა) კარგად ცნობილ ფიზიკურ პროცესებზე [14 - 16, 56, 57, 120, 121, 130, 142, 153, 156, 167, 168]. ასე მაგალითად, ნაშრომ [56] - ის თანახმად, წვიმის დროს ნახშირბადის ნაწილაკების კონცენტრაცია 1.5 – 5.5 ჯერ მცირდება. 2003-2005 წლების მონაცემებით [173], თბილისში წვიმის ან ნისლის დროს მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია დაბალი იყო და იცვლებოდა 4-დან 12 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე, 9 მკგ/მ<sup>3</sup> საშუალო მნიშვნელობისას. ნისლის დროს მიწისპირა ოზონის დაბალ კონცენტრაციებზე მიუთითებენ აგრეთვე ნაშრომ [161]-ში. რაც შეეხება მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას, გამოკვლეულია, რომ იგი საგრძნობლად კლებულობს არა მხოლოდ წვიმის და წყლიანი ნისლის დროს, არამედ მყარი აეროზოლების შემცველ გარემოშიც [11, 120, 174].

გამოკვლევების ამ ეტაპზე ჩვენ შევჩერდით ოზონზე ზემოქმედების ე.წ. სველი გამორეცხვის მეთოდზე.

### **2.4.1 ლაბორატორიულ პირობებში მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და გაზომვის მეთოდოლოგია**

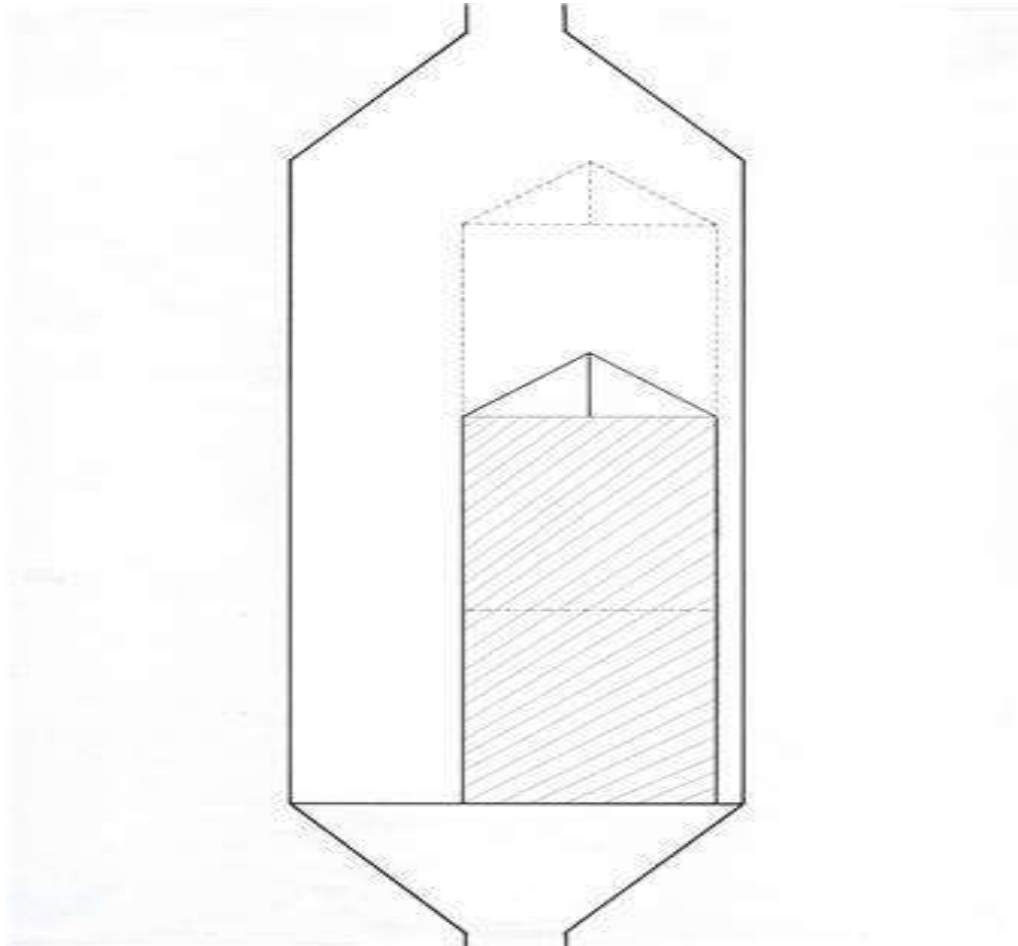
#### **დიდ საღრუბლო კამერაში ოზონისადმი ნეიტრალური მასალისაგან იზოლირებული მოცულობის შექმნა და მისი სათანადო ხელსაწყო - დანადგარებით აღჭურვა**

ხელოვნური სმოგის შესაქმნელად და მასზე ზემოქმედების შესაძლებლობის შესასწავლად, დიდი თერმობაროკამერის შიგნით, რომლის შიდა დიამეტრი 4.6 მეტრი, ხოლო ცილინდრული ნაწილის სიმაღლე 15 მეტრია (ნახ. 2.5), შეიქმნა ოზონისადმი ინერტული მასალებისგან დამზადებული ე.წ. სმოგის კამერა (ნახ. 2.6), რომელიც წარმოადგენს პოლიეთილენის მილებისგან შეკრულ ზედა და ქვედა რგოლებს, რომელთა შორის დაჭიმულია პოლიეთილენის აბკი. მთლიანობაში სმოგურ კამერას აქვს ცილინდრის ფორმა, რომლის შიდა დიამეტრი 2.57 მეტრია, ხოლო მისი სიმაღლე შეიძლება ვცვალოთ 0.5 მეტრიდან 6 მეტრამდე. მისი მაქსიმალური მოცულობა 31 კუბურ მეტრს აღემატება. შეკიდულობის სპეციალური სისტემით შეიძლება კამერა, ფსკერის გარეშე, აიწიოს ძირიდან სამი მეტრის სიმაღლემდე, რაც

იძლევა როგორც დიდი ზომის მოწყობილობების შეტანის, აგრეთვე დიდ კამერაში მიღებული ხელოვნური გარემოს გამოყოფის საშუალებას.

სმოგის კამერა აღჭურვილია შემდეგი ხელსაწყო-დანადგრებით (ნახ. 2.6):

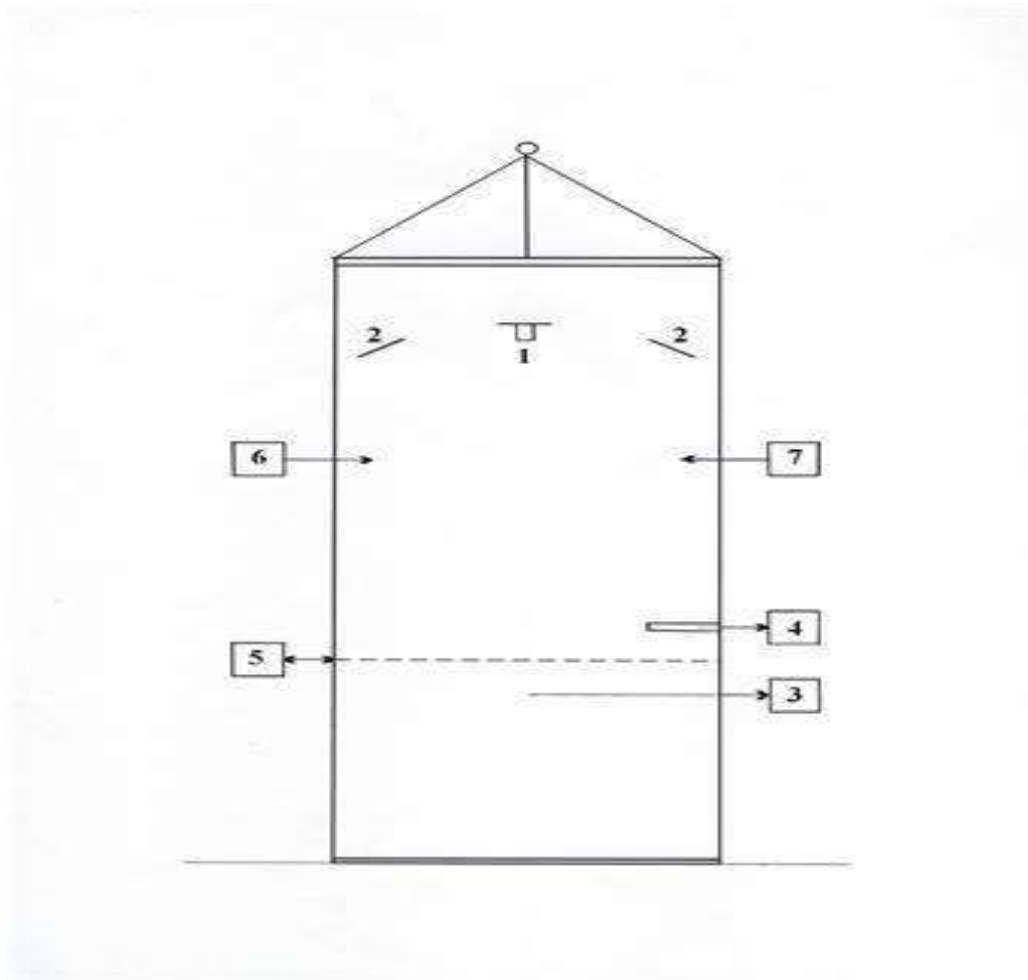
1. წყლის აეროზოლის შესაქმნელი აპარატურა – დისკური საფრქვევები და ჰიდროიონების გენერატორი (პოზ.1).
2. ულტრაიისფერი გამოსხივების წყაროები (ოზონის გენერატორი) – ბაქტერიციდული ნათურები და კვარცის ნათურები (პოზ. 2).
3. ელექტროქიმიური ოზონომეტრი (პოზ. 3).
4. წყლიანობის გამზომი (პოზ. 4).
5. გამჭვირვალობის გამზომი (პოზ. 5).
6. წყლის ორთქლის გენერატორი (ორთქლის ქვაბი) და ორთქლის შესაშვები სისტემა (პოზ. 6).
7. მყარი აეროზოლების გაფრქვევის სისტემა (პოზ. 7).



ნახ. 2.5. დიდი სადრუბლო კამერა და მასში მოთავსებული სმოგის კამერა

ამის გარდა გარემოს გასაკონტროლებლად გამოყენებულ იქნა ტემპერატურის, ტენიანობის და ჰაერის იონური შემადგენლობის გამზომები.

მოცულობაში ოზონის სათანადო კონცენტრაციის შესაქმნელად გამოყენებული იყო ორი ტიპის ულტრაიისფერი გამოსხივების წყარო. გამომდინარე იქიდან, რომ ოზონი ჰაერზე მძიმეა, ულტრაიისფერი გამოსხივების წყაროები განლაგებულია მოცულობის ზედა ნაწილში, ზემო სიბრტყიდან დაახლოებით 10–15 სანტიმეტრის დაშორებით. სიმეტრიულად, შტანგის ცენტრში დამონტაჟებულია ფირმა TUNGSRAM-ის ორი 20 ვატიანი ბაქტერიციდული ნათურა ფირმა DEVARNA-ს EB407 მოდელის ელექტრონული ბალასტით, ხოლო ბოლოებში, კედლიდან და ზემოდან დაახლოებით 30 სმ მანძილზე  $45^\circ - 60^\circ$  დახრით ცენტრისკენ, ერთიმეორისაგან დაახლოებით ორი მეტრის დაშორებით - OKH-11-M ტიპის კვარცის დამსხივებელის ორი ДРТ-240 მარკის მილაკი (ნახ. 2.6; პოზ. 2). ორივე ტიპის წყარო უზრუნველყოფს მოცულობაში სმოგისათვის დამახასიათებელი ოზონის კონცენტრაციის შექმნას.



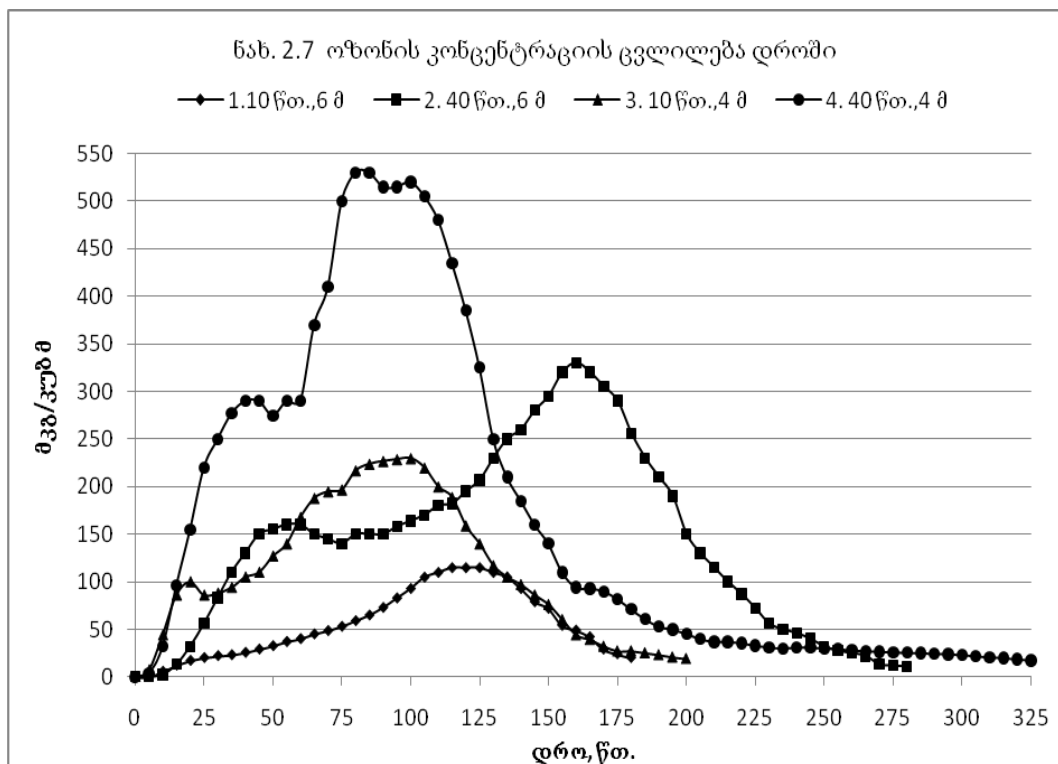
ნახ. 2.6 სმოგის კამერა (აღნიშვნები ტექსტში)

დამსხივებლების კორპუსები უსაფრთხოების მიზნით და დისტანციურად სამართავად გატანილი იქნა კამერის გარეთ. ოზონის კონცენტრაციის გაზომვა ხდებოდა კამერის გარეთ განლაგებული OMG-200 ტიპის ოზონომეტრის საშუალებით. ოზონომეტრის ფტოროპლასტის მიმღები მილი განლაგებულია დაახლოებით კამერის ცენტრში ძირიდან ორი მეტრის სიმაღლეზე (ნახ. 2.6, პოზ. 3). კამერის სიმაღლე ამ შემთხვევაში 6 მეტრის ტოლია.

### ოზონის სხვადასხვა კონცენტრაციის შექმნის რეჟიმების დამუშავება

ცდები ჩატარდა ექსპოზიციის 10, 20, 30 და 40 წუთის ხანგრძლივობით. ჩართული გვექონდა ყველა ულტრაიისფერი გამოსხივების წყარო. შედეგები მოცემულია ნახ. 2.7-ზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ყოველი ცდის წინ კამერაში დამყარებული იყო ისეთი რეჟიმი, რომ ოზონის კონცენტრაცია ფაქტიურად ნულს უდრიდა. ყველა შემთხვევაში ოზონის კონცენტრაციის ზრდა იწყებოდა უკვე მეხუთე წუთის შემდეგ. ზრდის სიჩქარე ყველა შემთხვევაში და კონკრეტულ უბანზე განსხვავდებოდა და შეადგენდა 0.4-დან 5.4 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე წუთში პირველი საათის განმავლობაში.



ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედების დროს ოზონის მაქსიმალურმა კონცენტრაციამ შეადგინა: 10 წუთიანი ექსპოზიცია – 5.5 მკგ/მ<sup>3</sup>; 20 წუთიანი ექსპოზიცია – 40 მკგ/მ<sup>3</sup>; 30 წუთიანი ექსპოზიცია – 80 მკგ/მ<sup>3</sup>; 40 წუთიანი ექსპოზიცია – 130 მკგ/მ<sup>3</sup>. 100 მკგ/მ<sup>3</sup> მნიშვნელობას ოზონის კონცენტრაციამ მიაღწია: 10 წუთიანი

ექსპოზიციისას – 102 წუთში; 20 წუთიანი ექსპოზიციისას – 54 წუთში; 30 წუთიანი ექსპოზიციისას – 42 წუთში; 40 წუთიანი ექსპოზიციისას – 34 წუთში.

ოზონის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც მიღწეულ იქნა ექსპერიმენტების დროს, შეადგენდა: 10 წუთიანი ექსპოზიცია – 115 მკგ/მ<sup>3</sup> 115 წუთის შემდეგ; 40 წუთიანი ექსპოზიცია – 330 მკგ/მ<sup>3</sup> 160 წუთის შემდეგ.

ოზონის კონცენტრაციის ცვლილების მაქსიმალური სიჩქარე იყო: კონცენტრაციის ზრდისას – 8 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში (20 წუთიანი ექსპოზიციის დროს), კონცენტრაციის კლების დროს – 14 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში (10 წუთიანი ექსპოზიციის დროს).

ჩატარდა აგრეთვე ანალოგიური ექსპერიმენტები შემცირებულ მოცულობაში – ოზონის კამერის სიმაღლე შევამცირეთ ექვსიდან ოთხ მეტრამდე. ამით მივაღწიეთ იმას, რომ ვერტიკალური მანძილი ულტრაიისფერი გამოსხივების წყაროებიდან ოზონომეტრის მიმღებ ფტოროპლასტის მილამდე შემცირდა ზუსტად ორჯერ – ოთხი მეტრიდან ორ მეტრამდე. ამან გარკვეული ცვლილებები შეიტანა ექსპერიმენტის შედეგებში.

ასე მაგალითად, ულტრაიისფერი გამოსხივების მოქმედების დროს ოზონის კონცენტრაციამ შეადგინა: 10 წუთიანი ექსპოზიცია – 44 მკგ/მ<sup>3</sup>; 20 წუთიანი ექსპოზიცია – 170 მკგ/მ<sup>3</sup>; 30 წუთიანი ექსპოზიცია – 168 მკგ/მ<sup>3</sup>; 40 წუთიანი ექსპოზიცია – 290 მკგ/მ<sup>3</sup>. 100 მკგ/მ<sup>3</sup> მნიშვნელობას ოზონის კონცენტრაციამ მიაღწია: 10 წუთიანი ექსპოზიციისას – 20 წუთში; 20 წუთიანი ექსპოზიციისას – 15 წუთში; 30 წუთიანი ექსპოზიციისას – 22 წუთში; 40 წუთიანი ექსპოზიციისას – 15.2 წუთში.

ოზონის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა, მიღწეული ექსპერიმენტების დროს, შეადგენდა: 10 წუთიანი ექსპოზიცია – 230 მკგ/მ<sup>3</sup> 100 წუთის შემდეგ; 20 წუთიანი ექსპოზიცია – 375 მკგ/მ<sup>3</sup> 95 წუთის შემდეგ; 30 წუთიანი ექსპოზიცია – 275 მკგ/მ<sup>3</sup> 110 წუთის შემდეგ; 40 წუთიანი ექსპოზიცია – 530 მკგ/მ<sup>3</sup> 80 წუთის შემდეგ. ე.ი. ადგილი აქვს როგორც დროის მკვეთრ შემცირებას, ასევე ოზონის გაცილებით მაღალი კონცენტრაციების მიღწევას.

ოზონის კონცენტრაციის ცვლილების მაქსიმალური სიჩქარე იყო: კონცენტრაციის ზრდისას: 10 წუთიანი ექსპოზიცია – 42 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში; 20 წუთიანი ექსპოზიცია – 70 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში; 30 წუთიანი ექსპოზიცია – 48 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში; 40 წუთიანი ექსპოზიციის დროს კი მიაღწია 90 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში. კონცენტრაციის კლების დროს კი –30 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში (10 წუთიანი ექსპოზიციის დროს); –45 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში (20 წუთიანი ექსპოზიციის დროს); –30 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში (30 წუთიანი ექსპოზიციის დროს) და –75 მკგ/მ<sup>3</sup> წუთში (40 წუთიანი ექსპოზიციის დროს).

ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, რომ არჩეული მიმართულება სავსებით აკმაყოფილებს დასახულ ამოცანებს – მიღწეული ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაცია რამდენჯერმე აჭარბებს საქართველოს პირობებში დაკვირვებულ სიდიდეებს. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია სხვადასხვა ხერხების გამოყენებით გაცილებით მაღალი კონცენტრაციების შექმნა. ოზონის “სიცოცხლის დრო” კამერაში შეადგენს რამდენიმე (6 - 7) საათს, რაც მეტყველებს მასალის და მთლიანობაში ოზონის კამერის კარგ ხარისხზე. ცდების ჩატარება შესაძლებელია როგორც ოზონის შექმნის დროს (10 - 40 წუთი), ასევე ზემოდან, ოზონის წყაროებთან შექმნილი ოზონის ჩამოდინების დროს (80 - 125 წუთი) და, რაც მთავარია, დამყარებული რეჟიმის დროს – დაახლოებით ორი – სამი საათის განმავლობაში.

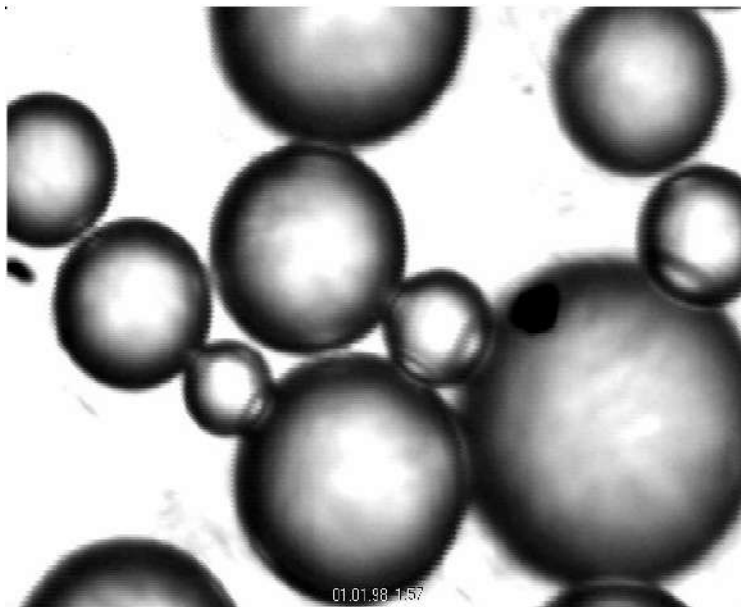


## 2.4.2 ლაბორატორიულ პირობებში მიწისპირა სმოგურ ოზონზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდика

სხვადასხვა მფრქვევანას გამოცდა და მათი მახასიათებლების დადგენა; მოცულობაში ოზონის სათანადო კონცენტრაციის შექმნის მეთოდის დამუშავება

მოცულობაში წყლის აეროზოლის შესაქმნელად გამოვცადეთ ხუთი ტიპის მფრქვევანა: ქარხნული წარმოების ჰაერის დამატენიანებელი «Комфорт» და ოთხი სხვადასხვა ტიპის დისკური მფრქვევანა:

- 1) მცირე ზომის (დიამეტრი 59 მმ) კონუსისმაგვარი პერფორირებული მართკუთხა ნახვრეტებიანი პლასტმასის დისკური მფრქვევანა, ძრავა – ДПП ტიპის მუდმივი დენის 27 ვოლტიანი 9000 ბრუნი/წთ.
- 2) 116,8 მმ დიამეტრის ლამბაქისებრი მართკუთხა ნახვრეტებით და წყლის აბკის გამყოფი პროფილის მქონე პლასტმასის დისკური მფრქვევანა, ძრავა – ДП-2-26 ტიპის მუდმივი დენის 27 ვოლტიანი 9000 ბრუნი/წთ.
- 3) 118 მმ დიამეტრის ლამბაქისებრი წყლის აბკის გამყოფი პროფილის მქონე პლასტმასის დისკური მფრქვევანა, ძრავა – ДП-104-90-10-Y1-M6 ტიპის მუდმივი დენის 27 ვოლტიანი 10000 ბრუნი/წთ.
- 4) 119,4 მმ დიამეტრის ლამბაქისებრი მრგვალი ნახვრეტებით და ჰაერის შემწოვი თითბერის დისკური მფრქვევანა, ძრავა – Д-7 ტიპის მუდმივი დენის 27 ვოლტიანი 7000 ბრუნი/წთ.



ნახ. 2.8. გაფრქვეული წყლის წვეთების გამოსახულება

მფრქვევანებისთვის წყლის ნაკადის შესაქმნელად გამოვიყენეთ კალიბრებული, სტაბილური ხარჯის მქონე პიპეტები. ხარჯი შეადგენდა 0.834 მლ/წამში. სინჯების აღება ხდებოდა ვაზელინის და ტრანსფორმატორის ზეთის ნარევით დაფარულ მინის

ფირფიტებზე. ფირფიტები განლაგებული იყო მფრქვევანას სიბრტყის ქვემოთ, დაახლოებით 20 სანტიმეტრში და მფრქვევანას ვერტიკალური ღერძიდან 30 და 50 სანტიმეტრის დაშორებით. გარკვეული ექსპოზიციის შემდეგ ფირფიტებს ვათავსებდით Abtec-ის კამერით აღჭურვილ «Биолам» ტიპის მიკროსკოპში. კამერის პერსონალურ კომპიუტერთან შეერთებამ მოგვცა საშუალება სწრაფად გადაგვეღო 15 - 20 კადრი თითო ფირფიტიდან, დაგვემახსოვრებინა და შემდეგ დაგვემუშავებინა 1000-ჯერ გადიდებული წვეთები (ნახ. 2.8). 50 ჰერციანი ხარვეზების თავიდან ასაცილებლად გამოვიყენეთ შუქდიოდებზე აწყობილი სპეციალური გამანათებელი.

ცვლადი დენის ასინქრონული ძრავის მქონე ჰაერის დამატენიანებლის წვეთების ზომების მიხედვით განაწილების სპექტრს ვადგენდით მხოლოდ სტაბილიზებული დენის წყაროს გამოყენებით.

წვეთების ზომების მიხედვით განაწილების სპექტრს ცალკეულ მფრქვევანასთვის ვადგენდით ძრავაზე მოდებულ სამი ძაბვის: 12, 18 და 24 ვოლტის დროს. ბრუნვათა რიცხვის კრიტერიუმად აღებას ავარიდეთ თავი, ვინაიდან წყლის მიწოდებისას ძრავები იცვლიდნენ ბრუნთა რიცხვს, მაგრამ ჩვენთვის ხელმისაწვდომი ტაქომეტრის გამოყენება ამ პირობებში შეუძლებელი იყო.

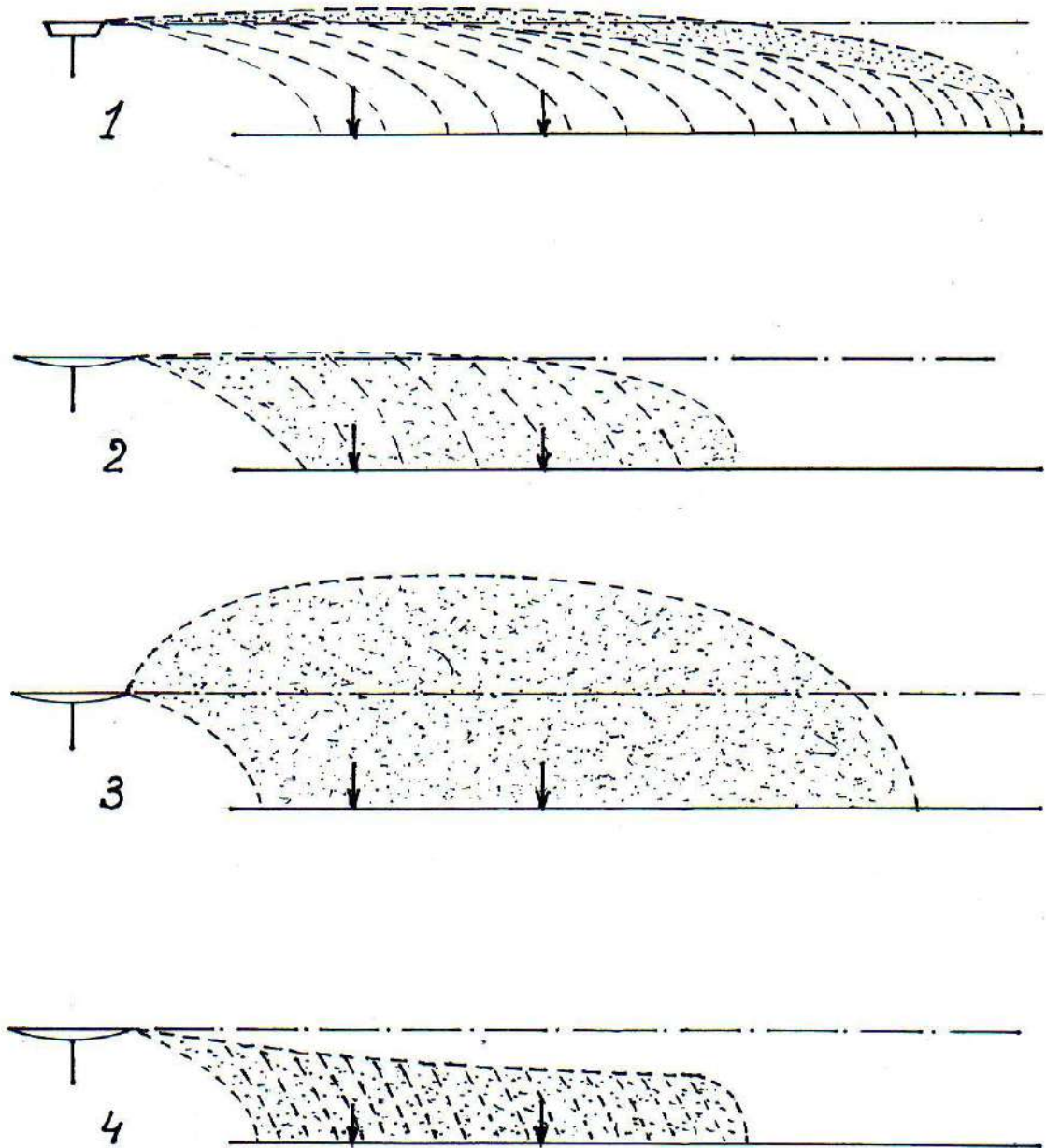
ჰაერის დამატენიანებელი «Компост»-ის მიერ გაფრქვეული წვეთების დიამეტრი მერყეობს 3 – 44 მიკრონის ფარგლებში, მაქსიმუმით 11 – 20 მიკრონის უბანში

მფრქვევანა 1-ის მიერ გაფრქვეული წვეთების დიამეტრი მერყეობს 24 ვოლტ ძაბვისას 10 – 120 მიკრონის ფარგლებში, მაქსიმუმით 51 – 90 მიკრონის უბანში (ნახ. 2.9, პოზ. 1). ძაბვის დაკლებისას წვეთების ზომის სპექტრი განიცდის ტრანსფორმაციას როგორც წვეთების ზომის, ასევე ერთნაირი ზომის წვეთების სიმკვრივის მაქსიმუმის უბანის მიხედვით. ასე მაგალითად, 18 ვოლტ ძაბვის შემთხვევაში წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 21 – 140 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 81 – 100 მიკრონის უბანში.

კვების ძაბვის 12 ვოლტამდე დაწევისას წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 51 – 160 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 120 – 140 მიკრონის უბანშია. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ წვეთების გაბნევის არეს დიამეტრიც პრაქტიკულად არ ეცვლება და შეადგენს დაახლოებით 200 სანტიმეტრს.

მფრქვევანა 2-ის მიერ გაფრქვეული წვეთების დიამეტრი მერყეობს 24 ვოლტ ძაბვისას 10 – 90 მიკრონის ფარგლებში, მაქსიმუმით 41 – 60 მიკრონის უბანში. 18 ვოლტ ძაბვის შემთხვევაში წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 10 – 110 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 61 – 80 მიკრონის უბანში. კვების ძაბვის 12 ვოლტამდე დაწევისას წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 41 – 120 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 61 – 80 მიკრონის უბანშია. წვეთების გაბნევის არეს დიამეტრიც პრაქტიკულად არ იცვლება და შეადგენს დაახლოებით 140 სანტიმეტრს (ნახ. 2.9, პოზ. 2).

მფრქვევანა 3-ის მიერ გაფრქვეული წვეთების დიამეტრი მერყეობს 24 ვოლტ ძაბვისას 10 – 80 მიკრონის ფარგლებში, მაქსიმუმით 31 – 50 მიკრონის უბანში. 18 ვოლტ ძაბვის შემთხვევაში წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 10 – 120 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 61 – 80 მიკრონის უბანში. კვების ძაბვის 12 ვოლტამდე დაწევისას წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 10 – 120 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 91 – 100 მიკრონის უბანშია. წვეთების გაბნევის არეს დიამეტრიც პრაქტიკულად არ იცვლება და შეადგენს დაახლოებით 180 სანტიმეტრს (ნახ. 2.9, პოზ. 3).



ნახ. 2.9. მფრქვევანების გაფრქვევის არეს ჭრილი

მფრქვევანა 4-ის მიერ გაფრქვეული წვეთების დიამეტრი მერყეობს 24 ვოლტ ძაბვისას 10 – 100 მიკრონის ფარგლებში, მაქსიმუმით 41 – 70 მიკრონის უბანში. 18 ვოლტ ძაბვის შემთხვევაში წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 10 – 110 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 31 – 90 მიკრონის უბანში. კვების ძაბვის 12 ვოლტამდე დაწევისას

წვეთების ზომის სპექტრის ფარგლებია 21 – 120 მიკრონი, ხოლო მაქსიმუმი 61 – 80 მიკრონის უბანშია. წვეთების გაბნევის არეს დიამეტრი პრაქტიკულად არ იცვლება და შეადგენს დაახლოებით 140 სანტიმეტრს (ნახ. 2.9, პოზ. 4).

მფრქვევანების გაფრქვევის არეს ჭრილი მოყვანილია ნახ. 2.9-ზე.

მოცულობაში წყლის აეროზოლის შესაქმნელად გამოვიყენეთ მესამე ტიპის (118 მმ დიამეტრის ლამბაქისებრი წყლის აბკის გამყოფი პროფილის მქონე პლასტმასის დისკური მფრქვევანა; ძრავა – მუდმივი დენის 27 ვოლტიანი ДП-104-90-10-Y1-M6 ტიპის, 10000 ბრუნვა წუთში) მფრქვევანა.

მფრქვევანა დამონტაჟებულია მოცულობის ცენტრში სპეციალურ კონსოლზე, რომელიც მაგრდება დიდი თერმობაროკამერის შიდა რგოლებზე და შეიძლება გადაადგილდეს როგორც ვერტიკალურად (ბიჯი – 1.25 მ), ასევე ჰორიზონტალურად. მეტი მდგრადობისთვის კონსოლს გააჩნია საყრდენის სამი წერტილი. სითხის მისაწოდებლად მფრქვევანას თავზე განლაგებულია მოქნილი პლასტიკის მილის სამაგრი. სითხის მიწოდება ხდება კამერის გარედან. სითხის ხარჯის რეგულირება ხდება ავზის სიმაღლის ცვლილებით. სპეციალური შტუცერი საშუალებას იძლევა სწრაფად შევცვალოდ მიმწოდებელი ავზი – სამედიცინო შპრიცები ან სხვადასხვა ტევადობის პლასტმასის ბოთლები. ცდების შედეგად მიღებული გასაშუალებული მონაცემები ნაჩვენებია ნახ. 2.10-ში. აქ მოყვანილია წუთობრივი ინტერვალით მოცულობაში ოზონის კონცენტრაცია წყლის გაფრქვევის სხვადასხვა რეჟიმის დროს: **A** - წყლის შეშვება შპრიცით, მოცულობითი სიჩქარე – 100 მლ/წთ, ძაბვა ძრავაზე- 18 ვოლტი; **C** - წყლის შეშვება უწყვეტი ნაკადით, წყლის წნევა – 0.4 ატმ, მოცულობითი სიჩქარე – 100 მლ 37 წამში, ანუ დაახლოებით 2.7 მლ/წმ; ძაბვა ძრავაზე - 18 ვოლტი; **E** - წყლის შეშვება უწყვეტი ნაკადით, წყლის წნევა – 0,04 ატმ, მოცულობითი სიჩქარე – 2 ლ საათში, ანუ დაახლოებით 3.3 მლ/წთ; ძაბვა ძრავაზე- 18 ვოლტი; **F** - წყლის შეშვება უწყვეტი ნაკადით, წყლის წნევა – 0.04 ატმ, მოცულობითი სიჩქარე – 2 ლ საათში, ანუ დაახლოებით 3.3 მლ/წთ; ძაბვა ძრავაზე- 24 ვოლტი.

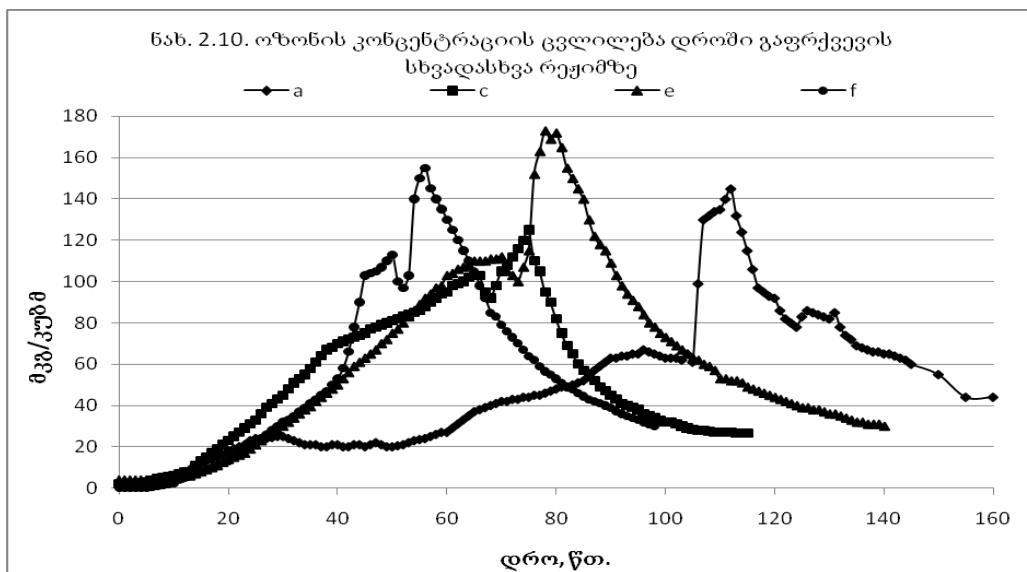
განვიხილოდ ცალკეული რეჟიმები:

**რეჟიმი A** (ნახ. 2.10; მრუდი a ) – წყლის შეშვება – 106, 124 და 136 წუთები, 200 მლ თითო შეშვებაზე. წყლის პირველი შეშვების შემდეგ ოზონის კონცენტრაცია მიმღების მიდამოებში (სიმაღლე 2 მეტრი) მკვეთრად იზრდება 61 მკგ/მ<sup>3</sup> – დან 106-ე წუთზე 140 მკგ/მ<sup>3</sup> 111-ე წუთზე, ხოლო ამის შემდეგ სწრაფად ეცემა; მეორე შეშვების შემდეგ ოზონის კონცენტრაცია ისევ სწრაფად იზრდება, მაგრამ ამპლიტუდა გაცილებით ნაკლებია (78 მკგ/მ<sup>3</sup> –დან 124 წუთზე 86 მკგ/მ<sup>3</sup> –მდე 126 წუთზე) და ამის შემდეგ ისევ საკმაოდ სწრაფი ვარდნაა. შემდგომი შეშვება ოზონის კონცენტრაციაზე გავლენას თითქმის არ ახდენს.

**რეჟიმი C** (ნახ. 2.10, მრუდი c) – უწყვეტი, მსხვილწვეთოვანი წყლის შეშვების დაწყების შემდეგ ოზონის კონცენტრაცია მიმღების მიდამოებში მკვეთრად იზრდება 115 მკგ/მ<sup>3</sup> – დან 70-ე წუთზე 125 მკგ/მ<sup>3</sup> – მდე 75-ე წუთზე, ხოლო ამის შემდეგ სწრაფად მცირდება: 82 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 80-ე წუთზე; 57 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 85-ე წუთზე; 45 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 90-ე წუთზე.

**რეჟიმი E** (ნახ. 2.10, მრუდი e) – უწყვეტი, საშუალოწვეთოვანი, წყლის შეშვების დაწყების შემდეგ ოზონის კონცენტრაცია მიმდების მიდამოებში მკვეთრად იზრდება 110 მკგ/მ<sup>3</sup> – დან 75-ე წუთზე 173 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე 80-ე წუთზე, ხოლო ამის შემდეგ სწრაფად მცირდება: 138 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 85-ე წუთზე და 107 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 90-ე წუთზე.

**რეჟიმი F** (ნახ. 2.10, მრუდი f) - უწყვეტი, წვრილწვეთოვანი, წყლის შეშვების დაწყების შემდეგ ოზონის კონცენტრაცია მიმდების მიდამოებში მკვეთრად იზრდება 97 მკგ/მ<sup>3</sup> – დან 75-ე წუთზე 155 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე 78.5-ე წუთზე, ხოლო ამის შემდეგ სწრაფად მცირდება: 145 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 80-ე წუთზე; 120 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 85-ე წუთზე; 92 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 90-ე წუთზე; 73 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე 95-ე წუთზე და 59 მკგ/მ<sup>3</sup> -მდე მე-100 წუთზე.



დასკვნა. ოზონის მაღალი კონცენტრაციის არეში წვრილწვეთოვანი წყლის აეროზოლის გაფრქვევა იწვევს საწყის ეტაპზე კონცენტრაციის მკვეთრ ზრდას, რაც ალბათ, გამოწვეულია ოზონის ზედა ფენებიდან გამორეცხვას, ხოლო შემდგომ მის სწრაფ შემცირებას. ეფექტი დაიკვირვება ყველა შემთხვევაში, მაგრამ უფრო მკვეთრად არის გამოხატული წვრილწვეთოვან გაფრქვევისას.

სითხის გაფრქვევის ერთერთი ხერხია გასაფრქვევად მექანიკურის ნაცვლად წნევის ქვეშ მყოფი წყლის ორთქლის გამოყენება. მოცულობაში წყლის აეროზოლის შესაქმნელად გამოვიყენეთ სპეციალური საქმენი, რომლის საშუალებითაც ხდება ორთქლწყლიანი ნარევის შექმნა. შედარებით მაღალი წნევის (3 ატმოსფერომდე) ორთქლს გამოიმუშავენ Chirana ტიპის ორთქლის ქვაბი.

სამუშაო წნევას ვაკონტროლებდით მანომეტრით. ორთქლის გაშვება-გადაკეტვა ხდება ონკანის საშუალებით. ორთქლის ქვაბის ექსპლუატაციის უსაფრთხოებას უზრუნველყოფს 3 ატმოსფეროზე დაყენებული დამცავი სარქველი. ორთქლის ქვაბის სამუშაო სითხეა გამოხდილი წყალი. ორთქლწყლიანი ნარევის შესაქმნელად გამოიყენებოდა ჩვეულებრივი ონკანის წყალი, რომლის წნევა, და შესაბამისად ნარევი შემოერთებული წყლის წილი, დამოკიდებული იყო მისი მიწოდების სიმაღლეზე, ანუ წნევაზე.

წყლის მიწოდების სიმაღლე ექსპერიმენტების დროს იყო 0 (I); 0.5 (II); 1.0 (III) და 1.5 (IV) მეტრი ორთქლის ქვაბში წყლის დონიდან. წვეთების ზომების სპექტრი შეადგენდა 5-15 მიკრონს. ორთქლის ყოველი გაშვების დრო პირველ შემთხვევაში (სიმაღლეთა სხვაობა 0 მეტრი) შეადგენდა 90 წამს, ხოლო ყველა დანარჩენში – 120 წამს. წნევის ვარდნა ამ დროის განმავლობაში შეადგენდა 0.3 – 0.5 ატმოსფეროს, ხოლო წყლის ხარჯი – 200 – 350 მლ. ორთქლწყლის ნარევის შეშვება ხდებოდა რეჟიმის დამყარების შემდეგ ყოველ 10 წუთში ერთხელ დადებითი შედეგის მიღწევამდე.

## **2.5 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების გამოყენებული საარქივო მასალების დახასიათება. მონაცემთა დამუშავების მეთოდика.**

სამუშაოს შესრულების დროს გამოყენებული იყო შემდეგი საარქივო მონაცემები:

- მეტეოროლოგიური სტანდარტული პარამეტრები, ატმოსფერული მოვლენები (ყოველდღიური, საათობრივი, 1980-2008 წწ.) – თსუ-ს არქივი.
- მზის პირდაპირი და ჯამური რადიაცია (ყოველდღიური, საათობრივი, 1980-1992 წწ.) – ჰიდრომეტდეპარტამენტის არქივი.
- მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილი (ყოველდღიური, საათობრივი, 1980-2008 წწ.) – ჰიდრომეტდეპარტამენტის არქივი.
- მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია (ყოველდღიური, საათობრივი, 1984-2008 წწ.) – თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის არქივი.
- გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის ინტენსივობა (ყოველდღიური, საათობრივი, 1980-2008 წწ.) – თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის არქივი.
- ქ. თბილისის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახების მონაცემები (ყოველდღიური, 1987, 2009-2010 წ.წ.) – თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის არქივი, ქ. თბილისის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების არქივი.
- ქ. თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობის მონაცემები (ყოველწლიური, 1984-2010 წწ.) – საქსტატის არქივი [104, 218].
- ქ. თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო (ყოველწლიური, 1980-1992 წწ.) – თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის არქივი.

შექმნილია მონაცემთა ელექტრონული ბაზა.

მონაცემების ანალიზი ჩატარდა შემთხვევითი და დინამიკური პროცესებისთვის მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით (აღწერითი სტატისტიკა შემთხვევითი და არაშემთხვევითი პროცესებისთვის, ორმხრივი და მრავალმხრივი წრფივი და არაწრფივი კორელაციური და რეგრესიული ანალიზი და სხვა) [65, 71, 133, 150, 171].

### **თავი 3 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და სხვა გამოსაკვლევი ატმოსფერული პარამეტრების ზოგადი სტატისტიკური სტრუქტურა**

წიგნის ამ ნაწილში მოყვანილია თბილისში (დაკვირვების სტაციონარული პუნქტი) მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, პირდაპირი და ჯამური მზის რადიაციის ინტენსივობის, მიწისპირა ჰაერის ფენაში სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის და მსუბუქი იონების შემცველობის ყოველდღიური (დასვენების დღეების ჩათვლით) დაკვირვების მონაცემების სტატისტიკური ანალიზი. განხილულია აგრეთვე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის კავშირები მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობასთან, სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობასთან და სხვა საკვლევ პარამეტრებთან. მოყვანილია ბოლო 30 წლის განმავლობაში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, ხილვადობის მანძილის, მზის რადიაციის და ატმოსფეროს ოპტიკური სისქის ცვალებადობის კვლევის შედეგები. მოყვანილია გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის კავშირების ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული ანალიზის ზოგიერთი შედეგები. მოცემულია თბილისური ტიპის სმოგის თავისებურებების დახასიათება. მოცემულ თავში ჩატარებულია მონაცემების საერთო ანალიზი ამინდის პირობების გათვალისწინების გარეშე, რომლის ნაწილი გამოქვეყნებული იყო ჩვენს მიერ ნაშრომებში [5–7, 13, 18–20, 40, 67, 68].

#### **3.1 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და სხვა გამოსაკვლევი ატმოსფერული პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები**

ქვემოთ წარმოდგენილია როგორც 1.06.2009–დან 31.12.2011–მდე ყველა დაკვირვების, ასევე ცალკეულ პერიოდებისთვის ამონაკრეფი მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები.

3.1 – 3.5 ცხრილებში წარმოდგენილია დაკვირვების სტაციონარულ პუნქტებში ყველა გამოსაკვლევი პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები. ამ ცხრილების ბოლო ორ სვეტში მოყვანილია მონაცემები 9–დან 18 საათამდე გასაზომი პარამეტრების საშუალო დღიური და საშუალო თვიური დღის მნიშვნელობები შესაბამისი აღნიშვნებით: დღე, (9–18) და თვე, (9–18).

##### **ჰაერის ტემპერატურა (ცხრილი 3.1).**

დროის ხსენებულ პერიოდში T-ს საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა –8.0 – დან 39.0°C-მდე. დღის საათებში (9–დან 18 საათამდე) ჰაერის ტემპერატურის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობა იცვლებოდა 12.2–დან 17.4-მდე. T-ს საშუალო დღიური მნიშვნელობები – –4.9–დან 35.3–მდე, ყველა დღიური მონაცემების საშუალო მნიშვნელობაა 15.4. და ბოლოს, T-ს თვეების საშუალო დღიური მონაცემები – 0.9–დან 30.4–მდე.

საათობრივ მონაცემებისათვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 8.3–დან 10.7–მდე, საშუალოდღიურ მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 10.2, ხოლო საშუალო თვიურ დღიურებისთვის – 9.9. ჰაერის ტემპერატურის უდიდესი ვარიაციები დაიკვირვებოდა 6 საათზე ( $C_v = 84 \%$ ), უმცირესი – 15 საათზე ( $C_v = 63 \%$ ). T-ს საშუალო დღიური და

საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობების ვარიაციები შესაბამისად შეადგენდნენ 69 და 67 %. ჰაერის ტემპერატურის კორელაციური ველი დროში საკმაოდ მდგრადია – კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები T-ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროისათვის ახლოსაა 1–თან.

ცხრილი 3.1

ჰაერის ტემპერატურის, ფარდობითი ტენიანობის, ქარის სიჩქარის და ატმოსფერული წნევის სტატისტიკური მახასიათებლები (სტაციონარული ბაზა, 6.2009-12.2011; 944 დაკვირვების დღე)

| საათი            | 0                                     | 3     | 6     | 9     | 12    | 15    | 18    | 21   | დღე,<br>(9-18) | თვე,<br>(9-18) |
|------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------------|----------------|
| <b>პარამეტრი</b> | <b>ჰაერის ტემპერატურა, °C</b>         |       |       |       |       |       |       |      |                |                |
| <b>Average</b>   | 12.3                                  | 11.2  | 10.3  | 12.2  | 15.7  | 17.4  | 16.4  | 14.1 | 15.4           | 15.4           |
| <b>Min</b>       | -4.0                                  | -7.0  | -6.0  | -8.0  | -6.0  | -3.5  | -3.0  | -4.0 | -4.9           | 0.9            |
| <b>Max</b>       | 29.0                                  | 28.0  | 27.0  | 32.0  | 37.0  | 38.0  | 39.0  | 36.0 | 35.3           | 30.4           |
| <b>StDev</b>     | 8.9                                   | 8.6   | 8.3   | 9.5   | 10.5  | 10.7  | 10.6  | 9.7  | 10.2           | 9.9            |
| <b>Cv</b>        | 75                                    | 80    | 84    | 82    | 70    | 63    | 66    | 71   | 69             | 67             |
| <b>R</b>         | 0.97                                  | 0.96  | 0.95  | 0.98  | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 0.98 | 1.00           |                |
| <b>R</b>         | 0.96                                  | 0.93  | 0.92  | 0.95  | 0.98  | 1.00  | 0.99  | 0.97 | 0.99           |                |
| <b>პარამეტრი</b> | <b>ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა, %</b>  |       |       |       |       |       |       |      |                |                |
| <b>Average</b>   | 70                                    | 76    | 79    | 71    | 55    | 47    | 51    | 62   | 56             | 56             |
| <b>Min</b>       | 19                                    | 13    | 16    | 23    | 21    | 17    | 13    | 16   | 20             | 38             |
| <b>Max</b>       | 100                                   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100  | 100            | 68             |
| <b>StDev</b>     | 15                                    | 13    | 12    | 14    | 17    | 18    | 18    | 17   | 15             | 9              |
| <b>Cv</b>        | 21                                    | 17    | 15    | 20    | 30    | 38    | 36    | 27   | 27             | 15             |
| <b>R</b>         | 0.66                                  | 0.51  | 0.51  | 0.83  | 0.94  | 0.94  | 0.92  | 0.80 | 1.00           |                |
| <b>R</b>         | 0.57                                  | 0.40  | 0.38  | 0.64  | 0.85  | 1.00  | 0.87  | 0.73 | 0.94           |                |
| <b>პარამეტრი</b> | <b>ქარის სიჩქარე, მ/წმ</b>            |       |       |       |       |       |       |      |                |                |
| <b>Average</b>   | 0.9                                   | 0.8   | 0.7   | 0.8   | 1.3   | 1.5   | 1.4   | 0.9  | 1.2            | 1.2            |
| <b>Min</b>       | 0                                     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0              | 0.4            |
| <b>Max</b>       | 12.5                                  | 12.5  | 12.5  | 11.0  | 11.5  | 11.0  | 11.5  | 10.0 | 9.7            | 2.0            |
| <b>StDev</b>     | 1.5                                   | 1.5   | 1.4   | 1.5   | 1.9   | 1.9   | 1.9   | 1.6  | 1.5            | 0.4            |
| <b>Cv</b>        | 179                                   | 190   | 191   | 173   | 146   | 136   | 139   | 168  | 125            | 36             |
| <b>R</b>         | 0.52                                  | 0.45  | 0.50  | 0.81  | 0.88  | 0.86  | 0.81  | 0.58 | 1.00           |                |
| <b>R</b>         | 0.44                                  | 0.34  | 0.38  | 0.60  | 0.68  | 1.00  | 0.60  | 0.48 | 0.86           |                |
| <b>პარამეტრი</b> | <b>ატმოსფერული წნევა, მმ ვ.წყ.სვ.</b> |       |       |       |       |       |       |      |                |                |
| <b>Average</b>   | 724.8                                 | 724.9 | 724.9 | 724.9 | 724.7 | 723.9 | 723.6 | 724. | 724.3          | 724.3          |
| <b>Min</b>       | 712.0                                 | 714.0 | 713.0 | 710.0 | 709.0 | 711.0 | 710.0 | 711. | 711.5          | 719.6          |
| <b>Max</b>       | 738.0                                 | 738.0 | 738.0 | 739.0 | 750.0 | 760.0 | 738.0 | 738. | 737.8          | 729.5          |
| <b>StDev</b>     | 4.2                                   | 4.2   | 4.2   | 4.2   | 4.4   | 4.5   | 4.5   | 4.3  | 4.3            | 2.7            |
| <b>Cv</b>        | 0.58                                  | 0.58  | 0.57  | 0.58  | 0.61  | 0.62  | 0.62  | 0.60 | 0.59           | 0.38           |
| <b>R</b>         | 0.91                                  | 0.91  | 0.93  | 0.97  | 0.99  | 0.97  | 0.96  | 0.94 | 1.00           |                |
| <b>R</b>         | 0.89                                  | 0.85  | 0.87  | 0.91  | 0.97  | 1.00  | 0.90  | 0.90 | 0.97           |                |



### ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა (ცხრილი 3.1).

U-ს საათობრივი მნიშვნელობების სიდიდე იცვლებოდა 13-დან 100 %-მდე. დღისით U-ს საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 47-დან 71-მდე. U-ს საშუალო დღიური სიდიდეები -20-დან 100-მდე, ამასთან ყველა დღის მონაცემებისთვის საშუალო მნიშვნელობა 56-ია. U-ს თვეების საშუალო დღიური მნიშვნელობები 38-დან 68-მდეა.

