

საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტრო
სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო
ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

ამინდი, კლიმატი და მათი ცვლილების კანონზომიერებანი საქართველოს პირობებში

ლიანა ქართველიშვილი, მარიკა ტატიშვილი,
ავთანდილ ამირანაშვილი,
ლია მეგრელიძე, ნატო კუტალაძე



გამომცემლობა „უნივერსალი“
თბილისი 2023

მონოგრაფიაში „ამინდი, კლიმატი და მათი ცვლილების კანონზომიერებანი საქართველოს პირობებში” კომპლექსურადაა შესწავლილი ამინდის წარმოქმნისა და ცვალებადობის გამომწვევი ბუნებრივი ფაქტორები, ასევე თანამედროვეობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემა – კლიმატის ცვლილება და მისი გამომწვევი მიზეზები თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით. გამოყენებულია მინისპირა ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელისა და დედამიწის სადამკვირვებლო მისიის თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემები. შეფასებულია კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება ქვეყნის მეურნეობის მთელი რიგ დარგებზე (სამშენებლო ინდუსტრია, ტურიზმი, ჯანდაცვა, განათლება და სხვა). მონოგრაფიას აქვს როგორც სამეცნიერო, ისე პრაქტიკული ღირებულება. მონოგრაფია განკუთვნილია ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისა და ფართო საზოგადოებისათვის. იგი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს როგორც დამხმარე სახელმძღვანელო უმაღლესი სასწავლებლების საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის.

სამეცნიერო რედაქტორები

ზურაბ ხვედელიძე – ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტ. პროფესორი

რამაზ ჭითანავა – გეოგრაფიის დოქტორი,

მსოფლიო მეტეოროლოგიურ ორგანიზაციაში

საქართველოს მუდმივი წარმომადგენელი

რეცენზენტები

რევაზ შანიძე – ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტ. პროფესორი

ნინო კვებევაძე – გეოგრაფიის დოქტორი

მონოგრაფია გამოიცა **შოთა რუსთაველის სამეცნიერო ფონდის** ფინანსური მხარდაჭერით **გრანტი № SP-22-1253**

© **ლ. ქართველიშვილი, მ. ტატიშვილი, ა. ამირანაშვილი,**
ლ. მეგრელიძე, ნ. ჟუტალაძე, 2023

გამომცემლობა „**უნივერსალი**“, 2023

თბილისი, 0186, ა. ჯოლიბაოვსაიას №4, ☎: 5(99) 17 22 30; 5(99) 33 52 02

E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversali@gmail.com

ISBN 978-9941-33-465-8

Ministry of Environmental Protection and Agriculture of Georgia
National Environment Agency
Institute of Hydrometeorology of
Georgian Technical University of Georgia
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University
Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Tbilisi State University

WEATHER, CLIMATE AND THEIR CHANGE
REGULARITIES FOR
THE CONDITIONS OF GEORGIA

Liana Kartvelishvili, Marika Tatishvili,
Avtandil Amiranashvili,
Lia Megrelidze, Nato Kutaladze



Publishing House “**UNIVERSAL**”

Tbilisi 2023

In the monograph "**Weather, climate and their change regularities for the conditions of Georgia**" the natural factors causing the formation and variability of weather, as well as one of the important problems of modernity, climate change and causing reasons are studied in the complex manner using modern technologies. The data of the ground based hydrometeorological network and satellite observations of the Earth Observation Mission are used. The impact of climate change on the number of sectors of the country's economy (construction industry, tourism, healthcare, education and others) has been evaluated. The monograph has both scientific and practical value. The monograph is intended for specialists working in this field and the wide society. It can be used as the supplementary handbook for students of the Faculty of Natural Sciences of higher education institutions.

Editors

Zurab Khvedelidze – Dr. of Phys.-Math. Scie. Professor

Ramaz Chitanava – Doctor of Geography

Permanent representative of the World Meteorological
Organization in Georgia

Reviewers

Revaz Shanidze – Dr. of Phys.-Math. Scie. Professor

Nino Kezevadze – Doctor of Geography

The monograph was published with the financial support of **Shota Rustaveli Science Foundation Grant №SP-22-1253**

© Liana Kartvelishvili, Marika Tatishvili, Avtandil Amiranashvili,
Lia Megreliдзе, Nato Kutaladze, 2023

Publishing House "UNIVERSAL", 2023

4,A. Politkovskaia st., 0186, Tbilisi, Georgia ☎: 5(99) 33 52 02, 5(99) 17 22 30
E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversali@gmail.com

ISBN 978-9941-33-465-8

სარჩევი

შესავალი	7
თავი 1. კლიმატი და მისი წარმომქმნელი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორები	11
თავი 2. კლიმატის ძირითადი ელემენტების (ტემპერატურა, ნალექი, ქარი, მზის რადიაცია, სინოტივე) ცვლილებების კანონზომიერებანი	19
თავი 3 . კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების ცვლილებები	65
თავი 4. სტიქიური ატმოსფერული მოვლენები	95
თავი 5. კლიმატის გათვალისწინება ეკონომიკის ზოგიერთი სექტორის (სოფლის მეურნეობა, ტურიზმი, მშენებლობა, ჯანდაცვა) დაპროექტებაში	142
თავი 6. ამინდისა და კლიმატის ცვლილების შესწავლის თანამედროვე მეთოდები	188
თავი 7. ატმოსფეროში მიმდინარე შემფოთებები	218
თავი 8. გეომაგნიტური ინდექსები და მათზე ამინდის და კლიმატის პარამეტრების დამოკიდებულება	230
თავი 9. ამინდისა და კლიმატის ცვლილების მოდელური და სამომავლო სცენარები	256
დასკვნა	292
Weather, climate and their change regularities for the conditions of Georgia	300
ლიტერატურა	386

CONTENT

Introduction	7
1 Chapter. Climate and its causing natural and anthropogenic factors	11
2 Chapter. Regularities of changes in the main climate elements (temperature, precipitation, wind, solar radiation, humidity) on the territory of Georgia	19
3 Chapter. Changes in complex climatic parameters	65
4 Chapter. Natural atmospheric events	95
5 Chapter. Considering the climate in the design of some sectors of the economy (agriculture, tourism, construction, health care)	142
6 Chapter. Modern methods of studying weather and climate change	188
7 Chapter. Perturbations in the atmosphere	218
8 Chapter. Geo-magnetic indices and dependence of weather and climate parameters on them	230
9 Chapter. Weather and climate change models and future scenarios	256
Conclusion	292
Weather, climate and their change regularities for the conditions of Georgia	300
Literature	386

შესავალი

ამინდისა და კლიმატის შესწავლას საქართველოში დიდი ხნის ისტორია აქვს. ამინდის პარამეტრებზე დაკვირვება ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნეში დაიწყო თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიურ ობსერვატორიაში, რომელიც 1924 წ. გეოფიზიკურ ობსერვატორიად გადაკეთდა. საქართველოში კლიმატისა და მისი ცვლილების კვლევის მიმართულებით მთელი რიგი სამუშაოები იქნა ჩატარებული. ჩვენ ძირითადად მიმოვიხილავთ მხოლოდ მონოგრაფიებს, რომლებიც ამ მიმართულებით არის შესრულებული. ერთ-ერთი პირველი მონოგრაფია „საქართველოს ჰავა“ 1961 წელს ამ დარგში ცნობილი ქართველი კლიმატოლოგის მ. კორძახიას მიერ იქნა გამოცემული. ნაშრომში, რომელიც წლების მანძილზე ითვლებოდა სამაგიდო წიგნად კლიმატოლოგებისათვის და ახლაც არ დაუკარგავს აქტუალობა, ავტორმა წარმოადგინა იმ დროისათვის საკმაოდ მდიდარი მონაცემთა ბაზა და კლიმატური მახასიათებლების განაწილებათა კანონზომიერებანი დროსა და სივრცეში; ასევე ამ ნაშრომში ავტორის მიერ პირველად იქნა წარმოდგენილი საქართველოს კლიმატური დარაიონების რუკა, რაც დღემდე მნიშვნელოვანია,

ამიერკავკასიის სამეცნიერო ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის თანამშრომელთა კოლექტიური მონოგრაფია გამოიცა რუსულ ენაზე 1971 წელს. მონოგრაფიაში დეტალურადაა განხილული კლიმატური ელემენტების განაწილებათა კანონზომიერებანი დროსა და სივრცეში, აგრეთვე საქართველოს ბიოკლიმატური რესურსები და, ბოლოს, პირველად ათი წლის შემდეგ მოცემულია საქართველოს ახალი კლიმატური დარაიონება. უნდა აღინიშნოს ასევე ცნობილი მეცნიერების ი. კვარაცხელიას (1971), ვ. გოგიშვილის (1974), მონოგრაფიები, რომლებშიც განხილულია ცალკეული კლიმატური ელემენტების განაწილებათა კანონზომიერებანი. აგრეთვე გამოცემულია მონოგრაფიები ი. ცუცქერიძის (1967), ნ. გვასალიას (1986), მ. ელიზბარაშვილის ავტორობით (1999), რომლებშიც განხილულია სითბური, თერმული და რადიაციული რეჟიმის დეტალური კვლევები. ასევე მთელი რიგი მონოგრაფიები შ. ჭავჭავაძის (1981), ა. ალიბეგოვას, ე. ელიზბარაშვილის, ზ. ჭავჭავაძის (1982) მიერ იყო გამოცემული ატმოსფერული ნალექების რეჟიმის შესახებ. 2015 წელს გამოქვეყნებულ მონოგრაფიაში კი რ. სამუკაშვილის ავტორობით განხილულია რადიაციული რეჟიმი კავკასიის მასშტაბით, რის საფუძველზე შეფასებულია ჰელიოენერგეტიკული რესურსები და შედგენილია შესაბამისი ჰელიოენერგეტიკული დარაიონება.

ერთ-ერთ ფუნდამენტურ ნაშრომს, რომელშიც განხილულია საქართველოს კლიმატური რესურსები და ძირითადი კლიმატწარმოქმნელი ფაქტორების ანალიზი, ასევე მიკროკლიმატური გამოკვლევები, წარმოადგენს ე. ელიზბარაშვილის მონოგრაფია „საქართველოს კლიმატური რესურსები“, რომელიც გამოიცა 2007 წელს. ამ ნაშრომის ერთ-ერთი ძირითადი ღირებულებაა ის, რომ

მასში მოცემულია კლიმატური ველების მათემატიკური მოდელირება და რაც მეტად მნიშვნელოვანია, დღევანდელ პირობებში კლიმატური რესურსების გამოყენების პერსპექტივები. საქართველოში ტურისტულ-რეკრეაციული საქმიანობის განვითარების მიზნით აქტუალურია იმ კვლევების მნიშვნელობა, დადგენილ იქნა ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების საშუალო მნიშვნელობების გარდა მათი ექსტრემალური მნიშვნელობების დროითი სვლა და რყევადობა.

საქართველოში რადიაციული რეჟიმის ცვლილებათა კანონზომიერების დადგენას მიეძღვნა ცალკე მონოგრაფია ვ. თავართქილაძისა და ვ. მენგელიას ავტორობით 1999 წ. რომელშიც განხილულია პირდაპირი და გაბნეული რადიაციის ქვეფენილი ზედაპირის ალბედოს და რადიაციული ბალანსის ცვალებადობა 1954-1999 წწ.

კოლექტიური მონოგრაფია „თბილისის კლიმატის მრავალწლიური ცვლილებები და ციკლური რყევადობა“, რომელშიც მონაწილეობას იღებდნენ საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის მეცნიერ-თანამშრომლები, გამოცემულია 2001 წელს ნ. ბეგალიშვილისა და ე. ელიზბარაშვილის რედაქტორობით. მრავალწლიური დაკვირვების საფუძველზე (1844-1995) რომლებიც ჩატარდა ერთ-ერთ ცნობილ სამეცნიერო ცენტრში – ი. კონიაშვილის სახელობის კურორტოლოგიის და ფიზიოთერაპიის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, სამეცნიერო კვლევების საფუძველზე გამოიცა რუსულ ენაზე მონოგრაფია „საქართველოს კურორტების კლიმატოგრაფია“ (ავტორები ე. ელიზბარაშვილი, ნ. გონგლაძე), რომელიც გამოიცა 1980 წელს. ასევე 1989 წელს გამოიცა საქართველოს კურორტების და საკურორტო რესურსების ატლასი, რომელმაც მიიღო საქართველოს სახელმწიფო პრემია.

დღევანდელ პირობებში როგორც ეკოლოგიური, ისე მატერიალური თვალსაზრისით ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს კლიმატის ცვლილება. ამ მიმართულებით ჩვენს ქვეყანაში მიმდინარეობს მთელი რიგი კვლევები. პირველი კვლევები საქართველოში ამ მიმართულებით ჩაატარეს ი. ქურდიანმა (1950), გ. ჭირაქაძემ (1959), რომლებმაც სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლები გამოავლინეს ტემპერატურის მრავალწლიურ ცვლილებაში. ასევე, ცნობილმა კლიმატოლოგმა ი. ცუცქერიძემ (1960) სცადა აღმოეჩინა ურბანიზაციის ეფექტი თბილისისა და გარდაბნის დაკვირვებათა მონაცემების შედარების საფუძველზე.

დ. მუმლაძის მონოგრაფიაში (1991) განხილულია საქართველოში კლიმატის ცვლილების ტენდენციები, რომელშიც შეფასებულია კლიმატის ცვლილების ერთ-ერთი ინდიკატორის – ჰაერის ტემპერატურის ზრდის ანალიზი 1966-1975 წლებში, რომელიც, ავტორის აზრით, მიმდინარეობდა ძირითადად ზამთრის ტემპერატურის ხარჯზე.

1992 წელს გამოიცა მონოგრაფია „თბილისის კლიმატი“, რომელშიც მრავალწლიურ დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე ჩატარებულია მრავალ-

მხრივი კვლევა კლიმატის რყევადობისა და კლიმატის მრავალწლიური ცვლილების გამოკვლევის მიზნით.

კოლექტიურ მონოგრაფიაში „საქართველოს კლიმატის ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში“ (ავტორები: ე. ელიზბარაშვილი, მ. ტატიშვილი, მ. ელიზბარაშვილი, მ. მესხია, შ. ელიზბარაშვილი წარმოდგენილია საქართველოში კლიმატის ცვლილების თანამედროვე მდგომარეობა. შექმნილია თვის საშუალო ტემპერატურისა და ნალექების უნიკალური 25-კმ-იანი რეზოლუციის ბადურ მონაცემთა ბაზა და შედგენილია შესაბამისი გეოინფორმაციული რუკები. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ კლიმატის ცვლილებას საქართველოში არაერთგვაროვანი ხასიათი აქვს. დაფიქსირდა და ლოკალური აცივებისა და დათბობის ცენტრები. ასევე, გამოვლინდა ნალექების ჰეტეროგენური განაწილების ხასიათი.

ლანდშაფტური კლიმატოლოგიის მიმართულებით, რომელიც ჩამოყალიბდა საქართველოს მრავალფეროვანი ბუნებრივი ლანდშაფტების კლიმატურ თავისებურებათა კვლევის შედეგად, გამოცემულ იქნა მონოგრაფია რუსულ ენაზე 2006 წელს მ. ელიზბარაშვილის ავტორობით „ლანდშაფტების კლიმატოლოგიის ძირითადი პრობლემები“.

1983 წელს გამოიცა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში კოლექტიური მონოგრაფია „კავკასიაში საშიში ძირითადი ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენები“. მასში განხილულია საშიში ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების ანალიზი კავკასიის რეგიონის მიხედვით.

საქართველოში ჩატარდა სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების კვლევები საგრანტო პროექტის ფარგლებში და მ. ელიზბარაშვილისა და ე. ელიზბარაშვილის ავტორობით 2012 წელს გამოიცა მონოგრაფია, რომელშიც შეჯამებულია კვლევები სხვადასხვა ჰიდრომეტეოროლოგიური საშიში მოვლენის შესახებ. ამ მოვლენების გაანალიზების შედეგად შედგენილია გეოინფორმაციული რუკები ამ მოვლენების ინტენსივობის შესახებ.

2017 წელს ე. ელიზბარაშვილის ავტორობით გამოიცა მონოგრაფია „საქართველოს ჰავა“, რომელშიც განხილულია საქართველოს ჰავის წარმომქმნელი სხვადასხვა ძირითადი და კლიმატური პარამეტრი, კლიმატური დარაიონების პრინციპები. მოცემულია უახლესი გეოინფორმაციული რუკები, აგრეთვე ინფორმაცია საშიში ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების ინტენსივობის შესახებ. დადგენილია ნიადაგის თითოეული ტიპის კლიმატური რეჟიმი, და ასევე საქართველოში კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების შეფასებები.

2018 წელს გამოცემული მონოგრაფია „სეტყვისა და ელჭექური პროცესების დინამიკა და სტატისტიკური განაწილება საქართველოში კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე“ შეიქმნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის გეგმური პროექტის „სეტყვა-ელჭექური ვარიაციები საქართველოს ტერიტორიაზე“ და მ. ტატიშვილის სადისერტაციო ნაშრომის „კონვექციური ღრუბლის ნალექწარმოქმნის ეფექტურობა“ საფუძველზე. სტატისტიკური ანა-

ლიზის გამოყენებით შესწავლილია სეტყვა-ელჭეჭური პროცესების განაწილება კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე. აგრეთვე ნაშრომში ჩართულია ნალექნარმომქმნელი პროცესების მოდელირება.

წარმოდგენილი მონოგრაფია „ამინდი, კლიმატი და მათი ცვლილების კანონზომიერებანი საქართველოს პირობებში“ გაგრძელებაა ზემოთ ჩამოთვლილი კვლევებისა, რომლებიც მომავალშიც გაგრძელდება. მასში კომპლექსურადაა შესწავლილი ამინდის წარმოქმნისა და ცვალებადობის გამომწვევი ბუნებრივი ფაქტორები, ასევე თანამედროვეობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემა – კლიმატის ცვლილება და მისი გამომწვევი მიზეზები თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით. გამოყენებულია მინისპირა ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელისა და დედამიწის სადამკვირვებლო მისიის თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემები. შეფასებულია კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება ქვეყნის მეურნეობის მთელ რიგ დარგებზე (სამშენებლო ინდუსტრია, ტურიზმი, ჯანდაცვა, განათლება).

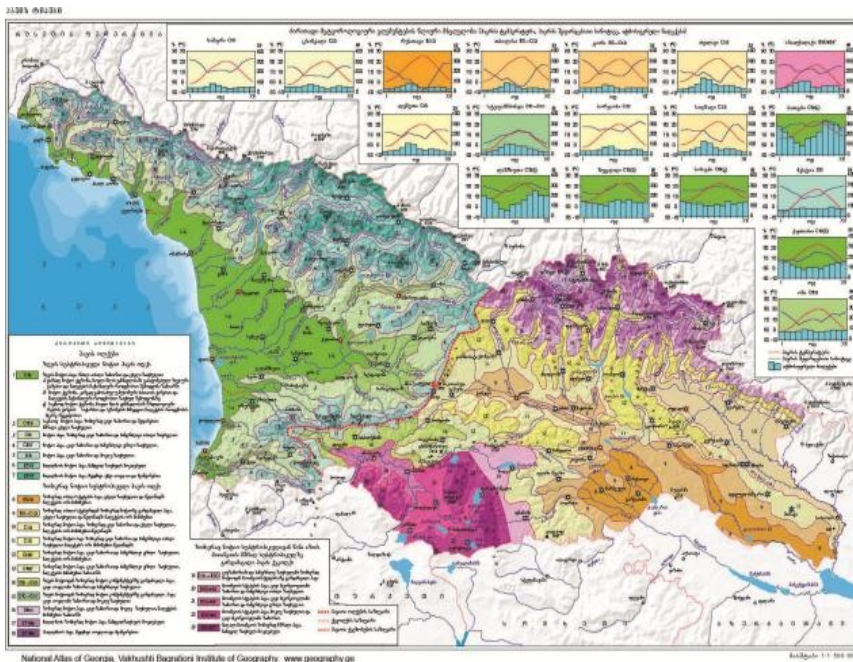
მონოგრაფია გამოირჩევა იმით, რომ მასში შესული კვლევები შესრულებულია უახლესი თანამედროვე მეთოდებითა და მიდგომებით. ეს მოიცავს მანქანურ სწავლებას, იონოსფეროს ამინდის პროგნოზირებას, ტროპოსფეროს ამინდის პროგნოზირების მოდელს, შექმნილს მსოფლიოს წამყვანი საპროგნოზო ცენტრების მიერ, გამოყენებულია დედამიწის სადამკვირვებლო მისიის თანამგზავრული ინფორმაცია და სხვ.

კლიმატი და მისი წარმომქმნელი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორები

კლიმატის კვლევა ყოველთვის იყო მნიშვნელოვანი და განსაკუთრებით აქტუალური გახდა მისი შესწავლა გასული საუკუნის მეორე ნახევრიდან. ეს განპირობებულია იმით, რომ კლიმატის გლობალური დათბობის ფონზე თავი იჩინა რეგიონულმა კლიმატურმა ვარიაციებმა, რამაც კაცობრიობას უამრავი პრობლემები შეუქმნა.

ეკონომიკის მდგრადი განვითარების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან გამონწვევას, რომელსაც საკმაოდ ხანგრძლივი ნეგატიური შედეგები მოსდევს სწორედ კლიმატის ცვლილება წარმოადგენს. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გამოვლენილი და შესწავლილი იქნება კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზები.

გარემოსა და კლიმატის ზემოქმედების სრულფასოვანი შესწავლა ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია ისეთი ქვეყნისათვის, როგორც საქართველოა, რომელიც ხასიათდება კლიმატური მრავალფეროვნებით და ასეთ მცირე ტერიტორიაზე გვხვდება თითქმის ყველა ტიპის კლიმატები გარდა ორისა (იხ. ნახ.1.1.), დაწყებული სუბტროპიკული ზონიდან დამთავრებული მარად თოვლიანი ზონით.



ნახ.1.1. საქართველოს კლიმატური დარაიონება
Fig. 1.1. Climatic zoning of Georgia

გასული საუკუნის განმავლობაში დედამიწის კლიმატი მნიშვნელოვნად შეიცვალა. კლიმატის ცვლილება გავლენას ახდენს როგორც დედამიწის ზოგად პარამეტრებზე, ასევე დედამიწის **ბიოფიზიკურ სისტემების ცვლილებებზე** (როგორცაა საკვები ნივთიერებების ციკლი, დინებები და სხვ.). არსებობს **7 ინდიკატორი**, რომლებიც სავარაუდოდ გაიზრდება დათბობის პირობებში და **3 ინდიკატორი**, რომლებიც სავარაუდოდ შემცირდება და ესენია [102,103,138]:

- ტროპოსფეროს ტემპერატურის ზრდა;
- ტენიანობის ზრდა;
- ოკეანეების თავზე ტემპერატურის ზრდა;
- ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის ზრდა;
- ზღვის დონის მატება;
- ოკეანის სითბოშემცველობის ზრდა;
- მინისპირა ტემპერატურის ზრდა;
- მცინვარების უკან დახევა;
- თოვლის საფარის შემცირება;
- ზღვის ყინულის საფარის შემცირება;

დათბობის შედეგები რამდენიმე თვალსაზრისით არის აშკარა, პლანეტის უმეტეს ნაწილზე აბლაცია და ყინულის დიდი რაოდენობით დნობა. ასეთი დნობა ამცირებს პოლარული რეგიონების ალბედოს უკანასკნელი 30 წლის მანძილზე. გრენლანდიისა და დასავლეთ ანტარქტიკის ყინულის საფარი არა მხოლოდ მცირდება, არამედ აბლაციის ტემპი იზრდებოდა კიდევ ამ ხნის განმავლობაში.