U-ს საათობრივ მონაცემებისათვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 12-დან 18-მდე, საშუალოდღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 15, ხოლო დღის საშუალოთვიური - 9. ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის უდიდესი ვარიაციები დაიკვირვებოდა 15 საათზე ( $C_v = 38 \%$ ), უმცირესი - 13 საათზე ( $C_v = 15 \%$ ). U-ს საშუალო დღიური და საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობების ვარიაციები შესაბამისად შეადგენდნენ 27 და 15 %. ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის კორელაციური კოეფიციენტი ნაკლებად მდგრადია დროში, ვიდრე ჰაერის ტემპერატურისა - კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები U-ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროს იცვლება 0,38-დან (წყვილი  $U(6) - U(15)$ ) 0.94-დე (წყვილები  $U(12) - U(6-18)$  და  $U(15) - U(6-18)$ ).

### ქარის სიჩქარე (ცხრილი 3.1).

V-ს საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0-დან 12.5 მ/წმ-მდე. დღისით V-ს საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.7-დან 1.5-მდე. V-ს საშუალო დღიური სიდიდეები - 0-დან 9.7-მდეა, ამასთან დღის ყველა მონაცემებისთვის საშუალო მნიშვნელობა 1.2-ია. V-ს საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობები 0.4-დან 2-მდეა.

V-ს საათობრივი მონაცემებისათვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 1.4-დან 1.9-მდე, საშუალოდღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 1.5, ხოლო დღის საშუალოთვიური - 0.4. ქარის სიჩქარის ვარიაციები გაცილებით უფრო მაღალია, ვიდრე ტემპერატურის და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის ვარიაციები. ქარის სიჩქარის უდიდესი ვარიაციები დაიკვირვებოდა 6 საათზე ( $C_v = 191 \%$ ), უმცირესი - 15 საათზე ( $C_v = 136 \%$ ). საშუალო დღიური და საშუალოთვიური დღის V-ს მნიშვნელობების ვარიაციები შესაბამისად შეადგენდნენ 125 და 36 %. კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები V-ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროს იცვლება 0.34-დან (წყვილი  $V(6) - V(15)$ ) 0.88-მდე (წყვილი  $V(12) - V(9-18)$ ).

1 მ/წმ ნაკლები საშუალო დღიური ქარის სიჩქარის მქონე დღეების რაოდენობა იყო 594 (შემთხვევების 63%); 2 მ/წმ ნაკლები იყო 735 (შემთხვევების დაახლოებით 78%); 4 მ/წმ მეტი - 70 (შემთხვევების 7.4 %); 5 მ/წმ მეტი - 24 (შემთხვევების 2.5%); 6 მ/წმ მეტი - 8 (შემთხვევების 0.85 %); 7 მ/წმ მეტი - 5 (შემთხვევების 0.53 %). ამგვარად, საკვლევი დროის განმავლობაში იყო სმოგის, მათ შორის ფოტოქიმიური სმოგის წარმოქმნისთვის ხელსაყრელი პირობები (უმეტეს შემთხვევებში - მცირექარიანი ამინდი).

### ატმოსფერული წნევა (ცხრილი 3.1).

P-ს საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 709.0-დან 760.0 მმ. ვ. წყ. სვ.-მდე დღის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 723.6-დან 724.9-მდე. P-ს საშუალო დღიური სიდიდეები - 711.5-დან 737.8-მდე, ამასთან დღის ყველა მონაცემებისთვის საშუალო მნიშვნელობა 724.3-ია. P -ს საშუალო თვიური დღიური მნიშვნელობები 719.6-დან 729.5-მდეა.

**P**-ს საათობრივი და საშუალოდღიურ მონაცემებისათვის სტანდარტული გადახრა მცირეა და უმნიშვნელოდ იცვლებოდა: 4.2-4.5. ატმოსფერული წნევის დღის მნიშვნელობების საშუალოთვიური სტანდარტული გადახრა 2.7 –ს ტოლია. შესაბამისად, **P**-ს ვარიაციები აგრეთვე უმნიშვნელოა და 0.57 – 0.62 %-ის ფარგლებშია. ატმოსფეროს წნევის საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობებისთვის  $C_v = 0,38 \%$ . ატმოსფერული წნევის კორელაციური ველი დროში საკმაოდ მდგრადია – კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები **P** -ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროისთვის იცვლება 0.85–დან 0.99–მდე.

ცხრილი 3.2

მზის ჯამური და პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობის, საერთო ღრუბლიანობის და ხილვადობის სტატისტიკური მახასიათებლები (სტაციონარული ბაზა, 6.2009-12.2011)

| საათი          | 9.5                                                 | 10.5  | 11.5  | 12.5  | 13.5  | 14.5  | 15.5  | 16.5  | 17.5  | 18.5   | დღე<br>(9.5-18.5) | თვე<br>(9.5-18.5) |
|----------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------------|-------------------|
| <b>პარამ.</b>  | <b>მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა, კვტ/მ²</b>    |       |       |       |       |       |       |       |       |        |                   |                   |
| <b>Average</b> | 0.304                                               | 0.393 | 0.474 | 0.524 | 0.530 | 0.478 | 0.382 | 0.274 | 0.178 | 0.171  | 0.369             | 0.369             |
| <b>Min</b>     | 0.01                                                | 0.010 | 0.010 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.0015 | 0.021             | 0.152             |
| <b>Max</b>     | 1.103                                               | 1.044 | 1.100 | 1.220 | 1.208 | 1.055 | 1.096 | 0.807 | 0.672 | 0.476  | 0.864             | 0.602             |
| <b>StDev</b>   | 0.226                                               | 0.255 | 0.277 | 0.292 | 0.295 | 0.284 | 0.261 | 0.220 | 0.165 | 0.130  | 0.204             | 0.156             |
| <b>Cv</b>      | 74                                                  | 65    | 58    | 56    | 56    | 59    | 68    | 80    | 93    | 76     | 55                | 43                |
| <b>R</b>       | 0.78                                                | 0.81  | 0.84  | 0.84  | 0.82  | 0.78  | 0.75  | 0.74  | 0.73  | 0.69   | 1.00              |                   |
| <b>R</b>       | 0.45                                                | 0.49  | 0.48  | 0.51  | 0.54  | 0.63  | 1.00  | 0.66  | 0.58  | 0.51   | 0.75              |                   |
| <b>პარამ.</b>  | <b>მზის პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობა, კვტ/მ²</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |        |                   |                   |
| <b>Average</b> | 0.609                                               |       |       | 0.743 |       |       | 0.657 | 0.392 | 0.542 | 0.496  |                   |                   |
| <b>Min</b>     | 0.061                                               |       |       | 0.103 |       |       | 0.111 | 0.093 | 0.010 | 0.040  |                   |                   |
| <b>Max</b>     | 0.929                                               |       |       | 1.030 |       |       | 0.990 | 0.707 | 0.818 | 0.808  |                   |                   |
| <b>StDev</b>   | 0.170                                               |       |       | 0.181 |       |       | 0.195 | 0.156 | 0.163 | 0.156  |                   |                   |
| <b>Cv</b>      | 28                                                  |       |       | 24    |       |       | 30    | 40    | 30    | 31     |                   |                   |
| <b>Count</b>   | 440                                                 |       |       | 539   |       |       | 465   | 37    | 164   | 69     |                   |                   |
| <b>პარამ.</b>  | <b>საერთო ღრუბლიანობა, ბალი</b>                     |       |       |       |       |       |       |       |       |        |                   |                   |
| <b>Average</b> | 6.0                                                 | 6.0   | 5.8   | 5.6   | 5.6   | 5.7   | 5.8   | 6.0   | 6.1   | 6.1    | 5.9               | 5.9               |
| <b>Min</b>     | 0                                                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0.0               | 3.1               |
| <b>Max</b>     | 10                                                  | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10     | 10.0              | 8.4               |
| <b>StDev</b>   | 4.0                                                 | 4.0   | 4.0   | 3.9   | 3.9   | 3.8   | 3.8   | 3.9   | 3.9   | 3.8    | 3.5               | 1.5               |
| <b>Cv</b>      | 67                                                  | 67    | 68    | 69    | 68    | 66    | 66    | 65    | 64    | 63     | 59                | 25                |
| <b>R</b>       | 0.83                                                | 0.87  | 0.90  | 0.91  | 0.91  | 0.91  | 0.89  | 0.87  | 0.84  | 0.82   | 1.00              |                   |
| <b>R</b>       | 0.60                                                | 0.64  | 0.69  | 0.73  | 0.78  | 0.88  | 1.00  | 0.91  | 0.82  | 0.78   | 0.89              |                   |
| <b>პარამ.</b>  | <b>მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილი, ბალი</b>      |       |       |       |       |       |       |       |       |        |                   |                   |
| <b>Average</b> | 6.5                                                 | 6.6   | 6.7   | 6.9   | 6.9   | 7.0   | 7.0   | 7.0   | 6.9   | 7.2    | 6.8               | 6.8               |
| <b>Min</b>     | 2                                                   | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 3      | 2.4               | 5.4               |
| <b>Max</b>     | 9                                                   | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9      | 9.0               | 7.6               |
| <b>StDev</b>   | 1.4                                                 | 1.4   | 1.4   | 1.3   | 1.3   | 1.3   | 1.3   | 1.3   | 1.3   | 1.1    | 1.2               | 0.6               |
| <b>Cv</b>      | 21                                                  | 21    | 21    | 19    | 19    | 18    | 18    | 18    | 19    | 16     | 18                | 8                 |
| <b>R</b>       | 0.86                                                | 0.90  | 0.93  | 0.93  | 0.94  | 0.95  | 0.92  | 0.91  | 0.88  | 0.85   | 1.00              |                   |
| <b>R</b>       | 0.67                                                | 0.73  | 0.76  | 0.80  | 0.85  | 0.90  | 1.00  | 0.95  | 0.89  | 0.85   | 0.92              |                   |

### **მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა (ცხრილი 3.2).**

დროის ხსენებულ პერიოდში Q-ს საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.001 – დან 1.22 კვტ/მ<sup>2</sup>-მდე, საშუალო საათობრივი მნიშვნელობა იცვლებოდა 0.171–დან 0.530 – მდე. Q -ს საშუალო დღიური მნიშვნელობები – 0.021–დან 0.864–მდე, ამავე დროს ყველა დღიური მონაცემების საშუალო მნიშვნელობაა 0.369. Q -ს საშუალო თვიური დღის მონაცემები იცვლება– 0.152–დან 0.602–მდე.

საათობრივი მონაცემებისათვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.130–დან 0.295–მდე, საშუალოდღიურ მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 0.204, ხოლო საშუალო თვიურებისთვის – 0.156. მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობის საათობრივი მნიშვნელობების უდიდესი ვარიაციები იცვლება არც თუ მნიშვნელოვნად – 56–დან 93 % –მდე. Q -ს საშუალო დღიური და თვიური მნიშვნელობების ვარიაციები შესაბამისად შეადგენდნენ 55 და 43 %. კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები Q -ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროს იცვლება 0.45–დან (წყვილი Q (9.5) – Q (15.5)) 0.84–მდე (წყვილები Q (11.5) – Q (9.5–18.5) და Q (12.5) – Q (9.5–18.5)).

### **მზის პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობა (ცხრილი 3.2).**

გაზომვების ძირითად დროში (9.5–დან 15.5 საათამდე) J-ს საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.061–დან 1.030 კვტ/მ<sup>2</sup>-მდე. J-ს საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.609–დან 0.743–მდე.

J-ს საათობრივი მონაცემებისთვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.170–დან 0.195–მდე. მზის პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობის საათობრივი მნიშვნელობების ვარიაციები იცვლებოდა უმნიშვნელოდ – 24–დან 30%–მდე.

### **საერთო ღრუბლიანობა (ცხრილი 3.2).**

გამოსაკვლევ პერიოდში C-ს საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0–დან 10 ბალამდე. C-ს საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა სუსტად, 5.6–დან 6.1–მდე. დღის ყველა მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა 5.9–ს შეადგენს. C -ს საშუალოთვიური დღის მონაცემები იცვლებოდა 3.1–დან 8.4–მდე.

სტანდარტული გადახრა C-ს საათობრივი და საშუალო დღიურ მნიშვნელობებისთვის იცვლება უმნიშვნელოდ (3.5–4). საშუალო თვიურ მონაცემებისთვის 1.5 უდრის. საერთო ღრუბლიანობის საათობრივი და საშუალო დღიური მონაცემებისათვის ვარიაციები შესაბამისად აგრეთვე უმნიშვნელოა – 59–დან 69 %–მდე. C-ს საშუალო თვიური მონაცემების ვარიაცია 25%–ს შეადგენს. კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები C-ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროს იცვლება 0.60–დან (წყვილი C(9.5) – C(15.5)) 0.91–მდე (წყვილები C(12.5) – C(9.5–18.5), C(13.5) – C(9.5–18.5) და C(14.5) – C(9.5–18.5)).

### **მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილი (ცხრილი 3.2).**

Vis -ის საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 2–დან 9 ბალამდე. Vis -ის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა უმნიშვნელოდ, 6.5–დან 7.0 ბალამდე. Vis -ის საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 2.4–დან 9.0 ბალამდე. დღის ყველა მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა 6.8–ს შეადგენს. Vis -ის საშუალოთვიური დღის მონაცემები იცვლებოდა 5.4–დან 7.6–მდე.

Vis -ის საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის სტანდარტული გადახრა პრაქტიკულად არ იცვლებოდა (1.1 – 1.4). საშუალო თვიური მონაცემებისთვის StDev -ის სიდიდე 0.6–ის ტოლია. მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილის

საათობრივი და საშუალო დღიური მონაცემებისათვის ვარიაციები შესაბამისად აგრეთვე უმნიშვნელოა და 16–დან 21 %-ის ფარგლებშია. **Vis** –ის საშუალო თვიური მონაცემების ვარიაცია 8 %-ს შეადგენს. კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები **Vis** –ის სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროს იცვლება 0.67–დან (წყვილი **Vis**(9.5) – **Vis**(15.5)) 0.95–მდე (წყვილი **Vis**(14.5) – **Vis**(9.5–18.5)).

მთლიანობაში დროის საკვლევ პერიოდში 3.1–3.2 ცხრილებში მოყვანილი მეტეოროლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობებში მკვეთრი ანომალიები არ დაიკვირვებოდა და მიღებული მონაცემები მთლიანობაში კარგად შეესაბამება ნაშრომებში [107, 124, 148, 1587, 170, 181] მოყვანილ ანალოგიურ მრავალწლიან კლიმატურ მონაცემებს.

#### გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობა (ცხრილი 3.3).

**q**–ს საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 7995–დან 9656 იმპ/წთ–მდე. **q**–ს საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა უმნიშვნელოდ, 8913–დან 8944–მდე. **q**–ს საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 8114–დან 9592–მდე. დღის ყველა მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა 8933–ს შეადგენს. **q**–ს საშუალოთვიური დღის მონაცემები იცვლებოდა 8361–დან 9338–მდე.

**q**–ს საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის სტანდარტული გადახრა პრაქტიკულად არ იცვლებოდა (232 – 239). საშუალო თვიური მონაცემებისთვის **StDev** –ის სიდიდე 211–ის ტოლია. გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის ინტენსივობის მნიშვნელობების საათობრივი, საშუალო დღიური და თვიური მონაცემებისათვის ვარიაციები შესაბამისად აგრეთვე პრაქტიკულად ერთი და იგივე სიდიდეს წარმოადგენს – 2.4–2.7 %. **q**–ს კორელაციური ველი დროში მდგრადია – კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები ახლოსაა 1–თან **q**–ს სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროისთვის.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ სტაციონარული ბაზის ტერიტორიაზე (თერმოზაროკამერა) გამა ფონი  $80 \pm 7$  ნზვ/სთ შეადგენდა.

ცხრილი 3.3

#### გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობის სტატისტიკური მახასიათებლები (სტაციონარული ბაზა, 6.2009-12.2011)

| საათი          | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | დღიური<br>(9-18) | თვიური<br>(9-18) |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------------------|
| <b>Average</b> | 8913 | 8930 | 8938 | 8941 | 8944 | 8940 | 8936 | 8931 | 8926 | 8920 | 8933             | 8933             |
| <b>Min</b>     | 8108 | 8138 | 8128 | 8136 | 8129 | 8080 | 8053 | 8058 | 8026 | 7995 | 8114             | 8361             |
| <b>Max</b>     | 9656 | 9653 | 9648 | 9590 | 9637 | 9631 | 9600 | 9609 | 9594 | 9571 | 9592             | 9338             |
| <b>StDev</b>   | 237  | 235  | 234  | 234  | 235  | 235  | 234  | 234  | 237  | 239  | 232              | 211              |
| <b>Cv</b>      | 2.7  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.7  | 2.7  | 2.6              | 2.4              |
| <b>R</b>       | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 1.00             |                  |
| <b>R</b>       | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.99             |                  |

#### ჰაერში სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია (ცხრილი 3.4).

დროის მითითებულ პერიოდში **N**–ის საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 110–დან 95480  $\text{სმ}^{-3}$ –ის ფარგლებში (სიდიდის სამი ხარისხით). დღის განმავლობაში **N**–ის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 2348–დან (15 სთ) 2724–მდე (9 სთ). **N**–

ის საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 223–დან 95111–მდე. დღის ყველა მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა 2533–ს შეადგენს. N–ის საშუალოთვიური დღის მონაცემები იცვლებოდა 735–დან 5658–მდე.

ცხრილი 3.4

ჰაერში სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაციების და მსუბუქი აეროიონების უნიპოლარობის კოეფიციენტის სტატისტიკური მახასიათებლები (სტაციონარული ბაზა, 6.2009–12.2011)

| საათი      | 9                                                        | 12    | 15    | 17-18 | დღე (9-18) | თვე (9-18) | 9                                       | 12   | 15   | 17-18 | დღე (9-18) | თვე (9-18) |
|------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------|------------|-----------------------------------------|------|------|-------|------------|------------|
| პარამ.     | აეროზოლების კონცენტრაცია, სმ <sup>3</sup>                |       |       |       |            |            | რადონის კონცენტრაცია, ბკ/მ <sup>3</sup> |      |      |       |            |            |
| Average    | 2724                                                     | 2544  | 2348  | 2529  | 2533       | 2529       | 5.0                                     | 3.9  | 3.3  | 3.3   | 3.9        | 3.8        |
| Min        | 110                                                      | 145   | 138   | 147   | 223        | 735        | 0.4                                     | 0.4  | 0.7  | 0.6   | 0.7        | 2.0        |
| Max        | 94286                                                    | 95480 | 95229 | 95450 | 95111      | 5658       | 19.6                                    | 15.7 | 13.7 | 12.5  | 13.6       | 8.5        |
| Range      | 94176                                                    | 95335 | 95091 | 95303 | 94889      | 4923       | 19.1                                    | 15.4 | 13.0 | 11.9  | 12.9       | 6.5        |
| Median     | 1835                                                     | 1753  | 1588  | 1679  | 1864       | 2442       | 4.1                                     | 3.1  | 2.7  | 2.7   | 3.2        | 3.3        |
| Mode       | 1035                                                     | 492   | 690   | 1714  | 2011       | -          | 4.4                                     | 1.9  | 1.3  | 5.0   | 3.3        | -          |
| StDev      | 4374                                                     | 3896  | 3785  | 3870  | 3745       | 1292       | 3.3                                     | 2.5  | 1.9  | 1.9   | 2.2        | 1.6        |
| δm         | 143                                                      | 128   | 124   | 127   | 122        | 236        | 0.11                                    | 0.08 | 0.06 | 0.06  | 0.07       | 0.29       |
| Cv         | 161                                                      | 153   | 161   | 153   | 148        | 51         | 65                                      | 66   | 58   | 57    | 58         | 42         |
| Count      | 935                                                      | 932   | 935   | 933   | 939        | 31         | 935                                     | 933  | 935  | 933   | 939        | 31         |
| 95%(+/-)   | 281                                                      | 250   | 243   | 248   | 240        | 462        | 0.21                                    | 0.16 | 0.12 | 0.12  | 0.14       | 0.57       |
| As         | 12                                                       | 16    | 17    | 16    | 17         | 0.65       | 1.45                                    | 1.78 | 1.86 | 1.76  | 1.66       | 1.39       |
| K          | 227                                                      | 353   | 390   | 359   | 402        | -0.27      | 2.20                                    | 3.59 | 4.73 | 3.87  | 3.11       | 1.48       |
| Range/Mean | 3457                                                     | 3748  | 4050  | 3769  | 3746       | 195        | 379                                     | 397  | 400  | 365   | 334        | 168        |
| R          | 0.91                                                     | 0.97  | 0.95  | 0.94  | 1.00       |            | 0.93                                    | 0.95 | 0.93 | 0.88  | 1.00       |            |
| R          | 0.78                                                     | 0.90  | 1.00  | 0.91  | 0.95       |            | 0.78                                    | 0.87 | 1.00 | 0.86  | 0.93       |            |
|            | მსუბუქი აეროიონების ჯამური კონცენტრაცია, სმ <sup>3</sup> |       |       |       |            |            | უნიპოლარობის კოეფიციენტი                |      |      |       |            |            |
| Average    | 883                                                      | 956   | 1021  | 962   | 957        | 956        | 1.14                                    | 1.17 | 1.20 | 1.20  | 1.18       | 1.17       |
| Min        | 215                                                      | 215   | 129   | 129   | 215        | 619        | 0.18                                    | 0.38 | 0.11 | 0.18  | 0.62       | 1.06       |
| Max        | 3053                                                     | 2795  | 3397  | 2967  | 2516       | 1292       | 3.20                                    | 3.00 | 3.38 | 3.00  | 2.00       | 1.30       |
| Range      | 2838                                                     | 2580  | 3268  | 2838  | 2301       | 673        | 3.02                                    | 2.63 | 3.26 | 2.82  | 1.38       | 0.24       |
| Median     | 817                                                      | 903   | 946   | 903   | 925        | 949        | 1.11                                    | 1.13 | 1.15 | 1.15  | 1.16       | 1.18       |
| Mode       | 774                                                      | 903   | 946   | 731   | 849        | -          | 1.00                                    | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.29       | -          |
| StDev      | 392                                                      | 416   | 430   | 431   | 344        | 176        | 0.31                                    | 0.32 | 0.35 | 0.36  | 0.19       | 0.06       |
| δm         | 13                                                       | 14    | 14    | 14    | 11         | 32         | 0.01                                    | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01       | 0.01       |
| Cv         | 44                                                       | 43    | 42    | 45    | 36         | 18         | 27                                      | 27   | 29   | 29    | 16         | 5          |
| Count      | 935                                                      | 933   | 935   | 934   | 939        | 31         | 935                                     | 933  | 935  | 934   | 939        | 31         |
| 95%(+/-)   | 25                                                       | 27    | 28    | 28    | 22         | 63         | 0.02                                    | 0.02 | 0.02 | 0.02  | 0.01       | 0.02       |
| As         | 1.57                                                     | 1.23  | 0.90  | 0.90  | 1.00       | -0.05      | 1.12                                    | 1.01 | 1.31 | 1.17  | 0.56       | 0.21       |
| K          | 4.25                                                     | 2.56  | 1.84  | 1.03  | 2.02       | -0.94      | 4.01                                    | 2.46 | 4.75 | 3.42  | 0.91       | -          |
| Range/Mean | 321                                                      | 270   | 320   | 295   | 240        | 70         | 265                                     | 225  | 273  | 235   | 117        | 21         |
| R          | 0.77                                                     | 0.85  | 0.84  | 0.82  | 1.00       |            | 0.49                                    | 0.56 | 0.59 | 0.60  | 1.00       |            |
| R          | 0.47                                                     | 0.63  | 1.00  | 0.62  | 0.84       |            | 0.02                                    | 0.13 | 1.00 | 0.12  | 0.59       |            |

**N**-ის საათობრივი მონაცემებისთვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 3785–დან (15 სთ) 4374–მდე (9 სთ), საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 3745–ს, ხოლო საშუალოთვიური დღის მონაცემებისთვის იყო 1292. სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაციის ვარიაციები მაღალია, საშუალო საათობრივი და დღიური მნიშვნელობებისთვის ახლოსაა ერთმანეთთან ( $C_v = 148 - 161 \%$ ). **N**-ის საშუალოთვიური დღის მონაცემებისთვის ვარიაციის კოეფიციენტი 51 %-ის ტოლია.

გენერალურ ერთობლიობაში **N**-ის საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები არ არიან ნორმალურები და მკვეთრად გამოხატული მარჯვენა ასიმეტრია გააჩნიათ. რაც ეხება გენერალურ ერთობლიობაში **N**-ის საშუალოთვიურ დღის მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციას, იგი ნორმალურია (ასიმეტრიის და ექსცესის კოეფიციენტებს აქვს შესაბამისი მნიშვნელობები). სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაციის კორელაციური ველი დროში მდგრადია – კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები **N**-ის სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროისთვის იცვლება 0.78–დან 0.97–მდე. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, დღეში ერთი გაზომვით შესაძლებელია დღის განმავლობაში ატმოსფეროს სუბმიკრონული აეროზოლებით გაჭუჭყიანების საერთო დონე დავახასიათოდ.

#### **ჰაერში რადონის შემცველობა (ცხრილი 3.4).**

**Rn**-ის საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.4–დან 19.6 ბკ/მ<sup>3</sup>–მდე. **Rn**-ის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 3.3–დან (15–18 სთ) 5.0–მდე (9 სთ). **Rn**-ის საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.7–დან 13.6–მდე. დღის ყველა მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა 3.9–ს შეადგენს. **Rn**-ის საშუალოთვიური დღის მონაცემები იცვლებოდა 2.0–დან 8.5–მდე.

**Rn**-ის საათობრივი მონაცემებისთვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 1.9–დან (15–18 სთ) 3.3–მდე (9 სთ). საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 2.2–ს, ხოლო საშუალოთვიური დღის მონაცემებისთვის 1.6. რადონის კონცენტრაციის ვარიაციები მაღალია, საშუალო საათობრივი და დღიური მნიშვნელობებისთვის მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისგან ( $C_v = 57 - 66 \%$ ). **Rn**-ის საშუალოთვიური დღის მონაცემებისთვის ვარიაციის კოეფიციენტი 42 %-ის ტოლია.

გენერალურ ერთობლიობაში **Rn**-ის საათობრივი, საშუალო დღიური და თვიური მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები არ არიან ნორმალურები და მარჯვენა ასიმეტრია გააჩნიათ. რადონის კონცენტრაციის კორელაციური ველი დროში მდგრადია – კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები **Rn**-ის სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროისთვის იცვლება 0.78–დან 0.95–მდე.

#### **მსუბუქი აეროიონების ჯამური კონცენტრაცია (ცხრილი 3.4).**

**N(+/-)**-ის საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 215–დან 3397 სმ<sup>-3</sup>–მდე. **N(+/-)**-ის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 883–დან (9 სთ) 1021–მდე (15 სთ). **N(+/-)**-ის საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 215–დან 2516–მდე. დღის ყველა მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა 957–ს შეადგენს. **N(+/-)**-ის საშუალოთვიური დღის მონაცემები იცვლებოდა 619–დან 1292–მდე.

**N(+/-)**-ის საათობრივი მონაცემებისთვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 392–დან (9 სთ) 430–მდე (15 სთ), საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 344–ს, ხოლო საშუალოთვიური დღის მონაცემებისთვის იყო 176. მსუბუქი იონების კონცენტრაციის ვარიაციები საშუალო საათობრივი მნიშვნელობებისთვის პრაქტიკულად

არ განსხვავდება ერთიმეორესგან ( $C_v = 42 - 45 \%$ ).  $N(+/-)$ -ის საშუალო დღიური და საშუალოთვიური დღის მონაცემებისთვის ვარიაციის კოეფიციენტები შესაბამისად 36 და 18 %-ის ტოლია.

გენერალურ ერთობლიობაში  $N(+/-)$ -ის საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები არ არიან ნორმალურები და მარჯვენა ასიმეტრია გააჩნიათ. გენერალურ ერთობლიობაში  $N(+/-)$ -ის საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობების განაწილების ფუნქცია ნორმალურია.

იონების ჯამური კონცენტრაციის კორელაციური ველი დროში საკმარისად მდგრადია – კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები  $N(+/-)$ -ის სიდიდეებს შორის გაზომვების სხვადასხვა დროისთვის იცვლება 0.47–დან 0.85–მდე.

**მსუბუქი აეროიონების უნიპოლარობის კოეფიციენტი** (ცხრილი 3.4).

**CU** –ს საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.18–დან 3.38–მდე (თითქმის 19 ჯერ). **CU**–ს საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 1.14–დან (9 საათზე) 1.20–მდე (15–18 საათზე). **CU** –ს საშუალო დღიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.62–დან 2.00–მდე, ყველა დღიური მონაცემებისთვის 1.18 საშუალო მნიშვნელობისას. **CU** –ს საშუალოთვიური დღის მონაცემები – 1.06–დან 1.30–მდე.

**CU** –ს მონაცემების საათობრივი მნიშვნელობების სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.31–დან (9 საათზე) 0.36–მდე (17–18 საათი); საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 0.19; საშუალოთვიურ დღის მონაცემებისთვის – 0.06.

უნიპოლარობის კოეფიციენტის ვარიაციები საშუალო საათობრივ მნიშვნელობებისთვის პრაქტიკულად არ განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან ( $C_v = 27-29 \%$ ).  $N(+/-)$  –ის საშუალო დღიური და საშუალოთვიური დღის მონაცემების მნიშვნელობების ვარიაციის კოეფიციენტი შესაბამისად 16 და 5%-ის ტოლია.

გენერალურ ერთობლიობაში **CU** –ის საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები არ არიან ნორმალურები და მარჯვენა ასიმეტრია გააჩნიათ. გენერალურ ერთობლიობაში **CU** –ის საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები ნორმალურებია.

უნიპოლარობის კოეფიციენტის კორელაციური ველი დროში არ არის მდგრადი – გაზომვების სხვადასხვა დროს კორელაციის წრფივი კოეფიციენტის მნიშვნელობები **CU** –ის სიდიდეებს შორის იცვლება 0.02–დან 0.60–მდე. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, **CU** –ის დღეში ერთი გაზომვით შეუძლებელია ამ დღის განმავლობაში მისი მნიშვნელობების შეფასება.

**მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია** (ცხრილი 3.5).

**SOC** –ის საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 0–დან 166 მკგ/მ<sup>3</sup>–მდე. **SOC** –ის საშუალო საათობრივი მნიშვნელობები იცვლებოდა 13.1–დან (9 საათი) 42.2–მდე (15 საათი).

**SOC** –ის საშუალო დღიური მნიშვნელობები 0.1–დან 111–მდეა, ყველა დღიური მონაცემების საშუალო მნიშვნელობაა 34.6. **SOC** –ის საშუალოთვიური დღის მნიშვნელობები 6.9–დან 72.2–მდეა.

**SOC** –ის საათობრივ მნიშვნელობებისთვის სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 12.5–დან (9 საათი) 25.4–მდე (17 საათი), საშუალო დღიური მნიშვნელობებისთვის შეადგენდა 21.3, საშუალოთვიურ დღიური მნიშვნელობებისთვის – 15.5. ოზონის კონცენტრაციის საშუალო საათობრივი და დღიური მნიშვნელობებისთვის ვარიაციები

იცვლებოდა 56%-დან 96%-მდე. **SOC** –ის საშუალოთვიურ დღის მნიშვნელობებისთვის ვარიაციის კოეფიციენტი 45%-ის ტოლია.

ცხრილი 3.5

მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის სტატისტიკური მახასიათებლები (სტაციონარული ბაზა, 6.2009-12.2011)

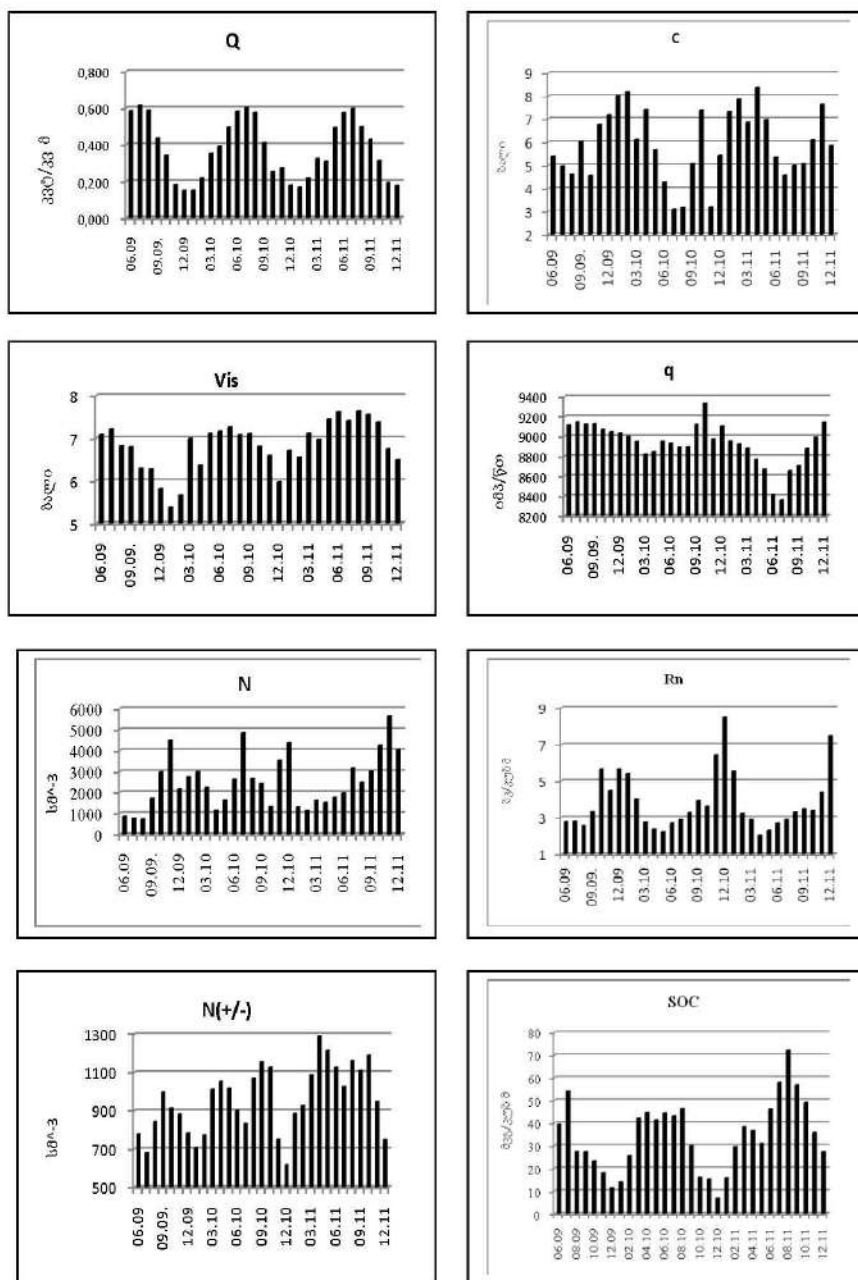
| საათი             | 9    | 10   | 11   | 12    | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | დღე.<br>(9-18) | თვე.<br>(9-18) |
|-------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|
| <b>Average</b>    | 13.1 | 18.5 | 26.2 | 33.3  | 38.5 | 42.0 | 42.2 | 41.0 | 37.1 | 39.7 | 34.6           | 34.6           |
| <b>Min</b>        | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.1            | 6.9            |
| <b>Max</b>        | 74   | 83   | 93   | 101   | 155  | 162  | 152  | 166  | 152  | 111  | 111.8          | 72.2           |
| <b>Range</b>      | 74   | 83   | 93   | 101   | 155  | 162  | 152  | 166  | 152  | 111  | 111.7          | 65.3           |
| <b>Median</b>     | 10   | 15   | 24   | 33    | 38   | 42   | 41   | 40   | 36   | 37.5 | 32.3           | 35.9           |
| <b>Mode</b>       | 1    | 1    | 2    | 2     | 33   | 31   | 35   | 40   | 2    | 33   | 35.0           | -              |
| <b>StDev</b>      | 12.5 | 15.6 | 18.9 | 21.1  | 22.6 | 23.8 | 23.5 | 24.8 | 25.4 | 23.9 | 21.3           | 15.5           |
| <b>Sm</b>         | 0.41 | 0.51 | 0.62 | 0.69  | 0.74 | 0.78 | 0.77 | 0.81 | 0.83 | 0.93 | 0.69           | 2.83           |
| <b>Cv</b>         | 96   | 84   | 72   | 63    | 59   | 57   | 56   | 61   | 69   | 60   | 62             | 45             |
| <b>Count</b>      | 939  | 939  | 939  | 939   | 939  | 939  | 939  | 939  | 939  | 668  | 939            | 31             |
| <b>95%(+/-)</b>   | 0.80 | 1.00 | 1.21 | 1.35  | 1.44 | 1.53 | 1.50 | 1.59 | 1.63 | 1.81 | 1.36           | 5.55           |
| <b>As</b>         | 1.50 | 1.02 | 0.66 | 0.41  | 0.45 | 0.46 | 0.37 | 0.47 | 0.59 | 0.45 | 0.62           | 0.25           |
| <b>K</b>          | 2.73 | 0.76 | 0.00 | -0.41 | 0.15 | 0.39 | 0.04 | 0.20 | 0.21 | -    | 0.19           | -0.27          |
| <b>Range/Mean</b> | 567  | 449  | 355  | 303   | 402  | 386  | 360  | 405  | 409  | 280  | 323            | 189            |
| <b>R</b>          | 0.65 | 0.70 | 0.79 | 0.86  | 0.88 | 0.89 | 0.89 | 0.90 | 0.88 | 0.85 | 1.00           |                |
| <b>R</b>          | 0.49 | 0.54 | 0.65 | 0.76  | 0.84 | 0.86 | 1.00 | 0.89 | 0.81 | 0.76 | 0.89           |                |

გენერალურ ერთობლიობაში **SOC** –ის საათობრივი და საშუალო დღიური მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები არ არიან ნორმალურები და მარჯვენა ასიმეტრია გააჩნიათ. გენერალურ ერთობლიობაში **SOC** –ის თვეების საშუალო დღიური მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები ნორმალურებია.

ოზონის კონცენტრაციის კორელაციური ველი დროში საკმარისად მდგრადია – სხვადასხვა დროს გაზომილი **SOC** –ის სიდიდეებს შორის კორელაციის წრფივი კოეფიციენტების მნიშვნელობები იცვლება 0.49–დან 0.90–მდე. ესე იგი, რომელიმე დროის მომენტში აღებული ოზონის კონცენტრაციის მონაცემების საფუძველზე შესაძლოა პროგნოზის გაკეთება რამდენიმე საათის შემდეგ მისი სავარაუდო კონცენტრაციის შესახებ, რაც არის ნაჩვენები მეოთხე თავში.

ნახ. 3.1–ზე წარმოდგენილია მონაცემები მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობის, საერთო ღრუბლიანობის, ხილვადობის, კოსმოსური სხივების ინტენსივობის, სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაციების და მიწისპირა ოზონის შემცველობის საშუალო თვიური მნიშვნელობების ცვლილების შესახებ 06.2009–დან 12.2011–მდე პერიოდში. ქვემოთ მოყვანილია 2010 და 2011 წლების მითითებული პარამეტრების მნიშვნელობების შედარება თბილი (აპრილი–სექტემბერი) და ცივი (ოქტომბერი–მარტი) წლის პერიოდებისათვის.





ნახ. 3.1 შზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობის, საერთო ღრუბლიანობის, ხილვადობის, კოსმოსური სხივების ინტენსივობის, სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაციების და მიწისპირა ოზონის შემცველობის საშუალო თვიური მნიშვნელობების ცვლილება 06.2009 – 12.2011 წწ.

2010 წელს  $Q$  –ს საშუალოწლიური მნიშვნელობა შეადგენდა 0.375, თბილ პერიოდში 0.511 და ცივში – 0.239. 2011 წელს კი  $Q$  –ს იგივე მნიშვნელობები შეადგენდნენ შესაბამისად 0.359, 0.485 და 0.234. ამგვარად, 2011 წელს თბილისში დედამიწის ზედაპირზე მოდიოდა ნაკლები მზის ენერგია, ვიდრე 2010 წელს. ძირითადად ეს შემცირება მოხდა თბილ ნახევარწელში.

ჯამური მზის რადიაციის ხსენებული შემცირება გამოწვეული იყო 2011 წელს საერთო ღრუბლიანობის ზრდით.  $Q$ –ს მნიშვნელობები 2010 და 2011 წლებში შესაბამისად შეადგენდნენ: წლიური მონაცემები – 5.6 და 6.4; თბილი პერიოდი – 4.8 და 5.9; ცივი პერიოდი – 6.4 და 6.9.

ხილვადობის მანძილი იცვლებოდა შემდეგნაირად: 2010 წელი – საშუალო წლიური მნიშვნელობა 6.6; თბილი ნახევარწელი – 7.0; ცივი ნახევარწელი – 6.3; 2011 წელი – საშუალო წლიური მნიშვნელობა 7.1; თბილი ნახევარწელი – 7.4; ცივი ნახევარწელი – 6.8. ამგვარად მთლიანობაში 2011 წელს ჰაერი თბილისში იყო რამდენადმე უფრო სუფთა, ვიდრე 2010 წელს.

შესაბამისად, 2011 წელთან შედარებით 2010 წელს ჰაერში იყო მეტი აეროზოლები (შესაბამისად: წლიური – 2719 და 2617; თბილი პერიოდი – 2562 და 2426; ცივი პერიოდი – 2876 და 2808) და ნაკლები მსუბუქი იონები (შესაბამისად: წლიური – 919 და 1061; თბილი პერიოდი – 1006 და 1156; ცივი პერიოდი – 832 და 966).

რადონის კონცენტრაციის ცვლილება ხდებოდა შემდეგნაირად: 2010 წელი – საშუალო წლიური მნიშვნელობა 4.0; თბილი ნახევარწელი – 2.9; ცივი ნახევარწელი – 5.1; 2011 წელი – საშუალო წლიური მნიშვნელობა 3.6; თბილი ნახევარწელი – 2.8; ცივი ნახევარწელი – 4.5.

2010 და 2011 წლებში გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობა შესაბამისად შეადგენდა: წლიური მონაცემები – 8988 და 8781; თბილი პერიოდი – 8943 და 8597; ცივი პერიოდი – 9033 და 8964.

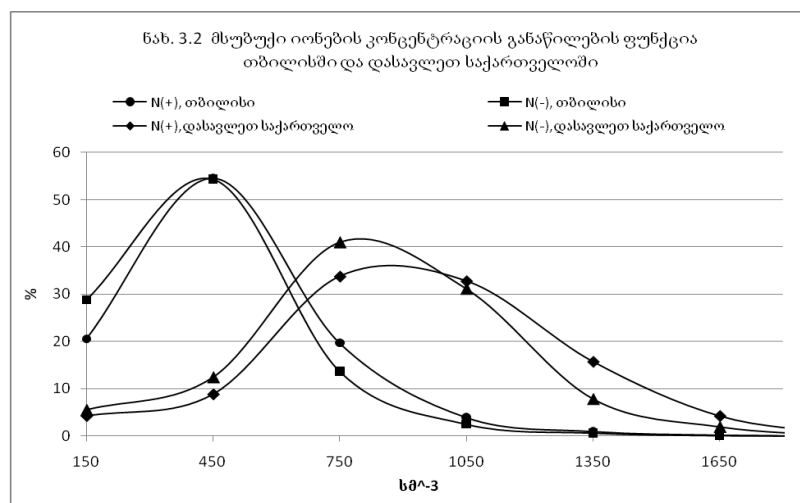
და ბოლოს, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია 2010 და 2011 წლებში იცვლებოდა შემდეგნაირად: წლიური მონაცემები – 30.8 და 41.5; თბილი პერიოდი – 41.7 და 50.2; ცივი პერიოდი – 20.2 და 32.8 შესაბამისად.

2010 და 2011 წლებში დღის საათებში (9 – 18 საათები) ზოგადი მეტეოროლოგიური სიტუაცია იცვლებოდა შემდეგნაირად: ჰაერის ტემპერატურა: წლიური მნიშვნელობა – 16.0 და 13.7; თბილი ნახევარწელი – 23.8 და 21.8; ცივი ნახევარწელი – 8.2 და 5.5; ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა: წლიური მნიშვნელობა – 45.4 და 47.0; თბილი ნახევარწელი – 38.3 და 41.9; ცივი ნახევარწელი – 52.5 და 52.1; ქარის სიჩქარე: წლიური მნიშვნელობა – 0.95 და 1.5; თბილი ნახევარწელი – 1.0 და 1.7; ცივი ნახევარწელი – 0.9 და 1.3. ამგვარად, 2011 წელი 2010 წელთან შედარებით იყო ნაკლებად თბილი, უფრო ტენიანი და უფრო ქარიანი.

შესაბამისად, ხსენებულმა მეტეოროლოგიურმა პირობებმა გარკვეული გავლენა მოახდინეს თბილისის ჰაერის გაქუჩყიანებაზე, რომელიც 2011 წელს იყო რამდენადმე ნაკლები, ვიდრე 2010 წელს. აქ მნიშვნელოვან ფაქტორად უნდა ჩავთვალოდ 2011 წელს ქარის სიჩქარის მატება, რაც ხელს უწყობს ჰაერის განიავებას. მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და აეროიონების შემცველობის ზრდა აგრეთვე შეიძლება დავუკავშიროთ 2011 წელს ჰაერის ცირკულაციის გაძლიერებას.

ერთდროულად ამასთან ერთად მჟღავნდება (ვლინდება) საინტერესო შეუსაბამოებები მსუბუქი იონების შემცველობის და მაიონიზირებელი გამოსხივების (რადონი, კოსმოსური სხივები) ინტენსივობის ცვალებადობის დინამიკაში. პირდაპირის ნაცვლად უკუკავშირია. 2011 წელს რადონოს შემცველობის და გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობის შემცირებას თან ახლავს მსუბუქი იონების კონცენტრაციის ზრდა. ამ ეფექტის შესახებ უფრო დაწვრილებით იქნება ნათქვამი ქვემოთ, პარაგრაფ 3.3-ში.

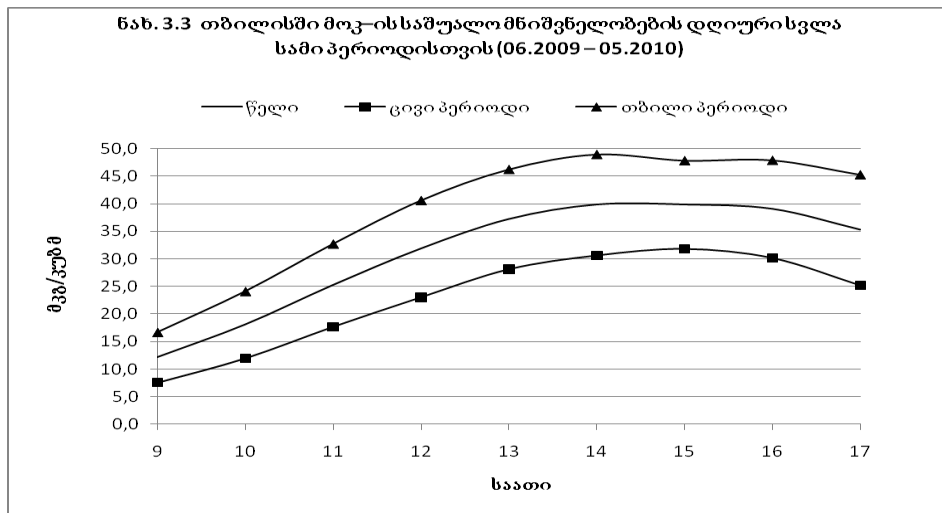
როგორც ადრე იყო აღნიშნული, ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის ერთ მნიშვნელოვან ინდიკატორს წარმოადგენს მასში მსუბუქი იონების შემცველობა. ნახაზ 3.2 წარმოდგენილია თბილისში (06.2009-12.2012) და დასავლეთ საქართველოში (3-დან 2000 მეტრ სიმაღლემდე განლაგებული 300-ზე მეტი პუნქტი) გაზომილი დადებითი და უარყოფითი მსუბუქი იონების კონცენტრაციების განაწილების ფუნქციები.



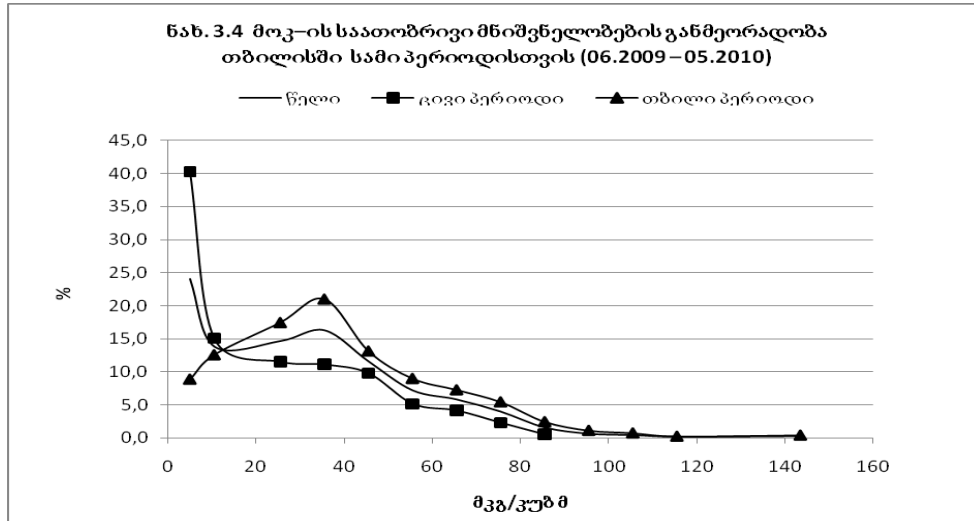
როგორც გამომდინარეობს ამ ნახაზიდან, მთლიანობაში დასავლეთ საქართველოში ჰაერის ხარისხი გაცილებით უკეთესია, ვიდრე თბილისში. თბილისში დადებითი და უარყოფითი იონების კონცენტრაციების უდიდესი განმეორადობა მოდის დიაპაზონზე 400–500, მაშინ როდესაც დასავლეთ საქართველოში დიაპაზონზე 700–800. დასავლეთ საქართველოში, „კარგი ამინდის“ პირობებში, გაზომვის პრაქტიკულად ყველა პუნქტისათვის დამახასიათებელია მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაციის მინიმალურად საჭირო დონე (1000 სმ<sup>-3</sup> და მეტი). თბილისში კი შემდეგი სიტუაციაა: მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაციის მინიმალურ დონეზე (600 სმ<sup>-3</sup> –ზე ნაკლები, ცხრილი 1.8) ნაკლები დღეების რაოდენობა შეადგენს წელიწადში 21%, ხოლო მინიმალურ საჭიროზე (600–დან 1000 სმ<sup>-3</sup>–დე) ნაკლები – წელიწადში 66%. იმის გათვალისწინებით, რომ ეს მონაცემები მიეკუთვნება დაკვირვების სტაციონარულ პუნქტს, რომელიც განლაგებულია ქალაქის შედარებით სუფთა ნაწილში, ავტოტრანსპორტის ინტენსიური მოძრაობის მქონე რაიონებში სიტუაცია გაცილებით უარესია. დაწვრილებით ეს საკითხი განხილულია მეოთხე თავში.

წლის სხვადასხვა პერიოდებში დღის განმავლობაში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ცვალებადობა, **SOC**–ის საათობრივი მნიშვნელობების განმეორადობა, **SOC**–ის დღიური სვლის ცვალებადობის სიჩქარე სხვადასხვანაირია. მაგალითისთვის 06.2009–

05.2010 პერიოდში ჩატარებული გაზომვების შედეგების მიხედვით ნახაზებზე 3.3 – 3.5 წარმოდგენილია მონაცემები ხსენებულ მაჩვენებლების შესახებ.

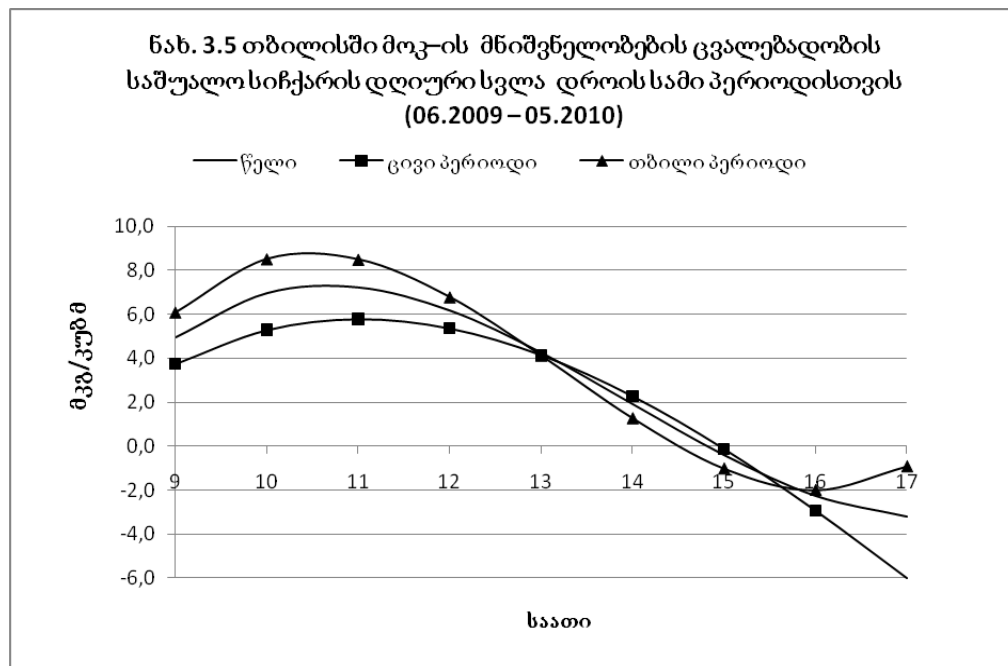


წლიური მონაცემები: **SOC**-ის საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 12.1–დან 9 საათზე 39.9–მდე 14 და 15 საათზე, საშუალო მნიშვნელობა 31.0. თბილი პერიოდი: **SOC**-ის საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 16.6–დან 9 საათზე 49.0–მდე 14 საათზე, საშუალო მნიშვნელობა 38.9. ცივი პერიოდი: **SOC**-ის საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 7.5–დან 9 საათზე 31.8– მდე 15 საათზე, საშუალო მნიშვნელობა 31.0.