- დნობას განიცდის არქტიკული ზღვის ყინული.
- მცირდება და უკან იხევს კონტინენტური მცინვარების უმრავლესობა.
- ნადნობი წყალი და დათბობა განაპირობებს ზღვის დონის მატებას.
- ოკეანეებში, ასევე აშკარაა გლობალური დათბობის ეფექტი.
- ნადნობი წყალი და თავად დათბობა განაპირობებს ზღვის დონის დაკვირვებულ მატებას.
- ოკეანეები ოდნავ ფართოვდება მოცულობაში, რამდენადაც დათბობის პირობებში მცირდება ოკეანის წყლების სიმკვრივე. მხოლოდ ამ ფაქტორის სავარაუდო წვლილი ზღვის დონის აწევაში 25%-მდეა.
- 1900 წლიდან ზღვის დონის ზრდა წელიწადში 1-2 მმ-ს შედაგენს (18 სმ ჯამურად);
- გასული ათწლეულის ზრდის ტემპი ორჯერ მეტია, ვიდრე 1900-2000 წწ. პერიოდში.
- **ზღვის დონის ზრდა** საფრთხეს შეუქმნის:
 - სანაპირო ქალაქებს,
 - გაამწვავებს სანაპირო ეროზიულ პრობლემებს,
 - გამოიწვევს მტკნარი წყლის შეჭრას სანაპირო ზონებში.
- გაზრდილი ტემპერატურა ასევე იწვევს ოკეანეებში მეტი სითბოს შენახვას, რისი ერთ-ერთი შესამჩნევი ეფექტია **მარჯნების „გაუფერულება“**, რაზეც ამის გარდა მოქმედებს **ოკეანის აქსიდოფიკაცია (გამჟავება)**, რასაც CO₂-ის კონცენტრაციების ზრდა კიდევ უფრო აძლიერებს.
- ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდა ცვლის არა მარტო დედამიწის კლიმატს, არამედ წყალში გახსნისას იცვლება

წყლის pH და შემდგომში ოკეანე უფრო მჟავე ხდება. **pH ბალანსი** წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარამეტრს ზღვებსა და ოკეანეებში ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ნორმალური განვითარებისათვის.

ტემპერატურის ყველაზე სწრაფი ზრდა დაიკვირვება დედამიწის პოლუსებზე – არქტიკასა და ანტარქტიდაზე, მიუხედავად იმისა, რომ დედამიწის ტემპერატურის ზრდა არათანაბარი იყო [193].

- დადასტურებულია, რომ არა მხოლოდ მიწისპირა ტემპერატურა, არამედ იზრდება **ტროპოსფეროს ტემპერატურაც** და შესწავლილი ატმოსფერული მასის ტემპერატურის ზრდის ტემპები მსგავსია;
- ასევე გაიზარდა **ატმოსფეროში წყლის ორთქლის რაოდენობა**, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს ტემპერატურის ზრდას;
- ატმოსფეროში წყლის ორთქლის კონცენტრაციის ზრდამ მომავალში შესაძლოა გაზარდოს სათბურის ეფექტი, რამდენადაც წყალი ერთ-ერთი სათბურის აირია, რომელიც ხელს უწყობს დათბობას;

გამომკვები ადასტურებს, რომ 1960 წლიდან დაწყებული, გაიზარდა **ოკეანის წყლის ტემპერატურა** (3,000 მ სიღრმემდე), რამდენადაც წყალი მთანთქავს შემომავალი სითბოს უმეტეს წილს;

ოკეანის წყლის ტემპერატურის გაზრდამ შესაძლოა ხელი შეუწყოს **ზღვის მოცულობისა და დონის** ზრდას, ასევე გავლენა მოახდინოს **წყლის დინებების** ბუნებაზე.

გასული საუკუნის მანძილზე შემცირდა არა მხოლოდ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თოვლის საფარის არეალი, არამედ მთისა და კონტინენტური მყინვარები, ისევე როგორც მუდმივი მზრალობის ტერიტორია, რაც ხელს უწყობს ზღვის დონის ზრდას. ყველაზე მნიშვნელოვანი გავლენა განიცადა **ანტარქტიდისა და გრენლანდიის მყინვარებმა**;

მთის მყინვარები ხდება უფრო მცირე და სუსტი. მაგ., უკანასკნელი 200 წლის მანძილზე ციმბირის მთიანეთის ბევრი მყინვარი 4 კმ-ით შემცირდა [138];

ალპური მყინვარების ფართობი 30-40%-ით შემცირდა იმ ტერიტორიასთან შედარებით, რომლებსაც მცირე გამყინვარების პერიოდში იკავებდნენ;

ევროპაში მყინვარების მკვეთრი შემცირება პირდაპირ უკავშირდება მე-20 საუკუნეში ალპებში კლიმატის სწრაფ დათბობას. ასევე, შემცირებულია **მუდმივი მზრალობის** ფართობი.

ტემპერატურის ზრდა მნიშვნელოვანია დედამიწის პოლარულ რეგიონებში, შემცირდა ზღვის ყინულის საფარიც.

ზღვის დონის ცვლილებები მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს **სანაპიროს ეროზიის პროცესებზე** და ხელს უწყობს **სანაპირო ზონების დეგრადაციას**;

ნალექების რაოდენობა, თუმცა არათანაბრად, მე-20 საუკუნის დასაწყისიდან საშუალოდ 2%-ით გაიზარდა. მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ასევე, **ექსტრემალური ნალექების სიხშირე**;

ნალექების რაოდენობა გაიზარდა ჩრდილოეთ ამერიკასა და სამხრეთ ამერიკაში, ჩრდილოეთ ევროპაში, ჩრდილოეთ აზიასა და ცენტრალურ აზიაში, მაგრამ შემცირდა საჰელის რეგიონში (აფრიკა), ხმელთაშუაზღვისპირეთსა და სამხრეთ აფრიკაში.

გლობალური დათბობა ასევე დაკავშირებულია კლიმატის სისტემის სტაბილურობასა და ექსტრემალური კლიმატური მოვლენების გახშირებასთან. ეს ეხება როგორც კარიბის ზღვის აუზის ტროპიკული ციკლონებისა და ქარიშხლების სიხშირისა და ინტენსივობის ცვალებადობას, ასევე, აზიის მუსონურ წვიმებს.

კლიმატის ცვლილება პირდაპირ გავლენას ახდენს არა მხოლოდ ბუნებრივ, არამედ **ადამიანის გარემოზე**, ასევე რეგიონისთვის უჩვეულო სახეობების შესაძლო **ინვაზიაზე**.

გლობალური დათბობის გავლენით მათხული ბევრ რეგიონში უფრო თბილი გახდა და გაიზარდა ისეთი პერიოდების ინტენსივობა, როდესაც ფიქსირდება უკიდურესად მაღალი ტემპერატურები – „**თბური ტალღები**“.

უკიდურესად ცხელი მათხულის ნეგატიური ზეგავლენა ძლიერდება **ტენიანობის გაზრდით** – დადგინდა, რომ ზომიერ რეგიონებში ძალიან ცხელი ამინდების დროს იზრდება სიკვდილიანობის რაოდენობა.

2003 წელს აშშ-სა და საფრანგეთში და 2007 წელს საბერძნეთში თბური ტალღების შედეგად დაიღუპა რამდენიმე ასეული ადამიანი, ხოლო ლონდონის თბური ტალღების დროს სიკვდილიანობა გაიზარდა 15%-ით.

რა ინვესს ატმოსფეროს ტემპერატურის ზრდას?

არსებობს მრავალი შესაძლო მექანიზმი, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს ატმოსფეროს დათბობა, ბუნებრივი და ანთროპოგენური – სათბურის ეფექტი – სათბურის აირების კონცენტრაციის ზრდა, როგორიცაა CO₂, CH₄, NO, CFC, და ა.შ. (ფაქტობრივად, H₂O ძალიან ეფექტურია, თუმცა ამჟამად ვარაუდობენ, რომ სტაბილურ მდგომარეობაშია). უკანასკნელი მექანიზმი დღესდღეობით გლობალური დათბობის მართვადი მიზეზია [22].

- დედამიწის კლიმატის ცვლილების ტენდენციების ანალიზი აჩვენებს, რომ გასული საუკუნის განმავლობაში დედამიწის კლიმატი მნიშვნელოვნად შეიცვალა.
- კლიმატის ცვლილება გავლენას ახდენს, როგორც დედამიწის ზოგად პარამეტრებზე:
 - **ტემპერატურა**
 - **ნალექები**
 - **თოვლის საფარის სტაბილურობა ჩრდილოეთ რეგიონებში**

ასევე, დედამიწის **ბიოფიზიკურ სისტემებში ცვლილებებზე** (როგორიცაა საკვები ნივთიერებების ციკლი, დინებები და სხვ.)

- არსებობს იმის მტკიცებულების საფუძველი, რომ ატმოსფეროში **სათბურის აირების** გამონაბოლქვი და კონცენტრაცია წარმოადგენს არსებით ფაქტორს, რაც განსაზღვრავს დედამიწის კლიმატის მნიშვნელოვან ცვლილებას – **გლობალურ დათბობას**.

კლიმატის დროში ცვლილებებსა და ცვალებადობებს შესაძლოა ჰქონდეს სხვადასხვა ფორმა:

- **შემთხვევითი ცვალებადობა** (ზოგჯერ მოიხსენიება, როგორც ხმაური), როდესაც ატმოსფერული ცვლადი განიცდის არასისტემატური მიზეზით გამოწვეულ ფლუქტუაციას. ამდენად, ფლუქტუაცია არ მეორდება დროის გარკვეულ ინტერვალში და ითვლება უმნიშვნელოდ.

- **პერიოდულ ცვალებადობას** აქვს ანომალიის სახე, რომელიც შედარებით მუდმივი რეგულარობით ხასიათდება.
- **რყევადობის (ცვალებადობის) ცვლილებები** შეიძლება შეიცავდეს ან არ შეიცავდეს საშუალო მნიშვნელობის ცვლილებებს, მაგრამ ახასიათებს საშუალოს რყევადობის ზომის დროში წანაცვლება, ზრდის ან კლების მიმართულებით.
- უფრო მუდმივი ცვლილებები მოიცავს **დროით ტენდენციებს (ტრენდებს)**, როდესაც ატმოსფერული ცვლადის საშუალო მნიშვნელობას ახასიათებს დროში ნელ-ნელა მუდმივად წანაცვლება, ზრდის ან კლების მიმართულებით.
- **ნახტომისებური ცვლილებები** მოიცავს საშუალო მნიშვნელობის უცარ ცვლილებებს, განსხვავებით მდორე, მუდმივი წანაცვლებისა.

კლიმატის ბუნებრივი მამოძრავებელი ფაქტორებია მზის გამოსხივება (სინათლე და სითბო), მისი მაგნიტური ნაკადი და დედამიწის შედარებითი პოზიცია და ორიენტაცია მზის მიმართ. არსებობს დედამიწისა და მზის სამი ძირითადი პოზიციონარული ვარიაცია, რომელსაც მილანკოვიჩის ციკლი ეწოდება: ორბიტალური ექსცენტრისიტეტი, ღერძული დახრილობა (გადახრა) და ბუნიობის პრეცესია. ეს ციკლები გავლენას ახდენს დედამიწაზე დაცემული მზის სხივების რაოდენობასა და მდებარეობაზე.

ღერძული პრეცესია არის გრავიტაციით გამოწვეული, ნელი და უწყვეტი ცვლილება ასტრონომიული სხეულის ბრუნვის ღერძის ორიენტაციაში. კერძოდ, ეს ეხება დედამიწის ბრუნვის ღერძის ორიენტაციის თანდათანობით ცვლილებას, რომელიც წვეროებით შეერთებული წყილი მერხვევი კონუსის მსგავსად აისახება დაახლოებით 26000-წლიან ციკლში (ე.წ. დიდი ანუ პლატონური წელიწადი). ტერმინი „პრეცესია“ ჩვეულებრივ ეხება მხოლოდ ამ უდიდეს საუკუნოვან მოძრაობას; დედამიწის ღერძის განლაგების სხვა ცვლილებები – ნუტაცია და პოლარული მოძრაობა – გაცილებით მცირე ზომისაა [188].

დედამიწის პრეცესიას ისტორიულად ეწოდებოდა ბუნიობის პრეცესია, რადგან ბუნიობა დასავლეთისკენ მოძრაობაა ეკლიპტიკის გასწვრივ ფიქსირებულ ვარსკვლავებთან მიმართებით, ეკლიპტიკის გასწვრივ მზის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. მეცხრამეტე საუკუნის პირველ ნახევარში პლანეტებს შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების გამოთვლის გაუმჯობესების შედეგად დადგინდა, რომ თავად ეკლიპტიკა ოდნავ გადაადგილდება, რასაც პლანეტარული პრეცესია ეწოდა ჯერ კიდევ 1863 წელს, ხოლო მთვარე-მზის პრეცესიას დომინანტური კომპონენტი ეწოდა. მათ კომბინაციას ეწოდა ზოგადი პრეცესია, ბუნიობის პრეცესიის ნაცვლად.

მთვარე-მზის პრეცესია გამოწვეულია მთვარისა და მზის გრავიტაციული ურთიერთქმედებით დედამიწის ეკვატორულ გამობერვაზე, აიძულებს დედამიწის ბრუნვის ღერძს იმოძრაოს ინერციის ცენტრის მიმართ. პლანეტარული პრეცესია გამოწვეულია დედამიწაზე სხვა პლანეტების გრავიტაციული ურთიერთქმედებით და მის ორბიტალურ სიბრტყეს (ეკლიპტიკას) შორის არსებული მცირე კუთხით, რაც იწვევს ეკლიპტიკის სიბრტყის ოდნავ გადაადგილებას ინერციის მიმართ. მთვარე-მზის პრეცესია დაახლოებით 500-ჯერ აღემატება პლანეტის პრეცესიას. მთვარისა და მზის გარდა, სხვა პლანეტებიც იწვევენ დედამიწის ღერძის მცირე ცვლილებას ინერციულ სივრცეში. დედამიწის

ღერძის პრეცესიას აქვს მრავალი დაკვირვებადი ეფექტი. პირველი, სამხრეთ და ჩრდილოეთ ციური პოლუსების პოზიციები, როგორც ჩანს, წრიულად მოძრაობს ვარსკვლავეთის ფიქსირებულ ფონზე, ასრულებენ ერთ წრეს 25,772 იულიანულ წელიწადში (2000 წელი). ამრიგად, თუ დღეს პოლარული ვარსკვლავი მდებარეობს დაახლოებით ცის ჩრდილოეთ პოლუსზე, ეს დროთა განმავლობაში შეიცვლება და სხვა ვარსკვლავები გახდებიან "ჩრდილოეთის ვარსკვლავი".

დაახლოებით 3200 წელიწადში, ვარსკვლავი გამა ცეფეი ცეფეუსის თანავარსკვლავედში შეცვლის პოლარულ ვარსკვლავს. სამხრეთ ციურ პოლუსს ამჟამად აკლია ვაშკაშა ვარსკვლავი მისი პოზიციის აღსანიშნავად, მაგრამ დროთა განმავლობაში პრეცესია ასევე გამოიწვევს ვაშკაშა ვარსკვლავების სამხრეთის ვარსკვლავებად გადაქცევას. ციური პოლუსების გადაადგილებისას, ხდება შესაბამისი თანდათანობითი ცვლა მთელი ვარსკვლავეთის ხილულ ორიენტაციაში, როგორც ეს დაიკვირვება დედამიწის კონკრეტული პოზიციიდან. მეორეც, დედამიწის მდებარეობა მზის ირგვლივ ორბიტაზე მზებუდობის, ბუნიობის ან სეზონების სხვადასხვა პერიოდში ნელ-ნელა იცვლება. პრეცესია ახსნილი იქნა ისააკ ნიუტონის *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*-ში (1687). როგორც გრავიტაციის შედეგი, ნიუტონის თავდაპირველი პრეცესიის განტოლებები არ მუშაობდა კარგად, ამიტომ ისინი მნიშვნელოვნად გადააკეთეს ჟან ლე რონდ დ'ალაბერმა და სხვა მეცნიერებმა [163].

დედამიწის ბრუნვის ღერძი 25700 წლის განმავლობაში აღწერს პატარა წრეს ვარსკვლავებს შორის, ცენტრით ეკლიპტიკის ჩრდილოეთ პოლუსზე, რომლის კუთხური რადიუსი დაახლოებით $23,4^{\circ}$ -ია, კუთხე, რომელიც ცნობილია როგორც ეკლიპტიკის დახრილობა. პრეცესიის მიმართულება საპირისპიროა დედამიწის ყოველდღიური ბრუნვის მიმართულებისა მის ღერძზე. დედამიწა არ არის სრულყოფილი სფერო, არამედ შებრტყელებული სფეროიდა, რომლის ეკვატორული დიამეტრი დაახლოებით 43 კილომეტრით აღემატება მის პოლარულ დიამეტრს. დედამიწის ღერძული დახრის გამო, წელიწადის უმეტეს დროს ამ ამობურცვის ნახევარი, ყველაზე ახლოს არის მზესთან, ხოლო მეორე ნახევარი მოპირდაპირე მხარეს არის დაშორებული. გრავიტაციული მიზიდვა უახლოეს ნახევარზე უფრო ძლიერია, რადგან გრავიტაცია მანძილის მატებასთან ერთად მცირდება, ამიტომ ეს ქმნის მცირე ბრუნვას დედამიწაზე, რადგან მზე უფრო ძლიერად იზიდავს დედამიწის ერთ მხარეს, ვიდრე მეორეზე. ეს ბრუნვის ღერძი დაახლოებით პერპენდიკულარულია დედამიწის ბრუნვის ღერძის მიმართ. დედამიწა რომ იყოს სრულყოფილი სფერო, არ იქნებოდა პრეცესია.

დედამიწის დახრილობა მერყეობს 22.2° -დან 24.5° -მდე 41000 წლის განმავლობაში. დახრის ეს ცვლილება იწვევს დედამიწაზე დაცემული სეზონური რადიაციის რაოდენობის ხანგრძლივ ცვალებადობას, განსაკუთრებით მაღალ განედებზე. გაზრდილი დახრილობა აძლიერებს სეზონურ განსხვავებებს, ხოლო შემცირებული დახრილობა ამცირებს. დედამიწის ორბიტის ფორმა მზის გარშემო იზომება ექსცენტრისიტეტით (აღნიშნება e) და იცვლება დროთა განმავლობაში. როდესაც $e = 0$ ორბიტა იქნება სრულყოფილი წრე, e მნიშვნელობები დედამიწის ორბიტისთვის მერყეობს $0,005$ -დან $0,0607$ -მდე. დღეს დედამიწის $e = 0,0167$, რომელიც ახლოს არის წრიულ ორბიტასთან. ყოველ

100000 წელიწადში ერთხელ არსებობს ციკლი (პერიოდი) ϵ მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის. როდესაც დედამინა მზესთან ყველაზე ახლოსაა, ის პერიპელიონის პოზიციაზეა, ხოლო როდესაც დედამინა ყველაზე შორსაა, ის აფელიონის პოზიციაზეა. დედამინის დახრილობა ბევრად უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მანძილი მზემდე (სინამდვილეში დღევანდელი დედამინა იანვარში მზესთან ფაქტობრივად 4828032კმ-ით) [177]. თუმცა, როდესაც დახრილობა მინიმალურია და დედამინა აფელიონშია, კლიმატი ყველაზე ცივია. ექსცენტრისიტეტი გავლენას ახდენს სეზონურ განსხვავებებზე: როდესაც დედამინა მზესთან ყველაზე ახლოს არის, ის იღებს უფრო მეტ მზის რადიაციას. თუ ეს ხდება ზამთარში, ზამთარი ნაკლებად მკაცრია. თუ ნახევარსფეროზე ზაფხულია, ზაფხული შედარებით თბილია.

მილანკოვიჩის ანუ კლიმატის ცვლილების ასტრონომიული თეორია არის სეზონების ცვლილებების ახსნა, რომლებიც გამოწვეულია მზის გარშემო დედამინის ორბიტის ცვლილებებით. თეორიას ეწოდა სერბი ასტრონომის მილუტინ მილანკოვიჩის სახელი, რომელმაც გამოითვალა დედამინის ორბიტის გრძელ-პერიოდიანი ცვლილებები ვარსკვლავების პოზიციების ზუსტი გაზომვებით და სხვა პლანეტებისა და ვარსკვლავების გრავიტაციული მიზიდულობის გათვალისწინებით. მან დაადგინა, რომ დედამინა თავის ორბიტაზე "ირხევა". დედამინის "დახრილობა" არის ის, რაც იწვევს სეზონებს, ხოლო დედამინის დახრილობის ცვლილებები ცვლის სეზონების ხანგრძლივობას. სეზონები ასევე შეიძლება იყოს შეცვლილი მზის გარშემო ორბიტალური ექსცენტრისიტეტით (მრგვალობის ხარისხით) და პრეცესიის ეფექტით, მზედგომის პოზიციით წლიურ ორბიტაზე. ორბიტალური ცვლილებები ხდება ათასობით წლის განმავლობაში და კლიმატის სისტემას შესაძლოა ათასობით წელი დასჭირდეს ორბიტალურ ცვლილებაზე რეაგირებისთვის.

მილანკოვიჩის თეორია არის გრძელვადიანი კლიმატის ცვლილების ახსნა. მილანკოვიჩმა ააგო თავისი თეორია J.A Adhemar-ისა და James Croll-ის ნამუშევრებიდან. 1842 წელს ადემარმა ახსნა მყინვარული კლიმატი მხოლოდ პრეცესიის გამოყენებით [163]. 1864 წელს კროლმა დაწერა ორბიტალური ცვლილებებისა და გამყინვარების ხანის ციხულის შესახებ როგორც ექსცენტრისიტეტის ციკლის, ასევე პრეცესიის ციკლის გამოყენებით. მოგვიანებით, 1875 წელს მან გაითვალისწინა დახრილობის (დერძის დახრილობა) ციკლი [163].