ნახ. 3.4–ზე წარმოდგენილია თბილისში წლიურად და აგრეთვე ცივ და თბილ ნახევარწლებში **SOC**-ის საათობრივი მნიშვნელობების განმეორადობა. როგორც ჩანს ამ ნახაზიდან, **SOC**-ის განმეორადობა ყველა ამ პერიოდისათვის არ არის ნორმალური. წლიური მონაცემების თანახმად, **SOC**-ის უდიდესი განმეორადება მოდიოდა (0–10) დიაპაზონზე და შეადგენს 24% ექსტრემუმით დიაპაზონში (31–40) – 16.2%. ცივ პერიოდისთვის **SOC**-ის უდიდესი განმეორადება აგრეთვე მოდიოდა (0–10) მკგ/მ³ დიაპაზონზე და შეადგენს 40.3%, მაგრამ ექსტრემუმები არ არის. წლის თბილი პერიოდისთვის **SOC**-ის უდიდესი განმეორადება მოდიოდა (31–40) დიაპაზონზე და

შეადგენს 21%. წლიური მონაცემებით 50-ზე მეტი SOC-ის მნიშვნელობები დაიკვირვება შემთხვევების 19.8%, 80-ზე მეტი – შემთხვევების 2.9%, ხოლო 100-ზე მეტი – შემთხვევების 0.77% –ში.



ნახ. 3.5 –ზე წარმოდგენილია ქალაქ თბილისში წლის სამი პერიოდისთვის SOC-ის დღიური სვლის ცვალებადობის სიჩქარე. როგორც გამომდინარეობს ამ ნახაზიდან, წლის ყველა მითითებულ პერიოდებისათვის SOC-ის ზრდის უდიდესი სიჩქარე დაიკვირვება შუაღამედ. წლიურ მონაცემების თანახმად, ეს სიჩქარე შეადგენს 7.0–7.2 მკგ/მ³/სთ 10–დან 11 საათამდე დროის შუალედისთვის; ცივი ნახევარწლისთვის – 5.3 – 5.8 მკგ/მ³/სთ 10–დან 12 საათამდე დროის შუალედისთვის, ხოლო თბილი ნახევარწლისთვის – 8.5 მკგ/მ³/სთ 10–დან 11 საათამდე დროის შუალედში. 15 საათის შემდეგ SOC-ის ზრდის სიჩქარე იცვლის ნიშანს საწინააღმდეგოზე და წლიური მონაცემების თანახმად, მოკ-ის კლების ყველაზე დიდი სიჩქარე დაიკვირვება 17 საათზე (–3.2 მკგ/მ³/სთ), ცივი ნახევარწლისთვის – აგრეთვე 17 საათზე (–6.0 მკგ/მ³/სთ), ხოლო თბილი ნახევარწლისთვის – 16 საათზე (–2.0 მკგ/მ³/სთ).

### 3.2 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, მზის რადიაციის, ხილვადობის და ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის ცვალებადობა თბილისში ბოლო 30 წლის განმავლობაში

ცვალებადობის მახასიათებლები წარმოდგენილია ცხრილ 3.6 და ნახ. 3.6–3.9. ანალიზი ჩატარებულია 15 საათის მონაცემებისთვის.

მიწისპირა ოზონის საშუალო წლიური და ნახევარწლიური კონცენტრაციის  
სტატისტიკური მახასიათებლები თბილისში 1984-2011 წწ.

| პარამეტრი                                                                                     | წელი     | თბილი სეზონი | ცივი სეზონი |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-------------|
| <b>რეალური მონაცემები</b>                                                                     |          |              |             |
| <b>Average</b>                                                                                | 44.1     | 52.2         | 36.1        |
| <b>Min</b>                                                                                    | 26.3     | 31.5         | 15.2        |
| <b>Max</b>                                                                                    | 61.8     | 69.0         | 55.3        |
| <b>Range</b>                                                                                  | 35.5     | 37.5         | 40.2        |
| <b>Median</b>                                                                                 | 43.0     | 52.3         | 32.4        |
| <b>Mode</b>                                                                                   | 37.8     | 51.8         | -           |
| $\sigma$                                                                                      | 9.9      | 9.6          | 11.9        |
| $\sigma_m$                                                                                    | 1.9      | 1.8          | 2.2         |
| $C_v$ (%)                                                                                     | 22.5     | 18.4         | 32.9        |
| $A_s$                                                                                         | 0.06     | -0.62        | 0.35        |
| $K$                                                                                           | -0.78    | 0.32         | -1.11       |
| $\sigma_m$ / Mean (%)                                                                         | 4.2      | 3.5          | 6.2         |
| Range/ Mean (%)                                                                               | 80.4     | 71.9         | 111.3       |
| <b>კორელაციური მატრიცა</b>                                                                    |          |              |             |
| წელი                                                                                          | 1        | 0.91         | 0.94        |
| თბილი სეზონი                                                                                  | 0.91     | 1            | 0.71        |
| ცივი სეზონი                                                                                   | 0.94     | 0.71         | 1           |
| <b>დროითი რიგების არაშემთხვევითი მახასიათებლები</b>                                           |          |              |             |
| <b>R წლებთან</b>                                                                              | -0.16    | -0.29        | -0.02       |
| $(a) R$                                                                                       | 0.45     | 0.12         | -           |
| $R_k$                                                                                         | -0.09    | -0.15        | 0.02        |
| $(a) R_k$                                                                                     | 0.49     | 0.27         | 0.87        |
| $R_s$                                                                                         | -0.13    | -0.22        | 0.03        |
| $(a) R_s$                                                                                     | 0.49     | 0.24         | 0.87        |
| $R_a, \text{Lag} = 1$                                                                         | 0.77     | 0.70         | 0.76        |
| $(a) R_a$                                                                                     | 0.05     | 0.05         | 0.05        |
| <b>ტრენდი+ფონი (<math>Y = a \cdot X^4 + b \cdot X^3 + c \cdot X^2 + d \cdot X + e</math>)</b> |          |              |             |
| <b>a</b>                                                                                      | 0.00175  | 0.001694     | 0.001808    |
| <b>b</b>                                                                                      | -0.09294 | -0.09285     | -0.09311    |
| <b>c</b>                                                                                      | 1.43597  | 1.543779     | 1.329625    |
| <b>d</b>                                                                                      | -5.56424 | -7.84193     | -3.28692    |
| <b>e</b>                                                                                      | 34.08711 | 50.81186     | 10.76419    |
| $K_{DW}$                                                                                      | 2.03     | 1.47         | 2.34        |
| $(a) K_{DW}$                                                                                  | 0.05     | 0.05         | 0.05        |
| <b>Mean</b>                                                                                   | 36.8     | 43.1         | 23.9        |
| <b>Min</b>                                                                                    | 23.7     | 30.3         | 8.7         |
| <b>Max</b>                                                                                    | 50.2     | 54.2         | 39.8        |
| <b>Range</b>                                                                                  | 26.6     | 23.8         | 31.1        |
| $\sigma$                                                                                      | 9.0      | 7.6          | 10.9        |
| $C_v$ (%)                                                                                     | 24.5     | 17.6         | 45.7        |
| <b>Range/ Mean (%)</b>                                                                        | 72.2     | 55.2         | 130.3       |
| <b>წილი რეალ. მონ.</b>                                                                        | 83.3     | 82.6         | 66.2        |
| <b>შემთხვევითი კომპონენტები</b>                                                               |          |              |             |
| <b>Mean</b>                                                                                   | 7.4      | 9.1          | 12.2        |
| <b>Max</b>                                                                                    | 14.6     | 21.7         | 19.9        |
| $\sigma$                                                                                      | 4.2      | 5.9          | 4.7         |
| $C_v$ (%)                                                                                     | 56.4     | 65.1         | 38.7        |
| <b>Range/ Mean (%)</b>                                                                        | 197.7    | 238.8        | 162.9       |
| <b>წილი რეალ. მონ.</b>                                                                        | 16.7     | 17.4         | 33.8        |
| <b>კორელაციური მატრიცა</b>                                                                    |          |              |             |
| წელი                                                                                          | 1        | 0.83         | 0.72        |
| თბილი სეზონი                                                                                  | 0.83     | 1            | 0.21        |
| ცივი სეზონი                                                                                   | 0.72     | 0.21         | 1           |

**რეალური მონაცემები.** მიწისპირა ოზონის საშუალო წლიური და ნახევარწლიური კონცენტრაციების სტანდარტული სტატისტიკური მახასიათებლების გამოთვლის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 3.6-ის ზედა ნაწილში.

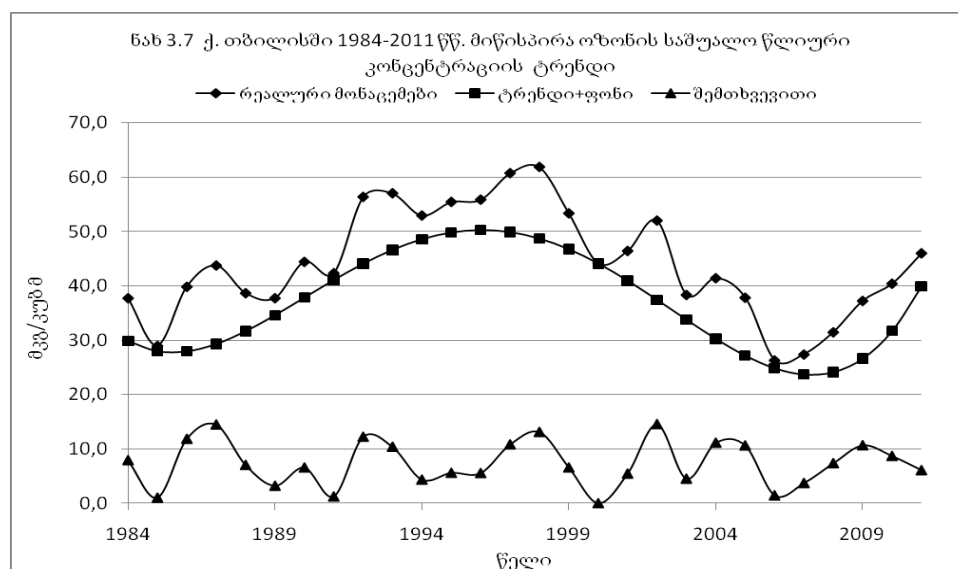
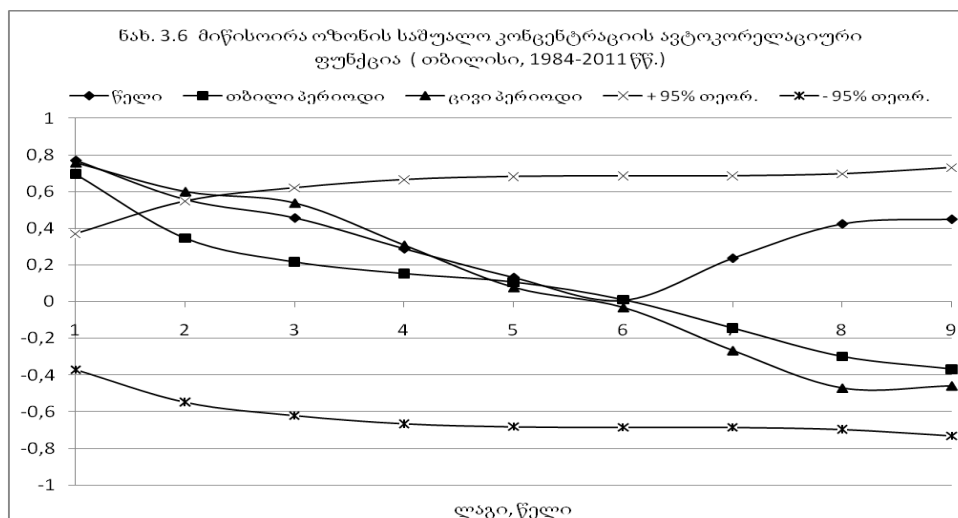
როგორც გამომდინარეობს ამ ცხრილიდან, **SOC**-ის საშუალო მნიშვნელობები იცვლება 36.1-დან ცივ პერიოდში 52.2-მდე თბილ სეზონში, **SOC**-ის მინიმალური მნიშვნელობები იცვლება 15.2-დან ცივ პერიოდში 31.5-მდე თბილ სეზონში, **SOC**-ის მაქსიმალური მნიშვნელობები იცვლება 55.3-დან ცივ პერიოდში 69.0-მდე თბილ სეზონში; ვარიაციული განშლადობა -35.5-დან წლიური მონაცემებით 40.2-მდე ცივ პერიოდში; სტანდარტული გადახრა იცვლება 9.6-დან თბილ პერიოდში 11.9-მდე ცივ სეზონში; სტანდარტული შეცდომა -1.8-დან წლის თბილ პერიოდში 2.2-მდე ცივ სეზონში; ვარიაციის კოეფიციენტი იცვლება - 18,4 %-დან თბილ პერიოდში 32,9 %-მდე ცივ პერიოდში.

ასიმეტრიის კოეფიციენტი იცვლება -0.62-დან თბილ პერიოდში 0.35-მდე ცივ პერიოდში; ექსცესის კოეფიციენტი -1.11-დან ცივ პერიოდში 0.32-მდე თბილ სეზონში.. ასიმეტრიის და ექსცესის გამოსათვლელი კოეფიციენტების აბსოლუტური სიდიდეები ნაკლებია მათი სტანდერტული გადახრის გასამმაგებულ თეორიულ მნიშვნელობაზე. შესაბამისად, გენერალურ ერთობლიობაში **SOC**-ის მითითებული საშუალო მნიშვნელობების განაწილების ფუნქციები წელიწადის ყველა აღნიშნულ სეზონისთვის ახლოა ნორმალურთან. ფარდობითი ვარიაციური განშლადობა იცვლება 71.9 %-დან თბილ სეზონში 111.3 %-მდე ცივ პერიოდში. წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი **SOC**(წელი) და **SOC**(თბილი) შორის 0.91-ის ტოლია, **SOC**(წელი) და **SOC**(ცივი) შორის 0.94-ის ტოლია, ხოლო **SOC**(თბილი) და **SOC**(ცივი) შორის 0.71-ის ტოლია. ამგვარად, არსებობს საკმარისად მდგრადი სეზონებსშორისი კავშირი.

მონაცემები **SOC**-ის დაკვირვებების მწკრივის საშუალო წლიური და ნახევარწლიური მნიშვნელობების პარამეტრების დროში მდგრადობის შესახებ მოყვანილია ცხრილ 3.6-ის ქვედა ნაწილში. წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი **SOC**-ის მითითებულ მნიშვნელობებს და წლებს შორის იცვლება -0.29-დან თბილ პერიოდში - 0.02-მდე ცივ პერიოდში; კენდელის რანგული კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა იცვლება -0.15-დან თბილ პერიოდში -0.02-მდე ცივ სეზონში; სპირმენის რანგული კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა იცვლება -0.22-დან თბილ პერიოდში 0.03-მდე ცივ სეზონში; ლაგით = 1 წელი ავტოკორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები იცვლება 0.70-დან თბილ ნახევარწელში 0.77-მდე წელიწადში. მონაცემები მდგრადობის ხსენებული პარამეტრების  $\alpha$  ნიშნადობის დონის შესახებ აგრეთვე წარმოდგენილია ამ ცხრილში. როგორც ცხრილი 3.6-ის და ნახაზი 3.6-ის ანალიზი გვიჩვენებს, **SOC**-ის საშუალო წლიური და ნახევარწლიური დაკვირვებების მნიშვნელობების დროითი მწკრივები ავტოკორელირებულია, არაწრფივი სახის ტრენდით. შედარებით სუსტი ავტოკორელაცია და წრფივი ტენდენციის მქონე არაშემთხვევითობის სუსტი კრიტერიუმები ძირითადად **SOC**(თბილი)-ის დროითი მწკრივისთვის დაიკვირვება.

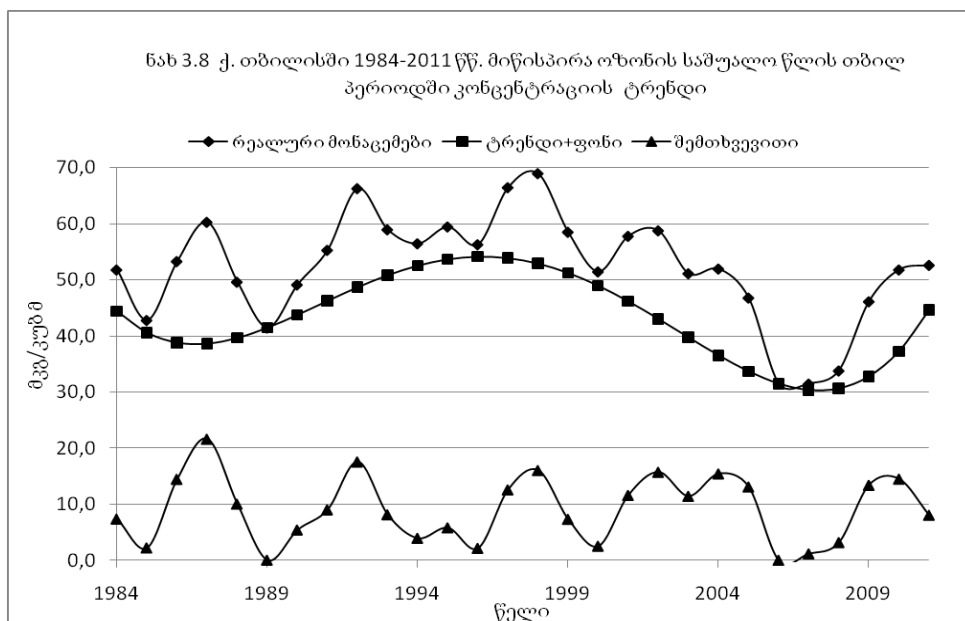
მონაცემები დროის საკვლევ პერიოდში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის საშუალო წლიური და ნახევარწლიური მონაცემების ტრენდების შესახებ წარმოდგენილია ცხრილ 3.6 და ნახაზ 3.7-3.9-ზე. როგორც გამომდინარეობს ამ საილუსტრაციო მასალიდან, გასაშუალების ყველა პერიოდისათვის ტრენდებს აქვთ მეოთხე ხარისხის პოლინომის სახე (რეგრესიის განტოლების შესაბამისი კოეფიციენტები მოცემულია ცხრილ 3.6-ში). ამ

ცხრილში აგრეთვე მოყვანილია მონაცემები ტრენდი+ფონის კომპონენტების და მითითებული დროის მწკრივების შემთხვევითი მდგენელების შესახებ.

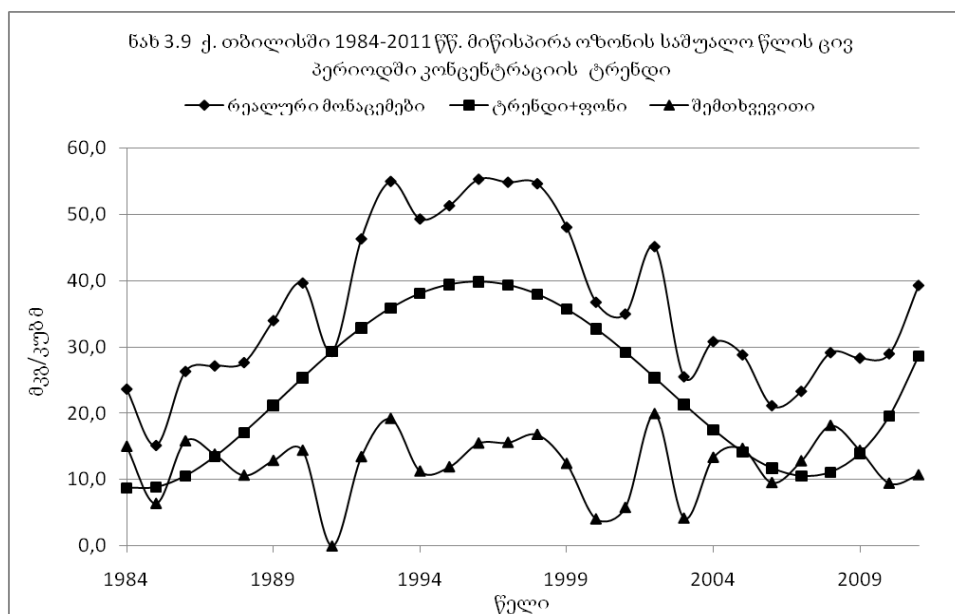


**ტრენდი+ფონის კომპონენტები.** SOC-ის საშუალო მნიშვნელობები იცვლება 23.9–დან ცივ პერიოდში 43.1–მდე თბილ სეზონში; SOC-ის მინიმალური მნიშვნელობები იცვლება 8.7–დან ცივ პერიოდში 30.3–მდე თბილ სეზონში; მაქსიმალურები – 39.8–დან ცივ პერიოდში 54.2–მდე თბილ პერიოდში; ვარიაციული განშლადობა 23.8–დან თბილ სეზონში 31.1–მდე ცივ სეზონში; სტანდარტული გადახრა – 7.6–დან თბილ ნახევარწელში 10.9–მდე ცივ სეზონში; ვარიაციის კოეფიციენტი 17.6–დან თბილ პერიოდში 45.7–მდე ცივ პერიოდში; ფარდობითი ვარიაციული განშლადობა – 55.2–დან თბილი სეზონის განმავლობაში 130.3–მდე ცივ პერიოდში. რეალური მონაცემების საშუალო სიდიდეების ტრენდი+ფონის კომპონენტების წილი შეადგენს: წელიწადი – 83.3 %, თბილი სეზონი – 82.6 %, ცივი სეზონი – 66.2 %. ამგვარად, თბილისში SOC-ის ხანგრძლივი ცვლილებები ძირითადად ტრენდი+ფონის კომპონენტით არის გამოწვეული.





**შემთხვევითი კომპონენტები.** SOC-ის საშუალო მნიშვნელობები იცვლება 7.4–დან წლიური მონაცემებით 12.2–მდე ცივ სეზონში; SOC-ის მაქსიმალური მნიშვნელობები იცვლება 14.6–დან წლიური მონაცემებით 21.7–მდე თბილ პერიოდში; სტანდარტული გადახრა – 4.2–დან წლიური მონაცემებით 5.9–მდე თბილ სეზონში; ვარიაციის კოეფიციენტი 38.7–დან ცივ პერიოდში 65.1–მდე თბილ პერიოდში; ფარდობითი ვარიაციული განშლადობა – 162.9 %-დან ცივ სეზონის განმავლობაში 238.8 %-მდე თბილ სეზონში. SOC(წელი) და SOC(თბილი)-ის შემთხვევით კომპონენტებს შორის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი 0.83-ის ტოლია, SOC(წელი) და SOC(ცივი)-ის შორის 0.72-ის ტოლია, SOC(თბილი) და SOC(ცივი)-ის შორის 0.21 უდრის.



ამგვარად (ნახ. 3.7–3.9), ზოგადად 1984–დან 1997–1998 წლების პერიოდში დაიკვირვებოდა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზრდა, შემდგომ – კლება 2006–2007 წლებამდე და 2008–2011 წლების პერიოდში – კვლავ ზრდა. ასე მაგალითად: 1984–ში SOC(წელი) = 38, 1997–1998–ში – 61–62, 2006–2007–ში – 26–27, 2011–ში – 46; 1984–ში SOC(თბილი) = 52, 1997–1998–ში – 67–69, 2006–2007–ში – 32, 2011–ში – 53; 1984–ში SOC(ცივი) = 24, 1997–1998–ში – 55, 2006–2007–ში – 21–23, 2011–ში – 39.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ ამჟამად თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია თანაზომადია საბჭოთა პერიოდის დროის SOC–თან. მთლიანობაში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ხანგრძლივი ვარიაციები მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის ატმოსფეროს დამაქუჩყიანებელი აეროზოლური და გაზური მინარევების ემისიის ბუნებაზეა დამოკიდებული. ასე, მეოცე საუკუნის ოთხმოცდაათიანი წლების შუახანს SOC–ის ზრდის ერთერთ მნიშვნელოვან მიზეზად შეიძლება ჩავთვალოთ საქართველოში წარმოების მკვეთრი შემცირება და შესაბამისად, როგორც ოზონის მჟანგველი მყარი ნაწილაკების გამოტყორცნის, ასევე ოზონშემქმნელი გაზების, რომლებიც ერთდროულად ხარჯავენ ოზონს მეორადი აეროზოლების შექმნაზე, შემცირება. მაგრამ ეს საკმაოდ რთული საკითხია და მოითხოვს სპეციალურ გამოკვლევებს, რომლებიც ამ ნაშრომის ფარგლებს სცილდება.

განვიხილოთ მზის რადიაციის ცვალებადობის საკითხი უკანასკნელი 30 წლის განმავლობაში (ცხრილი 3.7).

უნდა აღვნიშნოთ, რომ საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ რეგულარული აქტინომეტრიული დაკვირვებები შეწყდა. ამ სამუშაოს ჩარჩოებში ჩვენ აღვადგინეთ თბილისში პირდაპირი და ჯამური მზის რადიაციის გაზომვები. მონაცემები 1980–1992 და 2010–2011 წლებში J და Q სტატისტიკურ მახასიათებლების შესახებ დაკვირვების სტანდარტულ აქტინომეტრიულ ვადებში მოყვანილია ცხრილ 3.7–ში.

1980–1992 წლები. J–ს საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 0.525 კვტ/მ<sup>2</sup> –დან 15.5 საათზე 0.644 კვტ/მ<sup>2</sup>–მდე 12.5 საათზე; J–ს მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენდა 0.040 კვტ/მ<sup>2</sup>, მაქსიმალური 1080; სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.179–დან 15.5 საათზე 0.188 კვტ/მ<sup>2</sup>–მდე 12.5 საათზე; ვარიაციის კოეფიციენტი – 29.1 %–დან 15.5 საათზე 34.0 %–მდე 15.5 საათზე. J–ს მნიშვნელობის მაქსიმუმი დაიკვირვება 12.5 საათზე.

1980–1992 წლები. Q–ს საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 0.253–დან 15.5 საათზე 0.506–მდე 12.5 საათზე; Q–ს მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენდა 0.010, მაქსიმალური – 1.240; სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.208–დან 15.5 საათზე 0.301–მდე 12.5 საათზე;; ვარიაციის კოეფიციენტი – 59.4–დან 12.5 საათზე 82.5–მდე 15.5 საათზე. Q –ს მნიშვნელობის მაქსიმუმი დაიკვირვება 12.5 საათზე.

2010–2011 წლები. J–ს საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 0.611–დან 9.5 საათზე 0.755–მდე 12.5 საათზე; J–ს მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენდა 0.061, მაქსიმალური – 1.030; სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.170–დან 9.5 საათზე 0.193–მდე 15.5 საათზე; ვარიაციის კოეფიციენტი – 23.3–დან 12.5 საათზე 28.8–მდე 1.5 საათზე. J–ს მნიშვნელობის მაქსიმუმი დაიკვირვება 12.5 საათზე.

2010–2011 წლები. Q–ს საშუალო მნიშვნელობა იცვლებოდა 0.315–დან 9.5 საათზე 0.539–მდე 12.5 საათზე; Q –ს მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენდა 0.010, მაქსიმალური – 1.244; სტანდარტული გადახრა იცვლებოდა 0.231–დან 9.5 საათზე 0.302–

მდე 12.5 საათზე; ვარიაციის კოეფიციენტი – 56.0–დან 12.5 საათზე 73.4–მდე 9.5 საათზე. Q –ს მნიშვნელობის მაქსიმუმი დაიკვირვება 12.5 საათზე.

ცხრილი 3.7

მზის პირდაპირი და ჯამური რადიაციის სტატისტიკური მახასიათებლები თბილისში  
1980–1992 და 2010–2011 წწ.

| მზის<br>რადიაცია | J, კვტ/მ <sup>2</sup> |       |       | Q, კვტ/მ <sup>2</sup> |       |       |
|------------------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| საათი            | 9.5                   | 12.5  | 15.5  | 9.5                   | 12.5  | 15.5  |
|                  | <b>1980-1992</b>      |       |       |                       |       |       |
| <b>Average</b>   | 0.577                 | 0.644 | 0.525 | 0.378                 | 0.506 | 0.253 |
| <b>Min</b>       | 0.040                 | 0.060 | 0.040 | 0.010                 | 0.010 | 0.010 |
| <b>Max</b>       | 1.040                 | 1.080 | 0.970 | 1.040                 | 1.240 | 1.100 |
| <b>StDev</b>     | 0.184                 | 0.188 | 0.179 | 0.260                 | 0.301 | 0.208 |
| <b>Cv</b>        | 31.9                  | 29.1  | 34.0  | 68.7                  | 59.4  | 82.5  |
| <b>Count</b>     | 2425                  | 2712  | 1941  | 4529                  | 4522  | 4514  |
| <b>95%(+/-)</b>  | 0.007                 | 0.007 | 0.008 | 0.008                 | 0.009 | 0.006 |
|                  | <b>2010-2011</b>      |       |       |                       |       |       |
| <b>Average</b>   | 0.611                 | 0.755 | 0.670 | 0.315                 | 0.539 | 0.395 |
| <b>Min</b>       | 0.061                 | 0.103 | 0.111 | 0.010                 | 0.021 | 0.010 |
| <b>Max</b>       | 0.929                 | 1.030 | 0.990 | 1.103                 | 1.244 | 1.122 |
| <b>StDev</b>     | 0.170                 | 0.176 | 0.193 | 0.231                 | 0.302 | 0.271 |
| <b>Cv</b>        | 27.8                  | 23.3  | 28.8  | 73.4                  | 56.0  | 68.7  |
| <b>Count</b>     | 335                   | 406   | 342   | 912                   | 915   | 917   |
| <b>95%(+/-)</b>  | 0.018                 | 0.017 | 0.020 | 0.015                 | 0.020 | 0.018 |

როგორც გამომდინარეობს ცხრილ 3.7–დან, დაკვირვების ორ ზემოთ მითითებულ პერიოდში J და Q–ს მნიშვნელობები დიდად არ განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან. ასე მაგალითად, 2010–2011 წლების პერიოდში 9.5 და 12.5 საათებზე დაკვირვებული J–ს მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები ხვდება J–ს 1980–1992 წლის იგივე მნიშვნელობების ცვალებადობის დიაპაზონში. 2010–2011 წლების პერიოდში J–ს მინიმალური მნიშვნელობები რამდენადმე უფრო მაღალია, ვიდრე მზის პირდაპირი რადიაციის მინიმალური მნიშვნელობები 1980–1992 წლებში. რაც შეეხება J–ს მაქსიმალურ მნიშვნელობებს დაკვირვების ამ ვადისთვის, აქ სურათი შებრუნებულია, რაც შეიძლება აიხსნას გაზომვების დროს აქტინომეტრის ადგილმდებარეობით, რომელიც სადამოს გარშემორტყმული ნაგებობებისაგან გაზნეული რადიაციის გარკვეულ რაოდენობას იღებს, თუმცა ეს სხვაობა არც თუ დიდია.

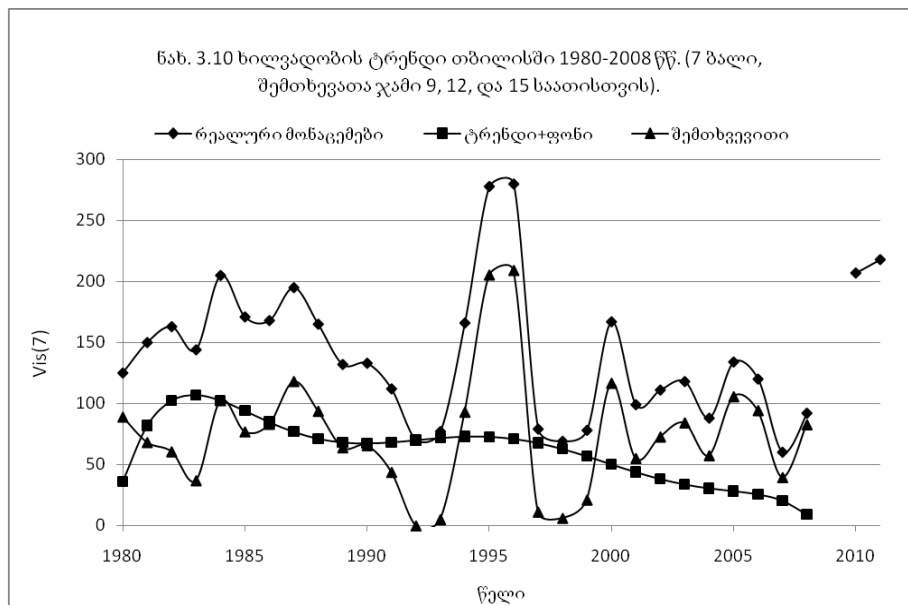
რაც შეეხება მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობას, მისი მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები 2010–2011 წლების პერიოდში პრაქტიკულად არ განსხვავდება 1980–1992 წლებში დაკვირვებულ მონაცემებისაგან დაკვირვების ყველა ვადებისათვის.

საშუალოდ 2010–2011 წლების პერიოდში მზის პირდაპირი რადიაციის ინტენსივობა რამდენადმე უფრო მაღალია, ვიდრე 1980–1992 წლებში დაკვირვების ყველა

ვადებისათვის. ჯამური რადიაციის ინტენსივობა 9.5 საათზე ბოლო წლებში საშუალოდ შემცირდა, დაკვირვების სხვა ვადებში კი რამდენადმე გაიზარდა.

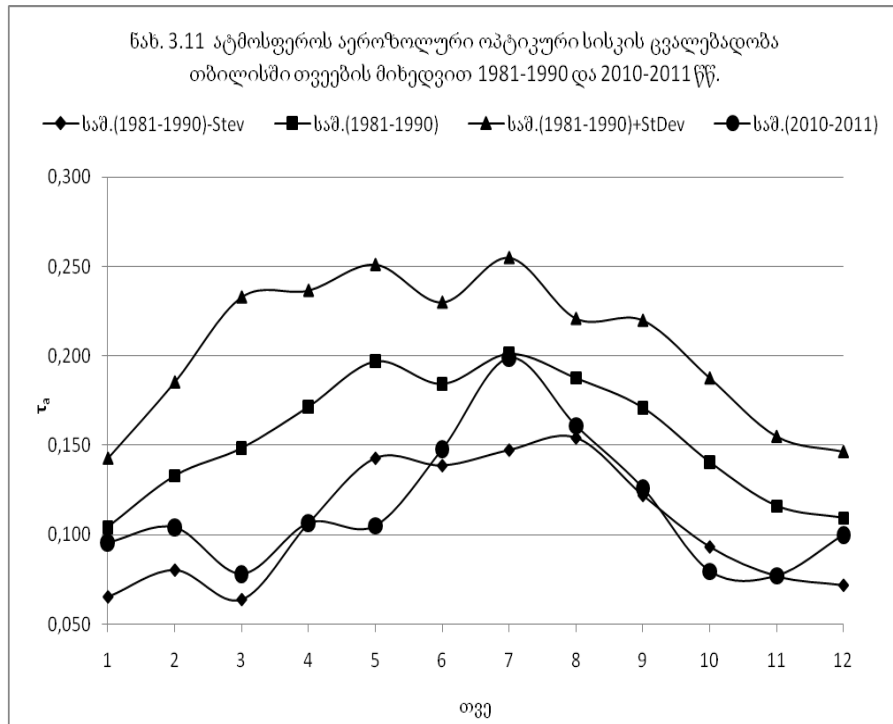
ამგვარად, აქტინომეტრიული გაზომვების მონაცემები ასევე მოწმობენ იმაზე, რომ აეროზოლურ დაჭუჭყიანების ასპექტში ბოლო წლებში ატმოსფერო თბილისში გახდა რამდენადმე უფრო სუფთა, ვიდრე საბჭოთა პერიოდში, თუმცა არც თუ მნიშვნელოვნად.

ეს დასტურდება აგრეთვე თბილისში ბოლო 30 წლის განმავლობაში ხილვადობის მანძილის დინამიკით. მაგალითისთვის ნახ. 3,10–ზე წარმოდგენილია 1980–2008 წლების პერიოდში 9,12 და 15 საათზე 7 ბალიანი  $Vis(7)$  ხილვადობის მანძილის შემთხვევების რაოდენობის ტრენდი, რომელსაც აქვს კლების ტენდენციის მქონე მერვე ხარისხის პოლინომის სახე. ესე იგი, კლებულობდა 19–20 კმ ხილვადობის შემთხვევების რაოდენობა [40].



ამავე დროს ხდებოდა უდიდესი ხილვადობის მანძილის (9 ბალი) შემთხვევების რაოდენობის გარკვეული ზრდა, რაც აგრეთვე მეტყველობს ჰაერის გაჭუჭყიანების ფარდობით შემცირებაზე. ჩვენი მონაცემებით,  $Vis(7)$ –ს შემთხვევების რაოდენობა 2010 წელს 207 იყო, ხოლო 2011 წელს – 218 (ნახ. 3,10). მაგრამ აღსანიშნავია, რომ 1980–2008 წლების ჰიდრომეტეოროლოგიური დეპარტამენტის მონაცემები ნაკლებად მიესადაგება ჩვენს მონაცემებს, რადგანაც დაკვირვებები წარმოებდა სხვადასხვა პუნქტებიდან სხვადასხვა რეპერულ წერტილებზე. მიუხედავად ამისა, ჩვენი მონაცემები, რომლებიც გარკვეულად მომეტებულია, მთლიანობაში თანხმობაშია ჰიდრომეტდეპარტამენტის ოფიციალურ მონაცემებთან.

და ბოლოს, განვიხილოთ უკანასკნელი 30 წლის განმავლობაში თბილისში ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის დინამიკა. ვინაიდან  $\tau_a$ –ს ნიშვნელობები სუფთა ცის პირობებში მზის პიდაპირი რადიაციის ინტენსივობის მნიშვნელობებით გამოითვლება [169], ეს გამოთვლები არსებობდა მხოლოდ 1992 წლამდე.



ნახ. 3.11-ზე წარმოდგენილია მონაცემები ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისკის საშუალოთვიური მნიშვნელობისთვის შიდა წლიური სვლის შესახებ 1 მკმ ტალღის სიგრძისთვის 1981–1990 და 2010–2011 წლებისთვის.  $\tau_a$ -ს საშუალოთვიური მნიშვნელობები 1981–1990 წლებში იცვლებოდა  $0.104 \pm 0.039$ –დან (იანვარი)  $0.201 \pm 0.054$ –მდე (ივლისი), 2010–2011 წლებში  $-0.077 \pm 0.010$  –დან (ნოემბერი)  $0.199 \pm 0.070$ –მდე (ივლისი). წელიწადში  $\tau_a$ -ს საშუალო მნიშვნელობა 1981–1990 წლებში  $0.155 \pm 0.035$ –ს შეადგენდა, 2010 წელს  $0.121 \pm 0.044$ –ს შეადგენდა, ხოლო 2011 წელს –  $0.109 \pm 0.039$ . 2010–2011 წლებში იგი შეადგენდა  $0.115 \pm 0.037$ . ამგვარად, ეს შედეგები აგრეთვე ადასტურებენ თბილისში ბოლო წლებში ატმოსფეროს აეროზოლური დაჭუჭყიანების რამდენადმე შემცირებას საბჭოთა პერიოდთან შედარებით.

### 3.3 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციასა და სხვა გამოსაკვლევ ატმოსფერულ პარამეტრებს შორის ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები. თბილისური ტიპის სმოგი.

ქვემოთ წარმოდგენილია საკვლევ პარამეტრებს შორის ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირების ანალიზის შედეგები. ანალიზი ტარდებოდა 2010–2011 წლებში საკვლევ პარამეტრების საშუალოდღიური მნიშვნელობებისთვის. მოცემულია თბილისური ტიპის სმოგის მახასიათებლები.

### 3.3.1 ორმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის.

ცხრილი 3.8-ში წარმოდგენილია მონაცემები გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის წრფივი კორელაციის ორმხრივი კოეფიციენტის მნიშვნელობების შესახებ.

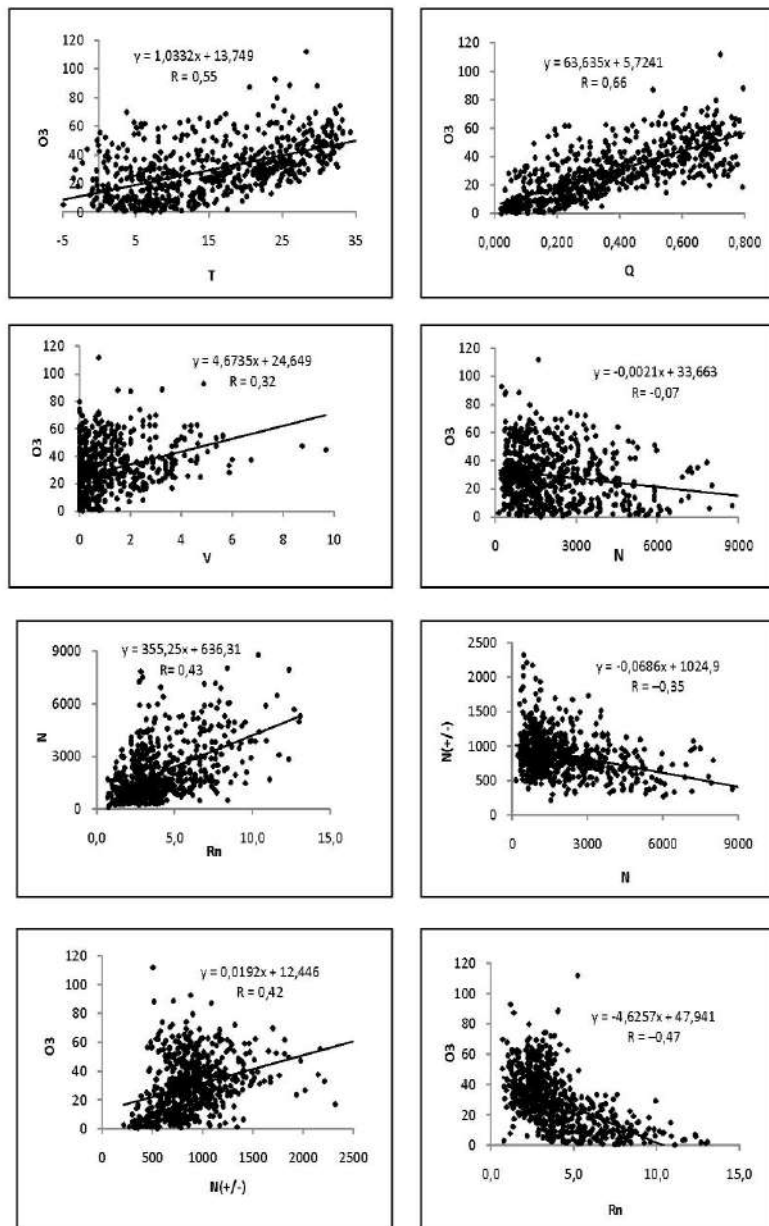
ცხრილი 3.8

წრფივი კორელაცია გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის. კორელაციის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა 0.05 ნიშნადობის დონით შეადგენს 0.07

| პარამეტრი      | T     | U     | P     | V     | O <sub>3</sub> | Rn    | N     | N(+/-) | Q     | q     |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| T              | 1     | -0.58 | -0.58 | 0.03  | 0.52           | -0.39 | 0.07  | 0.20   | 0.77  | -0.40 |
| U              | -0.58 | 1     | 0.41  | -0.24 | -0.63          | 0.32  | -0.09 | -0.26  | -0.79 | 0.29  |
| P              | -0.58 | 0.41  | 1     | -0.17 | -0.30          | 0.29  | 0.00  | -0.17  | -0.47 | 0.32  |
| V              | 0.03  | -0.24 | -0.17 | 1     | 0.32           | -0.36 | -0.20 | 0.60   | 0.20  | -0.15 |
| O <sub>3</sub> | 0.52  | -0.63 | -0.30 | 0.32  | 1              | -0.47 | -0.07 | 0.42   | 0.66  | -0.46 |
| Rn             | -0.39 | 0.32  | 0.29  | -0.36 | -0.47          | 1     | 0.43  | -0.55  | -0.41 | 0.34  |
| N              | 0.07  | -0.09 | 0.00  | -0.20 | -0.07          | 0.43  | 1     | -0.35  | -0.04 | 0.08  |
| N(+/-)         | 0.20  | -0.26 | -0.17 | 0.60  | 0.42           | -0.55 | -0.35 | 1      | 0.26  | -0.20 |
| Q              | 0.77  | -0.79 | -0.47 | 0.20  | 0.66           | -0.41 | -0.04 | 0.26   | 1     | -0.42 |
| q              | -0.40 | 0.29  | 0.32  | -0.15 | -0.46          | 0.34  | 0.08  | -0.20  | -0.42 | 1     |

ასე, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას გააჩნია პირდაპირი კორელაციური კავშირი T -თან ( $R = 0.52$ ), V-თან ( $R = 0.32$ ), N(+/-)-თან ( $R = 0.42$ ), Q-თან ( $R = 0.66$ ) და უკუკორელაციური კავშირი U-თან ( $R = -0.63$ ), P-თან ( $R = -0.30$ ), Rn -თან ( $R = -0.47$ ), N-თან ( $R = -0.07$ ), q -თან ( $R = -0.46$ ). სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაციას აქვს პირდაპირი კორელაციური კავშირი T -თან ( $R = 0.07$ ), Rn -თან ( $R = 0.43$ ), q -თან ( $R = 0.08$ ) და უკუკორელაციური კავშირი U-თან ( $R = -0.09$ ), V-თან ( $R = -0.20$ ), O<sub>3</sub>-თან ( $R = -0.07$ ), N(+/-)-თან ( $R = -0.35$ ).

მაგრამ უნდა აღვნიშნოთ, რომ ცხრილ 3.8-ში მითითებულმა კორელაციურმა კავშირებმა შეიძლება იქონიონ როგორც პირდაპირი ფიზიკური, ასევე არაპირდაპირი ხასიათი (სხვა ფიზიკურად დაკავშირებულ პარამეტრთან კორელაციის მეშვეობით). ასე მაგალითად, არსებობს მაღალი კორელაცია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციასა და მზის რადიაციის ინტენსივობას შორის, რაც ფიზიკურად სავსებით დასაბუთებულია – მზის რადიაციის ინტენსივობის ზრდასთან ერთად ატმოსფეროში დაიკვირვება ფოტოქიმიური პროცესების ინტენსიფიკაცია. ამავე დროს, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის დადებითი კავშირი მსუბუქი იონების შემცველობასთან უფრო არაპირდაპირი ბუნებისაა ჰაერის აეროზოლური გაჭუჭყიანების დონის მეშვეობით, რომლის ინდიკატორი იონებია: რაც მეტია იონების რაოდენობა, მით ნაკლებია აეროზოლები და ნაკლებია ოზონის ხარჯი მათ ჟანგვაზე (ე.ი. ოზონის ზრდა). მრავალი გამოვლენილი კავშირი (მაგალითად O<sub>3</sub> –q, Rn – O<sub>3</sub> და სხვა) თავის ასახსნელად მოითხოვს შემდგომ დეტალურ ფიზიკურ და მათემატიკურ ანალიზს. თვალსაჩინოებისათვის ზოგიერთი წრფივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირი წარმოდგენილია ნახ. 3.12 –ზე.



ნახ. 3.12 ზოგიერთი გამოსავლელ პარამეტრებს შორის წრფივი ორმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები

საინტერესოა ჩვენს მიერ მიღებული ჰაერში რადონის კონცენტრაციასა და სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობას შორის პირდაპირი კავშირი. ოთხი-ხუთი ათწლეულის წინ ითვლებოდა, რომ ატმოსფეროში მცირე კონცენტრაციების გამო რადონი არ წარმოადგენს საშიშროებას ადამიანის ჯანმრთელობისათვის. რადონმა და მისი დაშლის მოკლევადიანმა პროდუქტებმა ფართო გამოყენება იპოვეს ღრუბლებსა და ატმოსფეროში მიმდინარე სხვადასხვა ფიზიკური პროცესების (ტურბულენტური შერევა, საღრუბლო ნაწილაკების დანალექების წვეთების აეროზოლებთან კოაგულაციის პროცესები, იონიზაცია ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენებში და სხვა) შესწავლისას პასიური ტრასერების სახით [120, 162, 167, 168]. როგორც შრომებში იყო მცდელობა გამოეყენებინათ რადონი (და მისი წარმოებული – ჰაერის ელექტროგამტარობა), როგორც მიწისძვრის წინამორბედი [28].

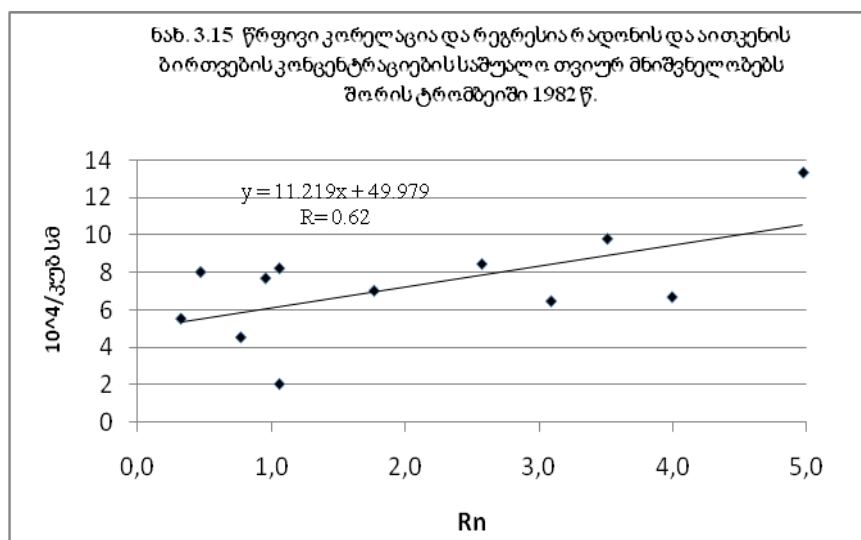
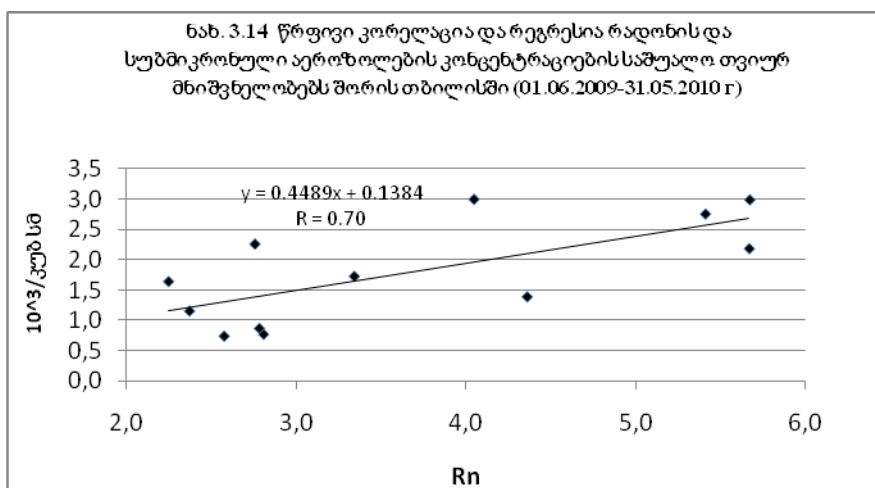
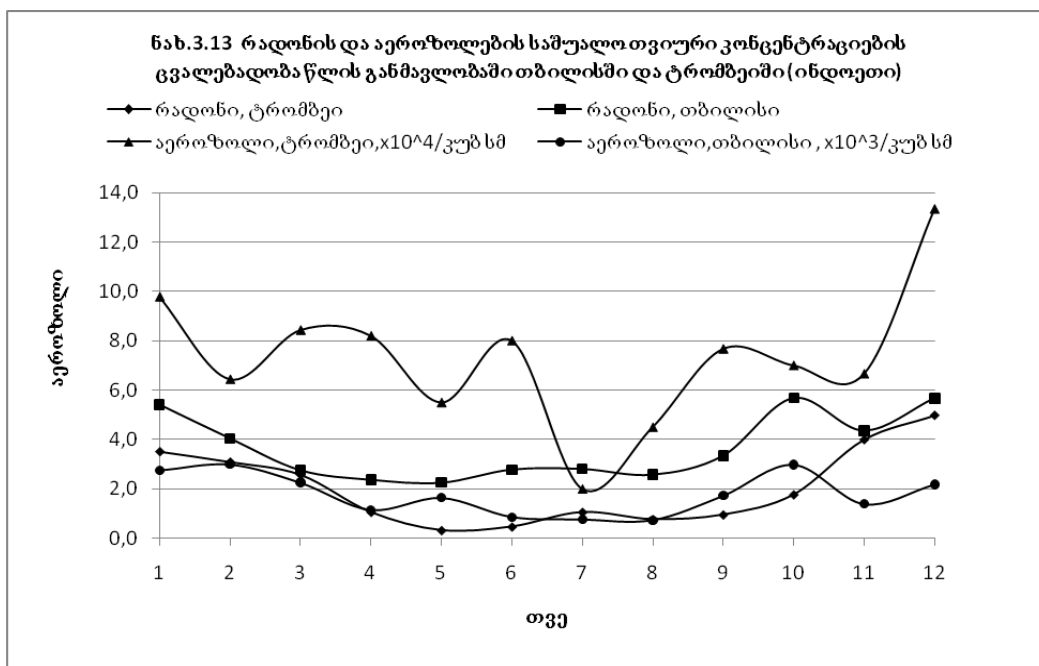
ითვლებოდა, რომ ჰიგიენური თვალსაზრისით ადამიანის ჯანმრთელობისთვის საშიშია მხოლოდ ის რადონი, რომელიც კარსტულ მღვიმეებში, შახტებში, მიწისქვეშა სათავსოებში, მეტროპოლიტენში და ა.შ. არსებობს [22, 35, 119, 162]. მაგრამ ორი-სამი ათეული წლის წინ აღმოჩნდა, რომ ძალიან საშიშია ეგრეთ წოდებული საყოფაცხოვრებო რადონი – საცხოვრებელ სათავსოებში და სასმელ წყალში (წყალგაყვანილობა, ჭები და ა.შ.) არსებული რადონის მაღალი კონცენტრაციები. ზემოთ თქმულთან დაკავშირებით დაიწყო (მათ შორის საქართველოშიც) შენობებში, ნიადაგში და სასმელ წყალში რადონის შემცველობის დონის მასიური კარტირება [23–25].

რაც შეეხება რადონს მიწისპირა ატმოსფეროში, იგი აქამდე ადამიანისთვის საშიშად არ ითვლება, მაგრამ ნაშრომ [84] – ში ნაჩვენებია იყო, რომ ქალაქ ტრომბეიში (ინდოეთი, ქალაქ მუმბაის სამრეწველო გარეუბანი (18.97° ჩ.გ., 72.83° ა.გ., სიმაღლე – ზღვის დონიდან 7მ)) მიწისპირა რადონი აქტიურად აძლიერებს ატმოსფეროში აითქვნის ბირთვების წარმოქმნის პროცესს. სხვა სიტყვებით, რადონი სქემით გაზი→ნაწილაკი მეორადი აეროზოლები–სმოგის (როგორც ფოტოქიმიურის, ასევე ჩვეულებრივის) უმნიშვნელოვანესი შემადგენელის წარმოქმნის პროცესების კატალიზატორია.