მილანკოვიჩმა, როგორც მათემატიკოსმა, აიღო კროლის ნაშრომი და შეუდგა კლიმატის ცვლილების მათემატიკური თეორიის შემუშავებას. მისი თეორია აცხადებს, რომ "როდესაც დედამინა მოგზაურობს მზის გარშემო სივრცეში, ციკლური ცვალებადობა დედამინა-მზის გეომეტრიის სამი ელემენტის ერთობლიობაში წარმოქმნის ცვალებადობას მზის ენერჯის რაოდენობაში, რომელიც აღწევს დედამინას [164]. ამ სამ ელემენტს აქვს ციკლური ვარიაციები: ექსცენტრისიტეტი, დახრილობა და პრეცესია.

მილანკოვიჩის თეორია ვარაუდობს, რომ გამყინვარების ძირითადი მამოძრავებელი ძალა არის ზაფხულის მთლიანი რადიაცია, რომელიც მიღებულია ჩრდილოეთ განედებში, სადაც წარსულში წარმოიქმნა ციხულის ძირითადი ფენები, ჩრდილოეთით 65 გრადუსის მახლობლად. დაახლოებით 50 წლის განმავლობაში მილანკოვიჩის თეორია დიდწილად იგნორირებული იყო, მაგრამ 70-იან წლებში დაიწყო კონცეფციის აღორძინება. ეს მოხდა, როდესაც

მეცნიერებმა დაიწყეს წარსული კლიმატის რეკონსტრუქციის მცდელობა ოკეანის ბირთვების მონაცემებით, რომელსაც ეწოდება ოკეანის ალტერნატიული მონაცემები. ამ მონაცემების ნაწილი ფორმებისა (გაქვავებული ზღვის სახეობები) და დელტა-0-18 თანაფარდობა (ჟანგბადის იზოტოპის პროცენტული შემცველობა, რომელიც ნაპოვნია დანალექ ქანებსა და მიკროორგანიზმებში) გაანალიზებული იყო. აღმოჩნდა, რომ კლიმატის ცვალებადობა მჭიდრო კავშირში იყო დედამიწის ორბიტის გეომეტრიის ცვლილებებთან.

გამყინვარება მოხდა მაშინ, როდესაც დედამიწა ორბიტალური ვარიაციის სხვადასხვა ეტაპს გადიოდა. SPECMAP-მა (სპექტრალური რუკების პროექტი) დახვეწა ინსტრუმენტები და მონაცემები, რომლებიც საჭიროა მილანკოვიჩის თეორიის როლის გასარკვევად და ხელი შეუწყო დედამიწის კლიმატის სისტემის მუშაობის უკეთ გააზრებას. კიდევ ერთი ჯგუფი, COHMAP (Cooperative Holocene Mapping Project) [177], ცდილობს კლიმატის ცვლილებების რუკების დადგენას ალტერნატიულ მონაცემთა წყაროების გამოყენებით. გვიანი მეოთხეული პერიოდის კლიმატის სისტემის შიდა და გარეგანი ძალის გაგების მიღწეული წარმატების მიუხედავად, მრავალი პრობლემა რჩება ამოუხსნელი (American Geophysical Union, 1995). მილანკოვიჩის თეორია არის მხოლოდ ერთი ნაწილი და ჯერ კიდევ ბევრი ამოუხსნელი ნაწილია დარჩენილი.

მზის მაგნიტური ნაკადის ცვალებადობა აკონტროლებს ატმოსფეროზე მოხვედრილი კოსმოსური სხივების რაოდენობას. კოსმოსური სხივები წარმოქმნის იონიზაციას და იონები ქმნიან ბირთვებს ღრუბლის ფორმირებისთვის. ღრუბლის საფარი დიდ გავლენას ახდენს გლობალურ ტემპერატურაზე, მაგრამ ეს სფერო ჯერ კიდევ ცუდად არის გაგებული და არ არის გათვალისწინებული კლიმატის მოდელებში.

1980-იან და 1990-იან წლებში რადიომეტრებით აღჭურვილი თანამგზავრის მიერ ჩატარებულმა გამოძვებმა აჩვენა, რომ მზის ენერჯის გამოუმუშავება შეიძლება იყოს უფრო ცვალებადი, ვიდრე ადრე ფიქრობდნენ [164]. მათ აჩვენეს 18 თვის განმავლობაში დედამიწაზე მიმავალი მზის ენერჯის მთლიანი რაოდენობის 0,1%-ით შემცირება. რიცხვითი კლიმატური მოდელები პროგნოზირებენ, რომ მზის ენერჯის გამოუმუშავების ცვლილება საუკუნეში მხოლოდ 1%-ით შეცვლის დედამიწის ტემპერატურას 0,5-დან 1,0°C-მდე. მზის ლაქები არის ბნელი (უფრო გრილი) ადგილები მზის ზედაპირზე. მათი რიცხვი და ზომა აკონტროლებს ციკლის პერიოდს, რომლებიც მაქსიმუმს აღწევენ ყოველ 11, 90 და 180 წელიწადში ერთხელ. პატარა გამყინვარება (1650-1750) იყო შედარებით ცივი გლობალური კლიმატის დრო და მეცნიერები მას აკავშირებენ მზის აქტივობის შემცირებასთან 90 ან 180 წლის განმავლობაში. გამოძვებმა აჩვენა, რომ ამ წლის ციკლები გავლენას ახდენს მზის ლაქების 11-წლიანი ციკლის ამპლიტუდაზე. დაბალი ამპლიტუდის დროს, როგორცაა მაუდერის მინიმუმი, მზის მინიმალური გამოსხივება მცირდება. მზის ლაქების მაქსიმალური აქტივობის პერიოდში მზის მაგნიტური ველი ძლიერია. როდესაც მზის ლაქების აქტივობა დაბალია, ის სუსტდება. მზის მაგნიტური ველი ასევე იცვლება ყოველ 22 წელიწადში ერთხელ, მინიმალური მზის ლაქების დროს. გვალვები დედამიწაზე გარკვეულწილად შეიძლება დაკავშირებული იყოს ამ 22-წლიან ციკლთან.

თავი 2.

კლიმატის ძირითადი ელემენტების (ტემპერატურა, ქარი, ნალექი, სინოტივი) განაწილებათა კანონზომიერებანი საქართველოს ტერიტორიაზე

ეკონომიკის მთელი რიგი დარგების სწორი დაპროექტების მიზნით საჭიროა არსებობდეს საიმედო და სრულყოფილი კლიმატური ინფორმაცია. ტემპერატურული რეჟიმის დასახასიათებლად მნიშვნელოვანია ჰაერის ტემპერატურა და მისი განაწილებათა კანონზომიერებათა დადგენა დროსა და სივრცეში. ბუდრუგანით გაზომილი ტემპერატურისაგან განსხვავდება სხვადასხვა ზედაპირის ტემპერატურა (მცენარეული საფარი, ნიადაგი, კედლები), ყველაზე დიდი სხვაობა დაიკვირვება ბუდრუგანასა და ღია ზედაპირზე გაზომილი მინიმალური და მაქსიმალური ტემპერატურისას, ხოლო ყველაზე მცირე – საშუალო ტემპერატურების დადგენისას.

სხვადასხვა მასშტაბის კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების ზემოქმედებით ხდება ჰაერის ტემპერატურის რეჟიმის ჩამოყალიბება. არსებობს როგორც მაკრო, ისე მიკროკლიმატური ფაქტორები. მაკროკლიმატური ფაქტორები, როგორცაა ატმოსფეროს ცირკულაცია, აგრეთვე რადიაციული რეჟიმი და ქვეფენილი ზედაპირი, უშუალოდაა დამოკიდებული ადგილის გეოგრაფიულ განედზე. მიკროკლიმატური, ანუ ადგილობრივი პირობები, მიკრორელიეფი, მცენარეული საფარი, ნიადაგები, წყალსაცავების სიახლოვე და ტერიტორიის განაშენიანება ჰაერის ტემპერატურულ რეჟიმზე ახდენს ასევე მნიშვნელოვან გავლენას.

ყველა ეს ფაქტორი უნდა იქნეს გათვალისწინებული მეტეოროლოგიური სადგურის ამორჩევისას. იმ რეპრეზენტატული სადგურის მონაცემებს, რომლებიც ამ ტერიტორიაზე მდებარეობენ, იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა შედარებით დიდი ტერიტორიის ტემპერატურული რეჟიმის დახასიათება. ის სადგურები, რომლებიც მდებარეობენ განსაკუთრებულ პირობებში მიეკუთვნება არარეპრეზენტატულ სადგურებს (ჭაობიანი ადგილი, მდინარის ხეობები, ტყის მდელოები და სხვა). როდესაც საჭიროა ისეთი სადგურის დახასიათება, რომელიც მდებარეობს განსაკუთრებულ პირობებში, მისი ტემპერატურული რეჟიმის დახასიათება შეუძლებელია მეზობელი სადგურების უშუალო მონაცემების საშუალებით და საჭიროა დამატებითი შესწორებების შეტანა.

ჰაერის საშუალო თვიური და წლიური ტემპერატურა

საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე ერთგვაროვანი დაკვირვების რიგის მქონე სადგურებისათვის, 30-წლიანი პერიოდისათვის – 1961-1990 წწ.

(რომელიც მშო-ს კლიმატური კომისიის გადანყვეტილების თანახმად კლიმატური ნორმის პერიოდად არის მიღებული) და დაკვირვებათა ბოლო პერიოდისთვის – 1961-2010 წწ. ჰაერის ტემპერატურის საშუალო და წლიური მნიშვნელობები გამოთვლილია საქართველოს ტერიტორიაზე მდებარე ერთ-გვაროვანი დაკვირვების რიგის მქონე სადგურებისათვის [18,19]. მიღებული მონაცემები შენახულია სათანადო ცხრილების სახით გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემთა ბაზაში. ცხრილში 2.1. მოცემულია 1931-1960 და 1961-1990 წ.წ. პერიოდების ჰაერის საშუალო ტემპერატურას შორის სხვაობები საქართველოს 4 მეტეოსადგურის მიხედვით .

ცხრილი 2.1. 1931-1960 და 1961-1990 წ.წ. პერიოდების ჰაერის საშუალო ტემპერატურებს შორის სხვაობები

Table 2.1. Differences between air mean temperature in 1931-1960 and 1961-1990 year periods.

სადგურები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
აბასთუმანი	0.0	0.1	1.0	0.5	-0.3	-0.5	-0.1	-0.6	-0.2	-0.3	0.0	0.3
ქუთაისი	-0.2	0.4	1.0	0.8	-0.2	-0.1	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
თბილისი, ჰშო	0.4	-0.2	0.9	0.7	-0.1	-0.2	-0.2	-0.7	-0.2	-0.3	0.3	0.8
ბათუმი	0.1	0.6	0.8	0.6	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	0.1	0.0	0.1	-

ზოგიერთი მეცნიერის აზრით, გასული ათწლეულის [3,17] მონაცემებით მომავალი ათწლეული ყველაზე უფრო კარგად ხასიათდება. როგორც ცხრილის მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანმიმდევრულ ოცდაათწლიურების ტემპერატურას შორის არ არის დიდი სხვაობა და მერყეობს ± 1 გრადუსის ფარგლებში. თბილ პერიოდში ტემპერატურა 1961-1990 წლებში წინა 30-წლიან პერიოდთან შედარებით საშუალოდ შემცირდა 0.1 გრადუსით, ხოლო ცივ პერიოდში მოიმატა 0.3 გრადუსით. ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება განვიხილოთ ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობები, როგორც ტემპერატურული რეჟიმის პროგნოზი მომავალში. ამიტომ არასაკმარისი სიგრძის დაკვირვების მონაცემები არ შეიძლება იქნეს გამოყენებული მომავალში, განსაკუთრებით კი ნაგებობათა დაპროექტებისას.

ცხრილი 2.2.. თანმიმდევრული ათწლეულების ტემპერატურას შორის სხვაობა
 ქ. თბილისის მეტეოსადგურისათვის

Table 2.2. Difference between temperature of consecutive decades for Tbilisi weather station

ათწლეულები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1861-1870, 1851-1860	-0.2	-1.3	1.9	-1.0	-1.1	-0.4	-0.1	-0.5	-0.1	-1.1	0.1	-1.1
1871-1880, 1861-1870	0.8	1.2	-1.2	2.3	1.1	0.2	0.2	0.7	0.2	1.0	0.6	1.9
1881-1890, 1871-1880	-1.8	-0.4	0.2	-1.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.7	-0.3	-0.4	-1.0	-0.7
1891-1900, 1881-1890	1.0	0.6	-0.4	-0.8	-1.1	-0.1	0.0	0.4	0.1	0.2	-0.9	2.7
1901-1910, 1891-1900	0.2	0.9	0.2	0.9	0.4	0.3	-0.2	-0.8	-0.5	-0.7	0.9	-2.7
1911-1920, 1901-1910	1.8	-0.8	0.9	0.5	-1.0	-0.9	0.0	0.3	0.8	0.1	0.5	0.0
ათწლეულები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1921-1930, 1911-1920	-0.9	-1.1	-1.0	-0.5	2.3	1.1	0.0	0.5	-0.2	0.4	0.5	0.2
1931-1940, 1921-1930	-1.3	1.5	-0.4	0.4	-1.4	-0.6	0.3	0.2	0.7	0.6	-0.2	0.2
1941-1950, 1931-1940	1.1	0.1	0.0	-0.4	0.5	0.6	0.1	-0.9	-0.6	-1.7	-0.3	-1.0
1951-1960, 1941-1950	1.7	0.3	-0.1	0.3	0.1	-0.3	-0.1	0.7	-0.4	0.7	-0.6	0.7
1961-1970, 1951-1960	-0.5	0.2	1.2	0.1	0.2	0.1	-0.2	-0.8	0.0	-0.3	1.4	1.3
1971-1980, 1961-1970	-1.9	-1.2	-0.3	0.4	-0.7	-0.8	0.1	0.1	0.3	0.2	-0.9	-1.1
1981-1990, 1971-1980	2.2	0.4	-0.2	0.7	-0.2	0.6	0.2	-0.3	0.3	-0.1	0.1	0.2
1991-2000, 1981-1990	-0.2	0.0	0.1	-0.3	0.1	0.4	0.3	1.3	-0.2	0.7	-0.5	0.2
2001-2010, 1991-2000	-0.1	1.5	1.4	-1.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.9	0.9	1.0	-0.2

იმ შემთხვევაში, თუ არ აღინიშნება გარემო პირობების მკვეთრი ცვლილება, მაშინ შეიძლება საშუალო მრავალწლიური მონაცემები გავრცელდეს მომდევნო ათწლეულზე. რელიეფი და ადგილის მდებარეობა სიმაღლის მიხედვით ჰაერის ტემპერატურის განაწილების განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს. ტერიტორიის ტემპერატურული რეჟიმის შესახებ იძლევა ზოგად წარმოდგენას საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა და მისი ზოგადი დახასიათებისათვის გამოიყენება. საშუალო თვიური ტემპერატურა წლიდან წლამდე შესამჩნევად იცვლება. საშუალო მრავალწლიურ ტემპერატურასთან შედარებით იგი ხან იზრდება და ხან კლებულობს. ჰაერის საშუალო ტემპერატურა მრავალწლიური ნორმიდან ხან აქეთა და ხან იქითა მხარეს გადაიხრება.

ჰაერის ტემპერატურის საშუალო დღეღამური ამპლიტუდა ცის თაღის მდგომარეობის გათვალისწინების გარეშე

სხვაობას დღეღამურ მაქსიმალურ და მინიმალურ ტემპერატურას შორის ცის თაღის მდგომარეობის გათვალისწინების გარეშე ეწოდება ჰაერის ტემპერატურის საშუალო დღეღამური ამპლიტუდა.

ცხრილი 2.3. სხვაობები ჰაერის ტემპერატურის დღეღამურ ამპლიტუდებს შორის, რომლებიც გამოთვლილია ყოველდღიური და თვის საშუალო (ტემპერატურის მაქსიმუმი-მინიმუმი) მონაცემებით

Table 2.3. Differences between daily air temperature amplitudes calculated from daily and monthly average (maximum-minimum temperature) data

სადგურები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
მამისონის უღელტეხილი	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
ქუთაისი	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0
საქარა	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.1
თელავი	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
თბილისი, ჰშო	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
წალკა	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
ბათუმი, აეროპორტი	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ჰაერის ტემპერატურის დღეღამური ამპლიტუდების მაქსიმუმი აღინიშნება საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე თბილ პერიოდში, ხოლო მინიმუმი – ზამთარში. 3600 მ-ზე თითქმის სანინაალმდეგო კანონზომიერება აღინიშნება სიმაღლის ზრდასთან ერთად. სანაპირო ზონაში ტემპერატურის ამპლიტუდა მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს გაზაფხულისა და შემოდგომის თვეებში, ხოლო მინიმალურს – ივლისში. ჰაერის ტემპერატურის ამპლიტუდის მნიშვნელობა თანდათანობით იზრდება (ბათუმი 7.1 გრადუსი), დასავლეთ საქართველოს სანაპირო ზოლიდან დაწყებული და 10.4 გრადუსს (საქარა) აღწევს. აღმოსავლეთ საქართველოს სამხრეთ რაიონებში დაიკვირვება უდიდესი დღეღამური ამპლიტუდა (ახალციხე 16.0 გრადუსი) მაქსიმალური ამპლიტუდები მერყეობს 6-დან 16 გრადუსამდე, ხოლო მინიმალური – 4-დან 12 გრადუსამდე. ადგილის სიმაღლის ზრდასთან ერთად ამპლიტუდები თანდათანობით მცირდება და დანარჩენ ტერიტორიაზე მაქსიმალური ამპლიტუდა 6.6 გრადუსს აღწევს.

ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მინიმუმი

ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მინიმუმი არის დღე-ღამის ყველაზე ცივ პერიოდი, რომელიც ახასიათებს ჰაერის მინიმალურ ტემპერატურას. მასზე უფრო მეტად მოქმედებს ადგილობრივი თავისებურებანი, როგორცაა ზღვის სიახლოვე, რელიეფის ფორმა, ტყის მდელოებზე, რომლებიც დაცულია ქარისაგან, მინიმალური ტემპერატურა არის ისეთივე დაბალი, როგორც დაბლობ რეგიონებში, ხოლო ქალაქებსა და წყალსაცავის ნაპირზე ჰაერის ტემპერატურა, პირიქით, არის მაღალი, ვიდრე ღია სწორ ადგილზე. ისევე, როგორც საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა საშუალო მინიმალური ტემპერატურა, ძლიერ ცვლილებას განიცდის წლიდან წლამდე [2,3].

ჰაერის საშუალო მინიმუმი თბილისში აღინიშნა 1972 წლის იანვარში და შეადგენდა -6.4 გრადუსს, ხოლო 1966 წლის იანვარში კი -3.4 გრადუსს. ჰაერის ტემპერატურის მინიმუმის ტერიტორიული განაწილება არის ანალოგიური საშუალო ტემპერატურის განაწილებისა.

ცხრილი 2.4 ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმი

Table 2.4 Absolute minimum air temperature

პუნქტი	თვე												წელი
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
აბასთუმანი	-22.4	-22.7	-20.5	-14.3	-4.6	-2.2	1.3	1.9	-2.9	-9.2	-14.1	-20	-22.7
ამბროლაური	-21.5	-18.8	-12.4	-5.6	0	2	5.5	7	1	-3.5	-12.1	-19	-21.5
ახალქალაქი	-29.6	-29.5	-27.5	-22.2	-11	-5.6	-2.6	-0.9	-5.8	-15.7	-23.3	-28.8	-29.6

ახალციხე	-27.8	-24.3	-21.4	-14.1	-4.8	-0.4	3.3	1.5	-2.9	-13.2	-18.6	-24.4	-27.8
ბათუმი აგრ.	-6.1	-7.5	-4.9	-2.5	4.6	9.4	13.6	13.5	9.5	2.7	0	-4	-7.5
ბოლნისი	-16	-16.5	-9	-6.3	0.6	5.1	9.6	9	4	-3	-6.6	-14.4	-16.5
ბორჯომი	-19.5	-19.9	-15.9	-11.1	-0.8	3.2	7.1	6.2	1.1	-4.6	-10	-16.8	-19.9
გარდაბანი	-20.1	-19.2	-10.4	-4.7	1.2	7	12.1	11.2	4.3	-3.6	-5.9	-11.2	-20.1
გოდერძის უღელტ.	-25	-24.4	-22.7	-16.6	-11.3	-5.8	-0.9	0.2	-4.4	-13.2	-16.9	-20.2	-25
გორი	-26.1	-23.5	-15.1	-10.5	-2.3	2.8	6.7	5.1	-0.8	-4.9	-17.5	-22.2	-26.1
გურჯაანი	-7.2	-6.8	-3.6	1.7	6.9	10.3	14.4	14.2	9.3	3.2	-1.1	-5.7	3
დედოფლისწყა რო	-21.4	-17	-13.1	-6.9	1	3.3	9.9	8.5	3.3	-4.3	-7.4	-14.9	-21.4
ზესტაფონი	-12.6	-13.1	-8.5	-5	3.1	5.8	12	10.2	0	0	-3.6	-8.9	-13.1
ზუგდიდი	-14	-13.7	-10.7	-2.6	1.5	7.4	10.6	10.1	4.9	-0.6	-4.5	-7.6	-14
თბილისი	-16.3	-14.8	-7.4	-4	1.5	6.3	12.1	11.5	4.8	-2	-5.5	-11.4	-16.3

ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმი ახასიათებს ყველაზე დაბალ ტემპერატურას, რომელიც აღინიშნება დაკვირვების პერიოდში.

აღნიშნულ პერიოდთან სხვაობის მეთოდით მოყვანილია არასაკმარისი დაკვირვების მქონე რიგები. ყველაზე დაბალი მნიშვნელობები შეიძლება იქნეს დაკვირვებული ზამთარში, როდესაც ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ადვექტურ ფაქტორს, ნებისმიერ დროს, უმეტეს შემთხვევაში მინიმუმი ემთხვევა მზის ამოსვლას. განსაკუთრებით დიდ გავლენას ახდენს სადგურის სიმაღლე ზღვის დონიდან, ქვეფენილი ზედაპირის ხასიათი, ადგილის რელიეფი და სხვ. ისევე, როგორც ტემპერატურის სხვა მახასიათებლები, ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმი წლიდან წლამდე მკაფიოდ განსხვავდება. ქალაქ თბილისში აბსოლუტური მინიმუმი 1883 წელს იყო -24.4 გრადუსი, ხოლო 1966 წელს კი -0.2 გრადუსი.

ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მაქსიმუმი (საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა)

მაქსიმალური თერმომეტრის ჩვენებების საფუძველზე მიღებულია ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მაქსიმუმების მონაცემები. ჰაერის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე 1912 წელს დაიწყო დაკვირვებები მაქსიმალური თერმომეტრის გამოყენებით [2,3]. დღე-ღამის ყველაზე თბილი პერიოდის შესახებ წარმოდგე-

ნას იძლევა ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმუმი. ადგილობრივი პირობები ტურბულენტობის გაზრდის გამო საშუალო მაქსიმუმზე მოქმედებს უფრო ნაკლებად, ვიდრე საშუალო მინიმალურ ტემპერატურაზე, ადგილის მდებარეობის სიმაღლე ზღვის დონეზე მოქმედებს ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მაქსიმუმზე. ჰაერის საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა ეცემა ადგილის მდებარეობის სიმაღლის ზრდის მიხედვით. ეს კარგად ჩანს ფასანაურის (1070 მ) და თბილისის მონაცემების მიხედვით (ცხრ, 2.5.)