ატმოსფეროში ნაწილაკების წარმოქმნაზე რადონის და კოსმოსური სხივების გავლენის შესახებ ნათქვამია აგრეთვე ნაშრომებში [55, 102]. ეკოლოგიის თვალსაზრისით ამ ნაშრომებმა დიდი ყურადღება არ მიიპყრეს. მოგვიანებით ჩვენმა გამოკვლევებმა ექსპერიმენტული მონაცემების არც თუ დიდი რაოდენობის საფუძველზე დაადასტურა ნაშრომებში [55, 84, 102] მიღებული შედეგები [4, 9, 11].

შევადაროთ თბილისში სუბმიკრონული აეროზოლების და ტრომბეიში აითქვნის ბირთვების კონცენტრაციების საშუალოთვიური მნიშვნელობების შიდაწლიური სვლა (ნახ. 3.13). როგორც ჩანს ამ ნახაზიდან, ამ ორი ქალაქისთვის მითითებული სვლა, მიუხედავად განსხვავებული ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობებისა და გაზომვების დროში არსებითი განსხვავებისა (თბილისი – 2009–2010 წლები, ტრომბეი – 1982 წელი), და აგრეთვე განსხვავებისა სუბმიკრონული აეროზოლების და აითქვნის ბირთვების გაზომვის მეთოდოლოგიაში და, შესაბამისად, თითქმის 1.5–2 ჯერ განსხვავებისა მათ კონცენტრაციებს შორის (აითქვნის ბირთვების ზომები ნაკლებია ჩვენს მიერ გაზომილ სუბმიკრონულ აეროზოლებზე), ანალოგიურია. ე.ი. რადონის მონაწილეობით მეორადი აეროზოლების კატალიზაციის მექანიზმი მოქმედებს ყველგან.





და ბოლოს, ნახ. 3.14 და ნახ. 3.15–ზე მოყვანილია სუბმიკრონული აეროზოლების და აითკენის ბირთვების კონცენტრაციებთან რადონის შემცველობის საშუალოთვიური მნიშვნელობების შესაბამისად თბილისში (ნახ. 3.14) და ქალაქ ტრომზეში (ნახ. 3.15) წრფივი კორელაციის და რეგრესიის გრაფიკები. ეს ნახაზები კიდევ ერთხელ ამტკიცებენ რადონის და აეროზოლების კონცენტრაციებს შორის, როგორც ზომების სუბმიკრონული დიაპაზონისა, ასევე აითკენის ბირთვების ზომისა, მიუხედავად მათი გეოგრაფიული ადგილმდებარეობისა, პირდაპირი კორელაციური კავშირების მდგრადობას. ამასთან ძირითადი პირობაა გაზური კომპონენტების არსებობა (აზოტის, გოგირდის და ა.შ. არსებობა), რომლებიც ქიმიური და ფოტოქიმიური რეაქციების დროს მეორად აეროზოლურ ნაწილაკებში გარდაიქმნება. რადონი კი ამ პროცესების კატალიზატორია და, არაპირდაპირი ფორმით – ატმოსფეროს შემადგენელი, რომელიც ხელს უწყობს მის დაჭუჭყიანებას აეროზოლებით (სულფატები, ნიტრატები და ა.შ.).

იმის გათვალისწინებით, რომ საცხოვრებელ სათავსოებში რადონის შემცველობა ხშირად გაცილებით უფრო მაღალია, ვიდრე ატმოსფეროში, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია შემდგომში რადონის როლის დადგენა მეორადი აეროზოლური ნაწილაკებით ამ სათავსოების გაჭუჭყიანების ზრდაში, სადაც ჩვეულებრივ აეროზოლების შემქმნელ გაზების არსებობა მცირედ განსხვავდება მათი შემცველობისგან ამ სათავსოების გარეთ.

ამის გარდა, მიწისპირა რადონი არააშკარა ფორმით (მეორადი აეროზოლების შექმნის მეშვეობით) შეიძლება იყოს მოქმედი კლიმატშემქმნელი ფაქტორი. რადონის კლიმატზე გავლენის მასშტაბების შესახებ ლაპარაკი ჯერ ნაადრევია, თუმცა (თუნდაც მეგაპოლისების ფარგლებში) ეს ზემოქმედება უნდა იყოს გაცილებით უფრო არსებითი (მაგალითად სქემით: რადონი → მეორადი აეროზოლი → მზის რადიაცია, ღრუბლიანობა, ნალექები), ვიდრე ეს ადრე იყო ნავარეუდევი [9]–ში.

### 3.3.2 თბილისური ტიპის სმოგი

ატმოსფეროში სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობაზე მაიონიზებელი გამოსხივებების მოქმედების მოსალოდნელი შედეგების გარდა, ჩვენს მიერ თბილისის პირობებში აღმოჩენილ იქნა ამ გამოსხივების (რადონი, კოსმოსური სხივები, გამა–რადიაცია) მოულოდნელი შეზღუდვებული კორელაციური კავშირები ჰაერში მსუბუქი იონების კონცენტრაციასთან (ცხრილები 3.8–3.10, ნახაზები 3.12, 3.13–3.18).

დიდი ხანია ცნობილია, რომ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მსუბუქი იონების წარმოქმნა რადონის და მისი დაშლის ხანმოკლე პროდუქტების ალფა–ნაწილაკებით (40 %), ნიადაგის გამა–რადიაციით (40 %) და კოსმოსური სხივებით (20 %) ჰაერის იონიზაციის შედეგად ხდება. იონების გაქრობა მათი რეკომბინაციით და აეროზოლებთან მიერთებითაა გამოწვეული. ჩვეულებრივ პირობებში მსუბუქი იონების კონცენტრაცია ყოველთვის უშუალოდ ჰაერის იონიზაციის ინტენსივობაზეა დამოკიდებული [44].

ცხრილი 3.9

ჰაერში რადონის, სუბმიკრონული აეროზოლების, მსუბუქი იონების კონცენტრაციის და ნიადაგის გამა რადიაციის ინტენსივობის სტატისტიკური მახასიათებლები თბილისის 20 გამზომ პუნქტში

| პარამეტრი           | გამა-რადიაცია   | რადონი            | აეროზოლი         | იონების ჯამი |
|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Average             | 81.9            | 6.3               | 3638             | 492          |
| Min                 | 53              | 1.4               | 750              | 200          |
| Max                 | 109             | 16.0              | 9000             | 1200         |
| St Dev              | 10.9            | 3.0               | 1928             | 251          |
| C <sub>v</sub>      | 13.3            | 47.4              | 53.0             | 51.0         |
| კორელაციური მატრიცა |                 |                   |                  |              |
| გამა-რადიაცია       | 1               | 0.37              | 0.24             | -0.15        |
| რადონი              | $\alpha = 0.05$ | 1                 | 0.70             | -0.51        |
| აეროზოლი            | $\alpha = 0.1$  | $\alpha = 0.0005$ | 1                | -0.48        |
| იონების ჯამი        | $\alpha = 0.35$ | $\alpha = 0.001$  | $\alpha = 0.001$ | 1            |

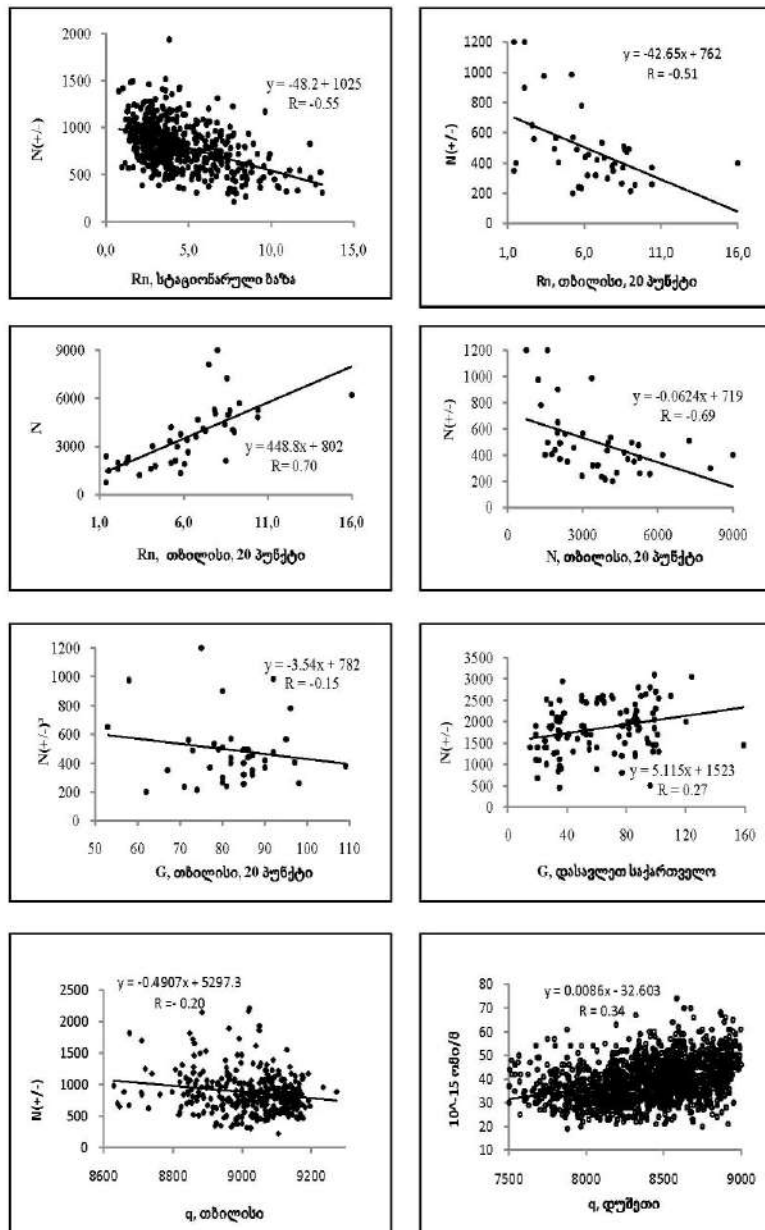
ცხრილი 3.10

მსუბუქი იონების კონცენტრაციის და ნიადაგის გამა რადიაციის ინტენსივობის სტატისტიკური მახასიათებლები დასავლეთ საქართველოს 111 გამზომ პუნქტში

| პარამეტრი     | Average | Min | Max  | St Dev | C <sub>v</sub> | R                           |
|---------------|---------|-----|------|--------|----------------|-----------------------------|
| გამა-რადიაცია | 63      | 15  | 159  | 30     | 48             | 0.27<br>( $\alpha = 0.01$ ) |
| იონების ჯამი  | 1844    | 450 | 3100 | 563    | 31             |                             |

როგორც ადრე იყო აღნიშნული, ატმოსფერული აეროზოლი წარმოადგენს ბუნებრივი და ანთროპოგენური წარმოშობის ჩვეულებრივი მტვერის ნაწილაკების (მინერალური აეროზოლი, ზღვის აეროზოლი, ინდუსტრიული საწარმოებისა და ტრანსპორტის მყარი გამონატყორცნი და ა.შ.), და ე.წ. მეორადი აეროზოლების ნარევს. მეორადი აეროზოლის ფორმირება ხდება სქემით გაზი→ნაწილაკი ქიმიური და ფოტოქიმიური რეაქციების დროს. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ რადიოაქტიური და კოსმოსური რადიაცია ხელს უწყობს მეორადი აეროზოლების ფორმირების პროცესების დაჩქარებას [4, 9, 55, 84, 102]. ამასთან, ძლიერ დაჭუჭყიანებულ ატმოსფეროს პირობებში მეორადი აეროზოლების წარმოქმნა შესაძლოა პრევალირებდეს მსუბუქი იონების წარმოქმნაზე, რაც თბილისის პირობებში დაიკვირვება [5–7, 18].

ცხრილებში 3.9–3.10 და ნახაზებში 3.16–3.18 წარმოდგენილია მსუბუქი იონების, რადონის და სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობის და კოსმოსური სხივების და გამა-რადიაციის თბილისსა (დაკვირვების სტაციონარული პუნქტი და ქალაქის სხვადასხვა ადგილას გაზომვის 20 პუნქტი–ცხრილი 2.2, ნახ. 2.3) და საქართველოს ეკოლოგიურად სუფთა (დუშეთი, დასავლეთი საქართველო) რაიონებს შორის კავშირების ორმხრივი წრფივი კორელაციური და რეგრესიული ანალიზის შედეგები.



ნახ. 3.16 ჰაერში მსუბუქი იონების, აეროზოლების, რადონის კონცენტრაციების, კოსმოსური სხივების და გამა-რადიაციის ინტენსივობის ზოგიერთი ურთიერთკავშირი თბილისში და ეკოლოგიურად სუფთა რაიონებში

განვიხილოთ სუბმიკრონულ აეროზოლებთან და მსუბუქ იონებთან ბუნებრივი მაიონიზებული გამოსხივების ცალკეული კომპონენტების კავშირები.

რადონი. თბილისის პირობებში კორელაცია სუბმიკრონულ აეროზოლებთან პირდაპირია, მდგრადი დროში და სივრცეში (მსგავსი კავშირებია როგორც დაკვირვების სტაციონარული პუნქტისთვის, ასევე ქალაქის სხვადასხვა ადგილას განლაგებულ გაზომვის 20 პუნქტისათვის). მსუბუქ იონებთან კორელაცია შებრუნებულია, აგრეთვე მდგრადი დროში და სივრცეში (ცხრილები 3.8 და 3.9, ნახ. 3.16).

გამა-რადიაცია. ქალაქის სხვადასხვა ადგილას განლაგებულ გაზომვის 20 პუნქტის მონაცემებით სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობასთან კორელაცია პირდაპირია, მსუბუქი იონების შემცველობასთან შებრუნებულია (ცხრილი 3.9, ნახაზი 3.16). შესადარებლად ცხრილ 3.10-ში მოყვანილია მონაცემები ეკოლოგიურად სუფთა პირობებში (დასავლეთი საქართველო, გაზომვის 111 პუნქტი) გაზომილი გამა-რადიაციის კავშირებისა მსუბუქი იონების შემცველობასთან. მოცემულ შემთხვევაში, როგორც უნდა ყოფილიყო, კავშირი დადებითია კორელაციისკოეფიციენტით 0.27.

კოსმოსური სხივები. თბილისის პირობებში სუბმიკრონულ აეროზოლებთან კორელაცია პირდაპირია, ხოლო მსუბუქ იონებთან – შებრუნებულია (ცხრილი 3.8, ნახაზი 3.16). ეკოლოგიურად სუფთა პირობებში (დუშეთი) ჰაერის ელექტროგამტარებლობასთან (ატმოსფერული ელექტრობის პარამეტრი, რომელიც პროპორციულია მსუბუქი იონების შემცველობისა) კოსმოსური სხივების კავშირს აქვს კლასიკური პირდაპირი სახე კორელაციის კოეფიციენტით 0.34 (ნახ.3.16). აქვე აღვნიშნავთ, რომ კოსმოსურ სხივებს მიეყვართ ატმოსფეროს მთელი სისქის საერთო აეროზოლური დაჭუჭყიანების გაზრდისაკენ, რაზედაც მოწმობს  $q$ -ს პირდაპირი კორელაციური კავშირი ატმოსფეროს აეროზოლურ ოპტიკურ სისქესთან (ნახ. 3.17). რაც შეეხება მიწისპირა ფენას,  $q$ -ს  $N$ -თან კავშირი უკეთ აღიწერება მესამე ხარისხის პოლინომით, ვიდრე წრფივი რეგრესიით (ნახ. 3.18, ცხრილი 3.8).

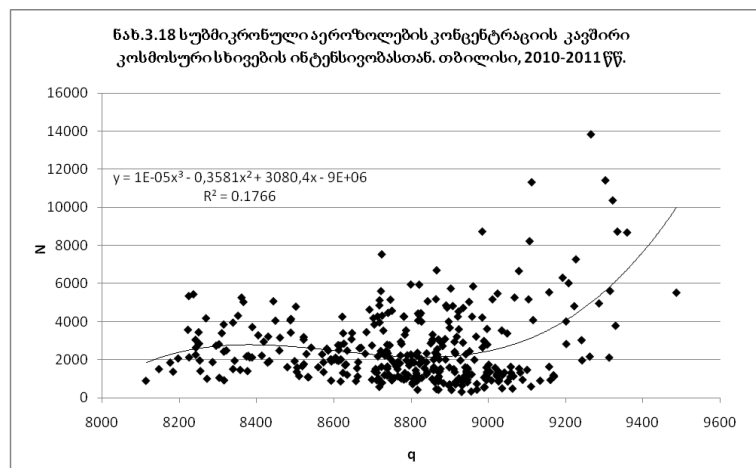
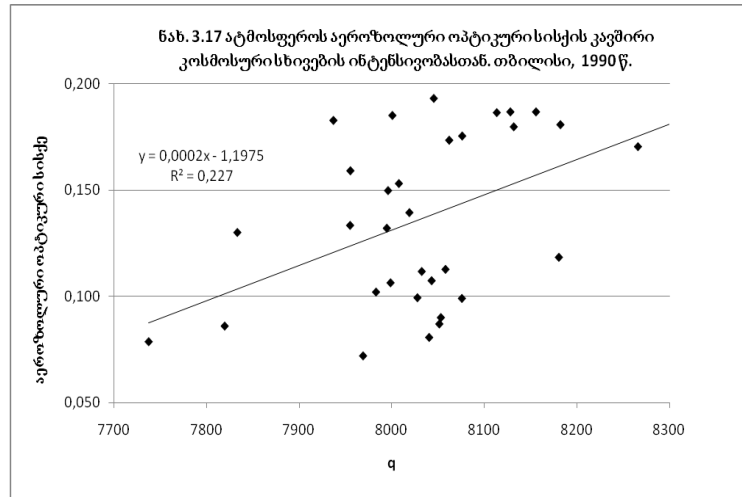
ზემოთ თქმულის გათვალისწინებით, მსუბუქი იონების  $Y$  წარმოქმნის და გაქრობის ბალანსის ცნობილი განტოლება მეორადი აეროზოლების ფორმირებაზე მაიონიზებული გამოსხივების გავლენის გათვალისწინებით იღებს ფორმას:

$$dY/dt = q_i - \alpha' Y^2 - \beta N_0 Y - \beta' N(q_i) Y$$

სადაც :  $q_i$  – იონების წარმოქმნის ინტენსივობაა,  $\alpha'$  – რეკომბინაციის კოეფიციენტი,  $N_0$  – ჩვეულებრივი აეროზოლის კონცენტრაცია,  $N(q_i)$  – მეორადი აეროზოლების კონცენტრაცია, როგორც  $q_i$ -ს ფუნქცია,  $\beta$  და  $\beta'$  – მსუბუქი იონების შესაბამისად ჩვეულებრივი და მეორადი აეროზოლებით მიტაცების კოეფიციენტი. ძლიერ გაჭუჭყიანებული ატმოსფეროს პირობებში (თბილისის მსგავსი)  $q_i$  და  $N(q_i)$ -ს შორის კავშირის ბუნებაზე დამოკიდებულების გათვალისწინებით, მათ შორის შებრუნებული კორელაცია სავსებით შესაძლებელია.

ამგვარად, თბილისის პირობებში იონიზაციით ატმოსფეროს აეროზოლური გაჭუჭყიანების ინტენსიფიკაცია იმდენად ძლიერია, რომ ამას აგრეთვე ჰაერის ხარისხის გაუარესებისკენ მიყვართ იონური შემადგენლობის ასპექტშიც. მთლიანობაში სმოგის თბილისური ტიპი ხასიათდება რადონის შემცველობის, გამა-რადიაციის და კოსმოსური გამოსხივების ბუნებრივ პირობებში შეუძლებელი, ჰაერში მსუბუქი იონების

კონცენტრაციასთან შებრუნებული კავშირით, რაც არის გამოწვეული ისეთი რაოდენობის მეორადი აეროზოლების წარმოქმნით, რომელსაც პირველად ნაწილაკებთან ერთად უნარი გააჩნია მიიერთოს მეტი იონი, ვიდრე წარმოიქმნება იონიზაციისას.



სმოგის თბილისურ ტიპს შესაძლოა ჰქონდეს ადგილი აგრეთვე სხვა ძლიერ გაჭუჭყიანებულ ქალაქებსა და მათ შემოგარენში. მომავალში სასურველია გაფართოვდეს სამუშაოები ამ მიმართულებით (გამოკვლევები ამ ტიპის სმოგის გავრცელებისა ქალაქების გარშემო, ამ ეფექტის საველე და ლაბორატორიული გამოკვლევები აეროზოლების და იონების მათი ზომების და ძვრადობის სპექტრის ფართო დიაპაზონში გასაზომად და ა.შ.)

### 3.3.3 მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის.

ქვემოთ წარმოდგენილია გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის კავშირების მრავალმხრივი წრფივი ანალიზის შედეგები.

ცხრილი 3.11

გამოსაკვლევი პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები. ოზონსა და სხვა პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული კავშირი.

| პარამეტრი                   | T                                                                                                                                                                 | U      | P     | V     | Rn     | N      | N(+/-) | Q     | q     | O <sub>3</sub> |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|----------------|
| Min                         | -4.9                                                                                                                                                              | 19.5   | 711.5 | 0     | 0.5    | 316    | 269    | 0.021 | 8114  | 0.5            |
| Max                         | 35.3                                                                                                                                                              | 90     | 737.8 | 9.7   | 15.7   | 15729  | 2516   | 0.864 | 9592  | 111.5          |
| Average                     | 15.0                                                                                                                                                              | 56.0   | 724.4 | 1.2   | 3.8    | 2631   | 993    | 0.369 | 8882  | 36.5           |
| Range                       | 40.2                                                                                                                                                              | 70.5   | 26.3  | 9.7   | 15.2   | 15413  | 2247   | 0.843 | 1478  | 111            |
| St Dev                      | 10.2                                                                                                                                                              | 15.5   | 4.5   | 1.5   | 2.6    | 1958.7 | 353.5  | 0.203 | 242.4 | 21.8           |
| შემთხვევ. რაოდენობა         | 714                                                                                                                                                               | 714    | 714   | 714   | 714    | 714    | 714    | 714   | 714   | 714            |
| განტოლება                   | $O_3 = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot Rn + f \cdot N + g \cdot N(+/-) + h \cdot Q + i \cdot q + j$ . ( $R^2 = 0.575$ , $\alpha = 0.01$ ) |        |       |       |        |        |        |       |       |                |
| კოეფიციენტი                 | a                                                                                                                                                                 | b      | c     | d     | e      | f      | g      | h     | i     | j              |
|                             | 0.102                                                                                                                                                             | -0.393 | 0.534 | 0.720 | -1.114 | 0.001  | 0.010  | 28.7  | -0.02 | -191           |
| წილი Range –ს ფარგლებში. %  | 11.2                                                                                                                                                              | 75.9   | 38.5  | 19.2  | 46.4   | 23.4   | 59.8   | 66.3  | 71.7  |                |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში. % | 5.7                                                                                                                                                               | 33.3   | 13.1  | 6.1   | 15.9   | 6.0    | 18.8   | 31.9  | 23.5  |                |

ცხრილი 3.11-ში წარმოდგენილია მონაცემები გამოსაკვლევი პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლების, აგრეთვე ოზონსა და სხვა პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული კავშირის განტოლების კოეფიციენტების შესახებ. როგორც ცხრილი 3.11-დან ჩანს მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ვარიაციები ყველაზე მეტად დაკავშირებულია Q-ს, q -ს, U-ს და N(+/-) -ს ვარიაციებთან (წილი **Range** – ს ფარგლებში 50 %-ზე მეტია), და ყველაზე ნაკლებად - V-ს და T –ს ვარიაციებთან (წილი **Range** – ს ფარგლებში 20 %-ზე ნაკლებია).

ცხრილი 3.12

აეროზოლებსა და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული კავშირი

| პარამეტრი                   | T                                                                                                                                                               | U     | P   | V    | O <sub>3</sub> | Rn    | N(+/-) | Q     | q     |       |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|------|----------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| განტოლება                   | $N = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot O_3 + f \cdot Rn + g \cdot N(+/-) + h \cdot Q + i \cdot q + j$ ( $R^2 = 0.325$ , $\alpha = 0.01$ ) |       |     |      |                |       |        |       |       |       |
| კოეფიციენტი                 | a                                                                                                                                                               | b     | c   | d    | e              | f     | g      | h     | i     | j     |
|                             | 69.5                                                                                                                                                            | -42.2 | 9.5 | 75.0 | 7.11           | 335.0 | -1.28  | -3760 | -0.02 | -1765 |
| წილი Range –ს ფარგლებში. %  | 106.1                                                                                                                                                           | 113.1 | 9.5 | 27.6 | 30.0           | 193.5 | 109.0  | 120.5 | 1.1   |       |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში. % | 54.0                                                                                                                                                            | 49.6  | 3.3 | 8.8  | 11.8           | 66.2  | 34.3   | 58.1  | 0.4   |       |

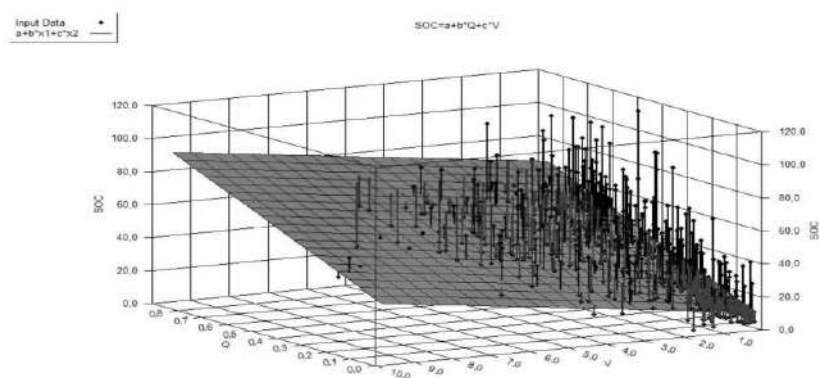
ცხრილი 3.12-ში წარმოდგენილია მონაცემები აეროზოლებსა და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული კავშირის განტოლების კოეფიციენტების შესახებ. როგორც ცხრილი 3.12-დან ჩანს, აეროზოლების კონცენტრაციის ვარიაციები ყველაზე მეტად დაკავშირებულია T –ს, U-ს, Rn -ს, N(+/-) -ს და Q-ს

ვარიაციებთან (წილი **Range** – ს ფარგლებში 50 %-ზე მეტია), და ყველაზე ნაკლებად - **P**-ს და **V**-ს, **O<sub>3</sub>**-ს და **q** -ს ვარიაციებთან (წილი **Range** – ს ფარგლებში 20 %-ზე ნაკლებია).

ცხრილი 3.13

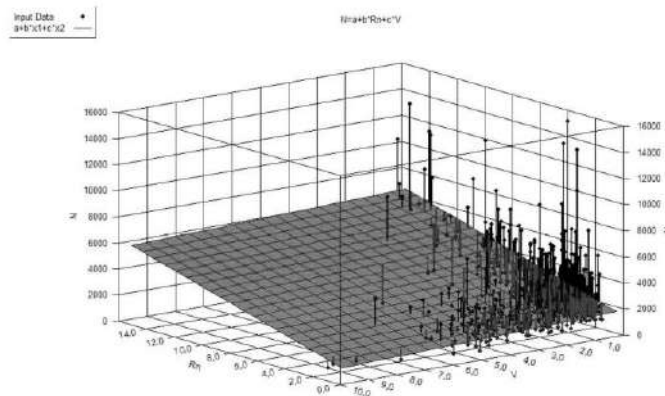
ოზონისა, აეროზოლებისა და სხვა გამოსაჰვლევ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული კავშირი. **a** – არაუმეტეს 0.01

| პარამეტრი/<br>განტოლება                | $O_3 = a + b \cdot T + c \cdot V$ | $O_3 = a + b \cdot U + c \cdot V$ | $O_3 = a + b \cdot Q + c \cdot V$ | $O_3 = a + b \cdot Q + c \cdot Rn$ | $O_3 = a + b \cdot Q + c \cdot N$ | $N = a + b \cdot Rn + c \cdot V$ |
|----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>a</b>                               | 14.91                             | 79.88                             | 8.50                              | 21.82                              | 11.79                             | 1509.6                           |
| <b>b</b>                               | 1.085                             | -0.83                             | 66.51                             | 60.15                              | 70.40                             | 313.5                            |
| <b>c</b>                               | 4.25                              | 2.42                              | 2.73                              | -1.97                              | -0.0005                           | -66.6                            |
| <b>R<sup>2</sup></b>                   | 0.360                             | 0.426                             | 0.471                             | 0.481                              | 0.437                             | 0.194                            |
| <b>b- ს წილი Range – ს ფარგლებში.</b>  | 119.7                             | 160.3                             | 153.7                             | 139.0                              | 162.7                             | 181.1                            |
| <b>c-ს წილი Range – ს ფარგლებში.</b>   | 113.1                             | 64.3                              | 72.5                              | 82.2                               | 21.4                              | 24.6                             |
| <b>b-ს წილი St Dev –ს ფარგლებში. %</b> | 60.9                              | 70.3                              | 74.1                              | 67.0                               | 78.4                              | 61.9                             |
| <b>c-წილი St Dev – ს ფარგლებში. %</b>  | 35.9                              | 20.5                              | 23.0                              | 28.1                               | 5.4                               | 7.8                              |



ნახ. 3.19 რეგრესია **O<sub>3</sub>**-ის და **Q**-ს და **V**-ს შორის





ნახ. 3.20 რეგრესია **N**-ის და **Rn**-ს და **V**-ს შორის

ცხრილი 3.13-ში წარმოდგენილია მონაცემები ოზონსა, აეროზოლებსა და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული კავშირების განტოლებების კოეფიციენტების შესახებ.

თვალსაჩინოებისთვის **O<sub>3</sub>**-ის **Q**-თან და **V**-თან, და აგრეთვე **N**-ის **Rn**-თან და **V**-თან ორგანოზომილებიანი წრფივი კავშირების მაგალითები წარმოდგენილია ნახ. 3-19 – 3.20.

თავი 4 ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნის ძირითადი პირობების განსაზღვრა ქ. თბილისში. ოზონის, აეროზოლების, მსუბუქი იონების, რადონის, ნიადაგის გამაგამოსხივების სივრცული განაწილება. მიწისპირა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის პროგნოზირება.

#### 4.1 ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის წარმოშობის პროცესების სხვადასხვა ატმოსფერულ პარამეტრებთან კავშირების ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელი

ქვემოთ წარმოდგენილია ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის წარმოშობის პროცესების მზის რადიაციასთან, მეტეოროლოგიურ პარამეტრებთან, ატმოსფეროში მაიონიზებელ გამოსხივებასთან (ბუნებრივი რადიოაქტიურობა, კოსმოსური სხივები), ჰაერის აეროზოლურ დაბინძურებასთან და სხვა კავშირების ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელი. აგრეთვე განსაზღვრულია ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნის ძირითადი პირობები ქ. თბილისში.

მოდელი ითვალისწინებს უქარო ამინდის პირობებში ( $V \leq 1$  თერმობაროკამერის კოშკის სიმაღლეზე) ოზონის და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის წრფივი ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კანონზომიერების დადგენას მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის სხვადასხვა დიაპაზონში ზრდის მიხედვით. გამოყენებულია გამოსაკვლევ პარამეტრების საშუალო დღიური მნიშვნელობები (9-დან 18 საათამდე).

ცხრილი 4.1-ში წარმოდგენილია მონაცემები ოზონის და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლების შესახებ ოზონის კონცენტრაციის სხვადასხვა დიაპაზონში ზრდის მიხედვით (0.1-10, 10.1-20 ... 80.1-103.7) და აგრეთვე ამ პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობებს შორის წრფივი კორელაციური კოეფიციენტების სიდიდე. კერძოდ, როგორც ჩანს ცხრილი 1-დან ოზონს და სხვა პარამეტრებს შორის (აეროზოლების გარდა) დაიკვირვება მჭიდრო კორელაციური კავშირი. მთლიანობაში ცხრილი 4.1-ის განზოგადოებული კორელაციური ანალიზი ეთანხმება ცხრილი 3.8-ის გამოსაკვლევ პარამეტრების ცალკეული რიგების საშუალოდღიური მნიშვნელობების მონაცემებს. საინტერესოა აღვნიშნოთ, რომ  $N(+/-)$  და  $q$ -ს შორის კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (ცხრილი 4.1, შებრუნებული კორელაცია  $R = -0.47$ ) უფრო მაღალია, ვიდრე  $N$  და  $q$ -ს შორის კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (ცხრილი 4.1, პირდაპირი კორელაცია,  $R = 20$ ). ეს შეიძლება იყოს გამოწვეული ერთი მხრივ  $N$  და  $q$ -ს შორის, მეორეს მხრივ – კოსმოსური სხივების მიერ 0.1 მკმ-ზე ნაკლები ზომის აეროზოლების მეტი გენერაციით. მაგრამ ყველაფერი ეს, ისევე, როგორც ზოგიერთი კორელაციური კავშირები ( $Rn-q$ ,  $C-q$  და სხვა) საჭიროებენ შემდგომ ანალიზს და ახალ ექსპერიმენტულ მონაცემებს.

ცხრილი 4.2-ში წარმოდგენილია ოზონსა და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი კავშირის ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელის მახასიათებლები. მაგალითად, როგორც ცხრილი 4.2-დან ჩანს მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის

ვარიაციები ზოგადად ყველაზე მეტად დაკავშირებულია **T** -ს, **U**-ს, **Q**-ს, **C**-ს და **Rn** -ის ვარიაციებთან (წილი **Range**-ს ფარგლებში 50 %-ზე მეტია), და ყველაზე ნაკლებად - **N**-ის და **q**-ს ვარიაციებთან (წილი **Range** -ს ფარგლებში 35 %-ზე ნაკლებია).

#### ცხრილი 4.1

ოზონის და სხვა გამოსაკვლევი პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები  
ოზონის კონცენტრაციის სხვადასხვა დიაპაზონში ზრდის მიხედვით. პარამეტრების  
საშუალო მნიშვნელობებს შორის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტები  
(**Rmin** = 0.40,  $\alpha$  = 0.25).

| SOC(14-16)-ის დიაპაზ. | პარამეტრი | T     | U     | P     | Q     | C     | Rn    | N     | N(+/-) | q     | SOC(14-16) |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------------|
| 0.1-10                | Mean      | 7.0   | 65.9  | 726   | 0.110 | 8.1   | 6.2   | 2613  | 658    | 9058  | 5.4        |
|                       | 95%(+/-)  | 1.1   | 2.9   | 1.0   | 0.016 | 0.5   | 0.6   | 435.6 | 57.8   | 32    | 0.6        |
| 10.1-20               | Mean      | 6.4   | 58.8  | 727   | 0.179 | 6.7   | 6.3   | 2599  | 661    | 8995  | 15.1       |
|                       | 95%(+/-)  | 1.4   | 2.6   | 1     | 0.021 | 0.8   | 0.6   | 459   | 47     | 29    | 0.8        |
| 20.1-30               | Mean      | 11.6  | 52.5  | 726   | 0.262 | 6.1   | 4.9   | 2382  | 809    | 9065  | 25.4       |
|                       | 95%(+/-)  | 1.8   | 3.1   | 1     | 0.032 | 0.9   | 0.6   | 434   | 61     | 41    | 0.8        |
| 30.1-40               | Mean      | 15.7  | 44.5  | 725   | 0.398 | 5.3   | 4.1   | 1881  | 818    | 9040  | 35.5       |
|                       | 95%(+/-)  | 2.5   | 2.8   | 1     | 0.047 | 0.8   | 0.4   | 397   | 42     | 28    | 0.6        |
| 40.1-50               | Mean      | 17.5  | 41.7  | 725   | 0.417 | 4.3   | 4.2   | 2568  | 904    | 9059  | 45.2       |
|                       | 95%(+/-)  | 1.9   | 2.2   | 1     | 0.032 | 0.7   | 0.4   | 411   | 48     | 36    | 0.7        |
| 50.1-60               | Mean      | 22.1  | 37.0  | 723   | 0.519 | 4.3   | 3.3   | 2179  | 922    | 8939  | 54.5       |
|                       | 95%(+/-)  | 2.8   | 3.8   | 1     | 0.049 | 1.1   | 0.4   | 498   | 70     | 41    | 0.9        |
| 60.1-70               | Mean      | 23.7  | 31.8  | 723   | 0.564 | 3.5   | 3.1   | 2108  | 887    | 8923  | 65.4       |
|                       | 95%(+/-)  | 3.9   | 4.1   | 2     | 0.053 | 1.2   | 0.3   | 512   | 82     | 51    | 1.2        |
| 70.1-80               | Mean      | 25.2  | 30.8  | 722   | 0.637 | 3.0   | 3.0   | 1665  | 841    | 8958  | 74.4       |
|                       | 95%(+/-)  | 3.0   | 3.3   | 1     | 0.038 | 1.2   | 0.3   | 360   | 88     | 54    | 1.2        |
| 80.1-103.7            | Mean      | 29.6  | 28.5  | 723   | 0.670 | 1.7   | 3.1   | 2714  | 904    | 8920  | 89.8       |
|                       | 95%(+/-)  | 4.1   | 6.4   | 1     | 0.045 | 1.8   | 0.4   | 660   | 134    | 27    | 4.6        |
| კორელაციური მატრიცა   |           |       |       |       |       |       |       |       |        |       |            |
| T                     |           | 1     | -0.98 | -0.94 | 0.99  | -0.97 | -0.96 | -0.33 | 0.85   | -0.76 | 0.99       |
| U                     |           | -0.98 | 1     | 0.91  | -0.99 | 0.98  | 0.97  | 0.42  | -0.88  | 0.74  | -0.97      |
| P                     |           | -0.94 | 0.91  | 1     | -0.93 | 0.85  | 0.93  | 0.53  | -0.75  | 0.76  | -0.90      |
| Q                     |           | 0.99  | -0.99 | -0.93 | 1     | -0.98 | -0.97 | -0.42 | 0.84   | -0.76 | 0.99       |
| C                     |           | -0.97 | 0.98  | 0.85  | -0.98 | 1     | 0.92  | 0.26  | -0.83  | 0.73  | -0.99      |
| Rn                    |           | -0.96 | 0.97  | 0.93  | -0.97 | 0.92  | 1     | 0.52  | -0.91  | 0.67  | -0.92      |
| N                     |           | -0.33 | 0.42  | 0.53  | -0.42 | 0.26  | 0.52  | 1     | -0.27  | 0.20  | -0.29      |
| N(+/-)                |           | 0.85  | -0.88 | -0.75 | 0.84  | -0.83 | -0.91 | -0.27 | 1      | -0.47 | 0.80       |
| q                     |           | -0.76 | 0.74  | 0.76  | -0.76 | 0.73  | 0.67  | 0.20  | -0.47  | 1     | -0.78      |
| SOC(14-16)            |           | 0.99  | -0.97 | -0.90 | 0.99  | -0.99 | -0.92 | -0.29 | 0.80   | -0.78 | 1          |

ცხრილი 4.3-ში წარმოდგენილია აეროზოლებსა და სხვა გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი კავშირის ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელის მახასიათებლები.

როგორც ცხრილი 4.3-დან ჩანს, აეროზოლების კონცენტრაციის ვარიაციები ყველაზე მეტად დაკავშირებულია **T**-ს, **U**-ს, **Q**-ს, **C**-ს, **SOC(14-16)**-ს და **Rn**-ის ვარიაციებთან (წილი **Range**– ს ფარგლებში 50 %-ზე მეტია), და ყველაზე ნაკლებად - **q**-ს ვარიაციებთან (წილი **Range**– ს ფარგლებში 10 %-ზე ნაკლებია).

დაბოლოს, წარმოდგენილი ბლოკ-სქემებიდან ჩანს, თუ რა პირობებში წარმოიქმნება ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის დროს მიწისპირა ოზონის მაღალი კონცენტრაციები (ნახ. 4.1-4.3).

ცხრილი 4.2

ოზონსა და სხვა გამოსაჰყვებ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი კავშირის მოდელი

| პარამეტრი                   | T                                                                                                                                       | U      | Q      | C     | Rn    | N      | q       |     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|-----|
| განტოლება                   | $SOC(14-16) = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot Q + d \cdot C + e \cdot Rn + f \cdot N + g \cdot q + h$ ( $R^2 = 0.999, \alpha = 0.001$ ) |        |        |       |       |        |         |     |
| კოეფიციენტი                 | a                                                                                                                                       | b      | c      | d     | e     | f      | g       | h   |
|                             | 4.474                                                                                                                                   | -0.646 | -131.7 | -10.2 | 10.93 | -0.015 | -0.0214 | 280 |
| წილი Range – ს ფარგლებში, % | 227                                                                                                                                     | 54     | 162    | 143   | 79    | 35     | 7       |     |
| წილი St Dev –s ფარგლებში, % | 161                                                                                                                                     | 37     | 115    | 89    | 62    | 24     | 6       |     |

ცხრილი 4.3

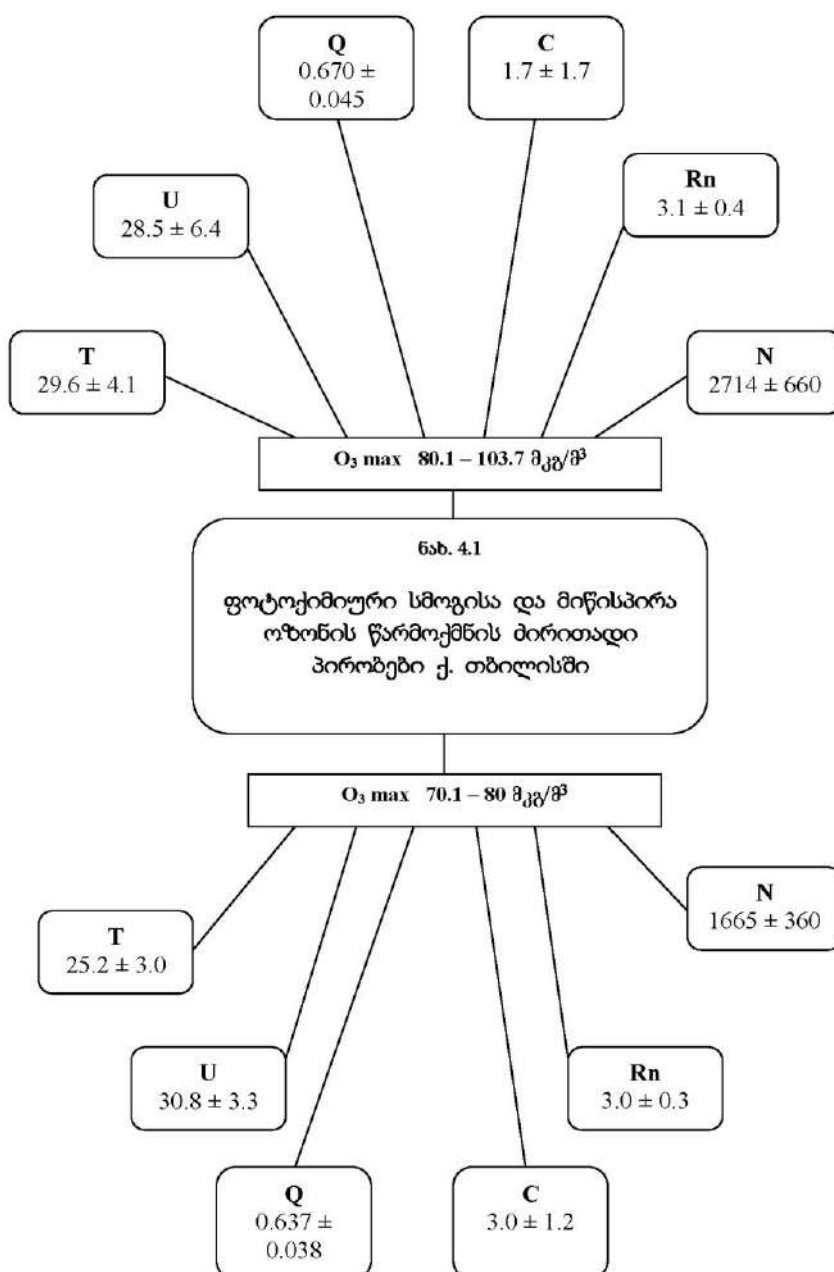
აეროზოლებსა და სხვა გამოსაჰყვებ პარამეტრებს შორის მრავალმხრივი წრფივი კავშირის მოდელი

| პარამეტრი                   | T                                                                                                                                | U     | Q     | C      | Rn    | SOC(14-16) | q      |       |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|------------|--------|-------|
| განტოლება                   | $N = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot Q + d \cdot C + e \cdot Rn + f \cdot O_3 + g \cdot q + h$ ( $R^2 = 0.986, \alpha = 0.001$ ) |       |       |        |       |            |        |       |
| კოეფიციენტი                 | a                                                                                                                                | b     | c     | d      | e     | f          | g      | h     |
|                             | 261                                                                                                                              | -34.8 | -9602 | -637.4 | 569.4 | -50.15     | -1.425 | 18955 |
| წილი Range – ს ფარგლებში, % | 263                                                                                                                              | 57    | 234   | 177    | 82    | 184        | 9      |       |
| წილი St Dev –s ფარგლებში, % | 186                                                                                                                              | 40    | 167   | 110    | 64    | 122        | 8      |       |

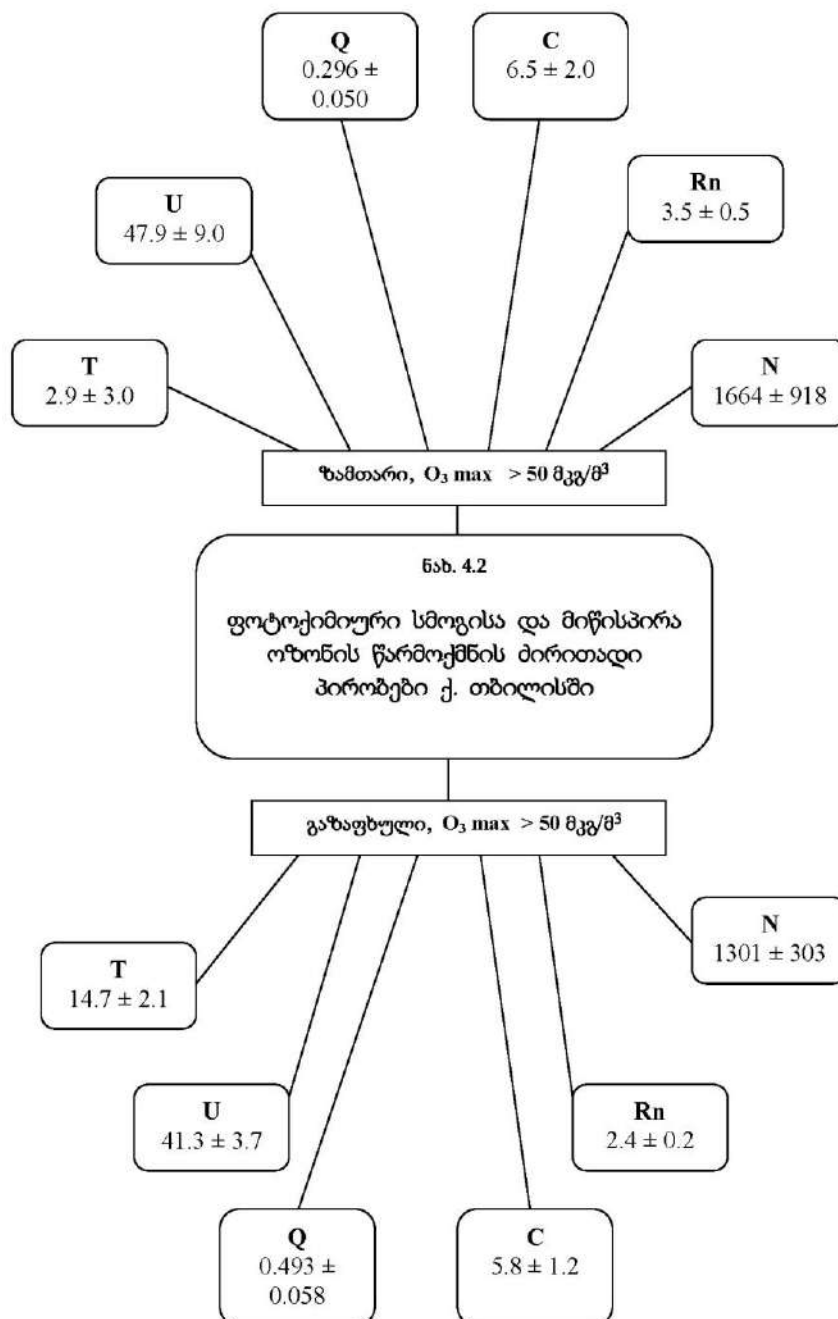
ასე მაგალითად, ზოგადად 14–16 საათზე 80–ზე მეტი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია უქარო ამინდის პირობებში დაიკვირვება შემდეგ საშუალოდღიურ მნიშვნელობებისას: ჰაერის ტემპერატურა –  $28.5 \pm 6.4$ , ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა –  $28.5 \pm 6.4$ , მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა –  $0.670 \pm 0.045$ , საერთო ღრუბლიანობა –  $1.7 \pm 1.7$ , რადონის შემცველობა –  $3.1 \pm 0.4$ , სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია –  $2714 \pm 660$ . 70–ზე მეტი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია დაიკვირვება მაშინ, როდესაც: **T**=  $25.2 \pm 3.0$ , **U**=  $30.8 \pm 3.3$ , **Q**=  $0.6637 \pm 0.038$ , **C**=  $3.0 \pm 1.2$ , **Rn**=  $3.0 \pm 0.3$ , **N**=  $1665 \pm 360$  (ნახ 4.1).

ზამთარში 14–16 საათზე 50–ზე მეტი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია დაიკვირვება შემდეგ საშუალოდღიურ მნიშვნელობებისას: ჰაერის ტემპერატურა –  $2.9 \pm 3.0$ ,

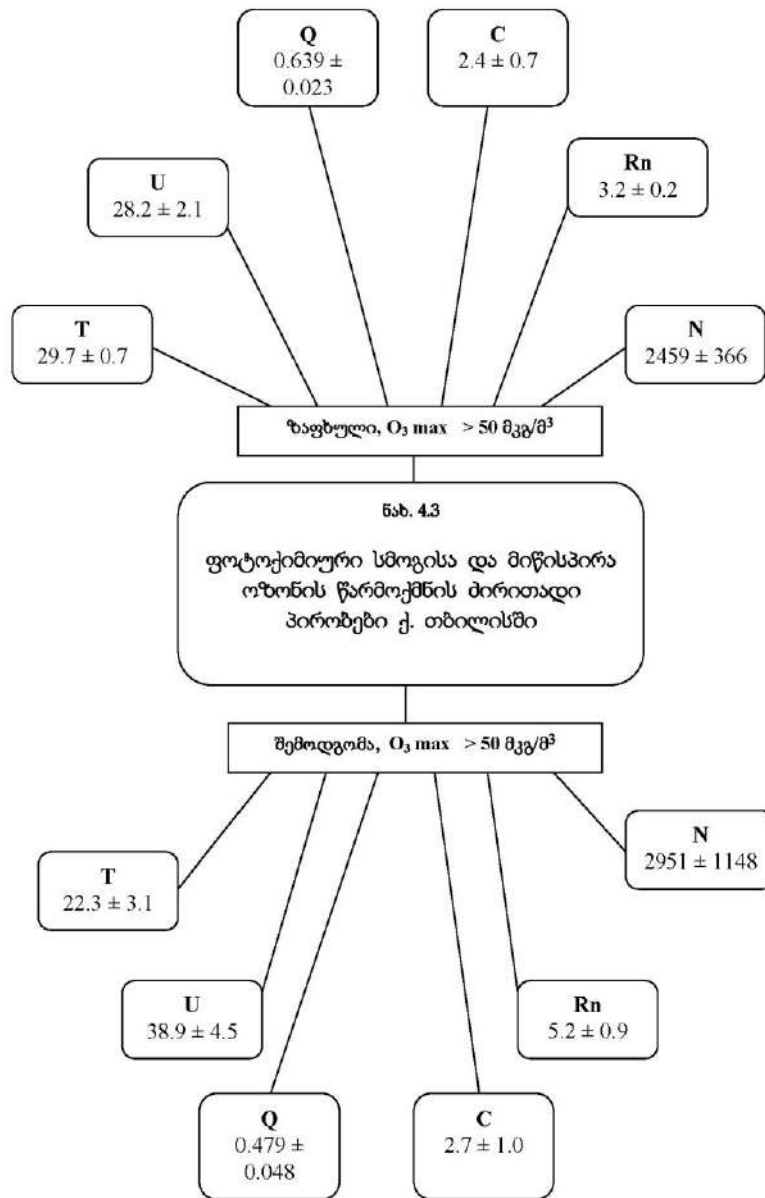
ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა  $-47.9 \pm 9.0$ , მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა  $-0.296 \pm 0.050$ , საერთო ღრუბლიანობა  $-6.5 \pm 2.0$ , რადონის შემცველობა  $-3.5 \pm 0.5$ , სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია  $-1664 \pm 918$  (ნახ. 4.2). გაზაფხულზე 14-16 საათზე 50-ზე მეტი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია დაიკვირვება შემდეგი საშუალოდღიური მნიშვნელობებისას:  $T=14.7 \pm 2.1$ ,  $U=41.3 \pm 3.7$ ,  $Q=0.493 \pm 0.058$ ,  $C=5.8 \pm 1.2$ ,  $Rn=2.4 \pm 0.2$ ,  $N=1301 \pm 303$  (ნახ. 4.2).



ზაფხულში 14–16 საათზე 50–ზე მეტი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია დაიკვირვება შემდეგი საშუალოდღიური მნიშვნელობებისას: ჰაერის ტემპერატურა –  $29.7 \pm 0.7$ , ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა  $-2.2 \pm 2.1$ , მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა –  $0.639 \pm 0.023$ , საერთო ღრუბლიანობა –  $2.4 \pm 0.7$ , რადონის შემცველობა –  $3.2 \pm 0.2$ , სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია  $-2459 \pm 366$  (ნახ. 4.3).



შემოდგომაზე 14-16 საათზე 50-ზე მეტი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია დაიკვირვება შემდეგი საშუალოდღიური მნიშვნელობებისას:  $T = 22.3 \pm 3.1$ ,  $U = 38.9 \pm 4.5$ ,  $Q = 0.479 \pm 0.048$ ,  $C = 2.7 \pm 1.0$ ,  $Rn = 5.2 \pm 0.9$ ,  $N = 2951 \pm 1148$  (ნახ 4.3).



აღვნიშნოთ, რომ მომავალში, თბილისში ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების დონის ცვლილების შედეგად ბლოკ-სექემებში (ნახ 4.1 -4.3) მითითებული მიწისპირა ოზონის მაღალი კონცენტრაციების პირობები შესაძლოა შეიცვალოს.

## 4.2 ოზონის, აეროზოლების, მსუბუქი იონების, რადონის, ნიადაგის გამა-გამოსხივების სივრცული განაწილება.

ქვემოთ წარმოდგენილია ქალაქ თბილისის სხვადასხვა ადგილას განლაგებული 20 პუნქტისთვის გაზომვის სტაციონარული პუნქტის მონაცემების რეპრეზენტატულობის კვლევის შედეგები. სხვა სიტყვებით, რამდენად შესაძლებელია საბაზო პუნქტის მონაცემების საფუძველზე ვიმსჯელოდ ჰაერის გაჭუჭყიანების დონის შესახებ მთლიანად ქალაქის ტერიტორიისთვის ან მისი ცალკეული რაიონებისთვის

წარმოდგენილია აგრეთვე თბილისის ტერიტორიის კარტირების შედეგები ჰაერში ოზონის, აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების შემცველობის და აგრეთვე გამა-რადიაციის ინტენსივობის მიხედვით. ცხრილ 4.4-ში წარმოდგენილია მონაცემები დაკვირვების ერთი და იგივე დროს საბაზო პუნქტის ტერიტორიასა და თბილისის 20 სხვადასხვა დაკვირვების პუნქტში (თითო პუნქტში არანაკლებ 20 დაკვირვებისა) **SOC**, **N**, **Rn** და **N(+/-)** სიდიდეებს შორის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობების შესახებ. აქვე მოყვანილია ხსენებულ პარამეტრებს შორის წრფივი რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების შესაბამისად საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები.

ცხრილი 4.4

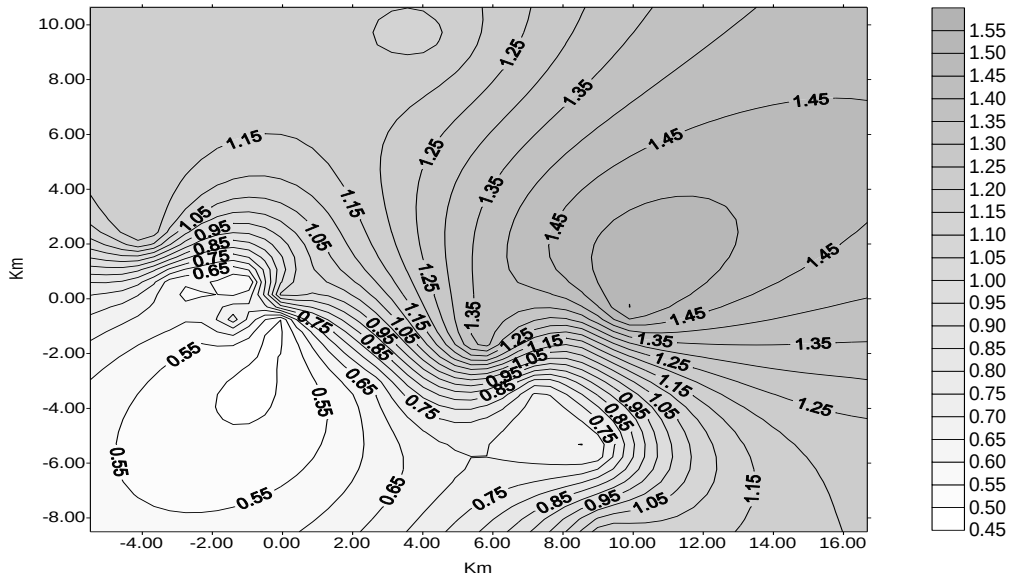
საბაზო პუნქტის ტერიტორიასა და თბილისის 20 სხვადასხვა დაკვირვების პუნქტში ჰაერში ოზონის, აეროზოლების, რადონის და მსუბუქი იონების კონცენტრაციებს შორის წრფივი კორელაციური კავშირი.

| პარამეტრი | ოზონი      |      |       | აეროზოლი   |      |        | რადონი      |      |       | იონების ჯამი   |      |        |
|-----------|------------|------|-------|------------|------|--------|-------------|------|-------|----------------|------|--------|
|           | R          | a    | b     | R          | a    | b      | R           | a    | b     | R              | a    | b      |
| Average   | 0.87       | 0.74 | 6.67  | 0.81       | 1.15 | -31.15 | 0.94        | 1.16 | 0.01  | 0.85           | 0.64 | 164.23 |
| Min       | 0.78       | 0.43 | -1.26 | 0.72       | 0.68 | -375   | 0.91        | 0.98 | -0.11 | 0.79           | 0.43 | 66     |
| პუნქტი    | თბილ. ზღვა |      |       | ვაკე 2     |      |        | მ. ავლაზარი |      |       | ჭიჭინაძის ქუჩა |      |        |
| Max       | 0.93       | 1.17 | 17.7  | 0.91       | 1.38 | 1497   | 0.97        | 1.41 | 0.23  | 0.91           | 1.00 | 306    |
| პუნქტი    | პეკინის ქ. |      |       | ვაზისუბანი |      |        | ზ. ფონიჭალა |      |       | საბურთალო      |      |        |

როგორც გამომდინარეობს ცხრილ 4.4-დან, მითითებულ გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის საკმაოდ მაღალი კორელაციური კავშირებია (R არანაკლები 0.72-სა, ამასთან  $\alpha$  არ არის 0.001-ზე ნაკლები). ამგვარად, უქარო ამინდში, შესაბამისი სმოგური პირობების არსებობისას (ნახ. 4.4-4.3), გაზომვების სტაციონარულ პუნქტზე ჰაერში ოზონის, სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის და მსუბუქი იონების მონაცემების საფუძველზე შესაძლოა ვივარაუდოთ ჰაერის გაჭუჭყიანების დონეზე როგორც მთლიანად ქალაქ თბილისში, ასევე მის ცალკეულ რაიონებში (უბნებში). ამან აგრეთვე მოგვცა საშუალება აგვეგო ქალაქის ტერიტორიისთვის ჰაერის სისუფთავის მითითებული პარამეტრების განაწილების რუკები (ნახ 4.4 - 4.7, მონაცემები ნორმირებულია დიდი



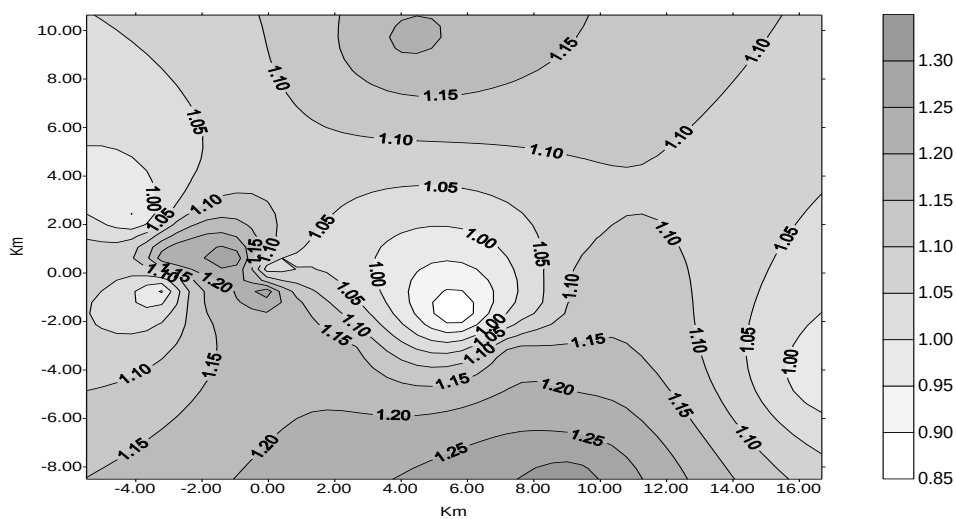
საღრუბლო კამერის შენობის მიმდებარე ტერიტორიის მონაცემებთან, კოორდინატები:  $X = 0, Y = 0$ ).



ნახ. 4.4

ქ. თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის განაწილების რუკა.

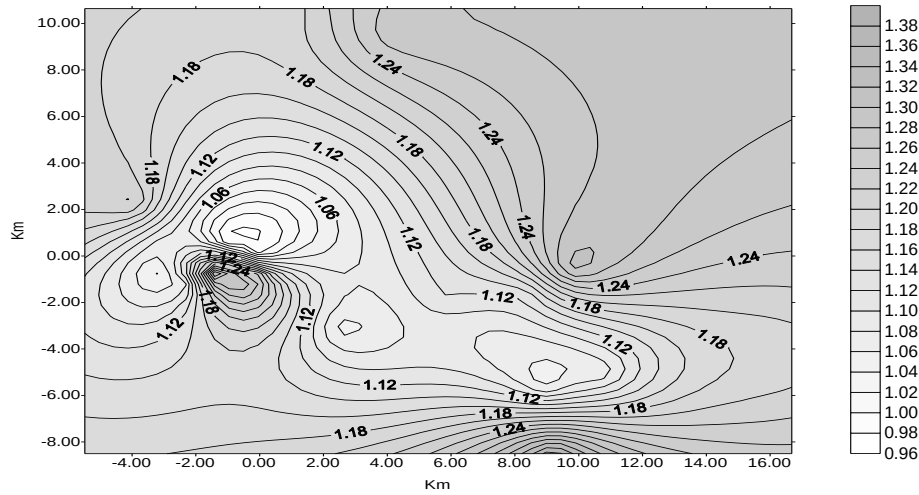
როგორც გამომდინარეობს ნახ. 4.4-დან, ქ. თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია იცვლება 0.48-დან (პუნქტი: გმირთა მოედ., კოორდინატები:  $X = -0.12$  კმ,  $Y = -0.71$  კმ) 1.55 -მდე (პუნქტი: თბილ. ზღვა, კოორდინატები:  $X=9.81$  კმ,  $Y = -0.54$  კმ), საშუალო მნიშვნელობით – 0.89.



ნახ. 4.5

ქ. თბილისში სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაციის განაწილების რუკა.

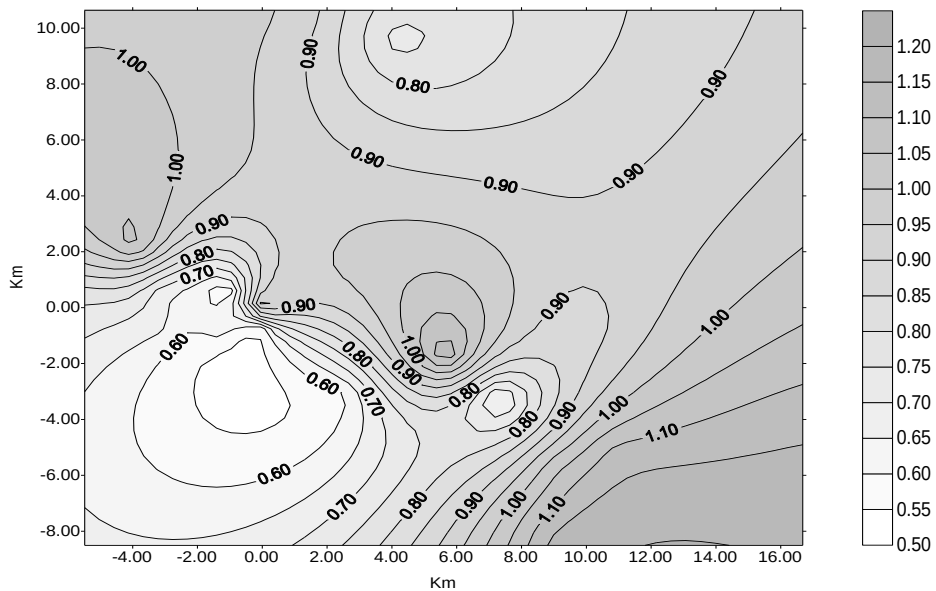
ქ. თბილისში სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია იცვლება 0.84-დან (პუნქტი: ვაზისუბანი, კოორდინატები: X = 5.67 კმ, Y = -1.74 კმ) 1.33-მდე (პუნქტი: ზ. ფონიჭალა, კოორდინატები: X= 9.16 კმ, Y = -8.51 კმ ), საშუალო მნიშვნელობით – 1.14, (ნახ. 4.5).



ნახ. 4.6

ქ. თბილისში რადონის კონცენტრაციის განაწილების რუკა.

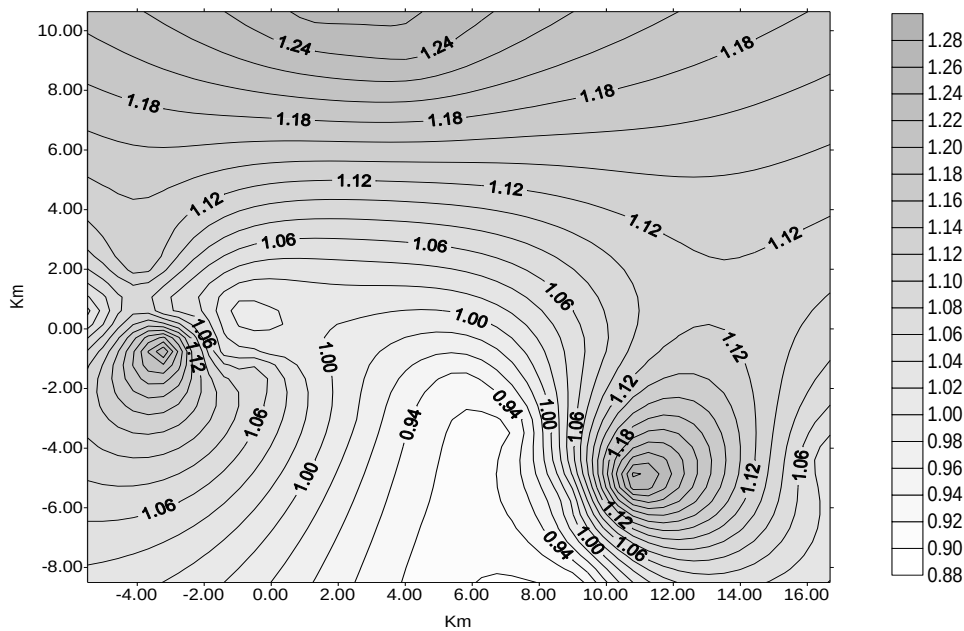
რადონის კონცენტრაცია ქ. თბილისში იცვლება 0.98-დან (პუნქტი: პეკინის ქ., კოორდინატები: X= -1.05 კმ, Y = 0.60 კმ) 1.40 -მდე (პუნქტი: ზ. ფონიჭალა, კოორდინატები: X= 9.16 კმ, Y = -8.51 კმ ), საშუალო მნიშვნელობით – 1.16, (ნახ. 4.6).



ნახ. 4.7

ქ. თბილისში მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაციის განაწილების რუკა.

ქ. თბილისში მსუბუქი იონების ჯამური კონცენტრაცია იცვლება 0.53-დან (პუნქტი: ვაკე 3., კოორდინატები:  $X = -0.34$  კმ,  $Y = -1.33$  კმ) 1.18 -მდე (პუნქტი: ზ. ფონიჭალა, კოორდინატები:  $X = 9.16$  კმ,  $Y = -8.51$  კმ), საშუალო მნიშვნელობით – 0.81, (ნახ. 4.7).



ნახ. 4. 8

ქ. თბილისში ნიადაგის გამა გამოსხივების ინტენსივობის განაწილების რუკა.

დაბოლოს, ნახ. 4.8-ზე წარმოდგენილია ქ. თბილისში ნიადაგის გამა გამოსხივების ინტენსივობის განაწილების რუკა. მთლიანობაში, როგორც დაკვირვების საბაზო პუნქტისათვის, ასევე გაზომვის ყოველი 20 პუნქტისათვის  $G$ -ს მნიშვნელობების ვარიაციები უმნიშვნელოა. მიუხედავად ამისა, მათ სიდიდეებს შორის სხვაობა არსებობს. ასე მაგალითად, ნიადაგის გამა გამოსხივების ინტენსივობა ქ. თბილისში იცვლება 0.91-დან (პუნქტი: ზ. ფონიჭალა, კოორდინატები:  $X = 9.16$  კმ,  $Y = -8.51$  კმ) 1.30 -მდე (პუნქტი: ჭიჭინაძის ქუჩა, კოორდინატები:  $X = 10.83$  კმ,  $Y = -5.07$  კმ), საშუალო მნიშვნელობით – 1.07, (ნახ. 4.8).

ამგვარად, თუმცა გაზომვის საბაზო პუნქტი განლაგებულია ქალაქის ერთერთ ცენტრალურ ნაწილში (მტკვრის სანაპიროს თავზე, სპორტის სასახლის უკან), ჰაერი აქ, მთლიანად ქალაქის ჰაერის გაქუჩყიანების დონესთან შედარებით მცირედაა გაქუჩყიანებული (ნახ. 4.4, 4.5, 4.7). საბაზო პუნქტთან შედარებით, ჰაერში სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობა უდიდესია ზემო ფონიჭალაში (შეფარდება – 1.33), გმირთა მოედანზე და პეკინის ქუჩაზე (შეფარდება – 1.30), მეტრო დელისთან (შეფარდება – 1.26), გლდანში (შეფარდება – 1.22), მოსკოვის გამზირზე (შეფარდება – 1.21), ვაკე (შეფარდება – 1.20), უმცირესი – ვაზისუბანში (შეფარდება – 0.84).

საბაზო პუნქტთან შედარებით, ჰაერში ოზონის შემცველობა უდიდესია თბილისის ზღვაზე (შეფარდება – 1.55), ვაზისუბანში (შეფარდება – 1.39), ლილოს დასახლებაში (შეფარდება – 1.25), ლისის ტბაზე (შეფარდება – 1.20), უმცირესი – ვაკე 3-ში და გმირთა მოედანზე (შეფარდება – 0.48), პეკინის ქუჩაზე (შეფარდება – 0.51), ვაკე 2-ში (შეფარდება – 0.56), მეტრო დელისთან (შეფარდება – 0.59).

საბაზო პუნქტთან შედარებით, ჰაერში მსუბუქი იონების შემცველობა უდიდესია ზემო ფონიჭალაში (შეფარდება – 1.18), ვაზისუბანში (შეფარდება – 1.15), ლილოს დასახლებაში (შეფარდება – 1.15), უმცირესი – ვაკე3-ში (შეფარდება – 0.53), პეკინის ქუჩაზე და გმირთა მოედანზე (შეფარდება – 0.55), ვაკე 2-ში (შეფარდება – 0.57), მეტრო ავლაბართან (შეფარდება – 0.59).

საშუალოდ გაჭუჭყიანებულ ადგილებში განლაგებულ გაზომვის პუნქტებში (საბურთალო, მ. დელისი, პეკინის ქ., გმირთა მოედანი, ვაკე 2, ვაკე 3, ვარკეთილი 2, მ. ავლაბარი - ცხრილი 2.2) აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების და ოზონის ხვედრითი კონცენტრაციები შესაბამისად შეადგენენ:  $1.21 \pm 0.07$ ;  $1.12 \pm 0.1$ ;  $0.61 \pm 0.08$  და  $0.59 \pm 0.11$ ; გაზომვის შედარებით სუფთა პუნქტებში (ვაზისუბანი, ლილოს დასახლება, ჭიჭინაძის ქუჩა, ლისის ტბა, მოსკოვის გამზირი, ავჭალა, ვარკეთილი 1, გლდანი - ცხრილი 2.2) აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების და ოზონის ხვედრითი კონცენტრაციები შესაბამისად შეადგენენ:  $1.07 \pm 0.14$ ;  $1.16 \pm 0.14$ ;  $1.0 \pm 0.15$  და  $1.11 \pm 0.22$ ; ტექტონიკური რღვევის ადგილებში განლაგებულ გაზომვის პუნქტებში (ზემო ფონიჭალა, თბილისის ზღვა, ვაკე 1, მდ. ვერე - ცხრილი 2.2) აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების და ოზონის ხვედრითი კონცენტრაციები შესაბამისად შეადგენენ:  $1.15 \pm 0.16$ ;  $1.27 \pm 0.17$ ;  $0.84 \pm 0.25$  და  $1.02 \pm 0.42$ .

ამგვარად, გაჭუჭყიანებულ ადგილებში განლაგებულ გაზომვის პუნქტებში სმოგის ისეთი პარამეტრი, როგორიცაა სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია, გაცილებით უფრო მაღალია, ვიდრე გაზომვების შედარებით სუფთა პუნქტებში ( $1.21$  და  $1.07$  შესაბამისად). რაც შეეხება მსუბუქი იონების და ოზონის კონცენტრაციებს, აქ სურათი შებრუნებულია – გაჭუჭყიანებულ ადგილებში განლაგებულ გაზომვის პუნქტებში მათი მნიშვნელობები უფრო დაბალია, ვიდრე გაზომვების შედარებით სუფთა პუნქტებში (შესაბამისად  $N(+/-)$ -ის  $0.61$  და  $1.0$ ;  $SOC$ -ის  $0.59$  და  $1.11$ ). პუნქტების მითითებულ ჯგუფებისთვის სხვაობა რადონის შემცველობაში საშუალოდ არაარსებითია –  $1.12$  და  $1.16$  შესაბამისად.

ტექტონიკური რღვევის ადგილებში განლაგებულ გაზომვის პუნქტებში რადონის შემცველობა უფრო მაღალია, ვიდრე წინა ორი ჯგუფისთვის –  $1.27$ ; აეროზოლების შეფარდებითი კონცენტრაცია შეადგენს  $1.15$  – ეს ნაკლებია, ვიდრე პირველ ჯგუფში (გაჭუჭყიანებული პუნქტები) და მეტია, ვიდრე მეორე ჯგუფში (შედარებით სუფთა პუნქტები). მსუბუქი იონების და ოზონის შეფარდებითი კონცენტრაციები შესაბამისად  $0.84$ -ის და  $1.02$ -ის ტოლია, რაც მეტია, ვიდრე პუნქტების პირველ ჯგუფში და ნაკლებია, ვიდრე პუნქტების მეორე ჯგუფში.

#### 4.3 მიწისპირა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის პროგნოზირება.

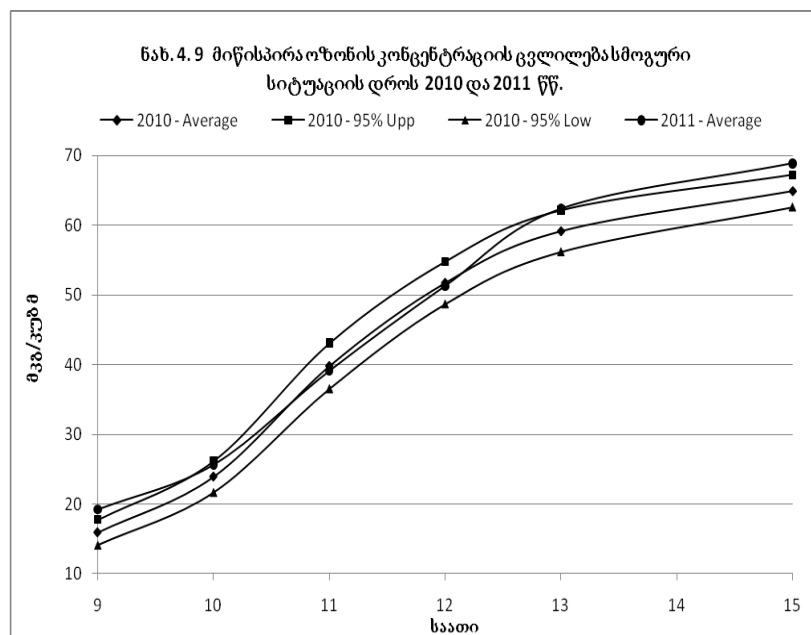
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სმოგური ოზონის კონცენტრაცია ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ამიტომ  $SOC$ -ის პროგნოზირება საკმარისად რთული ამოცანაა. ქვემოთ განხილულია ამ ამოცანის ამოხსნის ორი მიდგომა.

1. **SOC**-ის ულტრამოკლევადიანი პროგნოზი (რამდენიმე საათი), დაფუძნებული მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის საათობრივ მნიშვნელობებს შორის მაღალი კორელაციური კავშირების არსებობაზე (ავტოკორელაციური მოდელი).

2. **SOC**-ის მოკლევადიანი პროგნოზი (დღელამე), დაფუძნებული მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ ფაქტორებთან კავშირების ფიზიკურ-სტატისტიკურ მოდელზე.

**პირველი მოდელი.** ნახ. 4.9-ზე წარმოდგენილია 2010 და 2011 წლებში სმოგურ დღეებში მიწისპირა ოზონის საშუალო კონცენტრაციის ცვალებადობის მრუდები. როგორც გამომდინარეობს ამ ნახაზიდან, 2010 წელს **SOC**-ის საშუალო მნიშვნელობების სანდოობის ინტერვალის 95% ფარგლებში ორივე მრუდის სვლა პრაქტიკულად ემთხვევა ერთმანეთს. სხვა სიტყვებით, მითითებულ 2 წელიწადში 9-დან 16 საათამდე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ცვალებადობის დინამიკა იყო ერთნაირი, რაც გვაძლევს საშუალებას გავაკეთოდ დასკვნა იმის თაობაზე, რომ მითითებული დინამიკა შენარჩუნდება ორი წლის განმავლობაში მაინც.

ეს ნიშნავს იმას, რომ **SOC**-ის ულტრამოკლევადიანი პროგნოზის მიმდინარე წლის გამოთვლილი მოდელი უნდა გამოსადეგი იყოს შემდეგი წლისთვისაც. ამასთან, წყნარ, მცირეღრუბლიან ამინდის დროს მოსალოდნელი ფოტოქიმიური სმოგის მთავარი ნიშანი 9-დან 10 საათამდე ოზონის კონცენტრაციის ზრდის 10 მკგ/მ<sup>3</sup>/სთ და მეტი სიჩქარეა. ცხრილ 4.5-ში წარმოდგენილია ორგანოზომილებიანი წრფივი რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რომელიც აკავშირებს 14-16 საათზე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას წინა ორი სხვადასხვა გაზომვის საათის **SOC**-თან. მითითებული კოეფიციენტები გამოთვლილია 2010 წლის მონაცემებით. ამ ცხრილში წარმოდგენილია აგრეთვე მონაცემები 2010 და აგრეთვე 2011 (გაანგარიშება ჩატარდა 2010 წლისთვის გათვალისწინებული ფორმულით) წლებისთვის 1-4 საათის წინსწრებით პროგნოზის გამართლების შესახებ.



ცხრილი 4.5

რეგრესიის ორგანოზომილებიანი წრფივი განტოლების კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რომელიც აკავშირებს დღის 14–16 საათებზე გაზომილ მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას გაზომვის წინა ორი სხვადასხვა საათის SOC–თან.

| პარამეტრი           | SOC(14-16) = a+b·X1+c·X2 |                       |                        |                        |                        |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                     | X1=9 სთ.<br>X2=10 სთ.    | X1=9 სთ.<br>X2=11 სთ. | X1=10 სთ.<br>X2=11 სთ. | X1=10 სთ.<br>X2=12 სთ. | X1=12 სთ.<br>X2=13 სთ. |
| 2010                |                          |                       |                        |                        |                        |
| a                   | 53.7                     | 49.4                  | 49.7                   | 39.5                   | 34.9                   |
| b                   | 0.26                     | 0.31                  | 0.21                   | 0.11                   | 0.33                   |
| c                   | 0.29                     | 0.27                  | 0.26                   | 0.44                   | 0.22                   |
| 2010, გამართლება, % | 73                       | 70                    | 74                     | 71                     | 74                     |
| 2011, გამართლება, % | 70                       | 66                    | 64                     | 78                     | 75                     |

ცხრილი 4.6

რეგრესიის სამგანზომილებიანი წრფივი განტოლების კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რომელიც აკავშირებს წინა დღის 14–16 საათებზე გაზომილ მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას, ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობებს და პროგნოზის დღეს გაზომილ ჰაერის ტემპერატურას პროგნოზის დღეს SOC–ის მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან.

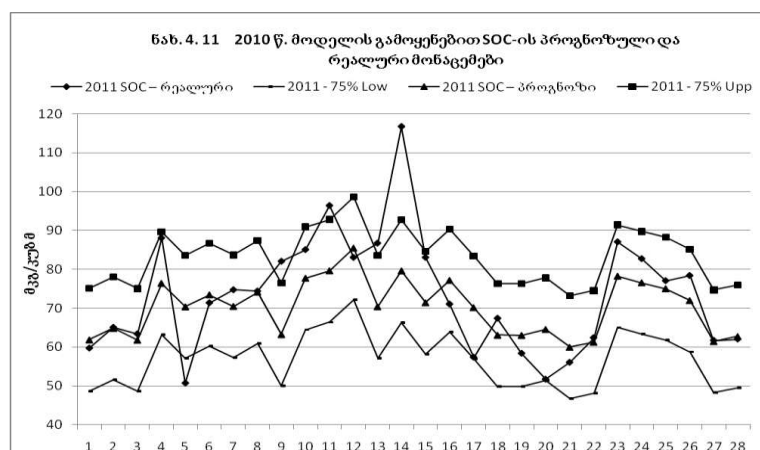
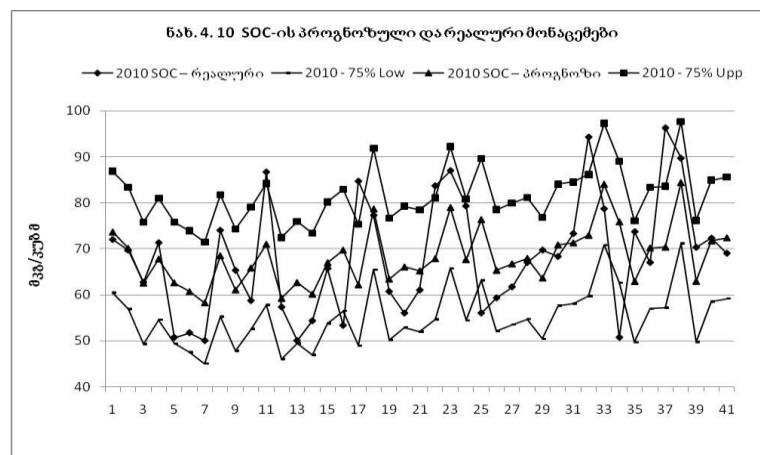
| პარამეტრი           | პირველი დღე (პ.დ.)                                   |            | მეორე დღე (მ.დ.) |            |
|---------------------|------------------------------------------------------|------------|------------------|------------|
|                     | T(15)                                                | SOC(14-16) | T(3)             | SOC(14-16) |
| Min                 | 15                                                   | 50.0       | 10               | 50.0       |
| Max                 | 38                                                   | 96.3       | 28               | 96.3       |
| Average             | 30.7                                                 | 64.9       | 20.7             | 68.3       |
| StDev               | 5.8                                                  | 12.0       | 4.5              | 12.6       |
| Count               | 41                                                   | 41         | 41               | 41         |
| განტოლება           | SOC(14-16) მ.დ. = a·T(15)+b·SOC(14-16) პ.დ.+c·T(3)+d |            |                  |            |
| კოეფიციენტი         | a                                                    | b          | c                | d          |
|                     | 0.030                                                | 0.486      | 0.305            | 29.6       |
| 2010, გამართლება, % |                                                      |            |                  | 73         |
| 2011, გამართლება, % |                                                      |            |                  | 71         |

როგორც გამომდინარეობს ცხრილ 4.5–დან, SOC–ის ულტრამოკლევადიანი პროგნოზის გამართლება დროით წინსწრებაზე დამოკიდებულების გათვალისწინებით 2010 წელს 71–74 % შეადგინა, ხოლო 2011 წელს – 64–78 %. ამგვარად, გაზომვის ორ ვადაში მიღებული SOC–ის მონაცემების საფუძველზე, 64–78 % გამართლებით შესაძლებელია 1–4

საათის წინსწრებით მიწისპირა ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაციის პროგნოზის გაკეთება.

**მეორე მოდელი.** მოცემული მოდელი საშუალებას გვაძლევს სმოგური სიტუაციების დროს მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის პროგნოზი გაკეთდეს ერთი დღელამის წინსწრებით. ამ მოდელის ძირითადი პრედიქტორებია წინა დღეს 15 საათზე გაზომილი ჰაერის ტემპერატურა და სმოგური ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაცია და აგრეთვე პროგნოზის დღეს ჰაერის ტემპერატურა 3 საათზე. შემდეგ დღეს სმოგური ოზონის შენარჩუნების ძირითადი ნიშნები მცირე ნალექიანი უღრუბლო ამინდი და 3 საათზე ჰაერის ტემპერატურაა  $20.7 \pm 4.5$  გრადუსი.

მითითებული კოეფიციენტები, ისივე, როგორც წინა მოდელისთვის, გაანგარიშებულია 2010 წლის მონაცემებით. ამავე ცხრილში მოყვანილია მონაცემები დღელამური პროგნოზის გამართლიანების შესახებ 2010 წლისთვის და აგრეთვე 2011 წლისთვის (გამოთვლები ჩატარდა 2010 წლისათვის განკუთვნილი ფორმულით).



როგორც გამომდინარეობს ცხრილ 4.6-დან, SOC-ის დღე-ღამური პროგნოზის გამართლებამ 2010–2011 წლებში 73–71 % შეადგინა. ილუსტრაციისთვის ნახ. 4.10–4.11-ზე წარმოდგენილია მონაცემები 2010 და 2011 წლებში სმოგური ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაციების რეალური და პროგნოზირებადი მნიშვნელობების შესახებ (ჰორიზონტულ ღერძზე შემთხვევების ნუმერაცია).

## თავი 5 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და განმსაზღვრელი ატმოსფერული პარამეტრების ზემოქმედება ადამიანის ჯანმრთელობაზე ქ. თბილისის პირობებში

ადამიანზე მოქმედებს მეტეოროლოგიური, გეოფიზიკური და ჰელიოფიზიკური (შემდგომში – ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური) ფაქტორები. სინამდვილეში ყველა ისინი წარმოადგენს ერთიანი ფიზიკური პროცესის გამოვლინებას, რომელიც იწყება კოსმოსში და მთავრდება დედამიწაზე. როგორ და რატომ ხდება ეს ასე, ბოლომდე გარკვეული ჯერ არ არის, მაგრამ მკვლევართა აზრით ამ ზეგავლენის საფუძველია ფიზიკურ-ქიმიურ-ბიოლოგიური პროცესები. ისინი საჭიროებენ შემდგომ სერიოზულ, კომპლექსურ კვლევა-ძიებას, არაერთი მეცნიერების (ფიზიკის, ქიმიის, მედიცინის, ბიოფიზიკის, ატმოსფეროს ფიზიკის და სხვა) ურთიერთკავშირის გათვალისწინებით.

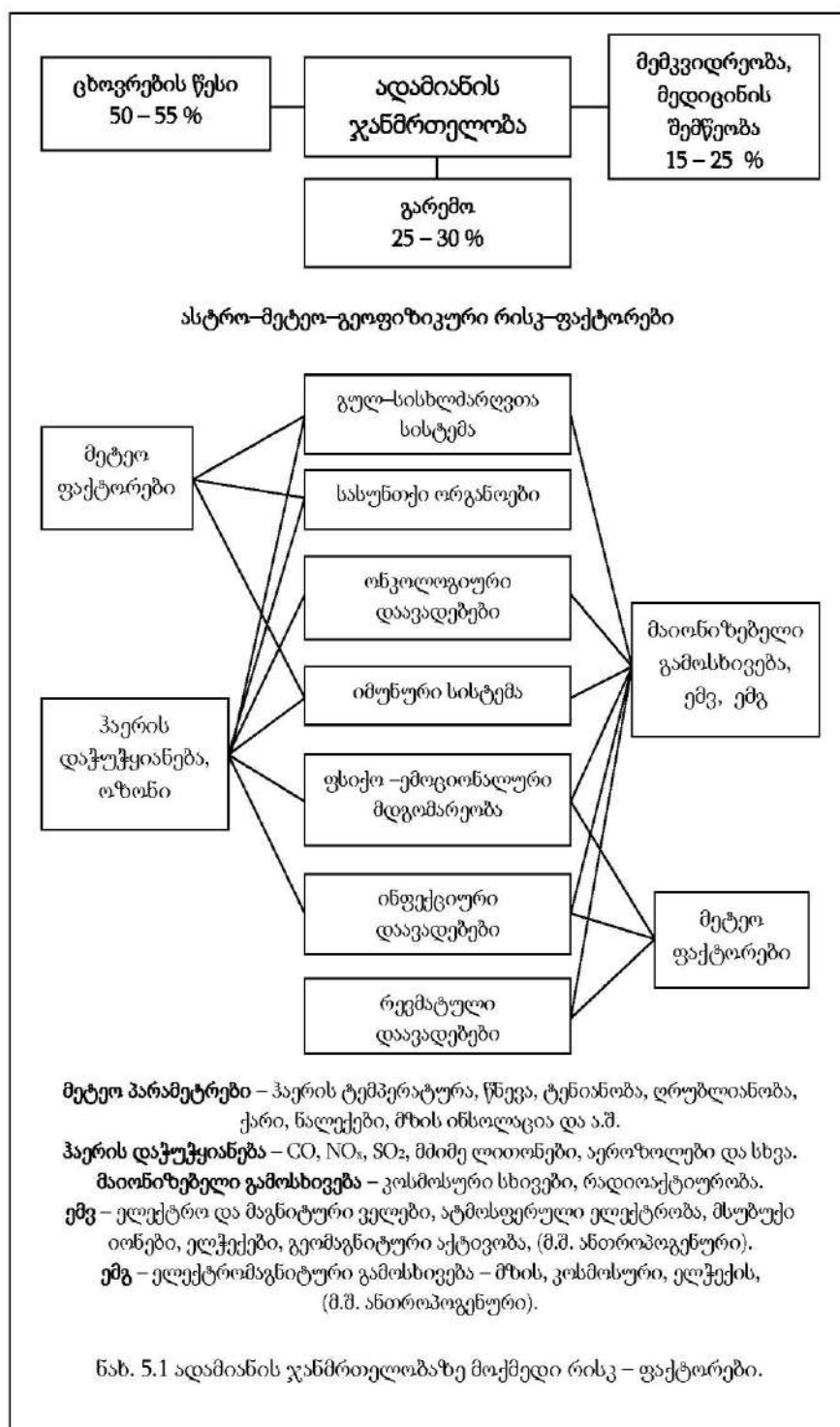
იმ ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკურ პარამეტრებს, რომლებიც მნიშვნელოვნად მოქმედებენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე, მიეკუთვნება: ტემპერატურა, ჰაერის ტენიანობა, ქარის სიჩქარე, მზის აქტივობა (ვოლფის რიცხვი), გეომაგნიტური ველები, მზის რადიაცია, კოსმოსური სხივები, მსუბუქი იონების შემცველობა, აეროზოლები, ოზონი, ჰაერში არსებული სხვა ტოქსიკური მინარევები და სხვა.

ადამიანმა თავისი ბიოლოგიური განვითარების პროცესში მოახერხა ზემოაღნიშნული ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორების მრავალ ბუნებრივ ცვლილებასთან ადაპტაცია. ამავე დროს დადგენილია, რომ ჰაერის ტემპერატურის, ტენიანობის, წნევის, ქარის, მზის აქტივობის, ატმოსფეროში ელექტრული ველის დამაბულობის, აეროიონური შემადგენლობის, მიწისპირა ოზონის, აეროზოლების, გეომაგნიტური ველის და სხვათა ნორმიდან ნებისმიერი მკვეთრი გადახრა ცვლის მთელი რიგი დაავადებების მიმდინარეობას, კერძოდ: გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების (ჰიპერტონია, სტენოკარდია, მიოკარდის ინფარქტი); სასუნთქი ორგანოების (ფილტვების არასპეციფიკური ქრონიკული დაავადებები, ტუბერკულოზი); სისხლის სისტემაზე ზემოქმედება; ფსიქოემოციური მდგომარეობა (ფსიქოემოციური დამაბულობის სინდრომი); ბიორითმების ცვლილება და სხვა.

უკანასკნელ ათწლეულებში გარემოს ანთროპოგენური დაჭუჭყიანების ინტენსიურ ზრდასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებით დიდ ქალაქებში, ხდება ზემოაღნიშნული პრაქტიკულად ყველა მეტეო-გეოფიზიკური პარამეტრის მნიშვნელოვანი ცვლილება. გაიზარდა ექსტრემალურად ჰაერის მაღალი ტემპერატურის განმეორადობა, ანთროპოგენური ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დონე (მობილური ტელეფონები, კომპიუტერები და სხვა), მიწისპირა ოზონის და აეროზოლების კონცენტრაცია, და სხვა. ბიოსფეროზე ეს დამატებითი ანთროპოგენური დატვირთვა ზრდის ზემოაღნიშნულ რისკ-ფაქტორების დონეს ადამიანის ჯანმრთელობისა და სიცოცხლისათვის [12, 26, 27, 29–31, 33, 34, 37–39, 43, 66, 69, 72, 83, 90, 110, 141, 145, 149, 212, 231].

ნახ. 5.1-ზე წარმოდგენილია ადამიანის ჯანმრთელობისათვის არსებული ძირითადი რისკ-ფაქტორების ბლოკ-სქემა [12, 23, 27, 29, 31, 33, 34, 38, 39, 43, 69, 72, 83, 110, 145, 149, 157, 186, 236].





როგორც აღნიშნული ბლოკ-სექმიდან ჩანს, ადამიანის ჯანმრთელობაზე პირველ რიგში მოქმედებს მისი ცხოვრების წესი (50 – 55%), შემდეგ – გარემო (25 – 30%), და ბოლოს – მემკვიდრეობა და მედიცინის შემწეობა. ადამიანის ჯანმრთელობაზე გარემოს ნეგატიურ ზემოქმედებაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ეგრეთ წოდებული ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური რისკ-ფაქტორები, მათ შორის – მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია, როგორც ჰაერის დაჭუჭყიანების უმნიშვნელოვანესი კომპონენტი (ნახ. 5.1). ამიტომ, ზოგადად, ამ ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების, და კერძოდ მიწისპირა ოზონის ზემოქმედების რისკების დონის შეფასებას აქვს უდიდესი მნიშვნელობა, იმისათვის, რათა ადამიანებისთვის შესაძლებელი იყოს ამ საფრთხეების თავიდან აცილების ან შერბილების ღონისძიებების დამუშავება და გატარება.

როგორც პირველ თავში იყო აღნიშნული, ადამიანის ჯანმრთელობაზე ოზონის ჭარბი კონცენტრაციის უარყოფითი გავლენის შესახებ კარგადაა ცნობილი. თუმცა სხვადასხვა ქვეყანაში მნიშვნელოვანი განსხვავებაა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის დასაშვები ნორმების შეფასებაში. სრული თანხმობაა მხოლოდ იმაში, რომ ოზონი მაღალი კონცენტრაციის დროს განეკუთვნება პირველი კლასის საშიშ ნივთიერებებს (ცხრილი 1.6). რაც შეეხება მიწისპირა ოზონის ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას (ზდკ), საქართველოში (ცხრილი 1.6) მაქსიმალური ერთჯერადი (საშუალო ნახევარ საათში) ზღვრული დასაშვები ნორმაა 160 მკგ/მ<sup>3</sup>, საშუალო დღეღამური – 30 მკგ/მ<sup>3</sup>.

ამ სამუშაოს წარდგენისას იყო მოსაზრება, რომ ატმოსფეროს დაბინძურების მდგომარეობა საქართველოში არსებითად განსხვავდება ატმოსფეროს დაბინძურებისაგან განვითარებულ ქვეყნებში. ამასთან დაკავშირებით ერთ-ერთ ძირითად ამოცანად დასახული იყო:

– ქ. თბილისისთვის დაზუსტებული იქნას მიწისპირა ოზონის, როგორც ფოტოქიმიური სმოგის ძირითადი ინდიკატორის, რეალური მოქმედების შესაბამისობა ოზონის იმ ზღვრულ დასაშვებ ნორმასთან, რომელიც არსებობს საქართველოში და საზღვარგარეთ.

ქვემოთ მოყვანილია ამ ამოცანის ამოხსნის შედეგები.

### **5.1 ქ. თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობის დინამიკა და მისი კავშირი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციასთან.**

ქვემოთ წარმოდგენილია მოსახლეობის საერთო წლიური სიკვდილიანობის (S) დინამიკის ანალიზი, თანამედროვე პირობების გათვალისწინებით (პერიოდი 1984 წლიდან 2010 წლამდე) და ჩატარებულია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის სიკვდილიანობაზე ზეგავლენის შეფასება. ასევე წარმოდგენილია შეფასებები ოზონის კონცენტრაციის ზეგავლენის ქ. თბილისის მოსახლეობის დღე-ღამურ სიკვდილიანობაზე (S<sub>დ</sub>) 2009-2010 წლებში.

ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში - 5.1-5.3 და ნახ. 5.2-ში [34].

სიკვდილიანობის სტატისტიკური მახასიათებლები ქ. თბილისში ყოველ 1000  
მოსახლეზე 1984-2010 წწ.

| დროითი რიგის სტანდარტული სტატისტიკა                                          |             |                                                                                               |             |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Mean                                                                         | 10.3        | $\sigma_m$                                                                                    | 0.25        |
| Min                                                                          | 8.03        | $C_v$ (%)                                                                                     | 12.6        |
| Max                                                                          | 12.35       | A                                                                                             | -0.58       |
| Range                                                                        | 4.32        | K                                                                                             | -0.64       |
| Median                                                                       | 10.61       | $\sigma_m$ /Mean (%)                                                                          | 2.43        |
| $\sigma$                                                                     | 1.30        | Range/ Mean (%)                                                                               | 41.9        |
| დროითი რიგის არაშემთხვევითობის მახასიათებლები                                |             |                                                                                               |             |
| კორელაცია წლებთან                                                            |             | ტრენდი + ფონი ( $Y = a \cdot X^5 + b \cdot X^4 + c \cdot X^3 + d \cdot X^2 + e \cdot X + f$ ) |             |
| R წლებთან                                                                    | 0.62        | a                                                                                             | -0.0000278  |
| (a) R                                                                        | 0.01        | b                                                                                             | 0.00206     |
| $R_k$                                                                        | 0.305       | c                                                                                             | -0.05523756 |
| (a) $R_k$                                                                    | 0.026       | d                                                                                             | 0.62867     |
| $R_s$                                                                        | 0.48        | e                                                                                             | -2.528      |
| (a) $R_s$                                                                    | 0.015       | f                                                                                             | 10.277      |
| $R_a$ , Lag = 1                                                              | 0.842       | $R^2$                                                                                         | 0.96        |
| (a) $R_a$                                                                    | 0.001       | (a) $R^2$                                                                                     | 0.001       |
| $K_{DW}$                                                                     | 0.4         | $K_{DW}$                                                                                      | 1.45        |
| (a) $K_{DW}$                                                                 | არაინიშნადი | (a) $K_{DW}$                                                                                  | 0.05        |
| ტრენდი + ფონის და შემთხვევითი მდგენელის კომპონენტების სტანდარტული სტატისტიკა |             |                                                                                               |             |
| ტრენდი + ფონი                                                                |             | შემთხვევითი მდგენელი                                                                          |             |
| Mean                                                                         | 9.66        | Mean                                                                                          | 0.65        |
| Min                                                                          | 7.02        | Max                                                                                           | 1.60        |
| Max                                                                          | 10.85       | $\sigma$                                                                                      | 0.49        |
| Range                                                                        | 3.83        | $C_v$ (%)                                                                                     | 75.2        |
| $\sigma$                                                                     | 10.14       | Range/ Mean (%)                                                                               | 247         |
| $C_v$ (%)                                                                    | 1.21        | წილი რეალური<br>მონაცემებიდან                                                                 | 6.3         |
| Range/ Mean (%)                                                              | 39.6        |                                                                                               |             |
| წილი რეალური<br>მონაცემებიდან                                                | 93.7        |                                                                                               |             |

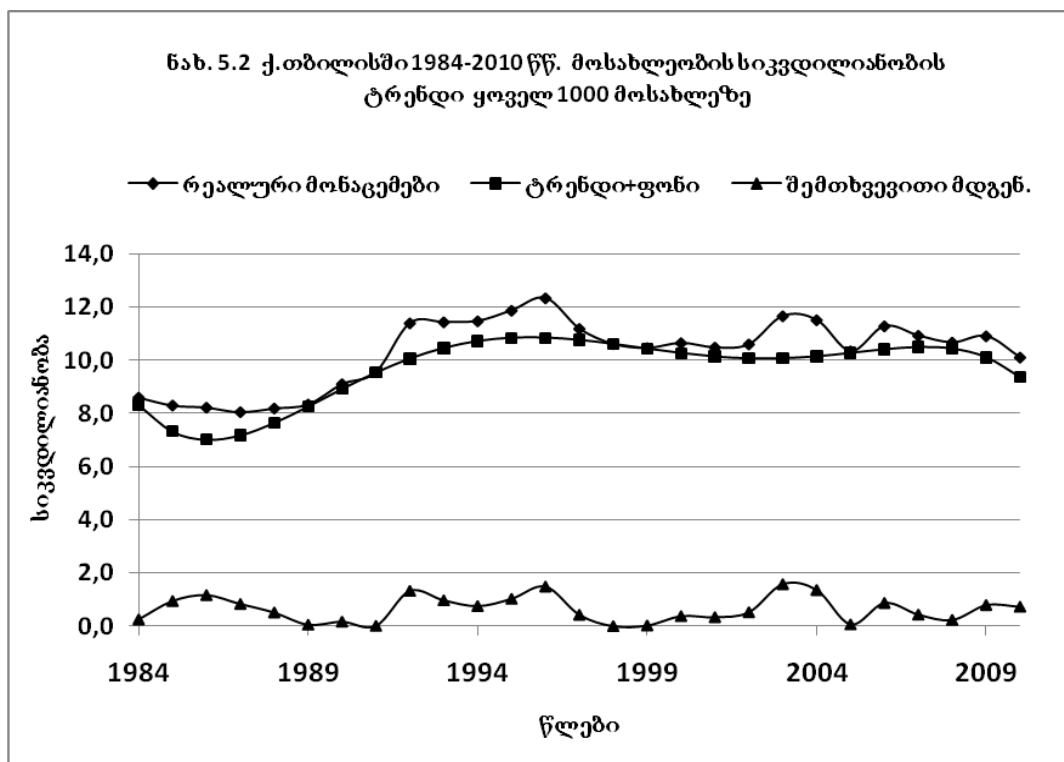
$S$ -ის მნიშვნელობების სტანდარტული სტატისტიკური მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილი 5.1 -ის ზედა ნაწილში.

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს,  $S$  -ის მნიშვნელობები იცვლება 8.03-დან 12.35 მდე, ვარიაციული განშლადობა ტოლია 4.32-ისა, საშუალო მნიშვნელობა - 10.3, მედიანა - 10.6, სტანდარტული გადახრა - 1.30, სტანდარტული ცდომილება - 0.25, ვარიაციის კოეფიციენტი 12.6%.

ასიმეტრიის კოეფიციენტი ტოლია - 0.58-ისა, ექსცესის კოეფიციენტი - 0.64-ს. ასიმეტრიისა და ექსცესის კოეფიციენტების გამოთვლილი სიდიდეების აბსოლუტური მნიშვნელობები უფრო ნაკლებია, ვიდრე მათი სტანდარტული გადახრების თეორიული გასამმაგებული მნიშვნელობები. შესაბამისად გენერალურ ერთობლიობაში  $S$ -ის განაწილების ფუნქცია ახლოსაა ნორმალურთან, ფარდობითი ვარიაციული განშლადობა ტოლია 51.9%.

$S$ -ის არაშემთხვევითი დროითი რიგის მახასიათებლები წარმოდგენილია ცხრილი 1- ის შუა ნაწილში.

$S$ -ის მნიშვნელობების წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი წლების მიხედვით ტოლია 0.62-სა, კენდელის რანგული კორელაციის კოეფიციენტის სიდიდე 0.305-ისა, სპირმენის რანგული კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია 0.48-ის, ავტოკორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 1 წლის ლაგით ტოლია 0.842. ნიშნადობის დონის მნიშვნელობა  $\alpha$  ზემოთ აღნიშნული პარამეტრებისათვის წარმოდგენილია ამ ცხრილში.  $S$  -ის ავტოკორელაციური ფუნქციის სიდიდეები ნიშნადია 2 ლაგის ფარგლებში. ეს შეიძლება გამოწვეული იყოს გარეშე ფაქტორების ძლიერი ზემოქმედებით  $S$ -ის ცვალებადობაზე.



ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ **S**-ის ტრენდს აქვს წრფივი ფორმა. თუმცა წრფივი ტენდენციის შემთხვევაში, ნარჩენი კომპონენტების ანალიზი აჩვენებს მათ ავტოკორელაციას ( $K_{\Delta w} = 0.4$ , არანიშნადია). ამრიგად **S**-ის დროითი რიგი ავტოკორელირებულია არაწრფივი ტენდენციით.

როგორც ანალიზმა აჩვენა, **S**-ის მნიშვნელობათა ტრენდს აქვს მე-5 ხარისხის პოლინომის სახე ( $R^2 = 0.96$ ,  $K_{\Delta w} = 1.45$ , ცხრილი 5.1).

ტრენდი+ფონი-ს კომპონენტის და **S** -ის მნიშვნელობების შემთხვევითი კომპონენტის სტატისტიკური მახასიათებლები წარმოდგენილია ცხრილი 5.1-ის ქვედა ნაწილში და ნახ. 5.2 -ზე.

**S**-ის ტრენდი+ფონი-ს კომპონენტის საშუალო მნიშვნელობება ტოლია 9.66, მინიმალური მნიშვნელობა - 7.02 -ის, მაქსიმალური მნიშვნელობა - 10.85-ის, ფარდობითი ვარიაციული განშლადობა - 39.6 % -ისა. ტრენდი+ ფონის კომპონენტის საშუალო მნიშვნელობის წილი **S**-ის რეალური საშუალო მნიშვნელობიდან შეადგენს - 93.7 %.

**S** -ის შემთხვევითი მდგენელის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია 0.65-სა, მაქსიმალური - 1.60-სა, ფარდობითი ვარიაციული განშლადობა - 247% -ის. შემთხვევითი კომპონენტის საშუალო მნიშვნელობის წილი **S** -ის რეალურ საშუალო მნიშვნელობასთან შეადგენს 6.3 %-ს. ამრიგად **S**-ის მნიშვნელობის ცვალებადობა გამოსაკვლევ პერიოდში პრაქტიკულად განპირობებულია ტრენდის მდგენელით.

**SOC(14-16)**-ის საშუალო წლიური სიდიდეების და **S**-ის მნიშვნელობების ცვალებადობაში აშკარად გამოხატული ტენდენციების არარსებობა (ზრდა ან შემცირება, ცხრილები 3.6, 5.1 და ნახ. 3.7, 5.2) საშუალებას იძლევა შევასრულოთ მათ რეალურ მონაცემებს შორის არსებული კავშირების კორელაციური და რეგრესიული ანალიზი. ამ ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრილებში 5.2–5.3–ში.

როგორც ცხრილ 5.2-დან გამომდინარეობს, **SOC(14-16)**–ის და **S**-ის მნიშვნელობებს შორის დაიკვირვება ნიშნადი კორელაცია.

ცხრილ 5.3–ში მოცემულია მიწისპირა ოზონის 14-16 საათზე საშუალო წლიური კონცენტრაციის ზეგავლენის ეფექტის შეფასება ქ. თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობაზე. როგორც ამ ცხრილიდან ირკვევა, იმ წლებში, როდესაც ოზონის კონცენტრაცია საშუალოდ ტოლი იყო 56.2 მკგ/მ<sup>3</sup>- ისა (დიაპაზონი 52 მკგ/მ<sup>3</sup>-დან - 61.6 მკგ/მ<sup>3</sup> მდე) სიკვდილიანობის სიდიდე ყოველ 1000 მოსახლეზე ტოლი იყო 11.27 -ისა. როცა ოზონის კონცენტრაცია საშუალოდ ტოლი იყო 33 მკგ/მ<sup>3</sup> (დიაპაზონი 26.3 მკგ/მ<sup>3</sup>-დან 46.4 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე), სიკვდილიანობა ყოველ 1000 მოსახლეზე ტოლი იყო 9.82.