ცხრილი 2.5. ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მაქსიმუმის ცვლილება 100 მ. სიმაღლეზე

Table 2.5. Change of average maximum air temperature at 100 m height

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წელი
0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7

ისევე, როგორც სხვა მახასიათებლები, ზოგიერთ წლებში ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მაქსიმუმი მრავალწლიური ნორმიდან მკვეთრად განსხვავდება. ცხრილში 2.5 მოგვყავს ქუთაისის, აბასთუმნის, თბილისისა და ბათუმის მეტეოსადგურის მონაცემების მიხედვით საშუალო და უკიდურესი გადახრის მნიშვნელობები გადახრის სიდიდის დასახასიათებლად.

ზოგიერთ წლებში საქართველოს ტერიტორიაზე საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა მკვეთრად გადაიხრება მრავალწლიური ნორმიდან 7-8 გრადუსით წლის ცივ პერიოდში და 7-9 გრადუსით წლის თბილ პერიოდში. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი გადახრები იშვიათია და საშუალოდ წარმოადგენს 1-2 გრადუსს.

ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმი

ამორჩეული აბსოლუტური მაქსიმუმების რიგიდან, რომლებიც დაიკვირვება მაქსიმალური თერმომეტრის და „ვადიანი“ დაკვირვებების მაქსიმუმების მიხედვით, 1961-2010 წლებისათვის სათანადო შესწორებების შეტანის შემდეგ განსაზღვრულია ჰაერის ტემპერატურის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები.

მაქსიმალურ თერმომეტრზე დაკვირვებულ და “ვადიანი” დაკვირვებებით მიღებულ მაქსიმუმებს შორის სხვაობას წარმოადგენს შესწორებები. ჰაერის ტემპერატურის ყველაზე მაღალ მნიშვნელობას, რომელიც დაიკვირვება განსახილველ პერიოდში, ახასიათებს აბსოლუტური მაქსიმუმი.

ცხრილი 2.5. ჰაერის საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურის საშუალო და უდიდესი გადახრები

Table 2.5. The average and greatest deviations of the average maximum air temperature

გადახრები		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
აბასთუმანი (დაკვირვების პერიოდი: 1884-2005 წ.წ.)													
საშუალო ±		2.0	2.0	2.4	2.3	1.6	1.5	1.5	1.6	1.8	1.7	1.8	1.9
უდიდესი	დადებითი	5.7	5.5	5.7	5.0	2.9	4.1	5.7	4.7	5.0	5.5	7.7	5.1
	უარყოფითი	-5.7	-5.4	-6.9	-8.2	-9.1	-6.4	-5.3	-4.2	-5.8	-6.8	-7.5	-5.8
ქუთაისი (დაკვირვების პერიოდი: 1926-2010 წ.წ.)													
საშუალო ±		2.3	2.4	2.3	2.0	1.5	1.5	1.5	1.6	1.5	1.7	1.8	2.2
უდიდესი	დადებითი	6.3	5.2	5.5	5.3	4.5	3.9	4.3	6.8	4.2	6.8	5.8	6.8
	უარყოფითი	-7.4	-7.6	-8.2	-7.4	-5.2	-6.0	-4.5	-4.6	-3.9	-5.4	-6.8	-7.5
თბილისი, ჰმთ (დაკვირვების პერიოდი: 1844-2010 წ.წ.)													
საშუალო ±		2.1	2.2	1.9	2.1	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7
უდიდესი	დადებითი	6.0	5.6	6.4	5.8	4.3	4.0	4.3	6.6	4.8	5.2	3.6	4.1
	უარყოფითი	-5.9	-6.1	-6.4	-6.2	-4.4	-3.8	-4.5	-3.5	-4.3	-6.4	-6.4	-8.0
ბათუმი, აეროპორტი (დაკვირვების პერიოდი: 1947-2010 წ.წ.)													
საშუალო ±		2.2	2.3	2.1	1.4	1.1	0.8	0.8	1.0	1.0	1.4	1.5	1.9
უდიდესი	დადებითი	6.0	5.4	6.3	5.1	3.0	2.5	3.0	4.5	3.2	4.7	4.9	6.4
	უარყოფითი	-5.6	-7.0	-4.1	-3.6	-3.7	-1.7	-2.2	-2.6	-2.8	-3.5	-5.4	-4.8

ცხრილი 2.6. ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმი

Table 2.6. Absolute maximum air temperature

პუნქტი	სეზონი												წლიური
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
აბასთუმანი	11.3	16.5	21.2	26.7	29.6	33.8	38.7	36.8	32.6	29.8	22.5	15.3	38.7
ამბროლაური	18.1	23	28	33.5	35.5	37.7	41.8	41.2	39.5	33.5	25.8	19.7	41.8
ახალქალაქი	15	11.4	19.2	25.7	27.3	30.7	37.4	36.5	33.6	27.9	18.9	16.1	37.4
ბათუმი, აგრო	15.2	20	26	30.9	32.9	36.6	40.5	40	36.2	35.1	23.6	18.2	40.5
ბოლნისი	23.7	27.4	32.2	36.3	37.2	39.9	40.8	38.8	36.2	35.4	30.1	28.3	40.8
ბორჯომი	20.2	22.5	27.7	35	32.6	36.2	39	39	36.8	31	26.5	23.5	39
გარდაბანი	17.9	20.8	26.5	34	32.5	34	38	39.5	37	29.2	24.5	19	39.5
გოდერძის უღ.	18.6	23.1	26.4	35.4	35.3	38.7	39.9	41	39.5	33	24.7	22	41
გომი	7.7	9.8	11.7	18.4	23.5	26.1	30.5	28.3	25.6	22	15.1	8.3	30.5
გორი	16	21.5	26	30.5	32	36.2	37.4	38	36.6	30.9	24	20.6	38
გურჯაანი	14.2	16.4	21.1	25.7	29	30.8	34.8	34.5	31.5	25.9	19.5	16.4	25
დედოფლისწყარო	19.1	19.4	25.6	30.6	31	35.1	37.7	39.5	36	27.8	23.1	19	39.5
მესტაფონი	22.3	26.3	30	36.2	39	38.5	42	42.5	39.5	34.3	30.1	25.1	42.5
შუგდიდი	22.2	25.4	30.9	36.1	38.2	40.6	42.4	39.2	40.4	35.6	30.2	26.4	42.4
თბილისი	19.5	22.4	27.8	33.4	34	38.2	39.9	40	37.6	31.2	25.7	22.8	40
თელავი	21.3	20.7	26.1	32.3	32.1	35.8	40.2	39.4	36	32.7	25.1	21.6	40.2
თიანეთი	16.1	17.5	23.2	30	30.1	32	38	40	33.7	28.7	23.2	17.8	40
ლაგოდეხი	19.4	22.6	28	32.5	38.4	38.5	40.4	40.1	38	31	24.5	23	40.4
ლენტეხი	12.7	20.1	25	29.6	33.9	36	44	39.5	36	29.6	22.5	13.9	44
მთასაბუეთი	16	16.4	19.4	27.8	26.5	30	31.4	34.4	31.4	26.1	23.6	15.8	34.4
საგარეჯო	21.1	20.5	26	31.5	32.3	35.9	37.5	37.6	34.5	30.2	24.8	20.5	37.6
სამტრედიო	22.8	24.6	28.8	34.7	37	39.5	44.8	40.4	37.6	35.7	29.5	23.8	44.8
საჩხერე	19.6	23	27.2	33.5	39.5	37.7	41.9	41.5	39	35	27.6	22	41.9
ტყიბული	18.2	22.6	24.9	31.6	33.6	36.2	39.2	38.8	34.6	31.1	25.9	20.5	39.2
ფარავანი	8.2	7.1	12.7	20	23.4	29.9	29	29.7	25.8	23	15.2	9	29.9
ფასანაური	12.8	18.5	22.6	28.5	30	32	36	37	36	28	22.2	17.7	37
ფოთი	21.4	24.2	28.7	34.4	39.9	38.4	45.2	38.2	38.3	33.6	30.2	24.5	45.2
ქობულეთი	22.1	25.8	30.5	36	42.5	40.6	41.3	40.5	39.5	34	27.9	25.2	42.5
ქუთაისი	21.4	24.5	29	33.9	37.6	39.3	43.1	42	40	35.2	29.2	24.6	43.1
ყვარელი	23	22	26.8	33.6	33.8	36.7	39	39.4	38	31.7	24.5	21.6	39.4
ჩაქვი	23.7	26.1	29.2	35	38.3	40.6	40.8	40	35.2	35	29.1	25.7	40.8
ცაგერი	19	21.7	26.5	33	38	40.2	41	42	36.5	32	26.1	19	42
წალკა	13.5	16.1	23	25.9	27.1	29	32.5	34.6	30.1	27	21.3	16.4	34.6
წიფა	16.8	21.6	28.1	33	30.6	37.1	40	39.2	33.4	28.9	24.7	21.3	40
ხაშური	15.5	20.8	24.5	29.9	31.4	34.8	38.6	37.6	34.8	27.6	24	19.6	38.6
ხულო	17.4	20.8	24.7	32.2	35.5	38	40.8	39.5	35.8	33.6	26.5	21.6	40.8

ატმოსფერული ნალექები

ატმოსფერული ნალექები კლიმატის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს, რომელიც უნდა იყოს გათვალისწინებული სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობათა მშენებლობისას და ასევე ღია ადგილზე სამუშაოების ორგანიზაციისას.

საქართველოს ტერიტორიაზე თითქმის მთელი წლის განმავლობაში ატმოსფერული ნალექების მოსვლა უმთავრესად ციკლონური ზემოქმედებით არის განპირობებული [3]. თუმცა საკმაოდ ხშირად დაიკვირვება ნალექები, რომლებიც შიდამასიურ პროცესებთან და ელ-ჭექების მოქმედებასთანაა დაკავშირებული. მხოლოდ წლის თბილ პერიოდში – აღმოსავლეთ საქართველოში, ხოლო დასავლეთ საქართველოში – მთელი წლის მანძილზე. ატმოსფერული ნალექები ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლების მიხედვით: ნალექების რაოდენობა, ნალექების ხანგრძლივობა, ნალექების ინტენსივობა, დღეთა რიცხვი სხვადასხვა სიდიდის ნალექებით, ნალექების სახე (თოვლი, წვიმა, შერეული ნალექები).

ნალექების საშუალო რაოდენობა მიყვანილი ნალექსაზომის დაკვირვებათა ჩვენებებთან

წყლის ფენის სიმაღლით, ხასიათდება ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა (მყარი, თხევადი და შერეული), რომელიც წარმოიქმნება ჰორიზონტალურ ზედაპირზე (წვიმის, ჭირხლის, ნისლის, გამდნარი თოვლის, სეტყვისა და ხორხომელას მოსვლის შედეგად ჩამონადენის გაჟონვისა და აორთქლების არარსებობის შემთხვევაში).