ცხრილი 5.2

კორელაცია მიწისპირა ოზონის საშუალოწლიურ კონცენტრაციასა 14-16 საათზე და ქ. თბილისში მოსახლეობის სიკვდილიანობას შორის ყოველ 1000 მოსახლეზე 1984-2010 წწ.

| <b>R</b> | <b>(<math>\alpha</math>) R</b> | <b>R<sub>k</sub></b> | <b>(<math>\alpha</math>) R<sub>k</sub></b> | <b>R<sub>s</sub></b> | <b>(<math>\alpha</math>) R<sub>s</sub></b> |
|----------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|
| 0.39     | 0.1                            | 0.2                  | 0.14                                       | 0.33                 | 0.1                                        |

ცხრილი 5.3

ქ. თბილისში მოსახლეობის სიკვდილიანობაზე  
მიწისპირა ოზონის 14-16 საათზე საშუალოწლიური კონცენტრაციის ზემოქმედების  
ეფექტი 1984-2010 წწ.

| ოზონის<br>კონცენტრაციის<br>დიაპაზონი<br>მკგ/მ³    | ოზონის<br>საშუალო<br>კონცენტრაცია<br>მკგ/მ³ | საშუალო<br>სიკვდილიანობა<br>ყოველ 1000<br>მოსახლეზე | ოზონის<br>კონცენტრაციის<br>დიაპაზონი<br>მკგ/მ³                       | ოზონის<br>საშუალო<br>კონცენტრაცია<br>მკგ/მ³                     | საშუალო<br>სიკვდილიანობა<br>ყოველ 1000<br>მოსახლეზე                         |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 26.3-46.4                                         | 38                                          | 9.82                                                | 52.0-61.6                                                            | 56.2                                                            | 11.27                                                                       |
| სიკვდილიანობის<br>ზრდა ყოველ<br>1000<br>მოსახლეზე | სტიუდენტის<br>კრიტერიუმი<br>t               | (a) t                                               | საშუალო<br>სიკვდილიანობა<br>ყოველ 1000<br>მოსახლეზე<br>1984-2010 წწ. | სიკვდილიანობის<br>ზრდის წილი<br>საშუალოსთან<br>შედარებით<br>(%) | ქ. თბილისის<br>მოსახლეობის<br>სიკვდილიანობის<br>საშუალო<br>წლიური<br>ნაზრდი |
| 1.45                                              | 3                                           | 0.01                                                | 10.3                                                                 | 14.1                                                            | 1680                                                                        |

ცხრილი 5.4

ქ. თბილისში მოსახლეობის დღელამურ სიკვდილიანობაზე მიწისპირა ოზონის  
14-16 საათზე კონცენტრაციის ზემოქმედების ეფექტი 2009-2010 წწ. (ქ. თბილისის მერიის  
სასწრაფო სამედიცინო დახმარების ცენტრის მონაცემები სიკვდილიანობაზე)

| ოზონის<br>კონცენტრაციის<br>დიაპაზონი<br>მკგ/მ³ | ოზონის<br>საშუალო<br>კონცენტრაცია<br>მკგ/მ³ | დღელამური<br>საშუალო<br>სიკვდილიანობა | ოზონის<br>კონცენტრაციის<br>დიაპაზონი<br>მკგ/მ³ | ოზონის<br>საშუალო<br>კონცენტრაცია<br>მკგ/მ³                     | დღელამური<br>საშუალო<br>სიკვდილიანობა |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 30-49                                          | 39.3                                        | 9.2<br>(Count=134)                    | 50-82                                          | 62.7                                                            | 9.85<br>(Count=97)                    |
| დღელამური<br>სიკვდილიანობის<br>ზრდა            | სტიუდენტის<br>კრიტერიუმი<br>t               | (a) t                                 | დღელამური<br>საშუალო<br>სიკვდილიანობა          | სიკვდილიანობის<br>ზრდის წილი<br>საშუალოსთან<br>შედარებით<br>(%) |                                       |
| 0.65                                           | 1.33                                        | 0.15                                  | 9.47<br>(Count=231)                            | 6.9                                                             |                                       |

ამრიგად მიწისპირა ოზონის მომატებული კონცენტრაციები (და მისი თანამდევნი  
ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე სმოგის კომპონენტები) საშუალოდ ზრდიან

საშუალო წლიურ სიკვდილიანობას ქ. თბილისის მოსახლეობაში 1680 ადამიანით. ეს შეადგენს ქ. თბილისის მოსახლეობის საშუალო წლიური სიკვდილიანობის 14.1%-ს, რომელიც დაახლოებით 3-ჯერ მეტია იმავე პარამეტრებისათვის განვითარებულ ქვეყნებში.

მიწისპირა ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაციის ეფექტის ზეგავლენის შედეგები ქ. თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობაზე 2009-2010 წლებში წარმოდგენილია ცხრილში 5.4. ქ. თბილისის მერიის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების მონაცემები აგრეთვე ადასტურებენ მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად სიკვდილიანობის ზრდას. ამ შემთხვევაში საშუალო სიკვდილიანობის ზრდის ეფექტი ტოლია 6.9 % -ის (ცხრილი 5.4). შემდგომში ახალი მონაცემების დაგროვებასთან ერთად ეს შეფასებები დაზუსტდება.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ქ. თბილისის პირობებში მიწისპირა ოზონის მაქსიმალური დღიური კონცენტრაცია 50 მკგ/მ<sup>3</sup> -ზე და მეტი ძალზედ უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ეს კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად მცირეა (3-5 ჯერ) ევროპაში და ამერიკაში მიღებული მიწისპირა ოზონის მაქსიმალურად დასაშვებ სიდიდეებზე (ცხრილი 1.6).

## **5.2 ქ. თბილისის მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე სმოგური ოზონის კონცენტრაციის რისკის დონის შეფასება ბოლო 30 წლის განმავლობაში სხვა ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური პარამეტრებით გამოწვეულ რისკებთან შედარებით.**

ქვემოთ წარმოდგენილია სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახების და მოსახლეობის სიკვდილიანობის მიწისპირა ოზონთან და აგრეთვე ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევ და განმსაზღვრელ ატმოსფერულ პარამეტრებთან კავშირების ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული ანალიზი ქ. თბილისისათვის, და აგრეთვე აღნიშნული რისკ-ფაქტორების დონეების ერთმანეთთან შედარება ბოლო 30 წლის განმავლობაში.

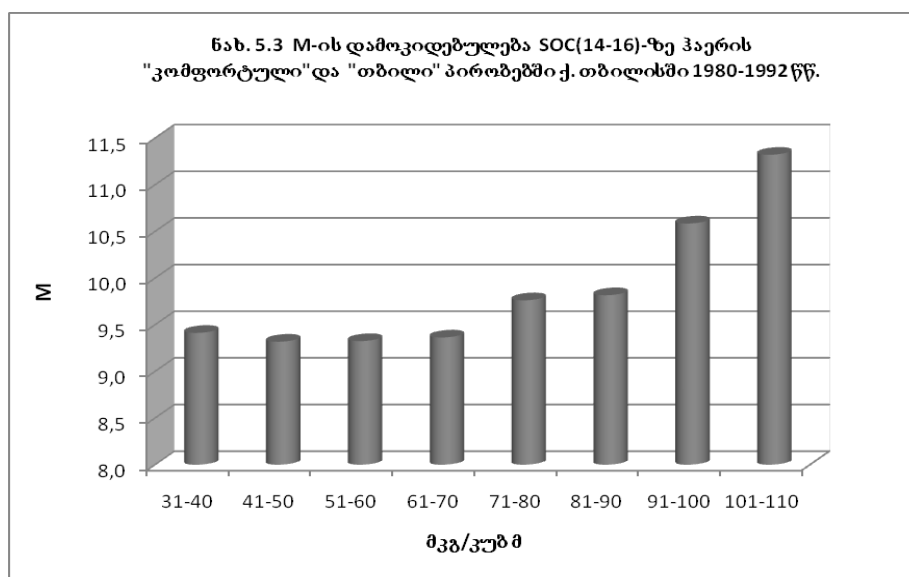
ანალიზისათვის გამოყენებული იყო შემდეგი მონაცემები:

1980-1992 წწ. – **T** (ჰაერის ტემპერატურა), **U** (ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა), **P** (ატმოსფერული წნევა), **V** (ქარის სიჩქარე), **q** (გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის ინტენსივობა) – საშუალო დღე-ღამური მონაცემები; **Q** (მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობა)- საშუალო დღიური მონაცემები; **EET** (ჰაერის ეკვივალენტურ-ეფექტური ტემპერატურა: **T**, **U** და **V**-ს კომბინაცია [31, 107, 157, 186]) – 15-საათიანი მონაცემებით; **Vis** (მეტეოროლოგიური ხილვადობის მანძილი) - 12-საათიანი მონაცემებით; **SOC(14-16)**; **M** (მოსახლეობის დღიური სიკვდილიანობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო), **A** (სასწრაფო სამედიცინო დახმარების დღიური გამოძახების საერთო რაოდენობა), **Sb** (სასწრაფო სამედიცინო დახმარების დღიური გამოძახების რაოდენობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო) – დღე-ღამური მონაცემები.

2009-2010 წწ. - **T, U, P, V, Rn** (მიწისპირა რადონის კონცენტრაცია), **N** (0.1 მკმ მეტი ზომის სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია), **N(+/-)** (დადებითი და უარყოფითი მსუბუქი აეროიონების ჯამური კონცენტრაცია), **Q, q** - საშუალო დღიური მონაცემები; **SOC(14-16)**; **A, H** (სასწრაფო სამედიცინო დახმარების საშუალებით ჩატარებული დღიური ჰოსპიტალიზაციის რაოდენობა) – დღე-ღამური მონაცემები.

ანალიზის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში 5.5 – 5.8-ში და ნახ. 5.2 – 5.7-ზე.

ცნობილია, რომ სიკვდილიანობას ახასიათებს სეზონური სვლა, მაქსიმუმით ზამთარში, და მინიმუმით ზაფხულში [31]. ადამიანის ჯანმრთელობის დამოკიდებულებას თერმულ, სინოტივის და ქარის რეჟიმთან კარგად ასახავს ჰაერის ეკვივალენტურ-ეფექტური ტემპერატურა [31, 107, 157, 186]. ჩვენს მიერ დადგენილი იყო, რომ ქ. თბილისში 1980-1992 წწ. ყველაზე ნაკლები დღიური სიკვდილიანობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო ძირითადად დაიკვირვება წლის თბილ პერიოდში, როცა **EET**-ის მნიშვნელობა 15 საათის მდგომარეობით 16.5 – 27.5 ფარგლებშია [31]. მაგრამ ამ დღეებში ხშირად ფორმირდება სმოგური ოზონი მაღალი კონცენტრაციებით. ამიტომ პირველ რიგში შევისწავლეთ ოზონის ზემოქმედება ადამიანის სიკვდილიანობაზე **EET**-ის აღნიშნული დიაპაზონისთვის (პირობები „კომფორტული“ და „თბილი“).



ნახ. 5.3-ზე წარმოდგენილია **M**-ის დამოკიდებულება **SOC(14-16)**-ზე ჰაერის „კომფორტული“ და „თბილი“ პირობებში ქ. თბილისში 1980-1992 წწ. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, აღნიშნული თერმული რეჟიმის დროს **SOC(14-16)**-ის ცვლილება (31-40)–დან (61-70)–დე პრაქტიკულად არ მოქმედებდა **M**-ზე (**M**-ის საშუალო მნიშვნელობა უდრის 9.35). შემდგომი **SOC(14-16)**-ის ზრდა 71–დან 90–დე (საშუალოდ 80) იწვევს **M**-ის ზრდას 9.8–დე ( $\alpha=0.1$ ). ამის შემდეგ **SOC(14-16)**-ის ზრდა 110–დე იწვევდა სიკვდილიანობის მკვეთრ ზრდას (შესაბამისად 10.6 და 11.3,  $\alpha=0.05$ ). ანუ, 1980-1992 წწ. მიწისპირა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის **ზღვ** შეადგენდა მნიშვნელობას არა უმეტეს 80 მკგ/მ³, რაც, როგორც ამჟამადაც, მნიშვნელოვნად მცირეა (2-4 ჯერ) ევროპაში და ამერიკაში მიღებული მიწისპირა ოზონის მაქსიმალურად დასაშვებ სიდიდეებზე (ცხრილი 1.6), მაგრამ მეტია, ვიდრე 2009-2010 წლებში (ცხრილი 5.4). ეს ნიშნავს, რომ ბოლო წლებში 1980-1992



წლებთან შედარებულ ქ. თბილისში ადამიანის ჯანმრთელობა გახდა უფრო მოწყვლადი ზემოქმედებაზე ჰაერის დაჭუჭყიანების მხრიდან.

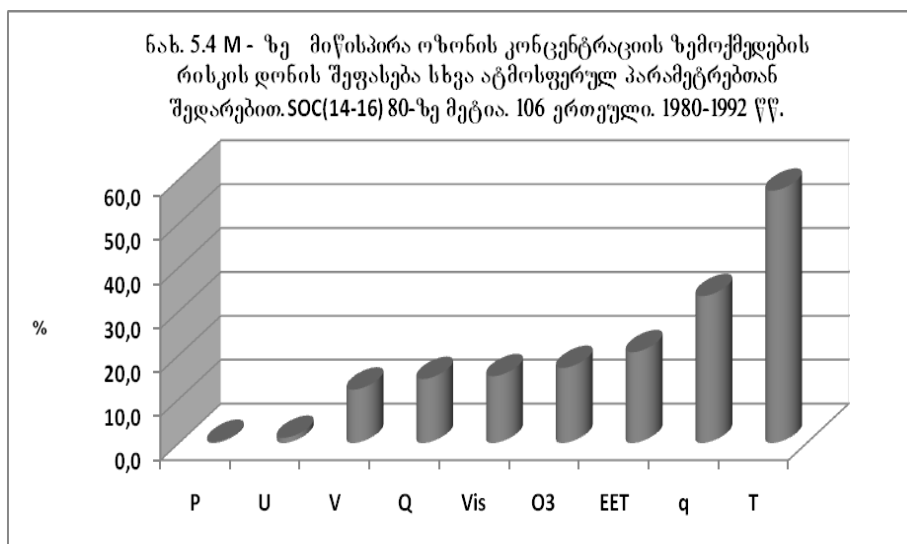
განვიხილოთ SOC(14-16)-ის უფრო ნაკლები მნიშვნელობების (1980-1992 წწ. 80-ზე ნაკლები, და 2009-2010 წ. 50-ზე ნაკლები, ნახ.5.3, ცხრილი 5.4) ზემოქმედების ეფექტი ადამიანის ჯანმრთელობაზე, რომლებიც არ იწვევენ სიკვდილიანობის მკვეთრ ზრდას. ამ ტიპის ზემოქმედებას გააჩნია თავისი ტერმინი – „შემაწუხებელი მოქმედების დონე“ (შმდ). როგორც სასწრაფო სამედიცინო დახმარების მონაცემების ანალიზმა გვაჩვენა, 1987 წ. SOC(14-16)-ვის შმდ შეადგენდა 60-ზე მეტ მნიშვნელობას, ხოლო 2009-2010 წწ. – 30-ზე მეტ მნიშვნელობას. აღნიშნული SOC(14-16)-ის სიდიდეების დროს ფიქსირდებოდა სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახების რაოდენობის ზრდა (A, Sb და H-ი). ანუ, როგორც ზდკ-ს შემთხვევაში ბოლო წლებში 1980-1992 წლებთან შედარებით მიწისპირა ოზონის შემაწუხებელი მოქმედების დონის მნიშვნელობამაც დაიწია.

ცხრილებში 5.5-5.8-ში და ნახ. 5.4-5.7-ში მოყვანილია სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახების რაოდენობის და მოსახლეობის სიკვდილიანობის მიწისპირა ოზონთან და სხვა ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკურ პარამეტრებთან კავშირების ორმხრივი და მრავალმხრივი წრფივი კორელაციური და რეგრესიული ანალიზის შედეგები სმოგური სიტუაციის დროს.

ცხრილი 5.5

M - ის და სხვა პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები. SOC(14-16)-ი 80-ზე მეტია, 106 ერთეული, 1980-1992 წწ.

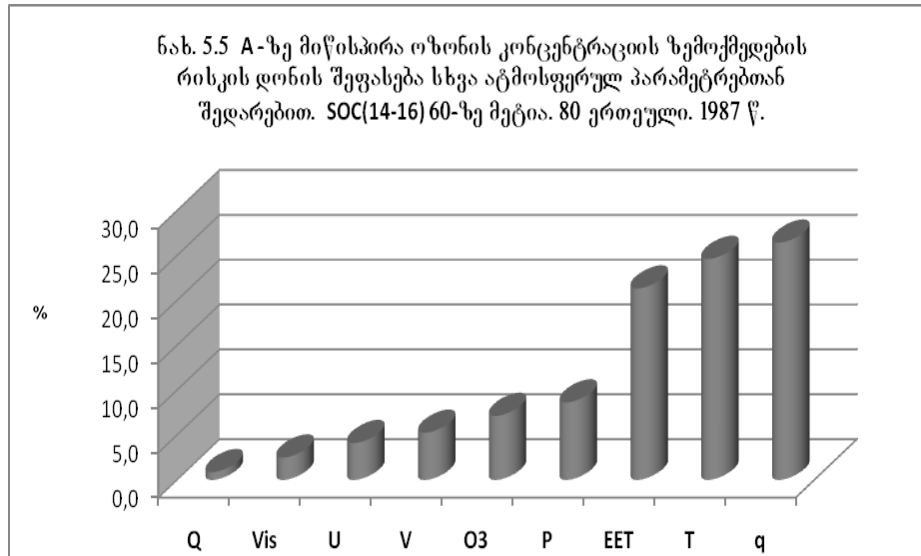
| პარამ.                                                                                                                                                      | T      | U      | P      | V      | EET   | q       | Q     | Vis    | O <sub>3</sub> | M    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|--------|----------------|------|
| Max                                                                                                                                                         | 28.5   | 80     | 974    | 4.8    | 28.1  | 9101    | 0.663 | 9      | 110            | 20.5 |
| Min                                                                                                                                                         | 2.4    | 41     | 953    | 0      | -0.4  | 6356    | 0.035 | 6      | 80             | 1.7  |
| Range                                                                                                                                                       | 26.1   | 39     | 21     | 4.8    | 28.5  | 2745    | 0.628 | 3      | 30             | 18.8 |
| Average                                                                                                                                                     | 19.0   | 58.8   | 965    | 0.9    | 20.0  | 8578    | 0.433 | 8.7    | 89.4           | 9.9  |
| St Dev                                                                                                                                                      | 5.7    | 7.6    | 4.0    | 1.1    | 5.5   | 483     | 0.118 | 0.6    | 7.8            | 3.8  |
| კორელაციის კოეფიციენტი (R min = 0.16, α = 0.01)                                                                                                             |        |        |        |        |       |         |       |        |                |      |
| M                                                                                                                                                           | -0.19  | -0.08  | 0.07   | -0.05  | -0.14 | -0.13   | -0.02 | -0.08  | 0.17           | 1    |
| განტოლება                                                                                                                                                   |        |        |        |        |       |         |       |        |                |      |
| $M = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot EET + f \cdot q + g \cdot Q + h \cdot Vis + i \cdot O_3 + j$ , (R <sup>2</sup> =0.0961; α=0.1) |        |        |        |        |       |         |       |        |                |      |
| კოეფ.                                                                                                                                                       | a      | b      | c      | d      | e     | f       | g     | h      | i              | j    |
|                                                                                                                                                             | -0.219 | -0.003 | 0.0013 | -0.252 | 0.072 | -0.0012 | 2.313 | -0.505 | 0.0567         | 20.5 |
| წილი Range – ს ფარგლებში, %                                                                                                                                 |        |        |        |        |       |         |       |        |                |      |
|                                                                                                                                                             | 57.5   | 1.2    | 0.3    | 12.2   | 20.7  | 33.5    | 14.6  | 15.2   | 17.1           |      |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში, %                                                                                                                                 |        |        |        |        |       |         |       |        |                |      |
|                                                                                                                                                             | 25.3   | 0.5    | 0.1    | 5.8    | 8.0   | 11.8    | 5.5   | 6.0    | 8.9            |      |



ცხრილი 5.6

A – ს და Sb – ს და სხვა პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები.  
SOC(14-16)–ი 60-ზე მეტია, 80 ერთეული, 1987 წ.

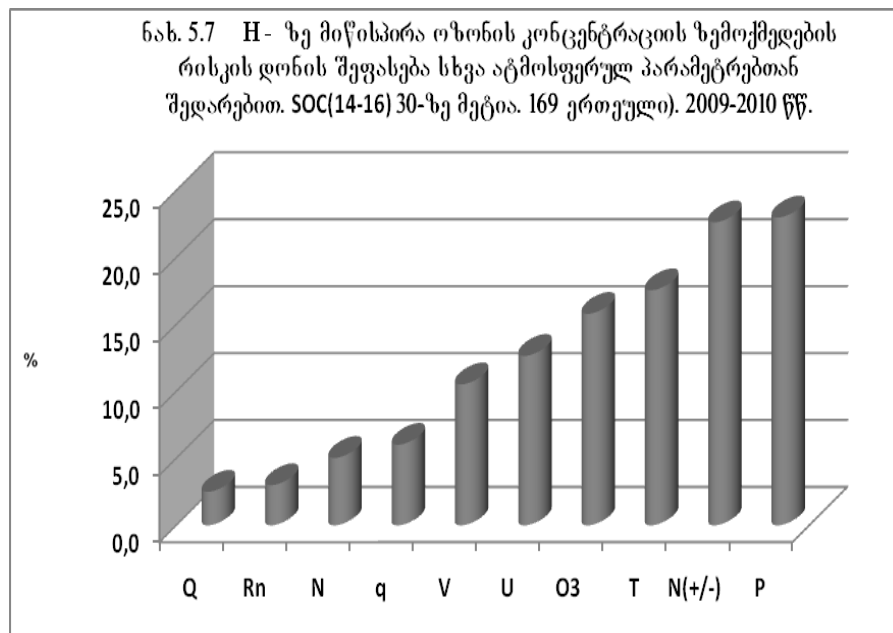
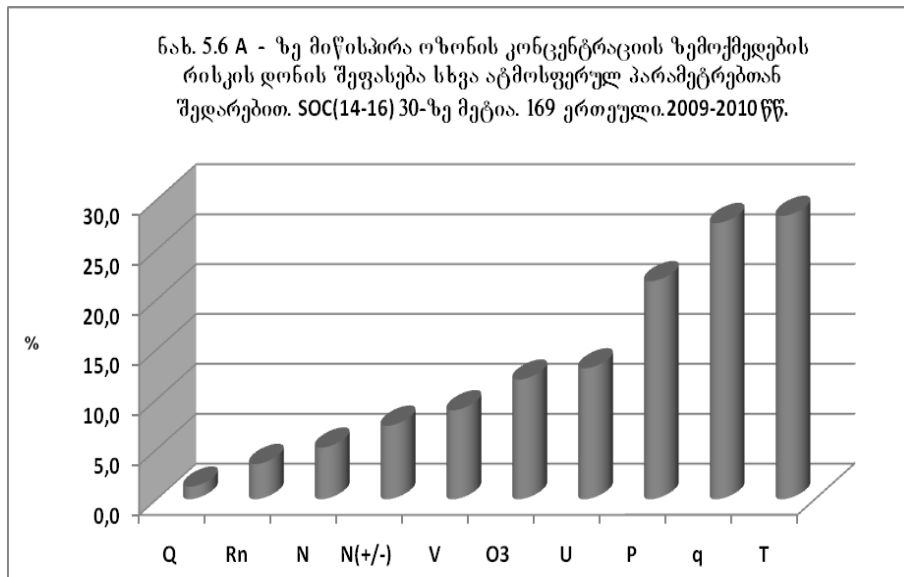
| პარამ.                                                                                                                                                 | T      | U      | P     | V      | EET   | q      | Q      | Vis   | O <sub>3</sub> | A     | Sb   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|----------------|-------|------|
| Max                                                                                                                                                    | 29.3   | 80.0   | 974   | 7.5    | 24.4  | 9170   | 0.613  | 9     | 110            | 1241  | 155  |
| Min                                                                                                                                                    | -2.1   | 41.0   | 954   | 0.0    | -13.7 | 8679   | 0.035  | 7     | 60             | 755   | 74   |
| Range                                                                                                                                                  | 31.4   | 39.0   | 20    | 7.5    | 38.1  | 491    | 0.578  | 2     | 50             | 486   | 81   |
| Average                                                                                                                                                | 16.3   | 60.9   | 96    | 1.1    | 12.5  | 8942   | 0.380  | 8.7   | 77.1           | 982   | 105  |
| St Dev                                                                                                                                                 | 6.8    | 9.0    | 4.2   | 1.4    | 8.0   | 103    | 0.137  | 0.6   | 11.7           | 106   | 15   |
| კორელაციის კოეფიციენტი ( $R_{min} = 0.18, \alpha = 0.01$ )                                                                                             |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
| A                                                                                                                                                      | -0.34  | 0.15   | 0.13  | -0.27  | -0.19 | 0.56   | -0.12  | -0.19 | 0.27           | 1     | 0.68 |
| Sb                                                                                                                                                     | -0.09  | 0.10   | 0.21  | -0.23  | 0.04  | 0.24   | -0.12  | -0.10 | 0.18           | 0.68  | 1    |
| განტოლება                                                                                                                                              |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
| $A = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot EET + f \cdot q + g \cdot Q + h \cdot Vis + i \cdot O_3 + j, (R^2=0.491; \alpha = 0.01)$  |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
| კოეფ.                                                                                                                                                  | a      | b      | c     | d      | e     | f      | g      | h     | i              | j     |      |
|                                                                                                                                                        | -7.709 | 1.036  | 4.334 | -6.894 | 5.503 | 0.529  | 14.9   | -12.3 | 1.40           | -7940 |      |
| წილი Range – ს ფარგლებში, %                                                                                                                            |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
|                                                                                                                                                        | 24.6   | 4.1    | 8.6   | 5.3    | 21.3  | 26.5   | 0.9    | 2.5   | 7.1            |       |      |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში, %                                                                                                                            |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
|                                                                                                                                                        | 10.7   | 1.9    | 3.7   | 1.9    | 9.0   | 11.1   | 0.4    | 1.4   | 3.3            |       |      |
| განტოლება                                                                                                                                              |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
| $Sb = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot EET + f \cdot q + g \cdot Q + h \cdot Vis + i \cdot O_3 + j, (R^2=0.245; \alpha = 0.01)$ |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
| კოეფ.                                                                                                                                                  | a      | b      | c     | d      | e     | f      | g      | h     | i              | j     |      |
|                                                                                                                                                        | -2.081 | -0.014 | 1.104 | 3.24   | 2.391 | 0.0545 | -19.03 | 1.043 | 0.0885         | -1456 |      |
| წილი Range – ს ფარგლებში, %                                                                                                                            |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
|                                                                                                                                                        | 62.3   | 0.5    | 20.6  | 23.2   | 86.8  | 25.5   | 10.5   | 2.0   | 4.2            |       |      |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში, %                                                                                                                            |        |        |       |        |       |        |        |       |                |       |      |
|                                                                                                                                                        | 27.2   | 0.2    | 8.8   | 8.5    | 36.7  | 10.7   | 5.0    | 1.1   | 2.0            |       |      |



ცხრილი 5.7

A – ს და H – ს და სხვა პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები.  
SOC(14-16)–ი 30-ზე მეტია, 169 ერთეული, 2009-2010 წწ.

| პარამ.                                                                                                                                                                     | T     | U     | P     | V     | O <sub>3</sub> | Rn    | N      | N(+/-) | Q     | q      | A     | H     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Max                                                                                                                                                                        | 33.3  | 78.0  | 733   | 6.8   | 79.6           | 7.3   | 7823   | 2172.0 | 0.786 | 9196   | 1169  | 191   |
| Min                                                                                                                                                                        | -3.5  | 15.3  | 712   | 0.0   | 20.7           | 0.7   | 238    | 387.0  | 0.065 | 8630   | 680   | 106   |
| Range                                                                                                                                                                      | 36.8  | 62.7  | 21    | 6.8   | 58.9           | 6.6   | 7585   | 1785.0 | 0.721 | 566    | 489   | 85    |
| Average                                                                                                                                                                    | 20.2  | 37.8  | 723   | 1.4   | 39.8           | 2.8   | 2020   | 915.3  | 0.508 | 8990   | 924.8 | 144.6 |
| St Dev                                                                                                                                                                     | 8.7   | 11.4  | 3.6   | 1.4   | 12.9           | 1.2   | 1506   | 275.4  | 0.176 | 130    | 119.7 | 17.5  |
| კორელაციის კოეფიციენტი (R min = 0.15, α = 0.05)                                                                                                                            |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
| A                                                                                                                                                                          | -0.43 | 0.20  | 0.00  | -0.07 | 0.22           | -0.05 | 0.16   | 0.07   | -0.34 | -0.63  | 1     | 0.58  |
| H                                                                                                                                                                          | -0.11 | 0.12  | -0.18 | -0.13 | 0.21           | -0.09 | -0.06  | -0.19  | -0.06 | -0.18  | 0.58  | 1     |
| განტოლება                                                                                                                                                                  |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
| $A = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot O_3 + f \cdot Rn + g \cdot N + h \cdot N(+/-) + i \cdot Q + j \cdot q + k$ ( $R^2=0.617$ ; $\alpha = 0.01$ )  |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
| კოეფ.                                                                                                                                                                      | a     | b     | c     | d     | e              | f     | g      | h      | i     | j      | k     |       |
|                                                                                                                                                                            | -7.14 | 1.935 | -9.63 | -12.1 | 1.883          | 4.95  | 0.0063 | -0.038 | 16.19 | -0.452 | 11965 |       |
| წილი Range – ს ფარგლებში, %                                                                                                                                                |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
|                                                                                                                                                                            | 28.4  | 13.1  | 21.9  | 8.9   | 12.0           | 3.5   | 5.2    | 7.4    | 1.3   | 27.7   |       |       |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში, %                                                                                                                                                |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
|                                                                                                                                                                            | 13.4  | 4.8   | 7.5   | 3.6   | 5.3            | 1.3   | 2.1    | 2.3    | 0.6   | 12.7   |       |       |
| განტოლება                                                                                                                                                                  |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
| $H = a \cdot T + b \cdot U + c \cdot P + d \cdot V + e \cdot O_3 + f \cdot Rn + g \cdot N + h \cdot N(+/-) + i \cdot Q + j \cdot q + k$ , ( $R^2=0.28$ ; $\alpha = 0.01$ ) |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
| კოეფ.                                                                                                                                                                      | a     | b     | c     | d     | e              | f     | g      | h      | i     | j      | k     |       |
|                                                                                                                                                                            | -0.69 | 0.292 | -1.58 | -2.24 | 0.388          | -0.66 | -0.001 | -0.018 | 5.033 | -0.015 | 1436  |       |
| წილი Range – ს ფარგლებში, %                                                                                                                                                |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
|                                                                                                                                                                            | 17.6  | 12.7  | 23.0  | 10.5  | 15.8           | 3.0   | 5.0    | 22.6   | 2.5   | 6.0    |       |       |
| წილი St Dev –ს ფარგლებში, %                                                                                                                                                |       |       |       |       |                |       |        |        |       |        |       |       |
|                                                                                                                                                                            | 8.3   | 4.6   | 7.9   | 4.2   | 6.9            | 1.1   | 2.0    | 7.0    | 1.2   | 2.8    |       |       |



ამ ცხრილებში წარმოდგენილია **M**-ის, **A**-ს, **Sb**-ის, **H**-ის, **SOC(14-16)**-ის და სხვა პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები 1980-1992 წწ. და 2009-2010 წწ. აქვე მოყვანილია **M** - ის, **A**-ს, **Sb**-ის და **H**-ის **SOC(14-16)**-თან და სხვა პარამეტრებთან მრავალმხრივი წრფივი რეგრესიული განტოლებების კოეფიციენტების სიდიდეები. შეფასებულია **SOC(14-16)**-ის და ყველა სხვა გამოსაკვლევი პარამეტრების წილი **M** - ის, **A**-ს, **Sb**-ის და **H**-ის ვარიაციებში (ცხრილები 5.5-5.8, ნახ. 5.4-5.7).

როგორც ცხრილი 5.5-დან ჩანს **M**-ს გააჩნია უარყოფითი კორელაციური კავშირი ყველა პარამეტრთან, **SOC(14-16)**-ის და **P**-ს გარდა (სხვადასხვა ნიშნადობის დონით). **M** - ის ვარიაციები დაკავშირებულია **U**-ს და **P**-ს გარდა ყველა გამოსაკვლევი პარამეტრების ვარიაციებთან (წილი **Range**- ს ფარგლებში 10 %-ზე მეტია). ამ შემთხვევაში **M** - ის ვარიაციებში ოზონის ვარიაციების წილი შეადგენს 17.1 %, **Vis**-ის – 15.2 % (ორივე პარამეტრი დაკავშირებულია ჰაერის დაჭუჭყიანებასთან). **M** - ის ყველაზე დიდი

ვარიაციები დაკავშირებულია **T**-ს (57.5%) და **q**-ს (33.5 %) ვარიაციებთან (ნახ. 5.4). ანუ, ქ. თბილისის პირობებში სმოგური სიტუაციის დროს მოსახლეობის სიკვდილიანობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადების გამო ბუნებრივი ფაქტორებიდან ყველაზე მეტად დაკავშირებულია ჰაერის ტემპერატურის და კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ვარიაციებთან. მიწისპირა ოზონის მაღალი კონცენტრაციები და ჰაერის აეროზოლური დაჭუჭყიანება (**Vis**, როგორც არაპირდაპირი მახასიათებელი) კიდევ უფრო ამძიმებს მდგომარეობას ადამიანის ჯანმრთელობისათვის.

ცხრილი 5.6-დან ჩანს, რომ 1987 წ. **A** - ს ვარიაციები ძირითადად დაკავშირებული იყო (წილი **Range**– ს ფარგლებში 10 %-ზე მეტია) **T** – ს (24.6 %), **EET** – ის (21.3), **q** - ს (26.5 %) ვარიაციებთან. **SOC(14-16)**–ის ვარიაციების წილი **A** - ს ვარიაციებში შეადგენდა 7.1 % (ნახ. 5.5).

**Sb** - ს ვარიაციები ძირითადად დაკავშირებულია **T** – ს (62.3 %), **P** – ს (20.6 %), **V** – ს (23.2 %), **EET** – ის (86.8 %), **q** - ს (25.5 %) და **Q** – ს (10.5 %) ვარიაციებთან.

2009-2010 წწ. **A** - ს ვარიაციები ძირითადად დაკავშირებული იყო (წილი **Range**– ს ფარგლებში 10 %-ზე მეტია) **T** – ს (28.4 %), **U** – ს (13.1 %), **P** – ს (21.9 %), **SOC(14-16)**–ის (12.0 %), და **q** - ს (27.7 %) ვარიაციებთან. **N** – ის და **N(+/-)** - ის ვარიაციების წილი **A** - ს ვარიაციებში შესაბამისად შეადგენდა 5.2 % და 7.4 % (ცხრილი 5.7, ნახ. 5.6).

**H** - ის ვარიაციები ძირითადად დაკავშირებულია **T** – ს (17.6 %), **U** – ს (12.7 %), **P** – ს (23.0 %), **V** – ს (10.5 %), **SOC(14-16)** – ის (15.8 %), და **N(+/-)** - ის (22.6 %) ვარიაციებთან. **N** – ის და **q** – ს ვარიაციების წილი **H** - ის ვარიაციებში შესაბამისად შეადგენდა 5.0 % და 6.0 % (ცხრილი 5.7, ნახ. 5.7).

ცხრილი 5.8

**A**–ის და **H**–ის დამოკიდებულება **SOC(14-16)**–თან ქ. თბილისში 2009-2010 წწ.

| პარამეტრი | SOC(14-16)           |       |       |       |       |
|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
|           |                      | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-96 |
| <b>A</b>  | Average              | 882   | 928   | 934   | 965   |
|           | <b>σ<sub>m</sub></b> | 21    | 22    | 22    | 14    |
| <b>H</b>  | Average              | 140   | 146   | 151   | 148   |
|           | <b>σ<sub>m</sub></b> | 2     | 3     | 4     | 2     |

ცხრილი 5.8–ში წარმოდგენილია მონაცემები სასწრაფო სამედიცინო დახმარების დღიური გამოძახების საერთო რაოდენობის და სასწრაფო სამედიცინო დახმარების საშუალებით ჩატარებული დღიური ჰოსპიტალიზაციის რაოდენობის დამოკიდებულებაზე **SOC(14-16)**–თან. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზრდა 31-40 მკგ/მ<sup>3</sup>–დან 61-96 მკგ/მ<sup>3</sup>–მდე სმოგურ დღეებში საშუალოდ ზრდის **A** – ს 9.4 %-ით. **H** – ის ცვლილება უმნიშვნელოა.

რაც შეეხება ატმოსფეროში სუბმიკრონული აეროზოლების და მსუბუქი იონების შემცველობის ზემოქმედებას ადამიანის ჯანმრთელობაზე, აქ სურათი შემდეგნაირია.

მსუბუქი იონებია 600 სმ<sup>3</sup>–ზე ნაკლები საშუალო დღიური ჯამური კონცენტრაციისას ჰოსპიტალიზაციის შემთხვევები შეადგენდა 157–ს დღეში, 601–დან 1000–მდე სმ<sup>3</sup>–ში კონცენტრაციისას – 144, 1000 სმ<sup>3</sup>–ში და მეტი კონცენტრაციისას – 142.

ანუ, ჰაერის დაბინძურების ზრდა ( $N(+/-)$  ნაკლებია 600 სმ<sup>3</sup>-ში) იწვევს ჰოსპიტალიზაციის რაოდენობის ზრდას 10%-ით.

სუბმიკრონული აეროზოლების 1000 სმ<sup>3</sup>-ში ნაკლები საშუალო დღიური კონცენტრაციისას სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახების რიცხვი შეადგენდა 862, ხოლო ჰოსპიტალიზაციების რიცხვი – 144. 1000 სმ<sup>3</sup>-ში და მეტი კონცენტრაციისას (7823 სმ<sup>3</sup>-დე)  $A = 953$ , და  $H = 146$ . ანუ, ჰაერის დაბინძურება სუბმიკრონული აეროზოლებით 1000 სმ<sup>3</sup>-ზე მეტი რაოდენობით იწვევს  $A$  – ს ზრდას 11 %-ით. მიწისპირა ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაცია ამ დღეებში 30 მკგ/მ<sup>3</sup>-ზე მეტი იყო.

მთლიანობაში სმოგური სიტუაციების დღეებში ჰაერის ოზონით და ოზონწარმოქმნელი გაზებით და აეროზოლებით დაბინძურებასთან ერთად ადამიანის ჯანმრთელობაზე თბილისის პირობებში (განსაკუთრებით გულსისხლძარღვთა სისტემით დაავადებულებზე) მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ისეთი ბუნებრივი ფაქტორების ვარიაციები, როგორებიცაა ჰაერის თერმული რეჟიმი ( $T$ ,  $EET$ ), ატმოსფერული წნევა, გალაქტიკური კოსმოსური სხივები (ძირითადად როგორც გეომაგნიტური მდგომარეობის ინდიკატორი, თუმცა  $q$ , როგორც გაირკვა, მონაწილეობს მეორადი აეროზოლების წარმოქმნაში).

მნიშვნელოვანია აღვნიშნოთ, რომ ბოლო წლებში გასული საუკუნის ოთხმოციან წლებთან შედარებით, ქ. თბილისის მოსახლეობა უფრო მგრძნობიარე გახდა ჰაერის დაბინძურების მიმართ (ადამიანის ჯანმრთელობაზე ნეგატიური ეფექტები და ლეტალური შედეგების შემთხვევები გვხვდება მიწისპირა ოზონის უფრო დაბალი კონცენტრაციის დროს). ამის მიზეზი შეიძლება რამდენიმე იყოს. მათ შორის მთავარი ჩვენი აზრით შემდეგია:

1. მოსახლეობის დიდი ნაწილის არახელსაყრელი სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობა.
2. მასობრივი სამედიცინო მომსახურების და ადამიანის დაავადებათა პრევენციის არასაკმარისობა (სამედიცინო დაზღვევის, მასობრივი რეგულარული დასვენების და ფიზიკური ძალების და ემოციონალური გადატვირთვების აღსადგენი ადგილების ხელმისაწვდომობა და სხვა).
3. მოსახლეობის დაბერება, რის გამოც ის გახდა უფრო მოწყვლადი გარემოს ზემოქმედებისადმი, მათ შორის ატმოსფეროს დაბინძურებისადმი, მიუხედავად იმისა, რომ ჰაერის ხარისხი ამჟამად დიდად არ განსხვავდება 20-30 წლის წინ არსებული მდგომარეობისაგან (2005-2009 წწ.-ში 1980-1992 წწ.-თან შედარებით საქართველოს მოსახლეობის რაოდენობა 65-თი და მეტი წლის ასაკით გაიზარდა 5.4%-ით, 14-დან 65-მდე ასაკისა – 2.1%-ით, მაშინ როდესაც 14-მდე ასაკისა შესაბამისად შემცირდა 7.5%-ით [243]).
4. ადამიანის ჯანმრთელობისათვის არახელსაყრელი ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური სიტუაციების შესახებ საკმარისი რეგულარული ინფორმაციის და შესაბამისი რეკომენდაციების არარსებობა ასეთ შემთხვევებში მოსახლეობის საჭირო ქმედებისათვის მოსალოდნელი უარყოფითი შედეგების შესამცირებლად.

## **თავი 6 ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზეგავლენისაგან აქტიური და პასიური დაცვის შესაძლო საშუალებები**

პირველ თავში აღწერილი იყო სხვადასხვა ქვეყნებში მოქმედი მთელი რიგი ეკოლოგიური პროგრამებისა, რომლებიც მიმართულია სმოგისა და ოზონის მოსახლეობაზე მავნე ზემოქმედების შესამცირებლად. ეს პროგრამები ძირითადად მიმართულია: 1. მოსახლეობის მასობრივი ინფორმაციის საშუალებებით სმოგისა და ოზონის საშიში დონეების შესახებ მათი შეტყობინებისაკენ და სათანადო რეკომენდაციების გასაცემად; 2. ეკონომიკური ღონისძიებების გატარებისაკენ, რომლებიც აიძულებს ანტროპოგენური დაბინძურების ძირითად წყაროებს შეამცირონ ატმოსფეროში მავნე გამონაბოლქვი; 3. ოზონზე და სმოგზე აქტიური ზემოქმედების ეფექტური საშუალებების შემუშავებისაკენ.

საქართველოში პირველი მიმართულებით ჯერჯერობით პრაქტიკული სამუშაოები არ მიმდინარეობს. მეორე მიმართულება ტრივიალურია და დამოკიდებულია ქვეყნის ეკონომიკურ სიძლიერეზე და ჩვენს პირობებში ამჟამად არარეალურია, თუმცა ქალაქის ხელმძღვანელობა შესაძლებლობის ფარგლებში აუქმობს ქალაქის სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურას, ოპტიმიზაციას უკეთებს სატრანსპორტო ნაკადებს, შემოყავს ახალი მუნიციპალური ავტოტრანსპორტის საშუალებები, აპირებს თხევადი ნახშირწყალბადების მოხმარების წილის შემცირებისკენ მიმართული ღონისძიებების გატარებას და სხვა [53, 106].

რაც შეეხება მესამე მიმართულებას, ამ მხრივ პრაქტიკული ღონისძიებები არ ტარდება, თუმცა წიგნის ავტორებმა, რომლებსაც აქვთ დიდი გამოცდილება ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების საქმეში, დასახეს და შეასრულეს ფოტოქიმიური სმოგის ერთერთ ძირითად შემადგენელზე – ოზონზე წყლის წვრილწვეთოვანი წარმონაქმნით ზემოქმედების ექსპერიმენტული მოდელირება. მიღებული შედეგების რეალურ პირობებში გამოცდის შემდეგ დადებითი ეფექტის მიღების შემთხვევაში ეს შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც მეთოდისა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის შესამცირებლად.

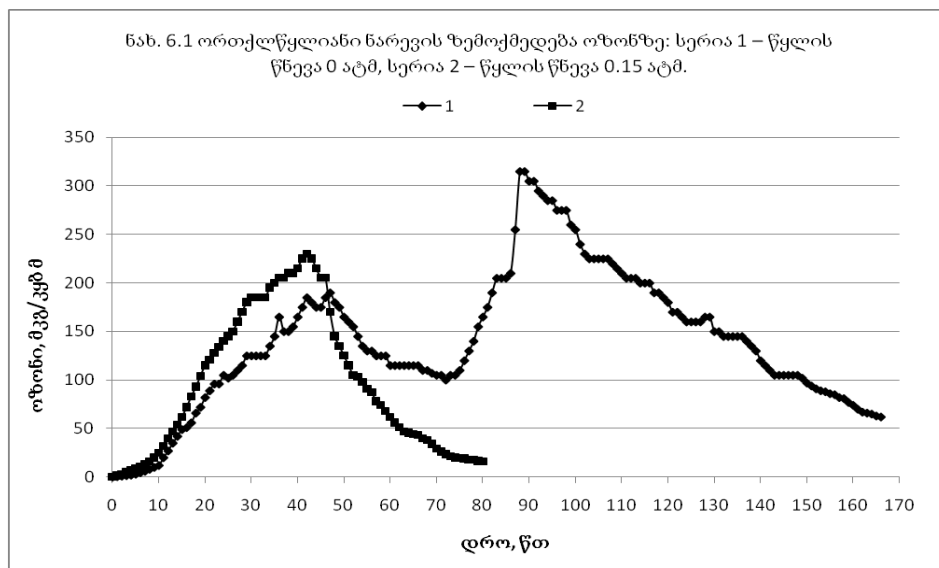
ქვემოთ მოყვანილია ჭარბ ოზონზე აქტიური ზემოქმედების ლაბორატორიული ექსპერიმენტების შედეგები და აგრეთვე ჩვენი მოსაზრებები ქალაქში იმ ღონისძიებების ჩასატარებლად, რომლებიც მიმართულია მოსახლეობისათვის საარსებო გარემოს გაუმჯობესებისათვის.

### **6.1 მიწისპირა ოზონზე სხვადასხვა ნაირსახეობის წყლის წვრილწვეთოვანი წარმონაქმნით ზემოქმედების ლაბორატორიული მოდელირება**

ოზონის მაღალი კონცენტრაციის შემცირების მიზნით დაგეგმილი და განხორციელებული იყო რიგი ექსპერიმენტებისა (შესაბამისი მეთოდისა განხილულია მეორე თავში). ზოგადად ცნობილია, რომ მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია მჭიდროდ

არის დაკავშირებული ჰაერში მტვერის, ბოლის ან წყლის არსებობასთან. მტვერი და ბოლი თავიდანვე გამოვრიცხეთ ეკოლოგიური თვალსაზრისით, თუმცა ადრე ჩატარებული ცდების დროს გამოვლინდა მათი როლი ოზონის ხარჯვის, ე.ი. ოზონის კონცენტრაციის შემცირების საკითხში. ჩვენ შევაჩერეთ ყურადღება წყალზე და მის ნაირსახეობებზე. ეს არის განპირობებული მისი უვნებლობით, ხელმისაწვდომობით, სიიფით და დამუშავებული ტექნოლოგიით. ცდებში გამოვიყენეთ როგორც წყლის ორთქლი, ასევე წყლის რამდენიმე ნაირსახეობა: ონკანის, გამოხდილი, რამდენიმე წყაროს, ზღვის და აგრეთვე მოდიფიცირებული – მჟავე და ტუტე რეაქციის მქონე წყლები. ვინაიდან ოზონზე ზემოქმედებისას მთავარი პირობა უსაფრთხოებაა, ყველა შემთხვევაში რეაგენტის გაფრქვევის სიმაღლე არჩეული იყო ისეთი, რომ სითხე ადამიანის სიმაღლეზე ჩამოსვლისას ადამიანისთვის ყველანაირად უვნებელი იყოს. ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან ავარჩიეთ თითო, თავისი სერიისთვის დამახასიათებელი ცდა.

ცდები დავიწყეთ ორქლნარევი ონკანის წყლით. განვიხილეთ ორი შემთხვევა, როდესაც წყლის წნევა 0 ატმოსფეროა (წყლის ავზი საქშენის დონეზეა განლაგებული) და როდესაც წნევა 0.15 ატმოსფეროა, ე.ი. ორთქლწყლიან ნარევი წყლის წილი გაცილებით მეტია.



პირველ სერიაში ოზონის კონცენტრაციის მკვეთრმა ვარდნამ გვაიძულა განმეორებით ჩაგვერთო ულტრაიისფერი გამოსხივების წყაროები, რამაც გამოიწვია მოცულობის ზედა ნაწილში ოზონის რაოდენობის მკვეთრი არაკონტროლირებადი ზრდა და შესაბამისად – დაშლის დიდი დრო. ეს იყო გამოწვეული ზედმეტი აეროზოლების ჟანგვაზე ოზონის გარკვეული რაოდენობის გახარჯვით. პირველ სერიებში, ისევე, როგორც დისკური მფრქვევანას შემთხვევაში, პირველ შემთხვევას მოყვა ოზონის კონცენტრაციის ჯერ მკვეთრი ზრდა (თუმცა, გაცილებით ნაკლები სიჩქარით და ამპლიტუდით) და შემდგომ – ვარდნა. პირველ შემთხვევაში პირველ შემთხვევას მოჰყვა ორი წუთის განმავლობაში ოზონის კონცენტრაციის 105 მკგ/მ<sup>3</sup>-ით მომატება, ხოლო ძველ დონემდე დაკლებას – 24 წუთი და კიდევ ორი ნარევის შემთხვევა. ნარევის შემთხვევის შედეგად კონცენტრაციის მომატების მაქსიმალური სიჩქარე იყო 60 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ, ხოლო კლების ტემპი არ აღემატებოდა 15 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ. სულ პირველ შემთხვევაში განხორციელდა 7 შემთხვევა 10



წუთიანი ინტერვალით. მეორე შემთხვევაში ნარევის შეშვების შედეგად კონცენტრაციის მომატებას ადგილი არ ჰქონია, ხოლო კლების მაქსიმალური სიჩქარე იყო 35 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ; სულ განხორციელდა 3 შეშვება 10 წუთიანი ინტერვალით. შედარებამ გვიჩვენა, რომ ოზონის კონცენტრაციის 205 მკგ/მ<sup>3</sup>-დან 65 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე დაკლებას (ე.ი. 140 ერთეულით) დასჭირდა: პირველ შემთხვევაში 53 წუთი, ხოლო მეორე შემთხვევაში – 16 წუთზე ნაკლები. გრაფიკულად ეს ყველაფერი კარგად ჩანს ნახ. 6.1-ზე.

დასკვნა: ორთქლწყლიანი ნარევის გამოყენება იძლევა გარკვეულ ეფექტს ოზონის კონცენტრაციის შემცირების თვალსაზრისით. ეფექტი იზრდება ნარევი ონკანის წყლის წილის გაზრდისას. ნარევი სხვადასხვა მარილიანობის უსაფრთხო წყლის გამოყენებამ შესაძლოა აამაღლოს ამ მეთოდის ეფექტურობა.

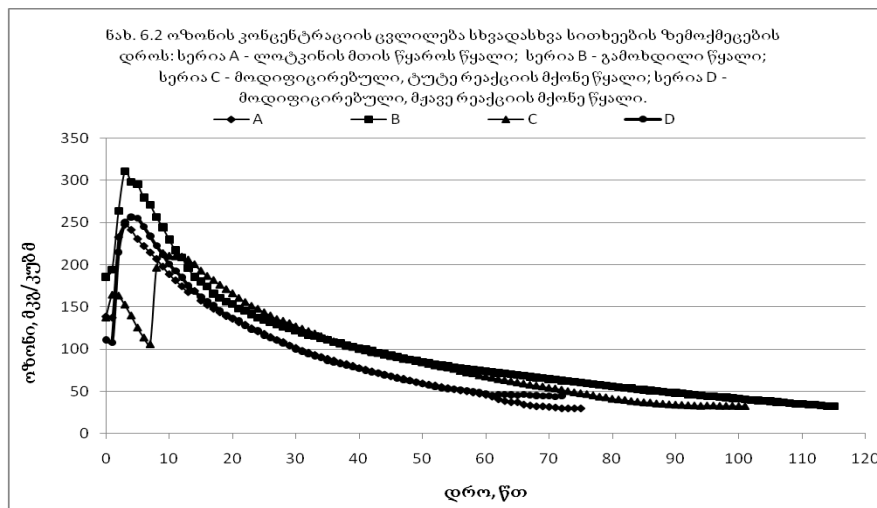
ოზონზე ზემოქმედების ეფექტის გამოსავლენად შემდეგი ცდები ჩატარდა მხოლოდ სითხეების გამოყენებით. ცდების შედეგების შედარებისთვის ყველა შემთხვევაში დავიცავით ერთიდაიგივე პირობები: მოცულობაში წყლის აეროზოლის შესაქმნელად გამოვიყენეთ 118 მმ დიამეტრის ლამბაქისებრი წყლის აბკის გამყოფი პროფილის მქონე პლასტმასის დისკური მფრქვევანა და 116.8 მმ დიამეტრის ლამბაქისებრი მრგვალი ნახვრეტებით და წყლის აბკის გამყოფი პროფილის მქონე პლასტმასის დისკური მფრქვევანა, ძრავა – ДП-104-90-10-Y1-M6 ტიპის მუდმივი დენის 27 ვოლტიანი 10000 ბრუნიანი. მეტი თვალსაზრისითაც არ განვიხილავთ ცდების საწყის ეტაპს – ქვემოთ განხილულ ექსპერიმენტებში საწყის წერტილად მიღებულია ზემოქმედების დაწყების, ე.ი. სითხის შეშვების მომენტი.

ექსპერიმენტები ჩატარდა რამდენიმე სახის სითხეზე, სხვადასხვა რეჟიმზე:

- A) ლოტკინის წყაროს წყალი, 118 მმ მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 20 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 71.4 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 138.8 მკგ/მ<sup>3</sup>.
- B) გამოხდილი წყალი, 118 მმ მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 25 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 16.5 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 185.65 მკგ/მ<sup>3</sup>.
- C) მოდიფიცირებული, ტუტე რეაქციის მქონე წყალი, 118 მმ მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 25 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 83 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 137.4 მკგ/მ<sup>3</sup>.
- D) მოდიფიცირებული, მჟავე რეაქციის მქონე წყალი, 116.88 მმ მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 21.8 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 75.5 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 111.04 მკგ/მ<sup>3</sup>.
- E) ონკანის წყალი, 116.88 მმ დიამეტრის მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 22.4 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 43.5 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 34.3 მკგ/მ<sup>3</sup>.
- F) ავჭალის წყაროს წყალი, 116.88 მმ დიამეტრის მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 22.4 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 65.8 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 127.1 მკგ/მ<sup>3</sup>.
- G) ზღვის (ურეკი) წყალი, 116.88 მმ დიამეტრის მფრქვევანა, ძაბვა ძრავაზე 22.4 ვოლტი, წყლის ხარჯის საშუალო სიჩქარე – 62.5 მლ/წთ, ოზონის საწყისი კონცენტრაცია – 190.3 მკგ/მ<sup>3</sup>.

წყლის შეშვების დაწყების შემდეგ ოზონის კონცენტრაციის ზრდას მიმდების დონეზე როგორც წესი 3-4 წუთი ესაჭიროება. ეს ზრდა გამოწვეულია ალბათ წყლის წვეთებით ოზონის მოლეკულების მექანიკური მიტაცებით და მოცულობის ქვედა ფენაში გადმოტანით და აგრეთვე წვეთების აორთქლების ხარჯზე მოცულობის გაზრდებით. ოზონის კონცენტრაციის შემდგომი შემცირება განპირობებულია როგორც ოზონის ხარჯვაზე მოცულობაში შექმნილი აეროზოლური ნაწილაკების დაჟანგვისას, ასევე მისი ქვედა ფენებში გადაადგილებით. გარკვეულ როლს ამ პროცესებში ასრულებს, როგორც ჩანს, მფრქვევანაც. როგორც წესი, მფრქვევანას ძრავი მუშაობს მხოლოდ წყლის მიწოდების დროს. ერთ-ერთ ექსპერიმენტის დროს ძრავა გამოვრთეთ დიდი დაგვიანებით. აღმოჩნდა, რომ ძრავის უწყლოდ მუშაობის დროს კონცენტრაციის კლების სიჩქარე შეადგენდა საშუალოდ 0.75 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ, მაშინ როდესაც გამორთული ძრავის პირობებში იგი არ აღემატებოდა 0.11 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ. უფრო ზუსტი ინფორმაციის მისაღებად ოზონომეტრის ანალოგური გამოსასვლელი მივუერთეთ ციფრულ მიკროამპერმეტრს, რამაც საგრძნობლად გაზარდა ანათვლების აღების სიზუსტე (ამ შემთხვევაში 1 მკა შეესაბამებოდა 0.347 მკგ/მ<sup>3</sup>). მატების სიჩქარემ მიაღწია 129.8 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ (სერია A), ხოლო მინიმალური - 3.125 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ (სერია D). ცდების დროს დაფიქსირებული კონცენტრაციის კლების სიჩქარემ მიაღწია 15.97 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ (სერია B), ხოლო მინიმალური 1 საათის განმავლობაში - 0 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ (სერია A).

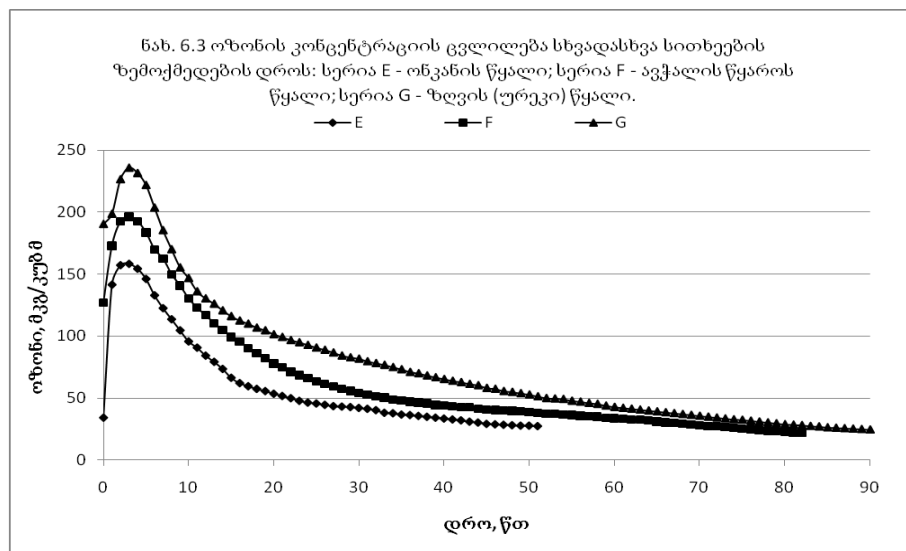
საშუალო წუთობრივი მონაცემებიდან გამომდინარე, ოზონის კონცენტრაციის როგორც ზრდის, ასევე კლების სიჩქარე ყველაზე მაღალია გამოხდილი წყლის შემთხვევაში, თუმცა როგორც წყლის საერთო ხარჯი, ასევე მისი სიჩქარე, ამ შემთხვევაში გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე დანარჩენებში.



ულტრაიისფერი დასხივების დრო ყველა შემთხვევაში ერთნაირი იყო და შეადგენდა 100 წუთს. დროის ინტერვალი დასხივების დამთავრებიდან გაფრქვევის დაწყებამდე შეადგენდა 7 წუთს, რადგანაც დროის ამ მონაკვეთში ხდებოდა მოცულობაში და მის მახლობლად, ე.ი. დიდი საღრუბლო კამერის შიგნით ტემპერატურის, ტენიანობის და დადებითი და უარყოფითი მსუბუქი აეროიონების კონცენტრაციების განსაზღვრა. ოზონის საწყის კონცენტრაციებს შორის განსხვავება შეიძლება განპირობებული იყოს მოცულობის კედლების და ფსკერის დაბინძურებით წინა ცდის შედეგად გაფრქვეული

სითხის წვეთების აორთქლების შემდეგ დარჩენილი წყალში გახსნილი ნივთიერებებით და კონდენსაციის ბირთვებით.

ულტრაიისფერი გამოსხივების შედეგად მიღებული ოზონის გარკვეული, ჩვენთვის უცნობი რაოდენობა იხარჯება ამ მყარი აეროზოლების ჟანგვაზე. დაკარგული ოზონის რაოდენობის განსაზღვრა გაძნელებულია ერთდროულად მოქმედი რამდენიმე ფაქტორის გამო – კედლების და ფსკერის ელექტრიზაცია, ყოველი ექსპერიმენტის შემდეგ დარჩენილი მყარი აეროზოლების ერთიმეორეზე დაფენვის არაერთგვაროვნება, კამერაში არსებული ტემპერატურის და ტენიანობის განსხვავებული მნიშვნელობები და ა.შ. ცდამ გვიჩვენა, რომ მოცულობის სრული, რამდენიმე დღიანი გაშრობაც კი სასურველ, პროგნოზირებად შედეგს არ იძლევა. ეს იქნებოდა შესაძლებელი მხოლოდ ყოველ ცდაზე ერთიდაიგივე პარტიის მასალისაგან ახალი მოცულობის შექმნის შემთხვევაში, რაც ჩვენს პირობებში არარეალურია. ყველა ექსპერიმენტის დროს ვეცადეთ მიგვეღწია ოზონის რაც შეიძლება დაბალი კონცენტრაციისათვის, რომელიც ზღვრულ დასაშვებ დონეზე – 30 მკგ/მ<sup>3</sup> დაბალი უნდა ყოფილიყო.



ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაცია შეადგენდა შესაბამისად: **E** - 158.2 მკგ/მ<sup>3</sup>, **F** - 196.4 მკგ/მ<sup>3</sup>, **G** - 235.7 მკგ/მ<sup>3</sup>.

კონცენტრაციის ორჯერ შემცირებას დასჭირდა შესაბამისად: **E** – 11 წუთი ე.ი შემცირების სიჩქარე დაახლოებით 6.94 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ-ში; **F** – დაახლოებით 12 წუთი, ე.ი შემცირების სიჩქარე დაახლოებით 7.6 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ-ში; **G** - დაახლოებით 11 წუთი, ე.ი შემცირების სიჩქარე დაახლოებით 10.41 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ-ში.

კონცენტრაციის 100 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე შემცირებას დასჭირდა შესაბამისად: **E** – 35 წუთი, ე.ი შემცირების სიჩქარე დაახლოებით 3.4 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ-ში; **F** – 53 წუთი, ე.ი შემცირების სიჩქარე დაახლოებით 6.94 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ-ში; **G** - 67 წუთი ე.ი შემცირების სიჩქარე დაახლოებით 2.9 მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ-ში.

ოზონის კონცენტრაციის სვლის გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია ნახ. 6.3 - ზე (**E**, **F**, **G** სერიები). აქ ვერტიკალური ღერძი ოზონის კონცენტრაციაა (მკგ/მ<sup>3</sup>), ხოლო ჰორიზონტალური – დრო (თითო დანაყოფი – 1 წუთია).

გამოთვლილია ოზონის კონცენტრაციის ცვლილების სიჩქარის წუთობრივი მონაცემები, გაზომვის ერთეული - მკგ/მ³/წთ. ცდების დროს დაფიქსირებული კონცენტრაციის მატების სიჩქარემ მიაღწია 104.7 მკგ/მ³/წთ (სერია A), ცდების დროს დაფიქსირებული კონცენტრაციის კლების სიჩქარემ მიაღწია 17.7 მკგ/მ³/წთ (სერია G).

კონცენტრაციის ინტენსიური კლება (არა ნაკლებ 3.5 მკგ/მ³/წთ მიმდინარეობდა შესაბამისად: E – 12 წუთი; F – 18 წუთი; G - 13 წუთი.

ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები თვალსაჩინოებისათვის მოვათავსეთ ერთ ცხრილში (ცხრილი 6.1). მისი განხილვა გვაძლევს საშუალებას გამოვიტანოთ შემდეგი დასკვნა.

ცხრილი 6.1

ოზონის კონცენტრაციის ცვლილება სხვადასხვა სიღრმეების ზემოქმედების დროს

| პარა<br>მეტრი | ზემოქმედების რეჟიმი |        |       |        |        |        |       |        |          |
|---------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|
|               | A                   | B      | C     | D      | E      | F      | G     | 0 ატმ  | 0.15 ატმ |
|               | ლოტკინი             | გამოხდ | ტუტე  | მუავე  | ონკანი | ავჭალა | ზღვა  | ორთქლი | ორთქლი   |
| I             | 247.1               | 310.9  | 213.8 | 256.8  | 158.2  | 196.4  | 235.6 | 315    | 230      |
| II            | 20                  | 16     | 28    | 18     | 10     | 12     | 11    | 41     | 9        |
| III           | 35                  | 36     | 49    | 31     | 17     | 21     | 29    | 54     | 15       |
| IV            | 45                  | 53     | 61    | 38     | 30     | 30     | 41    | 70     | 19       |
| V             | 6.2                 | 9.82   | 3.82  | 7.1    | 7.9    | 8.2    | 10.7  | 3.8    | 12.8     |
| VI            | 4.7                 | 5.7    | 2.9   | 5.5    | 5.67   | 3.1    | 2.7   | 3.9    | 10.2     |
| VII           | 1.4                 | 1.5    | 0.9   | 1.7    | 1.32   | 1.63   | 1.43  | 3.4    | 9.1      |
| VIII          | 3                   | 2.48   | 1.97  | 3.1    | 3.85   | 3.06   | 3.13  | 3.3    | 4.6      |
| IX            | 5.44                | 5.55   | 5.13  | 6      | 8.9    | 8      | 7.94  | 3.6    | 10.8     |
| X             | 1.59                | 0.92   | 1.11  | 1.31   | 2.02   | 1.346  | 1.23  | 2.3    | 4.4      |
| XI            | -95                 | -69    | -90.6 | -107.2 | -107.1 | -45.7  | -27.8 | -60    | -10.6    |
| XII           | 11.5                | 15.9   | 14.2  | 11.5   | 13.2   | 13.6   | 18.2  | 15     | 35       |

ცხრილი 6.1–ის პარამეტრები:

- I - ოზონის მაქსიმალური კონცენტრაცია (ოშკ);
- II - ოშკ-ს 50%-მდე შემცირების დრო, წთ;
- III - ოშკ-ს 33%-მდე შემცირების დრო, წთ;
- IV - ოშკ-ს 25%-მდე შემცირების დრო, წთ;
- V - ოშკ-ს 50%-მდე შემცირების სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;
- VI - ოშკ-ს 33%-მდე შემცირების სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;
- VII - ოშკ-ს 25%-მდე შემცირების სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;
- VIII - ოშკ-ს 30 მკგ/მ³-მდე შემცირების საშუალო სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;
- IX - ოშკ-ს 100 მკგ/მ³-მდე შემცირების საშუალო სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;
- X - ოზონის კონცენტრაციის (ოკ) 100-დან 30 მკგ/მ³-მდე შემცირების საშუალო სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;
- XI - ოკ ზრდის მაქსიმალური წუთობრივი სიჩქარე, მკგ/მ³/წთ;

## XII - ომკ შემცირების მაქსიმალური წუთობრივი სიჩქარე, მკგ/მ<sup>3</sup>/წთ.

განვიხილოთ მიღებული შედეგები. თუ განვიხილავთ შვიდივე წყლის ნიმუშს და ორთქლწყლის ნარევის ორ შემთხვევას, ყველაზე მაღალი ოზონის კონცენტრაცია იყო მიღწეული 0 ატმოსფეროიანი ორთქლწყლის ნარევის, ყველაზე ნაკლები – ონკანის წყლის შემთხვევაში. ზემოქმედებისას ოზონის კონცენტრაციის ზრდის ყველაზე მაღალი სიჩქარე დაიკვირვებოდა მჟავე და ონკანის წყლის, ხოლო კლება – 0.15 ატმოსფეროს ორთქლწყლის ნარევის შემთხვევაში. საწყისი კონცენტრაციის განახევრება, მესამედამდე და მეოთხედამდე დაკლების დრო ყველაზე ნაკლები იყო 0.15 ატმოსფეროს ორთქლწყლის ნარევის შემთხვევაში. ასეთივე სურათი დაიკვირვებოდა ამ პროცესების სიჩქარის მიმართ – ოზონის კონცენტრაციის კლების ყველაზე მაღალი სიჩქარე ისევ 0.15 ატმოსფეროს ორთქლწყლის ნარევს გააჩნია. ანალოგიური შედეგია მაქსიმუმიდან 30 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე (ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია), მაქსიმუმიდან 100 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე და 100-დან 30 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე ოზონის კონცენტრაციის კლების ყველაზე მაღალი სიჩქარე ისევ 0.15 ატმოსფეროს ორთქლწყლის ნარევს აქვს.

ვინაიდან ორთქლწყლის ნარევის მიღების და გამოყენების საკითხი საკმაოდ ენერგოტევადი და არც თუ უსაფრთხოა, მასობრივი გამოყენების თვალსაზრისით ბუნებრივია ყურადღება წყალზე და მის რომელიმე ნაირსახეობაზე უნდა შევაჩეროთ. როგორც ცხრილ 6.1-დან გამომდინარეობს, ზემოქმედების დაწყების შემდეგ ყველაზე მაღალი ოზონის კონცენტრაცია იყო მიღწეული გამოხდილი წყლის, ყველაზე ნაკლები – ონკანის წყლის შემთხვევაში. ზემოქმედებისას ოზონის კონცენტრაციის ზრდის ყველაზე მაღალი სიჩქარე დაიკვირვებოდა მჟავე და ონკანის წყლის, ხოლო კლება – ზღვის წყლის შემთხვევაში. საწყისი კონცენტრაციის განახევრება, მესამედამდე და მეოთხედამდე დაკლების დრო ყველაზე ნაკლები იყო ონკანის წყლის შემთხვევაში. განსხვავებული სურათი დაიკვირვებოდა ამ პროცესების სიჩქარის მიმართ – ოზონის კონცენტრაციის კლების ყველაზე მაღალი სიჩქარე ნახევრამდე – ზღვის წყალს, მესამედამდე – გამოხდილ წყალს, ხოლო მეოთხედამდე – მჟავე რეაქციის მქონე წყალს გააჩნია. მაქსიმუმიდან 30 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე (ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია), მაქსიმუმიდან 100 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე და 100-დან 30 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე ოზონის კონცენტრაციის კლების ყველაზე მაღალი საშუალო სიჩქარე აღმოაჩნდა ონკანის წყალს. როგორც ვხედავთ, სურათი საკმაოდ რთულია, მკვეთრად გამოხატული უპირატესობა არც ერთს არ გააჩნია, მაგრამ თუ მხედველობაში მივიღებთ სიიაფეს, არსებულ კომუნიკაციებს, უსაფრთხოებას და საბოლოო ეფექტს, უპირატესობა ალბათ ონკანის წყალს უნდა მიენიჭოს. ეს არის წინასწარი ლაბორატორიული ექსპერიმენტების შედეგი, თუმცა სავსე გამოცდებმა შეიძლება გარკვეული კორექტივები შეიტანოს ამ საკითხის გადაწყვეტაში.

## 6.2 რეკომენდაციები ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედების შერბილებისათვის ღონისძიებების ჩასატარებლად

ჩვენი აზრით, ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედების შემცირებისათვის უახლოეს მომავალში საჭიროა გატარდეს შემდეგი ღონისძიებები.

1. უნდა შეიქმნას ადამიანის ჯანმრთელობისათვის სმოგური სიტუაციების და სხვა ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორების ერთიანი მონიტორინგის და შეტყობინების სისტემა, რომელიც მოიცავს ამ პარამეტრებზე დაკვირვების ოპერატიულ ქსელს, მასობრივი ინფორმაციის საშუალებებს და მედიკოსების საკონსულტაციო ჯგუფს. ეს სისტემა უზრუნველყოფს მოსახლეობის როგორც დროულ შეტყობინებას, ასევე საჭირო რეკომენდაციების გავრცელებას მათ ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედების შესარბილებლად.

ამ მიმართულებით გარკვეული სამუშაოები უკვე ჩატარებულია: არსებობს სტაციონარული და მობილური ლაბორატორიები ზემოაღნიშნული პარამეტრების გასაზომად; ქ. თბილისისთვის შეფასებულია ამ პარამეტრების მოსახლეობის ჯანმრთელობისათვის საშიში დონეები; შემუშავებულია სმოგური სიტუაციების მოკლევადიანი პროგნოზირებისათვის მარტივი ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელები და სხვა. მომავალში მონიტორინგის ქსელში მუშაობის ოპერატიულ რეჟიმში შეიძლება ჩაერთოს გეოფიზიკის ინსტიტუტის დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორია (მაგნიტური ქარიშხლების დაფიქსირება) [221]. აქვე აღსანიშნავია, რომ მაგნიტური გაზომვების ისტორია საქართველოში დაახლოებით 170 წელს მოიცავს. შემდგომი განვითარებისათვის საჭიროა ქალაქის ხელმძღვანელობის ხელშეწყობით ზემოაღნიშნული ერთიანი მონიტორინგის და შეტყობინების სისტემის შესაქმნელად არსებულ დაკვირვების ქსელს დაემატოს მასობრივი ინფორმაციის და მედიკოსების ნაწილი.

2. არსებული ეკონომიკური მდგომარეობის გათვალისწინებით ნაკლებად სავარაუდოა მნიშვნელოვანი დაფინანსების ჩადება ქალაქში ეკოლოგიური სიტუაციის მკვეთრი გაუმჯობესებისათვის. ამავე დროს არის შესაძლებლობა ქალაქის ტერიტორიის ფარგლებში და მის უახლოეს შემოგარენში მოინახოს ადვილად მისადგომი ლოკალური ზონები, რომლებიც გამოირჩევიან გამაჯანსაღებელი, სარეაბილიტაციო და სამკურნალო თვისებებით.

თბილისის უნიკალურ კლიმატურ პირობებს აღნიშნავდა ჯერ კიდევ ვახუშტი ბაგრატიონი [112]. ამ ზონების კეთილმოწყობა მსხვილ კაპიტალდებანდებებს არ საჭიროებს. ამავე დროს მათი როლი მოსახლეობის მასიურ გამაჯანსაღებელ ფუნქციაში უმნიშვნელოვანესია.

მაგალითად, ჩვენს მიერ გამოვლენილი იქნა, რომ ყველასთვის კარგად ცნობილი საქართველოს ეროვნული ბოტანიკური ბაღის ტერიტორიაზე [17, 64] ჰაერში მსუბუქი იონების შემცველობა, განსაკუთრებით ხეობაში მდინარე წავკისის წყლის მახლობლად და ჩანჩქერებთან შესაბამისობაშია ჰიგიენურ დონესთან “მინიმალურად აუცილებელი” და “ოპტიმალური”. ამავე დროს ქალაქ თბილისის განაშენიანებულ უბნებში იონების შემცველობა შესაბამისობაშია დონესთან “მინიმალურად აუცილებელზე ნაკლები”. იგივე ითქმის თერმულ რეჟიმზეც – ბოტანიკური ბაღის ტერიტორიაზე ცხელ დღეებში ამ მხრივ გაცილებით უფრო ხელსაყრელი პირობებია, ვიდრე ქალაქის მჭიდროდ დასახლებულ ადგილებში [17]. ამგვარად, ჩატარებულმა კვლევებმა გამოავლინა ქალაქ თბილისის ბოტანიკური ბაღის ახალი ფუნქციები მომსვლელებისათვის: გამაჯანსაღებელი, სარეაბილიტაციო და სამკურნალო. ანუ, საქართველოს ეროვნული ბოტანიკური ბაღი – ქალაქ თბილისის რეკრეაციულ-გამაჯანსაღებელი ოაზისია. მსგავსი თვისებების მქონე ბევრი ადგილი შესაძლოა მოინახოს ქალაქშიც და მის შემოგარენშიც.

მიზანშეწონილია საქართველოს ტურისტულმა სააგენტომ და ქალაქ თბილისის მერიამ განსაკუთრებული ყურადღება მიაქციოს ამგვარი კვლევების ჩატარებას (რეკრეაციული ზონების და აგრეთვე სხვა ბიოკლიმატური მახასიათებლების შესწავლა) როგორც ბოტანიკური ბაღის ტერიტორიაზე, ასევე სხვა ცნობილ და პერსპექტიულ საკურორტო-ტურისტულ ადგილებში (განსაკუთრებით პარკებში, ტყეებში, ნაკრძალებში, მდინარეების ხეობებში, მღვიმეებში, ჩანჩქერებთან და ა.შ.), რაც საშუალებას მოგვცემს არსებითად ავამაღლოთ ქალაქის მიმზიდველობა საკურორტო-ტურისტული შესაძლებლობების მრავალფეროვნებით როგორც სტუმრებისთვის, ასევე ჩვენი ქალაქის მაცხოვრებლებისთვის.

ამავდროულად, ქალაქ თბილისის ჰაერის გაჭუჭყიანების გამო მოსახლეობის ჯანმრთელობისთვის სერიოზული საფრთხის გათვალისწინებით, მიეცეს რეკომენდაცია ქალაქ თბილისის მერიას, სპეციალისტების ფართო წრის მონაწილეობით, დამუშავდეს მოკლევადიანი და გრძელვადიანი კომპლექსური პროგრამები ქალაქის ეკოლოგიური სიტუაციის გასაუმჯობესებლად; მოსახლეობის უმრავლესობისთვის (განსაკუთრებით ხანდაზმულთათვის და ბავშვებისათვის) ხელმისაწვდომ რეკრეაციულ-სამკურნალო ზონების ინფრასტრუქტურის განვითარებისთვის როგორც ქალაქში, ასევე მის შემოგარენში; ხელმისაწვდომი სამედიცინო მომსახურების სრულყოფისათვის.

3. ჰარბ ოზონზე წყლის წვრილწვეთოვანი წარმონაქმნით ზემოქმედების ექსპერიმენტული მოდელირებისას მიღებული შედეგების რეალურ პირობებში გამოცდის შემდეგ დადებითი ეფექტის დაფიქსირების შემთხვევაში ეს შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც მეთოდიკა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის შესამცირებლად ქალაქის ზოგიერთ განსაკუთრებით დაბინძურებულ და ხალხმრავალ ადგილებში. დისკური მფრქვევანების წარმადობა საათში ათეულ მილილიტრიდან ათეულ ლიტრამდე მერყეობს, წვეთების ზომების სპექტრი დამოკიდებულია წარმადობაზე და შეიძლება მერყეობდეს 2–დან 100 მიკრონამდე. წყლის წვრილდისპერსული აეროზოლი, გაფრქვეული 5–6 მ სიმაღლეზე, იქნება გარკვეული დროით შეწონილი ჰაერში, მოხდება ოზონის კონცენტრაციის შემცირება, მტვრის მიტაცება, ჰაერის ტემპერატურის რამდენიმე გრადუსით დაკლება, რაც უთუოდ უფრო კომფორტულს გახდის სმოგის დროს ადამიანების გარეთ ყოფნას. გარდა ამისა აღსანიშნავია, რომ ექსპერიმენტალური სამუშაოების დროს გამოყენებული წყლის მფრქვევანები არიან ადამიანის ჯანმრთელობისათვის სასარგებლო მსუბუქი იონების (ძირითადად უარყოფითი) წყარო. ანუ, ამდაგვარი ჰაერის ხელოვნური იონიზატორები შეიძლება განლაგებულ იქნას ქალაქის სარეკრეაციო-სამკურნალო ადგილებში იონოთერაპიის ჩასატარებლად. ეს ალბათ საკმაოდ რეალური ახლო მომავალია, ჯერ კი ალბათ საჭიროა რეალურთან მიახლოებული საველე ექსპერიმენტების ჩატარება, რათა დადასტურდეს ლაბორატორიული ცდების შედეგები.

4. მიზანშეწონილია ჩვენს მიერ დაგროვილი ცოდნა ქ. თბილისის ეკოლოგიური მდგომარეობის, განსაკუთრებით ფოტოქიმიური სმოგის და ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საშიში ზოგიერთი ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორების შესახებ გავრცელებული იქნას მისახლეობის ფართო ფენებში, აგრეთვე სასწავლო, სამთავრობო, არასამთავრობო და სხვა ირგანიზაციებში არსებული პრობლემის გასაცნობიერებლად.

## დასკვნა

პირველად იქნა ჩატარებული ფართომასშტაბური ექსპერიმენტული სამუშაოები ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნისა და მათი მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე ნეგატიური ზემოქმედების შესასწავლად ქ. თბილისში.

ფოტოქიმიური სმოგის წარმომქმნელი და მისი თანამდევი ატმოსფერული პარამეტრების მონიტორინგი წარმოებდა როგორც ორ სტაციონარულ ბაზაზე მუდმივი გაზომვის რეჟიმში, ასევე ეპიზოდური სამარშრუტო გაზომვების რეჟიმშიც ქალაქის სხვადასხვა რაიონის 20 პუნქტში (ჰაერში ოზონის, სუბმიკრონული აეროზოლების, რადონის, მსუბუქი იონების შემცველობა; მზის რადიაციის ინტენსივობა, ხილვადობა, ღრუბლიანობა, ტემპერატურა, ტენიანობა, ქარი, წნევა; ნიადაგის გამა-რადიაცია; გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობა). ამის გარდა ლაბორატორიულ პირობებში წარმოებდა მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და მასზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდის დამუშავება მისი კონცენტრაციის შემცირების მიზნით.

მიღებულია შემდეგი ძირითადი შედეგები.

წარმოდგენილია ყველა გაზომილი პარამეტრის მნიშვნელობების ზოგადი სტატისტიკური ანალიზი ამინდის პირობების გათვალისწინებლად. კერძოდ, 2009-2011 წწ. მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია იცვლებოდა 0-დან 166 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე, მსუბუქი აეროიონების ჯამური კონცენტრაცია – 215-დან 3397 სმ<sup>3</sup>-მდე, ჰაერში რადონის შემცველობა – 0.4-დან 19.6 ბკ/მ<sup>3</sup>-მდე, სუბმიკრონული აეროზოლების კონცენტრაცია – 110-დან 95480 სმ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში.

შესწავლილია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, მზის რადიაციის, ხილვადობის და ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის ცვალებადობა თბილისში ბოლო 30 წლის განმავლობაში. მაგალითად, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია 1984-2011 წწ. იცვლებოდა მეოთხე ხარისხის პოლინომის სახით. ზოგადად 1984-დან 1997-1998 წლების პერიოდში დაიკვირვებოდა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზრდა, შემდგომ – კლება 2006-2007 წლებამდე და 2008-2011 წლების პერიოდში – კვლავ ზრდა. მზის პირდაპირი და ჯამური რადიაციის ინტენსივობა 2010-2011 წწ. პრაქტიკულად არ განსხვავდება 1980-1992 წწ. დაკვირვებულ მონაცემებისაგან. ხილვადობის და ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის მნიშვნელობები მიუთითებენ იმაზე, რომ ბოლო წლებში თბილისში ატმოსფეროს აეროზოლური დაჭუჭყიანება არის ოდნავ ნაკლები, ვიდრე 1980-1992 წწ.

შესწავლილია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციისა და სხვა პარამეტრებს შორის ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები.

გამოვლენილია რადიონუკლიდური გამოსხივების ეფექტების თავისებურებები ქალაქის პირობებში მეორადი აეროზოლების წარმოქმნაში (თბილისური ტიპის სმოგი). თბილისის პირობებში იონიზაციით ატმოსფეროს აეროზოლური დაჭუჭყიანების ინტენსიფიკაცია იმდენად ძლიერია, რომ ამას აგრეთვე ჰაერის ხარისხის გაუვარესებისკენ მივყავართ იონური შემადგენლობის ასპექტშიც. მთლიანობაში სმოგის თბილისური ტიპი ხასიათდება რადონის შემცველობის, გამა-რადიაციის და კოსმოსური გამოსხივების ბუნებრივ პირობებში შეუძლებელი, ჰაერში მსუბუქი იონების კონცენტრაციასთან შებრუნებული კავშირით, რაც არის გამოწვეული ისეთი რაოდენობის მეორადი აეროზოლების წარმოქმნით, რომელსაც პირველად ნაწილაკებთან ერთად უნარი გააჩნია



მიიერთოს მეტი მსუბუქი იონი, ვიდრე წარმოიქმნება იონიზაციისას. სმოგის თბილისურ ტიპს შესაძლოა ჰქონდეს ადგილი აგრეთვე სხვა ძლიერ გაჭუჭყიანებულ ქალაქებსა და მათ შემოგარენში

მიღებულია ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის წარმოშობის პროცესების სხვადასხვა ატმოსფერულ პარამეტრებთან კავშირების ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელი, რის საფუძველზე დადგენილია სმოგური ოზონის წარმოქმნის პირობები წლის სხვადასხვა სეზონისათვის.

შედგენილია ოზონის, აეროზოლების, მსუბუქი იონების, რადონის და ნიადაგის გამა-გამოსხივების სივრცული განაწილების რუკები. ნაჩვენებია, რომ სტაციონარული გამზომი პუნქტის მონაცემებით შესაძლებელია ჰაერის დაჭუჭყიანების შეფასება მთლიანად ქალაქისათვის.

დამუშავებულია მიწისპირა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის ულტრამოკლევადიანი ( 2- 5 საათი) და მოკლევადიანი ( 12 საათი) პროგნოსტული სტატისტიკური მოდელები, რომელთა გამართლება 64 – 78%-ის ფარგლებშია.

გამოკვლეულია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, აგრეთვე ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და განმსაზღვრელი სხვა ატმოსფერული პარამეტრების ზემოქმედების ეფექტები ადამიანის ჯანმრთელობაზე. კერძოდ, დადგენილია, რომ ქ. თბილისის პირობებში ბოლო წლებში მიწისპირა ოზონის მაქსიმალური დღიური კონცენტრაცია 50 მკგ/მ<sup>3</sup> - ში და მეტი ძალზედ უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ეს კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად მცირეა (3-5 ჯერ) ევროპაში და ამერიკაში მიღებული მიწისპირა ოზონის მაქსიმალურად დასაშვებ სიდიდეებზე.

1984-2010 წწ. მონაცემების მიხედვით აღმოჩნდა, რომ მიწისპირა ოზონის მომატებული კონცენტრაციები (და მისი თანამდევი ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე სმოგის კომპონენტები) საშუალოდ ზრდიან საშუალო წლიურ სიკვდილიანობას ქ. თბილისის მოსახლეობაში 1680 ადამიანით. ეს შეადგენს ქალაქის მოსახლეობის საშუალო წლიური სიკვდილიანობის 14.1%-ს, რომელიც დაახლოებით 3-ჯერ მეტია იმავე პარამეტრებისათვის განვითარებულ ქვეყნებში.

დადგენილია, რომ ბოლო წლებში გასული საუკუნის ოთხმოციან წლებთან შედარებით, ქ. თბილისის მოსახლეობა უფრო მგრძნობიარე გახდა ჰაერის დაბინძურების მიმართ (ადამიანის ჯანმრთელობაზე ნეგატიური ეფექტები და ლეტალური შედეგების შემთხვევები გვხვდება მიწისპირა ოზონის უფრო დაბალი კონცენტრაციის დროს). განხილულია ამის სავარაუდო მიზეზები.

მთლიანობაში სმოგური სიტუაციების დღეებში ჰაერის ოზონით, ოზონწარმოქმნელი გაზებით და აეროზოლებით დაბინძურებასთან ერთად ადამიანის ჯანმრთელობაზე თბილისის პირობებში (განსაკუთრებით გულსისხლძარღვთა სისტემით დაავადებულებზე) მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ისეთი ფაქტორების ვარიაციები, როგორებიცაა ჰაერის თერმული რეჟიმი, ატმოსფერული წნევა, კოსმოსური სხივები (ძირითადად როგორც გეომაგნიტური მდგომარეობის ინდიკატორი).

განხილულია ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზეგავლენისაგან აქტიური და პასიური დაცვის შესაძლო საშუალებები და შეთავაზებულია რეკომენდაციები ამ უარყოფითი ზემოქმედების შერბილებისათვის ღონისძიებების ჩასატარებლად.

## Conclusion

Large-scale experimental work on a study of photochemical smog and surface ozone and their negative influence on the health of the population Tbilisi for the first time are carried out.

Monitoring smog forming and its associated atmospheric parameters both in the regime of stationary measurements on two fixed bases of observation and in the of irregular mobile regime route measurements on 20 points in different districts of city (content in air of ozone, of submicron aerosols, radon, light ions; solar radiation intensity, visibility, cloudiness, temperature, humidity, wind, pressure; gamma-radiation of soil; intensity of galactic cosmic rays). In addition to this, under laboratory conditions the development of the methods of creating of smog ozone and active action on it for the purpose of the decrease of ozone concentration was produced.

The following basic results are obtained.

The common statistical analysis of the values of all measured parameters independently of the weather conditions is represented. In particular, in 2009-2011 the concentration of surface ozone changed from 0 to 166 mcg/m<sup>3</sup>, the summary concentration of light ions - from 215 to 3397 cm<sup>-3</sup>, the content of radon in air - from 0.4 to 19.6 Bq/m<sup>3</sup>, the concentration of submicron aerosols - from 110 to 95480 cm<sup>-3</sup>.

Changeability in the last 30 years of the concentration of surface ozone, solar radiation, visibility and aerosol optical thickness of the atmosphere is studied. Thus, for instance, changeability the concentration of surface ozone in 1984-2011 occurred in the correspondence with the polynomial of the fourth power. On the whole, from 1984 through 1997-1998 occurred an increase in ozone concentration, then - to 2006-2007, decrease and in 2008-2011 - again increase. The intensity of direct and summary solar radiation in 2010-2011 does not differ from the same data for 1980-1992. The values of the of visibility and aerosol optical thickness of the atmosphere indicate that in recent years to aerosol pollution of atmosphere somewhat less than in 1980-1992.

The paired and multiple correlation and regression connections between the surface ozone concentration and other parameters are studied.

The special features of the effect of the radio nuclide emission in the formation of secondary aerosols in the conditions of Tbilisi city (Tbilisi type of smog) are revealed. Intensification by the ionization of the aerosol pollution of the atmosphere under the conditions of Tbilisi is so strong which this leads also to worsening in the quality of air in the aspect of its ionic composition also. As a whole the Tbilisi type of smog is characterized by the impossible under the natural conditions feedback of the content of radon, gamma-radiation and cosmic radiation with the concentration of light ions in air, caused by the formation of secondary aerosols in the quantity, which in conjunction with the usual particles is capable of joining more ions to itself how them it is formed with the ionization. The Tbilisi type of smog can occur also in other strongly contaminated cities and environments.

Physical statistical model of the connections of processes of formation of photochemical smog and ozone with different atmospheric parameters is obtained, on the basis of which the conditions for the formation of smog ozone into different seasons of year are established.

The maps of the spatial distribution of ozone, aerosols, light ions, radon and gamma-radiation of soil are represented. It is shown that according to the data of the stationary point of measurements it is possible to estimate the level of the pollution of air of Tbilisi city as a whole.

Ultra-short term (2-5 hours) and short term (12 hours) the statistical models of the prognostications of smog ozone, whose accuracy composes 64-78 %, is developed.

The effects of the action of the concentration of surface ozone, and also others determining and associating the photochemical smog of the atmospheric parameters on the health of people are revealed. It is in particular established that under the conditions of Tbilisi in recent years the maximum day concentration of ozone of 50 mcg/m<sup>3</sup> and above extremely unfavorably influences the

health of people. This concentration considerably of those lower (3-5 times) accepted in Europe and USA the maximum permissible concentrations of ozone.

It appeared according to data for the years of 1984-2010, that the increased concentrations of surface ozone (and also the associating it harmful for the health people of the components of smog) on the average increase the average annual mortality of the population Tbilisi by 1680 people. This composes 14.1 % from the average annual mortality of the population of city, which is 3 times higher than for the same parameters in the developed countries.

It is established that in recent years in comparison with the eightieth years of past century, the population of Tbilisi became more sensitive to air pollution (negative effects for the health of people and the cases of lethal outcome they occur with the lower concentrations of surface ozone). The possible reasons for this are discussed.

As a whole in the days with the smog situation together with air pollution by ozone, the ozone forming gases and the aerosols under the conditions Tbilisi (especially suffering cardiovascular diseases) an essential effect on the health of people have a variation in such factors as the thermal regime of air, atmospheric pressure, cosmic rays (in essence as the indicator of geomagnetic situation).

The possible passive and active methods of the protection of the health of the population Tbilisi from the negative effect of photochemical smog and ozone are examined and recommendations regarding taking of measures for the purpose of the softening of this negative action are proposed.

## Заключение

Впервые проведены широкомасштабные экспериментальные работы по исследованию фотохимического смога и приземного озона и их негативного влияния на здоровье населения г. Тбилиси.

Мониторинг смогообразующих и сопутствующих его параметров атмосферы как в режиме постоянных измерений на двух стационарных базах наблюдения, так и в режиме эпизодических маршрутных измерений на 20 пунктах в различных районах города (содержание в воздухе озона, субмикронных аэрозолей, радона, легких ионов; интенсивность солнечной радиации, дальность видимости, облачность, температура, влажность, ветер, давление; гамма-радиация почвы; интенсивность галактических космических лучей). Кроме этого, в лабораторных условиях производилась разработка методов создания смогового озона и активного воздействия на него с целью уменьшения концентрации озона.

Получены следующие основные результаты.

Представлен общий статистический анализ значений всех измеренных параметров вне зависимости от условий погоды. В частности, в 2009-2011 гг. концентрация приземного озона менялась от 0 до 166 мкг/м<sup>3</sup>, суммарная концентрация легких ионов – от 215 до 3397 см<sup>-3</sup>, содержание радона в воздухе – от 0.4 до 19.6 Бк/м<sup>3</sup>, концентрация субмикронных аэрозолей – от 110 до 95480 см<sup>-3</sup>.

Изучена изменчивость за последние 30 лет концентрации приземного озона, солнечной радиации, дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы. Так, например, изменчивость концентрации приземного озона в 1984-2011 гг. происходила в соответствии с полиномом четвертой степени. В общем, с 1984 по 1997-1998 гг. происходил рост концентрации озона, затем – до 2006-2007 гг., уменьшение и в 2008-2011 гг. – вновь рост. Интенсивность прямой и суммарной солнечной радиации в 2010-2011 гг. практически не отличается от тех же данных для 1980-1992 гг. Значения дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы указывают на то, что в последние годы аэрозольное загрязнение атмосферы несколько меньше, чем в 1980-1992 гг.

Изучены парные и множественные корреляционные и регрессионные связи между концентрацией приземного озона и другими параметрами.

Выявлены особенности эффекта радионуклидного излучения в образовании вторичных аэрозолей в условиях города Тбилиси (Тбилисский тип смога). Интенсификация ионизацией аэрозольного загрязнения атмосферы в условиях Тбилиси настолько сильна, что это приводит также к ухудшению качества воздуха и в аспекте его ионного состава. В целом Тбилисский тип смога характеризуется невозможной в естественных условиях обратной связью содержания радона, гамма-радиации и космического излучения с концентрацией легких ионов в воздухе, вызванной образованием вторичных аэрозолей в количестве, которое в совокупности с первичными частицами способно присоединять к себе больше ионов, чем их образуется при ионизации. Тбилисский тип смога может иметь место также в других сильно загрязненных городах и окрестностях.

Получена физико-статистическая модель связей процессов образования фотохимического смога и озона с различными параметрами атмосферы, на основании которой установлены условия образования смогового озона в различные сезоны года.

Представлены карты пространственного распределения озона, аэрозолей, легких ионов, радона и гамма-излучения почвы. Показано, что по данным стационарного пункта измерений можно оценить уровень загрязненности воздуха города Тбилиси в целом.

Разработана ультракраткосрочная (2-5 часов) и краткосрочная (12 часов) статистические модели прогнозирования смогового озона, оправдываемость которых составляет 64-78 %.

Выявлены эффекты воздействия концентрации приземного озона, а также других определяющих и сопутствующих фотохимический смог параметров атмосферы на здоровье людей. В частности установлено, что в условиях г. Тбилиси в последние годы максимальная дневная концентрация озона  $50 \text{ мкг/м}^3$  и выше крайне неблагоприятно влияет на здоровье людей. Эта концентрация значительно ниже (в 3-5 раз) принятых в Европе и США предельно допустимых концентраций озона.

По данным 1984-2010 гг. выявилось, что повышенные концентрации приземного озона (а также сопутствующих ему вредных для здоровья людей компонентов смога) в среднем увеличивают среднегодовую смертность населения г. Тбилиси на 1680 человек. Это составляет 14.1 % от среднегодовой смертности населения города, что в 3 раза выше, чем для тех же параметров в развитых странах.

Установлено, что в последние годы по сравнению с восьмидесятыми годами прошлого столетия, население г. Тбилиси стало более чувствительным к загрязнению воздуха (негативные эффекты для здоровья людей и случаи летального исхода происходят при более низких концентрациях приземного озона). Обсуждаются возможные причины этого.

В целом в дни со смоговой ситуацией вместе с загрязнением воздуха озоном, озonoобразующими газами и аэрозолями на здоровье людей в условиях г. Тбилиси (особенно страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями) существенное влияние оказывают вариации таких факторов, как термический режим воздуха, атмосферное давление, космические лучи (в основном как индикатор геомагнитной обстановки).

Рассмотрены возможные пассивные и активные способы защиты здоровья населения г. Тбилиси от негативного влияния фотохимического смога и озона и предложены рекомендации по проведению мероприятий с целью смягчения этого негативного воздействия.

## ლიტერატურა

1. Air Quality Guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 1987 (WHO Regional Publications, European Series, No 23).
2. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No 91).
3. Ambient Ozone Exposure and Emergency Hospital Admissions for Respiratory Problems in 13 U.S. Cities // Harvard University, School of Public Health, for the American Lung Association, June 1996.
4. Amiranashvili A.G. - On the Role of Cosmic and Radioactive Radiation on the Formation of the Secondary Aerosols in Atmosphere, Abstr., Int. Conf. "Near-Earth Astronomy 2007" Terskol, Russia, 3-7 September 2007.
5. Amiranashvili A. - Negative Correlation Between of Light Ions Content and Radon Concentration: Particularity of Tbilisi City Air Pollution, or Norm for the Urbanized Locality?, Proc., 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, August 8-12, 2011, Rio de Janeiro, Brazil, <http://www.icae2011.net.br/>.
6. Amiranashvili A. - Tbilisi Type of Smog as Attribute of Feedback Effect Between the Air Ionization Intensity and Small Ions Concentration, Proc., 7th Asia-Pacific Int. Conf. on Lightning, November 1-4, 2011, Chengdu, China, <http://www.apl2011.net/>.
7. Amiranashvili A. – The feedback Effect of Intensity of Ionizing Radiation With the Light Ions Content in Atmosphere. Paradox (the Tbilisi Type of a Smog), or Usual Phenomenon for the Strongly Pollution Cities?, Proc., Int. Sc. Conf. on "Environment and Global Warming" Dedicated to the Acad. F. Davitaia's 100th Anniversary, September 15-17, 2011, Tbilisi, Georgia, 2011, pp. 95-100.
8. Amiranashvili A. G., Amiranashvili V.A., Chikhladze V.A., Kharchilava J.F., Kartvelishvili L. G. – The Statistical Analysis of Average Seasonal, Semi-Annual and Annual Values of Surface Ozone Concentration in Tbilisi in 1984-2003, Journ. of the Geophysical Society, ISSN 1512-1127, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol. 12B, 2008, pp.45-48.
9. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. - Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Institute of Geophysics, Monograph, Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sci. ISSN 1512-1135. Vol. LIX. , 2005, pp. 1-128.
10. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Kartvelishvili L., Nodia Kh., Khurodze T. - Influence of Air Effective Temperature and Geomagnetic Storms on the Population of Tbilisi City, Papers, Int. Conf. International Year of the Planet Earth "Climate, Natural Resources, Disasters in the South Caucasus", Trans. of the Institute of Hydrometeorology. Vol. No 115. ISSN 1512-0902, Tbilisi, 18 – 19 November, 2008, pp. 434 – 437 (in Russian).
11. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kirkitadze D.D., Chiabrishvili N.G., Chochishvili K.M. - To a Question About the Formation of Secondary Aerosols in the Atmosphere, Proc. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135. Vol. 58, Tbilisi, 2004, pp. 119 – 126, (in Russian).
12. Amiranashvili A., Berishvili G., Kereselidze Z., Nodia A., Chikhladze V., Sharadze Z. – Preliminary Results of Investigations on Electromagnetic Pollution in Tbilisi, Proc. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Tbilisi, Georgia, October 6-7, 2001, pp. 58-61.
13. Amiranashvili A. Bliadze T., Chankvetadze A., Chikhladze V., Melikadze G., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A. - Comparative Characteristics of Light Ions Content in the Urban and Ecologically Clean Locality in Georgia, Proc., 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, 8-12 August, 2011, <http://www.icae2011.net.br/>.
14. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. - Complex for Laboratory Modelling of Microphysical and Electrical Properties of Aerodisperse Formations, Proc., Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, pp. 54-55.

15. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. – Laboratory Modelling of the Transformation of Microphysical and Electrical Properties of Artificial Water Fogs, Proc., 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, pp. 333-335.
16. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V., Machaidze Z., Melikadze G., Saakashvili N., Khatiasvili E., Tarkhan-Mouravi I., Sikharulidze Sh., Nakaidze T., Tavartkiladze M. - New Data About The Aeroionization Characteristics of the Territory of National Botanical Garden of Georgia as the Factor of the Expansion of Its Sanitation Properties for the Visitors, Proc., Int. Conf. “Applied Geophysics and Geoecology “ Dedicated to the Prof. L. Chanturishvili 90th Anniversary, September 14-15, 2011, Tbilisi, Georgia, (in press).
17. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chikhladze V.A., Saakashvili N.M., Tarkhan-Mouravi I.D., Sikharulidze Sh.A., Lachashvili N.I. - National Botanical Garden of Georgia – Recreational – Sanitation Oasis of Tbilisi City, Pressing Problems in Hydrometeorology and Ecology, Papers, Int. Conf. Dedicated to the 90<sup>th</sup> Anniversary of Acad. G. Svanidze, September 27-29, Tbilisi, 2011, Trans. of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, vol. 117, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 2011, pp. 94-96.
18. Amiranashvili A., Bliadze T., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A., Chankvetadze A., Chikhladze V. - Surface Radon as the Air Pollution Catalyst by Secondary Aerosols in Tbilisi, Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 197-206, (in Russian).
19. Amiranashvili A., Bliadze T., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A., Kharchilava J., Chankvetadze A., Chikhladze V., Chochishvili K., Chkhaidze G. - Some Preliminary Results of the Complex Monitoring of Surface Ozone Concentration (SOC), Intensity of Summary Solar Radiation and Sub-Micron Aerosols Content in Air in Tbilisi in 2009-2010, Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 189-196, (in Russian).
20. Amiranashvili A., Bliadze T., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A., Khurodze T., Chankvetadze A., Chikhladze V. - Some Preliminary Results of the Complex Monitoring of Intensity of Solar Radiation, Total Cloudiness, Visibility and Air Temperature in Tbilisi in 2009-2010, Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 207-215, (in Russian).
21. Amiranashvili A., Bliadze T., Melikadze G., Tarkhan-Mouravi I., Chikhladze V. - Content of Light Aeroions as Factor of the Air Purity of Some Health Resorts of Georgia, Modern Problems of Using of Health Resort Resources, Collection of Scientific Works of Int. Conf., Sairme, Georgia, June 10-13, 2010, ISBN 978-9941-0-2529-7, Tbilisi, 2010, pp. 145-151, (in Russian).
22. Amiranashvili A., Bliadze T., Nodia A., Nikiforov G., Chelidze L., Chikhladze V., Khazaradze K., Khazaradze R. – Several Researched Results of Radon Concentrations in Human Environment, Proc., 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Tbilisi, Georgia, October 6-7, 2001, pp. 61-62.
23. Amiranashvili A., Chelidze L., Gvinianidze K., Melikadze G., Todadze M., Trekov I., Tsereteli D. – Radon Distribution and Prevalence of Lung Cancer in Several Areas of West Georgia, Papers, Int. Conf. International Year of the Planet Earth “Climate, Natural Resources, Disasters in the South Caucasus”, Trans. of the Institute of Hydrometeorology. Vol. No 115. ISSN 1512-0902, Tbilisi, 18 – 19 November, 2008, pp. 349 – 353 (in Russian).
24. Amiranashvili A., Chelidze T., Melikadze G., Trekov I., Todadze M. - Quantification of the Radon distribution in Various Geographical Areas of West Georgia, Journ. of the Georgian Geophysical Society, Issue A. Physics of Solid Earth, ISSN 1512-1127, Vol. 12A, 2008, pp. 65 – 69.
25. Amiranashvili A., Chelidze T., Melikadze G., Trekov I., Todadze M., Chankvetadze A., Chelidze L. - Preliminary Results of the Analysis of Radon Content in the Soil and Water in Different Regions of West Georgia, Proc. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, Vol. 60, 2008, pp. 213 – 218, (in Russian).
26. Amiranashvili A., Chikhladze V., Bliadze T. - Contemporary State of a Question About the Spatial-Temporary Distribution of Photochemical Smog and Ozone, Trans.s of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Vol. LXI, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2009, pp. 179-186, (in Russian).

27. Amiranashvili A., Chikhladze V., Bliadze T. - Contemporary State of a Question About the Action of Photochemical Smog and Surface Ozone on Human Health, Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Vol. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 177-188, (in Russian).
28. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Gambashidze R.A., Khunjua A.T., Nodia A.G. – Preliminary Results of Investigations of Variations of Atmospheric Electric Parameter Peculiarities Over Tectonic Fractures and During Earthquakes, Proc., 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, Vol.1, 2003. pp. 403-406.
29. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L., Khazaradze K. - Expected Change of the Extremal Air Temperature and its Influence on the Mortality (Based on the Example to Tbilisi City), International Cooperation Network for East European and Central Asian Countries: EECA Conference - October 7-8, 2010, Yerevan, Armenia, <http://be.sci.am/>.
30. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Kharchilava J.F., Buachidze N.S., Intskirveli L.N. - Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi in 1981-2003, Proc., 16<sup>th</sup> Int. Conf. on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, pp. 678-681.
31. Amiranashvili A., Danelia R., Mirianashvili K., Nodia Kh., Khazaradze K., Khurodze T., Chikhladze V. – On the Applicability of the Scale of Air Equivalent- Effective Temperature in the Conditions of Tbilisi City, Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Vol. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 216-220, (in Russian).
32. Amiranashvili A.G., Gogua R.A., Matiashvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Khazaradze K.R., Kharchilava J.F., Khurodze T.V., Chikhladze V.A. - The Estimation of the Risk of Some Astro-Meteo-Geophysical Factors for the Health of the Population of the City of Tbilisi, Abstr., Int. Conf. "Near-Earth Astronomy 2007", Terskol, Russia, 3-7 September 2007.
33. Amiranashvili A., Gornelisen G., Amiranashvili V., Geonjian L., Chikhladze V., Gogua R., Matiashvili T., Paatashvili T., Kopitenko Yu., Siegelova J., Dusek J., Halberg F. - Circannual and Circadecennian Changes in Mortality From Cardiovascular Causes in Tbilisi, Republic of Georgia (1980-1992). Abstr. Kongres MEFA, Brno, November 7-10, 2000, p. 16.
34. Amiranashvili A., Khurodze T., Shavishvili P., Beriashvili R., Iremashvili I. – Dynamics of the Mortality of the Population of Tbilisi City and its Connection with the Surface Ozone Concentration, Proc. Int. Conf. "Applied Geophysics and Geoecology", Dedicated to the Prof. L. Chanturishvili 90th Anniversary, September 14-15, 2011, Tbilisi, Georgia, 2012, (in press).
35. Amiranashvili A., Lominadze G., Melikadze G., Tsikarishvili, Chikhladze V. – Aero - Ionizing State and Radiological Situation in the Tskaltubo Cave, Proc. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135. Vol. 60, Tbilisi, 2008, pp. 206 – 212, (in Russian).
36. Amiranashvili A., Matiashvili T., Nodia A., Nodia Kh., Kharchilava J., Khunjua A., Khurodze T., Chikhladze V. - Air Electrical Conductivity Changeability as the Factor of Atmosphere Purity, Proc. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, Vol. 60, Tbilisi, 2008, pp. 186 – 194, (in Russian).
37. Amiranashvili V.A., Tavartkiladze K.A., Chikhladze T.I. - Atmospheric Pollution in Georgia and Its Influence on Human Health, Proc. Dedicated to the 150-the Anniversary of Tbilisi Geophysical Observatory, "Metsniereba", Tbilisi, 1997, pp. 120-128.
38. Anglesio L., Benedetto A. et al - Population Exposure to Electromagnetic Fields Generated by Radio Base Stations: Evaluation of the Urban Background by Using Provisional Model and Instrumental Measurements, Rad. Protec. Dosim. 97, 2001, pp. 355-358.
39. Ballester F., Dolores C., Perez-Hoyos S., Saez M., Hervas A. - Mortality as a Function of Temperature. A Study in Valencia, Spain, 1991-1993, Int. J. Epidemiol., 26(3), 1997, pp. 551-561.
40. Bliadze T., Chankvetadze A., Danelia R. - The Statistical Structure of Visibility in Tbilisi, Proc., Int. Sc. Conf. on "Environment and Global Warming" Dedicated to the Acad. F. Davitaia's 100th Anniversary, September 15-17, 2011, Tbilisi, Georgia, 2011, pp. 117-122.
41. Bojkov R.D., Hudson R.D., Bishop L., Fioletov F., Russell III J.M., Stolarski R.S., Uchino O., Zerefos C.S. - Ozone Variability and Trends, WMO Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No 44, Geneva, 1999.



42. Brauer M., Vedal S. - Health Effects of Photochemical Smog: Seasonal and Acute Lung Function Change in Outdoor Workers, *Journal of Environmental Medicine*, Vol. 1. Issue 3, 1999, pp. 163 – 170.
43. Breckenkamp J., Berg G. et al.- Biological Effects on Human Health due to Radiofrequency/Microwave Exposure: a Synopsis of Cohort Studies, *Radiat. Environ. Biophys.*, 42, 2003, pp.141-154.
44. Chalmers J.A. - Atmospheric Electricity, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974, pp. 1-421, (in Russian).
45. Davitashvili T. - Mathematical Modeling Pollution From Heavy Traffic in Tbilisi Streets, *WSEAS TRANSACTIONS on ENVIRONMENT and DEVELOPMENT*, Issue 7, Volume 5, July 2009, ISSN 1790-5079, pp. 498-507.
46. Davitashvili T. - Mathematical Simulation of Air Pollution in Tbilisi Streets for Rush Hours, *Proc., 2nd WSEAS Int. Conf. on Finite Differences, Finite Elements, Finite Volumes, Boundary Elements*, Stevens Point, Wisconsin, USA, ISBN 978-960-474-089-5, 2009.
47. Dijkema M.B.A. - Traffic Related Air Pollution: Spatial Variation, Health Effects and Mitigation Measures, Thesis Utrecht University, ISBN 978-90-5335-476-6, Amsterdam, 2011, 160p., <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/2011-1122-200554/dijkema.pdf>.x 2012
48. Dimitriadis B. - The Role of Natural Organics in Photochemical Air Pollution, *J. Air Poll. Contr. Assoc.*, Vol. 31, 1981, pp. 229 – 236.
49. Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 Relating to Ozone in Ambient Air, *Official Journal of the European Communities*, 9.3.2002, L67/14-L67/30.
50. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), National Air Pollutant Emissions Trends, 1900-1995, EPA-454/R-96-007, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., 1996.
51. EPI - Environmental Performance Index–Ranking & Scores, 2012, <http://epi.yale.edu/epi2012/rankings>.
52. Fishman J., Solomon S., Grutzen P.J. - Observational and Theoretical Evidence in Support of Significant in Situ Photochemical Source of Tropospheric Ozone, *Tellus*, Vol. 31, 1979, pp. 432 – 446.
53. GEO-Cities Tbilisi: An Integrated Environmental Assessment of State and Trends for Georgia's Capital City, Tbilisi, 2011, 116 p., [http://www.envsec.org/publications/geocities\\_tbilisi.pdf](http://www.envsec.org/publications/geocities_tbilisi.pdf).
54. Girgzdys A., Girgzdiene R. – Interaction of Aerosol and Ozone, *J. Aerosol Sci.*, Vol. 22, Suppl 1, Pergamon Press, 1991, pp. S673-S676.
55. Harrison R.G. - Radiolytic Particle Production in the Atmosphere, *Atmos. Environ*, Vol. 36, 2002, pp. 159-160.
56. Hwang K.-C., Ma C.-J. - Scavenging Properties of Atmospheric Carbon by Precipitation, *Proc., 16<sup>th</sup> Int. Conf. on Nucleation&Atmospheric Aerosols*, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, pp. 702-705.
57. Inglis D., Gallagher M. W., Choularton T.W. – Base Cation and Acidic Deposition by Fog, Rain and Aerosol at a UK Coastal Site, *Proc., 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection*, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, pp. 161-162.
58. IPCC, Climate Change 2001, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report, Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001, 881p.
59. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - Aviation and the Global Atmosphere, Special Report of IPCC Working Groups I and III, J.E. Penner, D.H. Lister, D.J. Griggs, D.J. Dokken, M. McFarland (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999, 373p.
60. IPCC, Special Report on Emission Scenarios (SRES), N. Nakicenovic et. al., (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000, 599 p.
61. IPCC 1995 - Summary for Policymakers. Approved by Working Group I of the IPCC and Accepted by the IPCC and Technical Summary of the Working Group I Report. Accepted by the IPCC, WMO, 1995, 56 p.
62. IPCC, Climate Change 1995, - The Science of Climate Change. Edited by Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1995.

63. Jacob D.J., Logan J.A., Gardner G.M., Yevich R.M., Spivakovsky C.M., Wofsy S.C.- Factors Regulating Ozone Over the United States and Its Export to the Global Atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 98, 1993, pp. 14817 – 14826.
64. Kekelidze J., Loria M., Elbakidze M. – Tbilisi Botanic Garden, ISBN 99928-899-4-2, Tbilisi, “Dedaena”, 2001, 190 p. (in Georgian).
65. Kendall M.G. - Time-series, Moscow, 1981, 200 p., (in Russian).
66. Kharchilava D., Amiranashvili A., Amiranashvili V., Chikhladze V., Gabedava V. - Long-Term Variations of Atmospheric Ozone in Georgia and Their Connection with Human Health, *Proc.*, 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Tbilisi, Georgia, October 6-7. 2001. pp. 80-82.
67. Kharchilava J., Bliadze T., Chikhladze V. - Connection Between Surface Ozone Concentration and Visibility in Tbilisi, *Proc.*, Int. Sc. Conf. on "Environment and Global Warming" Dedicated to the Acad. F. Davitaia's 100th Anniversary, September 15-17, 2011, Tbilisi, Georgia, 2011, pp. 123-127.
68. Kharchilava J., Chikhladze V., Chochishvili K.i, Chkhaidze G. - Changeability of Surface Ozone Concentration in Tbilisi in 1984-2010, *Proc.*, Int. Sc. Conf. on "Environment and Global Warming" Dedicated to the Acad. F. Davitaia's 100th Anniversary, September 15-17, 2011, Tbilisi, Georgia, 2011, pp. 111-116.
69. Kirch W., Menne B., Bertollini R. (Eds.) - Extreme Weather Events and Public Health Responses, XLVI, Hardcover, ISBN: 3-540-24417-4, 2005, 303 p.
70. Khuchua M. - Potentials of Introduction of Car Sharing Principles into the Transport Sector of Tbilisi as Important Aspect Towards Sustainable Transportation in the Capital of Georgia, Master's Thesis, Lund, Sweden, 2002, 45 p.
71. Kobisheva N., Narovlianski G. - Climatological Processing of the Meteorological Information, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 294 p., (in Russian).
72. Kovats R.S., Haines A., Stanwell-Smith R., Martens P., Menne B., Bertollini R.- Climate Change and Health in Europe, *British Medical Journal*, 318, No 7199, 1999, pp. 1682-1685, 7.
73. Lawrence M.G., Chameides W.L., Kasibhatla P.S., Levy H., Moxim W. - Lightning and Atmospheric Chemistry: The rate of Atmospheric NO Production, *Handbook of Atmospheric Electrodynamics*, Vol. I, Edited by H. Volland, CRC Press, Boca Raton, Fla., 1995.
74. Lee, D.S., Koler I., Grobler E., Rohrer F., Sausen R., Gallardo-Klenner L., Oliver J.G.J., Dentener F.J., Bouwman A.F. - Estimations of Global NO<sub>x</sub> Emissions and Their Uncertainties, *Atmos. Environ.*, 31, 1997, pp. 1735 – 1749.
75. Lefohn, A.S. Oltmans S.J., Dann T., Singh H.B. - Present-day Variability of Background Ozone in the Lower Troposphere, *J. Geophys. Res.* 106 (D9), 2001, pp. 9945 – 9958.
76. Lobert J.M., Scharffe D.H., Hao W.M., Kuhlbusch T.A., Sewen R., Warneck P., Grutzen P.J. - Experimental Evaluation of Biomass Burning Emissions: Nitrogen and Carbon Containing Compounds, *Global Biomass Burning: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications*, Edited by J.S. Levine, MIT Press, Cambridge Mass., 1991, pp. 289–304.
77. Logan J.A.- Trends in the vertical distribution of ozone: An analysis of ozone sonde data, *J. Geophys. Res.*, 99, 1994, 25553 – 25585.
78. Logan J.A., Megretskaya I.A., Miller A.J., Tiao G.C., Choi D., Zhang L., Stolarski R.S., Labow G.J., Hollandsworth S.M., Bodeker G.E., Claude H., De Muer D., Kerr J.B., Tarasick D.W., Oltmans S.J., Johnson B., Schmidlin F., Viatte P., Uchino - Trends in the Vertical Distribution of Ozone: A Comparison of Two Analyses of Ozone Sonde Data, *J. Geophys. Res.*, 104, 1999, pp. 26373 – 26399.
79. Lomaya O., Mchedlishvili K., Chkhaidze G., Kharchilava D., Khvedelidze Z. - Investigation of the Ozone Relationship with Some Meteorological Factors, *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences*, 162, No 2, 2000.
80. Low-Level Ethanol Fuel Blends// DOE/GO-102005-2028, April 2005
81. Madsen T., Willcox N. - Air Pollution and Public Health in Pennsylvania, Penn Environment Research & Policy Center, April 2006, 49 p.

82. McKeen S.A., Hsieh E.-Y., Liu S.C. - A study of the Dependence of Rural Ozone on Ozone Precursors in the Eastern United States, *J. Geophys. Res.*, 96, 1991, pp. 15377–15394.
83. Marchenko T. K. - The Impact of Heliogeophysical and Meteorological Factors on Human Health, *Human Physiology*, Vol. 24, No. 2, March–April 1998, pp. 240–245.
84. Muraleedharan T.S., M.S. Subba Ramu and K.G. Vohra, Experimental Studies of the Formation of Aitken Nuclei in the Atmosphere, *Proc.*, 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Budapest, Hungary, 3-8 September, Vol.1, 1984, pp. 52-57.
85. NARSTO (North American Research Strategy for Tropospheric Ozone) Synthesis Team, 2000. An Assessment of Tropospheric Ozone Pollution: A North American Perspective ([www.cgenv.com/Narsto](http://www.cgenv.com/Narsto)).
86. Naskidashvili N., Vashakmadze N., Shavladze D. – Emission of Harmful Gases in the Atmosphere of Tbilisi and their Effect on Population Health, Pressing Problems in Hydrometeorology and Ecology, Papers, Int. Conf. Dedicated to the 90<sup>th</sup> Anniversary of Acad. G. Svanidze, September 27-29, Tbilisi, 2011, Trans. of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, vol. 117, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 2011, pp. 138-139, (in Georgian).
87. Oltmans S.J., Lefohn A.S., Scheel H.E., Harris J.M., Levy H., Galbally I.E., Brunke E.G., Mityr C.P., Lathrop J.A., Johnson B.J., Shadwick D.S., Cuevas E., Schmidlin F.J., Tarasick D.W., Claude H., Kerr J.B., Uchino O., Mohnen V. - Trends of Ozone in the Troposphere, *Geophys. Res. Lett.*, 125, 1998, pp. 139 – 142.
88. Pavelin E.G., Johnson C.E., Rughooputh S., Toumi - Evaluation of Pre-industrial Surface Ozone Measurements Made Using Schonbein's Method, *Atmos. Environ.*, 33, 1999, pp. 919 – 929.
89. Pochanart P., Akimoto H., Maksyutov S., Staehelin J. - Surface Ozone at the Swiss Alpine site Arosa: the Hemispheric Background and the Influence of Large-scale Anthropogenic Emissions, *Atmos. Environ.*, 35, 2001, pp. 5553 – 5566.
90. Report of the 6<sup>th</sup> Meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to the Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer, Vienna, Austria, September 19-21, 2005, 305 p.
91. Roemer M.- An Evaluation of Long-term Trends in Ozone, Oxidant and Precursors in Relation to Emission Changes. TOR-2 Annual Report 2000 (A. Lindskog, M. Beekmann, P. Builtjes, P.S. Monks, M. Roemer, E. Schuepbach, S. Solberg, eds.). Int. Scientific Secretariat (ISS), GSF – National Research Center for Environment and Health, Munich, Germany, 5 – 6, 2001.
92. Saakashvili N.M., M.Sh. Tabidze, I.D. Tarkhan-Mouravi, A.G. Amiranashvili, G.I. Melikadze and V.A. Chikhladze - To a Question About the Organization of Ionotherapy at the Health Resorts of Georgia, Modern Problems of Using of Health Resort Resources, Collection of Scientific Works of Int. Conf., Sairme, Georgia, June 10-13, 2010, ISBN 978-9941-0-2529-7, Tbilisi, 2010, pp. 168-174, (in Russian).
93. Saakashvili N.M., Tabidze M.Sh., Tarkhan-Mouravi I.D., Amiranashvili A.G., Melikadze G.I., Chikhladze V.A. – To a Question About the Certification of the Health Resort and Tourist Resources of Georgia, Modern Problems of Using of Health Resort Resources, Collection of Scientific Works of Int. Conf. Sairme, Georgia, June 10-13, 2010, ISBN 978-9941-0-2529-7, Tbilisi, 2010, pp. 175-180, (in Russian).
94. Samadashvili K. - Review of the Health Effects from Motor Vehicle Traffic in Tbilisi, [http://www.irr-neram.ca/CQ3Rome/Posters/samadashvili\\_2.pdf](http://www.irr-neram.ca/CQ3Rome/Posters/samadashvili_2.pdf).
95. Sanitary and Hygiene Standards of the Permissible Ionization Levels of Air of Production and Public Compartments, (CHиП 2152-80), (in Russian).
96. Scheel H.E., Areskoug H., Geiss H., Gomiscek B., Granby K., Haszpra L., Klasinc L., Kley D., Laurila T., Lindskog A., Roemer M., Schmitt R., Simmonds P., Solberg S. - On the Spatial Distribution and Seasonal Variation of Lower Troposphere Ozone Over Europe, *J. Atmos. Chem.*, 28, 1997, pp. 11 – 28.
97. *Sciences et Avenir*, №694, 2004, p. 48.
98. Schuepbach E., Friedli T.K., Zanis P., Monks P.S., Penkett S.A.- State Space Analysis of Changing Seasonal Ozone Cycles (1988-97) at Jungfraujoch (3580 m) in Switzerland, *J. Geophys. Res.*, 106, 2001, pp. 20413 – 20427.

99. Senik I.A., Elansky, N.F. - Surface Ozone Concentration Measurements at the Kislovodsk High-Altitude Scientific Station: Temporal Variations and Trend, *ΦАО*, 2001, Vol. 37, Suppl. 1, pp. S110-S119.
100. Sheftel, V.M., A.K. Chernishev, and S.P. Chernisheva - Air Conductivity and Atmospheric Electric Field as an Indicator of Anthropogenic Atmospheric Pollution, *Proc., 9th Int. Conf. on Atmospheric Electricity*, St. Petersburg, 1992, pp. 588-590.
101. Simmonds P.G., Seuring S., Nickless G., Derwent R.G. - Segregation and Interpretation of Ozone and Carbon Monoxide Measurements by Air-mass Origin at the TOR Station Mace Head, Ireland From 1987 to 1995, *J. Atmos. Chem.*, 28B, 1997, pp. 45-59.
102. Smirnov V.V., Savchenko A.V. - Effect of Ionizing Radiation on the Formation of Nanoparticles in the Atmosphere, *Chemistry for Sustainable Development*, vol. 5, 2005, pp. 649-654, (in Russian).
103. Solberg, S., Dye C., Schmidbauer N., Wallasch M., Junek - VOC Measurements 2000, Kjeller, Norwegian Institute for Air Reserch (EMEP/CCC Report 8/2002), 2002.
104. Statistical Yearbook 2009, Ministry of Economic Development of Georgia, Department of Statistics, ISBN 978-99928-72-38-3, Tbilisi, 2009, 322 p.
105. Stordal F., Bekhi S., Hauglustaine L., Millan M., Sausen R., Schuepbach E., Stevenson D., van Dorland R., Volz-Thomas A. - Climate impact of Tropospheric Ozone Changes. European Commission EUR 20623. Ozone-climate Interactions. Air Pollution Research Report No 81, Luxemburg, 2003, 143 p.
106. Sustainable Energy Action Plan City of Tbilisi For 2011- 2020, Tbilisi, 2011, 138 p., [http://helpdesk.eumayors.eu/docs/seap/1537\\_1520\\_1303144302.pdf](http://helpdesk.eumayors.eu/docs/seap/1537_1520_1303144302.pdf).
107. Svanidze G.G. Papinashvili L.K. (Ed.) - Climate of Tbilisi, St.-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992, 230 p., (in Russian).
108. Tammet H. - Atmospheric Ions, *Proc., 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity*, Versailles, France, 9-13 June, 2003, vol.1, pp. 275-178.
109. Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. – Contemporary Climate Change in Georgia. Regime of Some Climate Parameters and their Variability, Georgian Acad. of Sc., Inst. of Geography, Geophysics and Hidrometeorology, Monograph, Tbilisi, ISBN 99928-885-4.7, 2006, 177 p., (in Georgian).
110. Tchitchinadze G., Kvatchadze I., Tarkhan-Mouravi I., Tvildiani L., Tsibadze A. - Influence of Geomagnetic Storms on the Quality of Fulfillment of Sensomotor Task, *ABRE*, 5(4), October-December, 2005, pp. 298-300.
111. Tkhlava N. - Transport Related Air Pollution in Georgia, November 2009, 27 p., [http://www.bma.org.uk/images/transportandhealth\\_tcm41-191801.pdf](http://www.bma.org.uk/images/transportandhealth_tcm41-191801.pdf).
112. Vakhushti Bagrationi – Description of the Realm of Georgia, Georgian Prose, vol. 5, Tbilisi, 1983, pp. 381-454, (in Russian)
113. Wang M., Saricks C., Santini D. - Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions // ANL/ESD-38. Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, January 1999.
114. WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No 37, Geneva, 1995.
115. WMO (World Meteorological Organization), Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 43, Geneva, 1998.
116. WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of ozone depletion: 1998, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No 44, Geneva, Switzerland, 1999, 732 p.
117. Альмогеа Х.Р., Кабрепа К.Л. - Некоторые данные о приземном озоне на Кубе, Рабочее совещание по исследованию атмосферного озона (Тбилиси, 23 – 27 ноября 1981 г.), Тбилиси, Мецниереба, 1982.
118. Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Гогуа Р.А., Матиашвили Т.Г., Нодия А.Г., Харчилава Д.Ф., Хунджуа А.Т., Чихладзе В.А., Таварткиладзе К.А., Габедава В.А. – Оценка риска некоторых метео-геофизических факторов для здоровья людей в условиях Восточной Грузии (на примере Тбилиси), Сб. докл. 3-ей Межд. конф “Состояние и охрана воздушного

- бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов”, Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 74-76.
119. Амиранашвили А.,Джишкарини Д.,Нодия А.,Таташидзе З.,Сепиашвили Р. – Содержание аэроионов и естественная радиоактивность воздуха в Цхалтубской пещере, АН Грузии, Тбилиси, 1994, 53 с.
  120. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. - Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере, Мецниереба,Тбилиси,1991,113 с.
  121. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Киркитадзе Д.Д.,Никифоров Г.В.,Пичхия Т.Е., Одишария М.А.,Трофименко Л.Т. – Исследование процессов вымывания аэрозолей в атмосфере, Тез. Докл. Всесоюзн. Конф. “Примеси – трассеры атмосферных процессов”, Паланга, 11-13 мая 1989, Вильнюс, 1989, с. 26-26.
  122. Андруз Дж. и др. - Введение в химию окружающей среды, ил. Реакции в фотохимическом смоге, М., Мир, 1999, с. 53-57.
  123. Арабов А.Я., Белоглазов М.И., Еланский Н.Ф., Карпечко А.Ю., Картунова З.В., Кузнецов Г.И., Поволотская Н.П., Сенник И.А., Тарасова О.А. - Особенности вариаций концентрации приземного озона над европейской частью России, «Физические проблемы экологии (экологическая физика)», сборник научных трудов, под ред. В.И.Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показева, М., МАКС Пресс, №9, 2002, с. 56-69.
  124. Асланикашвили Н.А. – О вековом ходе солнечной радиации в Тбилиси. Тр. ЗакНИГМИ, Вып. 35, 1970.
  125. Аэрозоль и климат, под ред. Кондратьева К.Я., Л., Гидрометеиздат, 1991, 542 с.
  126. Балабуев А.Г., Ломая О.В., Цинцадзе Д.Г. – Годовой и суточный ход концентрации атмосферных аэрозолей в городских условиях, Сообщ. АН ГССР, т. 69, No 3, 1973, с. 585 – 588.
  127. Батчер С., Чарсон Р. – Введение в химию атмосферы, М., Мир, 1977, 270 с.
  128. Белан Б.Д., Складнева Т.К. - Суточный ход концентрации приземного озона в районе г. Томск, Метеорология и гидрология, N 5, 2001, с. 50 – 60.
  129. Беликов И.Б., Гранберг И.Г., Добрышман Е.М., Дьячков А.Ф., Еланский Н.Ф., Емиленко А.С., Копейкин В.Н., Косян С.А., Фокеева Е.В. – Маршрутные измерения загрязнения атмосферы в регионе Кавказских Минеральных Вод, Сб. докл. Второй межд. конф. “Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов”, Кисловодск, 8-14 октября, 2000, с. 32 – 44.
  130. Берлянд М.Е. – Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы, Л., Гидрометеиздат, 1975, 448 с.
  131. Болбас М. М. - Основы промышленной экологии. М., Высшая школа, 1993.
  132. Борисов В.В., Ивлеев Л.С., Сирота В.Г. - Временные вариации концентрации озона в приземном слое атмосферы, Атмосферный озон, Труды VI Всесоюзного симпозиума, Ленинград, 15 – 17 мая 1985 г., 1987, с.143– 146.
  133. Ван дер Варден Б.Л. – Математическая статистика, М., Иностранная литература, 1960, 435 с.
  134. Васильченко Л.А., Говорушкин Л.А., Гушин Г.П., Елисеев А.А. - Основные результаты регулярных многолетних измерений приземного озона в Воейково, Атмосферный озон. Труды VI Всесоюзного симпозиума, Ленинград, 15 – 17 мая 1985 г., 1987, с. 139– 143.
  135. Гиргждене Р. - Результаты измерения приземного озона в Болгарии. Всесоюзная конференция по атмосферному озону (2 – 6 октября 1988 г. г.Суздаль) г. Долгопрудный, 1988, с.107.
  136. Гиргждене Р.В., Шопанаскас К.К., Гиргждене А.И. - О ночных максимумах озона в приземном слое атмосферы, Рабочее совещание по исследованию атмосферного озона (Тбилиси, 23 – 27 ноября 1981 г.), Тбилиси, Мецниереба, 1982.
  137. ГН 2.1.6.1338-03 - Гигиенические нормативы (от 25.06.03) “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест”.
  138. ГН 2.2.5.1313-03 Гигиенические нормативы (от 15.06.03) “Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны”.

139. ГОСТ 12.1.007-76 - "ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности".
140. Грасник К.Х., Харчилава Дж.Ф. - Измерение приземного озона в Алазанской долине и Тбилиси, Рабочее совещание по исследованию атмосферного озона (Тбилиси, 23 – 27 ноября 1981 г.), Тбилиси, Мецниереба, 1982.
141. Гуния Г.С. – Вопросы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории Грузинской ССР, Л., Гидрометеиздат, 1985, 84 с.
142. Детри Ж. – Атмосфера должна быть чистой, М., 1973, 380 с.
143. Еланский Н.Ф., Беликов И.Б., Скороход А.И., Шумский Р.А. – Аномальные метеусловия летом 2002 года и их влияние на режим газовых примесей в приземном слое атмосферы в Москве, Сб. докл. 3-ей Межд. конф "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов", Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 25-26.
144. Ивлев Л.С., Сирота В.Г.- Суточные вариации концентрации озона в приземном слое атмосферы. Всесоюзная конференция по атмосферному озону (2 – 6 октября 1988 г. г.Суздаль) г. Долгопрудный, 1988, с. 32.
145. Израэль Ю.А. - Экология и контроль состояния природной среды, М., Гидрометеиздат, 2004, 127 с.
146. Исидоров В.А. - Органическая химия атмосферы/Под редакцией Иоффе Б.В. - Л., Химия, 1985, с. 174 – 176.
147. Калверт С., Инглунд Г.М. - Защита атмосферы от промышленных загрязнений. М., Металлургия, 1988.
148. Климат и климатические ресурсы Грузии, - под. ред. Ломинадзе В.П. и Чиракадзе Г.И., Тр. ЗакНИГМИ, вып. 44(50), Л., Гидрометеиздат, 1971, 384 с.
149. Кормилицын В.И., Цицкишвили М.С., Яламов Ю.И. - Основы экологии, М., 1997, 368 с. Кормилицын В.И., Цицкишвили М.С., Яламов Ю.И. - Основы экологии. Учебное пособие, М, МПУ, 2004, 255 с.
150. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. – Таблицы по математической статистике, М., Финансы и статистика, 1982, 267 с.
151. Панкратова Н.В., Арабов А.Я., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф., Савиных В.В., Сеник И.А., Скороход А.И., Демин В.В., Косолапенко В.И. – Режим приземного озона по данным наблюдений на сети станций ИФА РАН, Сб. докл. 3-ей Межд. конф "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов", Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 32-33.
152. Перов С.П., Хргиан А.Х. – Современные проблемы атмосферного озона, Л., Гидрометеиздат, 1980, 288 с.
153. Плауде Н.О., Вычужанина М.В., Монахова Н.А., Гришина Н.П. - Микроструктура смога и его вымывание осадками в Московской области в сентябре 2002 года, Метеорология и гидрология, 2003, № 12.
154. Попов В.А., Черных Л.Н., Печенникова Е.В. - Изучение озона в атмосфере городов как показателя фотохимических процессов. Труды Всесоюзного совещания по озону. М, Гидрометеиздат, 1980, с. 147 – 152.
155. Попов В.А., Черных Л.Н., Д.А.Северов - Изучение закономерностей образования фотохимического озона в атмосфере городов методом множественной корреляции. Рабочее совещание по исследованию атмосферного озона (Тбилиси, 23 – 27 ноября 1981 г.), Тбилиси, Мецниереба, 1982.
156. Райст П. – Аэрозоли, М., Мир, 1987, 278 с.
157. Русанов В.И. - Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей, Томск, изд. Томского университета, 1981, 87 с.
158. Самукашвили Р.Д. – Суммарная радиация на территории Кавказа, Тр. ВГИ, Вып. 43, 1979.
159. Сеник И. А. – Озон в атмосфере над горными районами Северного Кавказа, Автореферат диссертации на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук, ИФА РАН, Москва, 2004, 34 с.

160. Сенник И. А. – Режим приземного озона в фоновых условиях по данным Кисловодской высокогорной научной станции ИФА, Сб. докл. 2-ой Межд. Конф. “Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов”, Кисловодск, 8-14 октября 2000, с. 115-122.
161. Сенник И. А., Беликов И.Б., Галактионов В.В., Еланский Н.Ф., Картунова З.В., Лисицина Л.В., Поволоцкая Н.П. – Оценка степени загрязнения по наблюдениям на двух уровнях в тропосфере в районе города Кисловодска, Сб. докл. 3-ей Межд. конф “Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов”, Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 36 – 37.
162. Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Т. – Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе, М., Атомиздат, 1969, 312 с.
163. Сонькин А.Р. - Синоптико-статистический анализ и кратковременный прогноз загрязнения атмосферы - Л., Гидрометеиздат, 1991.
164. Сонькин Л.Р., Берлянд М.Е. - Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы, Л., Гидрометеиздат, 1985, 272 с.
165. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам, Л., Гидрометеиздат, 1976, 432 с.
166. Стернзат М.С. – Метеорологические приборы и измерения, Л., Гидрометеиздат, 1978, 392 с.
167. Стыро Б.И., Амиранашвили А.Г. – Некоторые результаты исследования естественной радиоактивности кучевых облаков, Тр. Ин-та физики АН Лит. ССР, Физика атмосферы, N 5, “Мокслас”, 1979, с. 25-41.
168. Стыро Б.И., Луянас В.Ю., Шопанас К.К. – Радиоактивность атмосферы и метеорология, Вильнюс, Минтис, 1975, 271 с.
169. Таваркиладзе К.А. – Моделирование аэрозольного ослабления радиации и методы контроля загрязнения атмосферы, Тбилиси, Мецниереба, 1989, 203 с.
170. Таваркиладзе К.А., Шенгелия И.И. – Современное изменение климата в Грузии. Изменение радиационного режима, Тбилиси, Мецниереба, 1999, 150 с., (на грузинском языке).
171. Ферстер Э., Ренц – Методы корреляционного и регрессионного анализа, М., Финансы и статистика, 1983, 304 с.
172. Харчилава Дж. Ф. – Исследование изменчивости концентрации приземного озона при различных погодных условиях в двух различных – экологически чистой и загрязненной точках г. Тбилиси, Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 60, 2008, с. 263-269.
173. Харчилава Дж. Ф. – Изменчивость концентрации приземного озона в городских и сельских условиях в зависимости от сезона и погодных условий, Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 60, 2008, с. 270-278.
174. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г. – Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии, Результаты исследований по международным геофизическим проектам, Москва, МГК, 1988, 114 с.
175. Харчилава Дж.Ф., Амиранашвили А.Г., Локапишвили М.Г. - Временная вариация концентрации приземного озона в городской и сельской местности , Тр. Симпозиума «Взаимосвязь региональных и глобальных процессов в атмосфере и гидросфере, 15 – 18 ноября 1988, г. Тбилиси, Тбилиси, Мецниереба, 1988.
176. Харчилава Дж.Ф., Амиранашвили А.Г., Чихладзе В.А. - Некоторые результаты исследований концентрации приземного озона в Руиспири и Тбилиси в 2002 году, Сб. докл. 3-ей Межд. конф “Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов”, Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 37 – 38.
177. Харчилава Дж.Ф., Ломая О.В., Локапишвили М.Г. - Об антропогенном возмущении приземного озона в г. Тбилиси. Всесоюзная конференция по атмосферному озону (2 – 6 октября 1988 г. г.Суздаль), г. Долгопрудный, 1988 , с. 104.
178. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М. - Анализ корреляционных связей концентрации приземного озона (КПО) в 15 со средними значениями КПО различного

- времени осреднения по дневным данным, Тр. Института геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, Том 61, 2009, с. 201 – 206.
179. Хргиан А.Х. – Физика атмосферного озона, Л., Гидрометеиздат, 1973, 292 с.
  180. Цибадзе А.Д., Твилдиани Д.Д., Члаидзе Т.И., Айвазшвили И.В., Харчилава Л.Д., Харчилава Дж.Ф., Чихладзе В.А. - Исследование возможной связи осложнений сердечно-сосудистых заболеваний и околосреднего атмосферного озона. Актуальные вопросы медицинской климатологии и климатотерапии. Сб. научн. трудов – Тбилиси, изд НИИКиФ Грузии, 1984, с. 26-32.
  181. Цуцкиридзе Я.А. – Радиационные факторы климата Грузии, Тр. ТбилНИГМИ. Вып. 10, 1962.
  182. Чихладзе В.А. – Анализ изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984 – 2003 гг., Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 60, 2008, с. 295-306.
  183. Чихладзе В.А. – Изменчивость среднегодовых, полугодовых, сезонных и месячных значений концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984 – 2003 гг., Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 60, 2008, с. 306-313.
  184. Чихладзе В.А. - Результаты исследований вариаций концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 гг., Тр. Ин-та геофизики АН Грузии им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, Том 58, 2003, с. 182-186.
  185. Чихладзе В.А., Хазарадзе К.Р., Челидзе Л. Т. - Вариации повторяемости среднечасовых концентраций приземного озона (КПО) в Тбилиси, Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135. Том 61. 2009, с. 208 – 215.
  186. Шелейховский Г.В. - Микроклимат южных городов, М., 1948, 118 с.
  187. Экология города. Учебник. Под редакцией Ф.В. Стольберга, К., Либра, 2004.
  188. <http://bezhlbicyn.temator.ru/>
  189. <http://city-atmosphere.ru/zdorove-i-ecology/ozon-i-chelovek>
  190. <http://ecoera.ucoz.ua/publ/41-1-0-2>
  191. <http://grani.ru/Events/Disaster/m.9687.html>
  192. <http://images.google.com/imgres?imgurl=http://cleantechlawandbusiness.com/cleanbeta/wpcontent/galle>
  193. <http://kavkasia.net/Russia/2010/1288399971.php>
  194. <http://moseco.ru/moscow-ecology/monitoring/air/air-normativ/>
  195. <http://mou004.omsk.edu.ru/ecolog/atm.htm>
  196. <http://news.gradusnik.ru/news>
  197. <http://news.leit.ru/archives/1149>
  198. <http://novost.ge>
  199. <http://poslezavtra.com.ua/kak-smog-povliyal-na-moskvichej/>
  200. <http://referat.yabotanic.ru/jekologiya/smog+eco>
  201. [http://sedac.ciesin.columbia.edu/wdc/map\\_gallery.jsp](http://sedac.ciesin.columbia.edu/wdc/map_gallery.jsp)
  202. [http://serc.carleton.edu/eet/aura/case\\_study.html](http://serc.carleton.edu/eet/aura/case_study.html)
  203. [http://sio.su/down\\_020\\_78\\_def.aspx](http://sio.su/down_020_78_def.aspx)
  204. <http://vtorresursi.ru/v-delo-pojdet-i-dym/borba-so-smogom>
  205. <http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/e/e1/LondonSmog.jpg/180px-LondonSmog.jpg>
  206. [http://www.apteka-ifk.ru/novosti\\_farmachevtiki/view/202/](http://www.apteka-ifk.ru/novosti_farmachevtiki/view/202/)
  207. <http://www.caresd.net/site.html?en=1&id=303>
  208. <http://www.carstock.ru/dDictionary>
  209. <http://www.chmi.cz/uoco/isko/groce/gr06e/asezobr.htm>
  210. <http://www.cira.colostate.edu/files/Rodriguez/rodriguez.JPG>
  211. <http://www.defra.gov.uk/.../statistics/ozone/ozone.htm>
  212. <http://www.demoscope.ru/weekly/2004/0173/tema02.php>
  213. [http://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/7D7BDF1E-9418-4952-9ADB - C2AF818518E6/Air1\\_enHighlights.gif](http://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/7D7BDF1E-9418-4952-9ADB-C2AF818518E6/Air1_enHighlights.gif)
  214. <http://www.ecology.md/section.php?section=news&id=51>
  215. <http://www.eea.europa.eu/publications/C1I92-9167-074-X/map13.jpg>



- 216. <http://www.epa.gov/airnow>
- 217. <http://www.euroclimat.ru/cgi-bin/index.cgi?r=10&s=0&seenews=1408>
- 218. <http://www.geostat.ge>
- 219. <http://www.hibrids-cars.ru/cars/index.htm>
- 220. <http://www.host-for.net/shop/index.pbp?productid=80>
- 221. <http://www.ig-geophysics.ge>
- 222. <http://www.infox.ru/03/body/2010/08/09.html>
- 223. <http://www.inopressa.ru/print/yomiuri/2004/08/23/12:56:35/smog>
- 224. <http://www.krugosvet.ru>
- 225. <http://www.medikforum.ru/news/health/treatment/3248-chem-opasen-smog.html>
- 226. <http://www.ncdc.ge>
- 227. <http://www.nifhi.ru/docs/Petryanov.pdf>
- 228. <http://www.pogoda.ru.net/health.htm>
- 229. <http://www.promeco.h1.ru/lek/monitoring.shtml#part12>
- 230. <http://www.refcity.ru/content/36567.html>
- 231. <http://www.SpecLetter.com/obcshestvo/2010-08-07/dyshat>
- 232. <http://www.speleomed.ru>
- 233. <http://www.sunhome.ru/journal/125580>
- 234. <http://www.travel.ru/news/2000/06/06/8248.html>
- 235. [http://www.treehugger.com/files/2004/09/hybridcarscom\\_1.php](http://www.treehugger.com/files/2004/09/hybridcarscom_1.php)
- 236. <http://www.trud.ru/>
- 237. <http://www.ugair.ru/stat/4-poll.html>
- 238. <http://www.uhawe.b.hartford.edu/kglasgow/hibridcars.html>
- 239. <http://www.vdvsn.ru/papers/si/2005/06/29/36608/>
- 240. <http://www.vira.ru/exp/news/detail.php?ID=994>
- 241. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/ru/index.html>
- 242. [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/reactive\\_gases.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/reactive_gases.html)
- 243. <http://www.worldbank.org/>
- 244. <http://www.xumuk.by.ru/acidmitro.html#5>
- 245. <http://znaeteli.ru/2010/08/velikij-smog-1952>

## სარჩევი

გვ.

|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| წინასიტყვაობა.....                                                                                                                                                                                                         | 3  |
| ხშირად ხმარებული აღნიშვნების და შემოკლებების სია .....                                                                                                                                                                     | 4  |
| შესავალი.....                                                                                                                                                                                                              | 5  |
| <b>თავი 1</b> ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის წარმოშობის და<br>არსებობის პირობები, მათი სივრცულ – დროითი მახასიათებლები,<br>უარყოფითი ზეგავლენა გარემოზე და დაცვის საშუალებები.....                                 | 9  |
| 1.1 სმოგის ზოგადი დახასიათება. ფოტოქიმიური სმოგი და ოზონი, მათი<br>წარმოქმნის და არსებობის პირობები .....                                                                                                                  | 9  |
| 1.2 ფოტოქიმიური სმოგის წინამორბედები .....                                                                                                                                                                                 | 11 |
| 1.3 მიწისპირა ოზონის წინამორბედები .....                                                                                                                                                                                   | 15 |
| 1.4 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და ფოტოქიმიური სმოგის<br>სივრცულ-დროითი მახასიათებლები .....                                                                                                                            | 19 |
| 1.5 ფოტოქიმიური სმოგის და მიწისპირა ოზონის ზემოქმედება ადამიანსა და<br>მის საარსებო გარემოზე .....                                                                                                                         | 24 |
| 1.6 მიწისპირა ოზონზე და ფოტოქიმიურ სმოგზე ზემოქმედების და მათგან<br>დაცვის არსებული მეთოდები .....                                                                                                                         | 37 |
| <b>თავი 2</b> მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და<br>განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების გაზომვის<br>მეთოდიკა. მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და მასზე აქტიური<br>ზემოქმედების მეთოდიკა ..... | 45 |
| 2.1 საველე და ლაბორატორიული ექსპერიმენტების ზოგადი აღწერა .....                                                                                                                                                            | 45 |
| 2.2 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და<br>განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების სტაციონარული<br>მონიტორინგი .....                                                                                | 47 |
| 2.3 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და<br>განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების მობილური<br>მონიტორინგი.....                                                                                     | 49 |
| 2.4 მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და მასზე აქტიური ზემოქმედების<br>მეთოდიკა.....                                                                                                                                        | 51 |
| 2.4.1 ლაბორატორიულ პირობებში მიწისპირა სმოგური ოზონის შექმნის და<br>გაზომვის მეთოდიკა .....                                                                                                                                | 51 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.2 ლაბორატორიულ პირობებში მიწისპირა სმოგურ ოზონზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდика.....                                                                                                                                                                           | 56         |
| 2.5 მიწისპირა ოზონის და ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და განმსაზღვრელი ატმოსფეროს ძირითადი პარამეტრების გამოყენებული საარქივო მასალების დახასიათება. მონაცემთა დამუშავების მეთოდика....                                                                            | 61         |
| <b>თავი 3 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და სხვა გამოსაკვლევი ატმოსფერული პარამეტრების ზოგადი სტატისტიკური სტრუქტურა.....</b>                                                                                                                                     | <b>62</b>  |
| 3.1 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის და სხვა გამოსაკვლევი ატმოსფერული პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები.....                                                                                                                                                 | 62         |
| 3.2 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, მზის რადიაციის, ხილვადობის და ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სისქის ცვალებადობა თბილისში ბოლო 30 წლის განმავლობაში.....                                                                                                       | 76         |
| 3.3 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციასა და სხვა გამოსაკვლევ ატმოსფერულ პარამეტრებს შორის ორმხრივი და მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები. თბილისური ტიპის სმოგი....                                                                                      | 84         |
| 3.3.1 ორმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის.....                                                                                                                                                                             | 85         |
| 3.3.2 თბილისური ტიპის სმოგი.....                                                                                                                                                                                                                                  | 89         |
| 3.3.3 მრავალმხრივი კორელაციური და რეგრესიული კავშირები გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის.....                                                                                                                                                                         | 93         |
| <b>თავი 4 ფოტოქიმიური სმოგისა და მიწისპირა ოზონის წარმოქმნის ძირითადი პირობების განსაზღვრა ქ. თბილისში. ოზონის, აეროზოლების, მსუბუქი იონების, რადონის, ნიადაგის გამა-გამოსხივების სივრცული განაწილება. მიწისპირა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის პროგნოზირება...</b> | <b>97</b>  |
| 4.1 ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის წარმოშობის პროცესების სხვადასხვა ატმოსფერულ პარამეტრებთან კავშირების ფიზიკურ-სტატისტიკური მოდელი.....                                                                                                                            | 97         |
| 4.2 ოზონის, აეროზოლების, მსუბუქი იონების, რადონის, ნიადაგის გამა-გამოსხივების სივრცული განაწილება.....                                                                                                                                                            | 103        |
| 4.3 მიწისპირა სმოგური ოზონის კონცენტრაციის პროგნოზირება.....                                                                                                                                                                                                      | 107        |
| <b>თავი 5 მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის, ფოტოქიმიური სმოგის თანამდევი და განმსაზღვრელი ატმოსფერული პარამეტრების ზემოქმედება ადამიანის ჯანმრთელობაზე ქ. თბილისის პირობებში.....</b>                                                                               | <b>111</b> |
| 5.1 ქ. თბილისის მოსახლეობის სიკვდილიანობის დინამიკა და მისი კავშირი მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციასთან.....                                                                                                                                                        | 113        |

|                                                                                                                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2 ქ. თბილისის მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე სმოგური ოზონის<br>კონცენტრაციის რისკის დონის შეფასება ბოლო 30 წლის განმავლობაში<br>სხვა ასტრო-მეტეო-გეოფიზიკური პარამეტრებით გამოწვეულ<br>რისკებთან შედარებით. .... | 118        |
| <b>თავი 6 ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის ადამიანის<br/>ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზეგავლენისაგან აქტიური და პასიური<br/>დაცვის შესაძლო საშუალებები. ....</b>                                           | <b>126</b> |
| 6.1 მიწისპირა ოზონზე სხვადასხვა ნაირსახეობის წყლის წვრილწვეთოვანი<br>წარმონაქმნით ზემოქმედების ლაბორატორიული მოდელირება. ....                                                                                 | 126        |
| 6.2 რეკომენდაციები ქ. თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და ოზონის<br>მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედების<br>შერბილებისათვის ღონისძიებების ჩასატარებლად. ....                                           | 132        |
| <b>დასკვნა. ....</b>                                                                                                                                                                                          | <b>135</b> |
| <b>Conclusion. ....</b>                                                                                                                                                                                       | <b>137</b> |
| <b>Заключение. ....</b>                                                                                                                                                                                       | <b>139</b> |
| <b>ლიტერატურა. ....</b>                                                                                                                                                                                       | <b>141</b> |

## Table of Content

|                                                                                                                                                                                                                          | pp. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Preface</b> .....                                                                                                                                                                                                     | 3   |
| <b>Frequently utilized designations and reduction</b> .....                                                                                                                                                              | 4   |
| <b>Introduction.</b> .....                                                                                                                                                                                               | 5   |
| <b>Chapter 1</b> Conditions of formation and existence of photochemical smog and surface ozone, their spatial-temporary characteristics, unfavorable action on the environment and the possibilities of protection ..... | 9   |
| 1.1 General characteristics of smog. Photochemical smog and ozone, the condition of their formation and existence. ....                                                                                                  | 9   |
| 1.2 Precursors of photochemical smog. ....                                                                                                                                                                               | 11  |
| 1.3 Precursors of surface ozone .....                                                                                                                                                                                    | 15  |
| 1.4 Spatial-temporary characteristics of the concentration of surface ozone and photochemical smog. ....                                                                                                                 | 19  |
| 1.5 Action of photochemical smog and surface ozone on people and the medium of their inhabiting .....                                                                                                                    | 24  |
| 1.6 Methods of protection from the photochemical smog and ozone and the methods of action on them. ....                                                                                                                  | 37  |
| <b>Chapter 2</b> Methods of studies of basic associating and determining photochemical smog and ozone atmospheric parameters. Method of the creation of surface smog ozone and active action on it. ....                 | 45  |
| 2.1 General description of field and laboratory experiments. ....                                                                                                                                                        | 45  |
| 2.2 Stationary monitoring of surface ozone and photochemical smog and their basic associated and determining atmospheric parameters. ....                                                                                | 47  |
| 2.3 Mobile monitoring of surface ozone and photochemical smog and their basic associated and determining atmospheric parameters. ....                                                                                    | 49  |
| 2.4 Method of the creation of smog ozone and active action on it .....                                                                                                                                                   | 51  |
| 2.4.1 Method of creation and measurement of surface smog ozone under laboratory conditions. .                                                                                                                            | 51  |
| 2.4.2 Method of active action on surface smog ozone under laboratory conditions. ....                                                                                                                                    | 56  |
| 2.5 Characteristic of the utilized archive data about photochemical smog and surface ozone and of their basic associated and determining atmospheric parameters. Methods of data processing. ....                        | 61  |
| <b>Chapter 3</b> General statistic structure of the surface ozone concentration and other investigated atmospheric parameters .....                                                                                      | 62  |
| 3.1 Statistical characteristics of the surface ozone concentration and other investigated parameters. ....                                                                                                               | 62  |
| 3.2 Changeability of the surface ozone concentration, solar radiation, visibility and atmospheric aerosol optical depth in Tbilisi in the last 30 years .....                                                            | 76  |
| 3.3 Paired and multiple correlation and regression connections between the surface ozone concentration and other investigated atmospheric parameters. Tbilisi type of smog ...                                           | 84  |
| 3.3.1 Paired correlation and regression connections between the investigated parameters ...                                                                                                                              | 85  |
| 3.3.2 Tbilisi type of smog .....                                                                                                                                                                                         | 89  |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.3 Multiple correlation and regression connection between the investigated parameters . .                                                                                                                                                                  | 93  |
| <b>Chapter 4</b> Basic conditions for the formation of photochemical smog and surface ozone in Tbilisi. Spatial distribution of ozone, aerosols, light ions, radon and gamma-radiation of soil. Forecasting of the surface smog ozone concentration . . . . . | 97  |
| 4.1 Physical statistical model of the connections of processes of formation of photochemical smog and ozone with different atmospheric parameters . . . . .                                                                                                   | 97  |
| 4.2 Spatial distribution of ozone, aerosols, light ions, radon and gamma-radiation of soil . . . . .                                                                                                                                                          | 103 |
| 4.3 Forecasting of the surface smog ozone concentration. . . . .                                                                                                                                                                                              | 107 |
| <b>Chapter 5</b> Action on the health of people of the surface ozone concentration, photochemical smog and of their associated and determining atmospheric parameters under the conditions of Tbilisi. . . . .                                                | 111 |
| 5.1 Dynamics of the mortality of the population of Tbilisi and its connection with the surface ozone concentration . . . . .                                                                                                                                  | 113 |
| 5.2 Comparison of risk levels of the smog ozone concentration for the health of the population of Tbilisi with the risks for the health of other astro-meteo-geophysical parameters in the last 30 years. . . . .                                             | 118 |
| <b>Chapter 6</b> Possible means of active and passive protection of the health of people from the unfavorable action of photochemical smog and ozone in Tbilisi . . . . .                                                                                     | 126 |
| 6.1 Laboratory simulation of action on surface ozone by the fine dispersed water formations of different form . . . . .                                                                                                                                       | 126 |
| 6.2 Recommendations regarding taking of measures for reduction in the negative effect on the health of people of photochemical smog and ozone in Tbilisi . . . . .                                                                                            | 132 |
| Conclusion . . . . .                                                                                                                                                                                                                                          | 137 |
| References. . . . .                                                                                                                                                                                                                                           | 141 |

## Оглавление

|                                                                                                                                                                                                                       | стр. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Предисловие</b> .....                                                                                                                                                                                              | 3    |
| <b>Часто используемые обозначения и сокращения.</b> .....                                                                                                                                                             | 4    |
| <b>Введение.</b> .....                                                                                                                                                                                                | 5    |
| <b>Глава 1</b> Условия образования и существования фотохимического смога и приземного озона, их пространственно-временные характеристики, неблагоприятное воздействие на окружающую среду и возможности защиты. . . . | 9    |
| 1.1 Общие характеристики смога. Фотохимический смог и озон, условия их образования и существования .....                                                                                                              | 9    |
| 1.2 Прекурсоры фотохимического смога .....                                                                                                                                                                            | 11   |
| 1.3 Прекурсоры приземного озона .....                                                                                                                                                                                 | 15   |
| 1.4 Пространственно-временные характеристики концентрации приземного озона и фотохимического смога .....                                                                                                              | 19   |
| 1.5 Воздействие фотохимического смога и приземного озона на человека и среду его обитания .....                                                                                                                       | 24   |
| 1.6 Способы защиты от фотохимического смога и озона и методы воздействия на них                                                                                                                                       | 37   |
| <b>Глава 2</b> Методика исследований основных сопутствующих и определяющих фотохимический смог и озон параметров атмосферы. Методика создания приземного смогового озона и активного воздействия на него . . . . .    | 45   |
| 2.1 Общее описание полевых и лабораторных экспериментов. . . . .                                                                                                                                                      | 45   |
| 2.2 Стационарный мониторинг приземного озона и фотохимического смога и основных сопутствующих и определяющих их параметров атмосферы .....                                                                            | 47   |
| 2.3 Мобильный мониторинг приземного озона и фотохимического смога и основных сопутствующих и определяющих их параметров атмосферы .....                                                                               | 49   |
| 2.4 Методика создания смогового озона и активного воздействия на него .....                                                                                                                                           | 51   |
| 2.4.1 Методика создания и измерения приземного смогового озона в лабораторных условиях .....                                                                                                                          | 51   |
| 2.4.2 Методика активного воздействия на приземный смоговый озон в лабораторных условиях. . . . .                                                                                                                      | 56   |
| 2.5 Характеристика используемых архивных данных о фотохимическом смоге и приземном озоне и основных сопутствующих и определяющих их параметров атмосферы. Методика обработки данных. . . . .                          | 61   |
| <b>Глава 3</b> Общая статистическая структура концентрации приземного озона и других исследуемых параметров атмосферы .....                                                                                           | 62   |
| 3.1 Статистические характеристики концентрации приземного озона и других исследуемых параметров. . . . .                                                                                                              | 62   |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                         |            |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2            | Изменчивость концентрации приземного озона, солнечной радиации, дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы в Тбилиси за последние 30 лет . . . . .                                                                                    | 76         |
| 3.3            | Парные и множественные корреляционные и регрессионные связи между концентрацией приземного озона и другими исследуемыми параметрами атмосферы. Тбилисский тип смога. . . . .                                                                            | 84         |
| 3.3.1          | Парные корреляционные и регрессионные связи между исследуемыми параметрами . . . . .                                                                                                                                                                    | 85         |
| 3.3.2          | Тбилисский тип смога . . . . .                                                                                                                                                                                                                          | 89         |
| 3.3.3          | Множественные корреляционные и регрессионные связи между исследуемыми параметрами. . . . .                                                                                                                                                              | 93         |
| <b>Глава 4</b> | <b>Основные условия образования фотохимического смога и приземного озона в Тбилиси. Пространственное распределение озона, аэрозолей, легких ионов, радона и гамма-излучения почвы. Прогнозирование концентрации приземного смогового озона. . . . .</b> | <b>97</b>  |
| 4.1            | Физико-статистическая модель связей процессов образования фотохимического смога и озона с различными параметрами атмосферы . . . . .                                                                                                                    | 97         |
| 4.2            | Пространственное распределение озона, аэрозолей, легких ионов, радона и гамма-излучения почвы. . . . .                                                                                                                                                  | 103        |
| 4.3            | Прогнозирование концентрации приземного смогового озона . . . . .                                                                                                                                                                                       | 107        |
| <b>Глава 5</b> | <b>Воздействие на здоровье людей концентрации приземного озона, фотохимического смога и сопутствующих и определяющих их параметров атмосферы в условиях г. Тбилиси. . . . .</b>                                                                         | <b>111</b> |
| 5.1            | Динамика смертности населения г. Тбилиси и ее связь с концентрацией приземного озона. . . . .                                                                                                                                                           | 113        |
| 5.2            | Сравнение уровней риска концентрации смогового озона для здоровья населения г. Тбилиси с рисками для здоровья других астро-метео-геофизических параметров за последние 30 лет. . . . .                                                                  | 118        |
| <b>Глава 6</b> | <b>Возможные средства активной и пассивной защиты здоровья людей от неблагоприятного воздействия фотохимического смога и озона в г. Тбилиси. . . . .</b>                                                                                                | <b>126</b> |
| 6.1            | Лабораторное моделирование воздействия на приземный озон мелкодисперсными водными образованиями различного вида. . . . .                                                                                                                                | 126        |
| 6.2            | Рекомендации по проведению мероприятий для снижения негативного влияния на здоровье людей фотохимического смога и озона в г. Тбилиси. . . . .                                                                                                           | 132        |
|                | Заключение. . . . .                                                                                                                                                                                                                                     | 139        |
|                | Литература . . . . .                                                                                                                                                                                                                                    | 141        |



ავთანდილ ამირანაშვილი, თეიმურაზ ბლიაძე, ვიქტორ ჩიხლაძე

## ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში

იბეჭდება ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია გეოფიზიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს დადგენილების საფუძველზე. ნაშრომი შესრულებულია სსიპ შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (გრანტი N GNSF/ST08/5-437) ფინანსური მხარდაჭერით. ტირაჟი 100 ეგზ.

თბილისი - 2012

Avtandil Amiranashvili, Teimuraz Bliadze, Victor Chikhladze

## Photochemical Smog in Tbilisi

Printed by the decision of the scientific council of the Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University. The work has been fulfilled by financial support of the Shota Rustaveli National Science Foundation (Grant N GNSF/ST08/5-437). Circulation 100 copies.

Tbilisi - 2012

Автандил Георгиевич Амиранашвили, Теймураз Герасимович Блиадзе, Виктор Александрович Чихладзе

## Фотохимический смог в Тбилиси

Печатается по постановлению ученого совета Института геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского Государственного Университета им. Иванэ Джавахишвили. Работа выполнена при финансовой поддержке национального научного фонда им. Шота Руставели (грант N GNSF/ST08/5-437).

Тираж 100 экз.

Тбилиси – 2012

მისამართი: ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია გეოფიზიკის ინსტიტუტი, მ. ალექსიძის ქ. 1, 0171 თბილისი, საქართველო, ტელ. +995(32) 233-28-67.

Address: Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 1 M. Aleksidze str., 0171 Tbilisi, Georgia, Tel.: +995(32) 233-28-67

Адрес: Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского Государственного Университета им. Иванэ Джавахишвили, 0171, Грузия, Тбилиси, ул. М. Алексидзе 1, Тел.: +995(32) 233-28-67

დაბეჭდილია გამომცემლობა “უნივერსალ”-ში

მისამართი: თბილისი, 0028, ი. ჭავჭავაძის გამ., 19, ტელ.: 222-36-09

Printed by Public Hous “Universal”

Address: 19, I. Chavchavadze av., Tbilisi, 0028, Tel.: 222-36-09

Напечатано в издательстве “Универсал”

Адрес: 0028, Тбилиси, пр. И. Чавчавадзе, 19, тел.: 222-36-09