მთელი რიგი გამოკვლევებით დადგინდა [19], რომ ნალექების დაკვირვების რიგი უნდა იყოს უფრო გრძელი, ვიდრე ტემპერატურისა, რაც განპირობებულია იმით, რომ ნალექებისათვის დამახასიათებელია წლიდან წლამდე უფრო დიდი ცვალებადობა. მრავალწლიური ნორმების მნიშვნელობაზე მოქმედებს ანომალიების არსებობა, როგორცაა (ძალიან მშრალი ან ნოტიო წლები). დაკვირვებათა სხვადასხვა რიგის პერიოდების ნალექები შედარებულ იქნა ერთმანეთთან იმისათვის, რომ დადგენილ იქნეს ნალექების ცვალებადობა. მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ნალექების საშუალო ოცდაათწლიურების რიგი უფრო მდგრადია, ვიდრე ათწლიურებისა. ნალექების ჯამი ყველაზე უფრო ნალექიან ათწლეულში ნორმისაგან განსხვავდება 32%-ით, ყველაზე მდგრად თვეში – იანვარში, ხოლო ყველაზე უფრო მშრალ წელიწადს – 51%-ით. ყველაზე ნალექიან წელს ნალექების ჯამის ნორმიდან გადახრა შეადგენს მხოლოდ 4% ოცდაათწლიურების მიხედვით, ხოლო ყველაზე მშრალ წელს – 37%-ს. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოს ტერიტორიის სხვადასხვა რაიონში ნალექების ცვლილება არ არის ერთგვაროვანი. წლიური

მსვლელობის ნორმასთან 10 და 30-წლიანი ნორმების შედარების მრუდი გვიჩვენებს, რომ მეტეოსადგურ ქუთაისის ოცდაათწლიურებიც კი არ არის საკმარისად მდგრადი, არათუ ათწლიურები.

ნალექების როგორც 30-წლიური, ასევე, 10-წლიური საშუალოების მნიშვნელოვანი მდგრადობა, აღმოსავლეთ საქართველოში აღინიშნება, რაც ჩანს ქ. თბილისის მეტეომონაცემების მიხედვით.

ცხრილი 2.10. ნალექების თვის საშუალო ჯამები, გამოთვლილი ცალკეული 10- და 30-წლიურებისთვის, პროცენტებში 1961-1990 წ.წ. პერიოდის საშუალოსთან შედარებით, თბილისი

Table 2.10. Average monthly precipitation totals, calculated for individual 10- and 30-year periods, in percentages compared to the average for the period 1961-1990, Tbilisi

პერიოდი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ცალკეული ათწლიურების მიხედვით												
1851-1860	82	73	98	97	82	94	112	64	128	83	85	108
1861-1870	65	80	106	109	92	86	132	95	161	112	67	94
1871-1880	108	76	85	96	82	108	100	74	157	87	99	143
1881-1890	73	88	82	118	107	90	104	63	140	89	124	87
1891-1900	63	85	104	125	109	93	70	90	126	113	94	140
1901-1910	84	80	101	81	110	106	131	82	143	102	155	146
1911-1920	55	74	100	130	130	115	78	53	155	137	96	58
1921-1930	49	110	78	115	95	113	135	80	75	88	99	120
1931-1940	132	96	84	90	144	92	174	63	102	88	153	81
1941-1950	96	73	152	62	98	104	74	78	115	151	107	119
1951-1960	84	83	135	90	100	97	93	92	127	123	94	105
1961-1970	98	68	93	99	85	72	106	108	112	81	79	100
1971-1980	123	120	105	104	121	125	96	83	129	113	92	110
1981-1990	79	112	101	96	94	103	98	110	59	105	129	90
1991-2000	80	75	99	121	78	110	57	99	99	110	112	144
2001-2010	88	73	109	138	103	116	137	81	118	174	98	86
ცალკეული ოცდაათწლიურების მიხედვით												
1851_1880	85	76	96	101	85	96	115	77	148	94	84	115
1861_1890	82	81	91	108	94	95	112	77	152	96	97	108
1871_1900	81	83	90	113	99	97	91	76	141	96	106	123
1881_1910	73	84	95	108	109	96	102	78	136	101	124	124
1891_1920	67	80	102	112	116	105	93	75	141	117	115	115
1901_1930	63	88	93	109	111	111	115	71	124	109	117	108
1911_1940	79	93	88	112	123	107	129	65	111	104	116	86
1921_1950	92	93	105	89	112	103	128	74	97	109	120	106
1931_1960	104	84	124	81	114	98	114	78	115	121	118	102
1941_1970	93	75	127	84	94	91	91	93	118	118	93	108
1951-1980	102	90	111	98	102	98	98	94	123	106	89	105
1961_1990	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1971_2000	94	103	102	107	98	113	84	97	96	109	111	115
1981_2010	82	87	103	119	92	110	97	96	92	130	113	106

სხვადასხვა უზრუნველყოფის ნაღვეების თვითური და წლიური რაოდენობა

წლიდან წლამდე ნაღვეები ხასიათდება დიდი ცვალებადობით და მისი საშუალოები ვერ ახასიათებს ამ ელემენტს სრულად, ამიტომ განისაზღვრება საშუალო მონაცემების პარალელურად სხვადასხვა უზრუნველყოფის ნაღვეების რაოდენობები. განსაზღვრულია ნაღვეების თვისა და წლის ჯამების ფაქტიურად დაკვირვებული მაქსიმალური და მინიმალური რაოდენობები, შესაბამისი წლების მითითებით. თუ ნაღვეების მაქსიმუმი ან მინიმუმი დაიკვირვებოდა ორი ან რამდენიმე წლის მანძილზე, მაშინ მითითებულია ყველა ის წლები, როდესაც ეს სიდიდე დაიკვირვებოდა. ნაღვეების რაოდენობის მონაცემების მიხედვით აიგება უზრუნველყოფის მრუდები. მათ ასაგებად გამოყენებულ იქნა მიახლოების სხვადასხვა მეთოდი. ამასთან, თითოეული შემთხვევისთვის შემონშებულ იქნა აპროქსიმაციის საიმედოობა, ე.წ. დეტერმინისტული კოეფიციენტის მიხედვით, რომელიც აღმოჩნდა არანაკლები 0.90-ისა, რაც ადასტურებს ხსენებული მიახლოების გამოყენების მიზანშეწონილობას, ამავე დროს, მონაცემთა უზრუნველყოფის მრუდების გაგლუვება იძლევა მონაცემთა ექსტრაპოლირების საშუალებას ფაქტიურ დაკვირვებათა რიგზე მეტი პერიოდისათვის [19].

ყველაზე მნიშვნელოვანია, განსაზღვრულ იქნეს ნაღვეების რაოდენობის სხვადასხვა უზრუნველყოფის უდიდესი (80, 90, 95%) და უმცირესი (2, 5, 10%) მნიშვნელობები ნაღვეები რეჟიმის დახასიათებისას. უდიდესი რაოდენობის ნაღვეების მოსვლის ალბათობა ნიშნავს, რომ წელიწადში ერთხელ შეიძლება მოვიდეს აღნიშნულზე მეტი რაოდენობის ნაღვეები, ხოლო ნაღვეების უმცირესი რაოდენობისათვის – აღნიშნულზე ნაკლები ან ტოლი რაოდენობის ნაღვეების ჯამი. ნაღვეების ჯამი და განსაკუთრებით მათი ექსტრემალური მნიშვნელობები არის ცვალებადი და მათი საშუალო მნიშვნელობები ვერ ახასიათებს ამ ელემენტს სრულად. ამიტომ ამ მონაცემების გარდა (თვის, სეზონის და წლის საშუალო ჯამები), განისაზღვრება სხვადასხვა უზრუნველყოფის ნაღვეების რაოდენობები. ნაღვეების რაოდენობრივი მახასიათებლების ალბათობები გაანგარიშებულია ჯამური ალბათობების ან უზრუნველყოფების მრუდების მიხედვით. მაგალითად, თუ ნაღვეების წლიური ჯამის 10%-იანი უზრუნველყოფა შეადგენს 2000 მმ-ს, ეს ნიშნავს, რომ საშუალოდ 10 წელიწადში ერთხელ მოდის 2000 მმ და მეტი ნაღვეი, თუ ნაღვეების წლიური ჯამის 95%-იანი უზრუნველყოფა შეადგენს 800 მმ-ს, მაშინ საშუალოდ 20 წელიწადში ერთხელ წლის მანძილზე მოდის 800 მმ-ზე ნაკლები ნაღვეი.

სხვადასხვა უზრუნველყოფის ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმი

ნაღვეების უდიდეს რაოდენობას, რომელიც მოდის მეტეოროლოგიური დღე-ღამის განმავლობაში, ეწოდება ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმი. ეს მონაცემი ძალიან არის დამოკიდებული იმ პერიოდის აბსოლუტურ ხანგრძლივობაზე, როდესაც ის დაიკვირვებოდა. სხვადასხვა უზრუნველყოფის ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმი ფართოდაა გამოყენებული სხვადასხვა სამშენებლო და ჰიდროლოგიური ანგარიშისას, ღია ცის ქვეშ მომუშავე ხელსაწყოებისა და ნაგებობების დაპროექტებისას.

ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმი [17] წარმოდგენილია მისი საშუალო მნიშვნელობით და განსაზღვრული უზრუნველყოფის მნიშვნელობებით. უზრუნველყოფა წარმოადგენს განსაზღვრულზე მაღალი ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმების ალბათობას. განმეორებადი დღელამური მაქსიმუმები 2 და 1%-იანი უზრუნველყოფებით (50 და 100 წელიწადში ერთხელ) დაკვირვებათა რიგის არასაკმარისი სიგრძის გამო ნაკლებად საიმედოა და ამიტომ ისინი უნდა განვიხილოთ, როგორც საორიენტაციო [18].

ექსტრემალური მნიშვნელობების თეორიის გამოყენებით ჩატარდა სხვადასხვა უზრუნველყოფის ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმის გაანგარიშებები [17]. ნაღვეების ექსტრემალურ მნიშვნელობათა ალბათობების დასადგენად გამოყენებულ იქნა R დაფუძნებული პროგრამული პაკეტი ExtRemes Toolkit, რომელიც შექმნილია ამერიკის ატმოსფეროს კვლევის ცენტრის (NCAR) მიერ. ანალიზი შესრულდა ყოველ სადგურზე განსაზღვრული წლიურ ექსტრემუმების რიგების მორგებით GEV განაწილების მრუდებზე მაქსიმალური ალბათობის შეფასების მეთოდის გამოყენებით (MLE). P-ური უზრუნველყოფის დონე განისაზღვრება, როგორც მნიშვნელობა, რომელიც აღემატება წლიურ ექსტრემუმს ერთხელ მაინც P წლების განმავლობაში. ყოველ სადგურზე გამოთვლილი იქნა ნაღვეების წლიური ექსტრემუმების 1.5, 5, 10, 20, 50 და 100 წლიანი უზრუნველყოფები. წლიური ექსტრემუმების ემპირიულ განაწილებათა GEV განაწილებასთან თავსებადობის შესაფასებლად გამოყენებულ იქნა თავსებადობის (GOF) სხვადასხვა ტესტები (მაგ., PP და QQ გრაფიკები) [5,10].

სიმაღლის მიხედვით იზრდება ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმები, ხოლო მათი შემცირება აღინიშნება შიდა მთის ხეობებში. როგორც წესი, ნაღვეების დღელამური მაქსიმუმები არის თავსხმა წვიმების შედეგი. თავსხმა ნაღვეები ზოგიერთ წლებში მოდის თბილი ნოტიო ჰაერის მასების გადაადგილებისას. ყველაზე დიდი რაოდენობის ნაღვეების მაქსიმუმები საქართველოში დაიკვირვება ძირითადად წელიწადის თბილ პერიოდში და მათ განაწილებას არ გააჩნია არანაირი კანონ-ზომიერება დროისა და სივრცის მიხედვით. ისევე როგორც დაკვირვებული აბსოლუტური მნიშვნელობები, იშვიათად განმეორებადი ნაღვეები, რომლებიც დაიკვირვება 100 წელიწადში ერთხელ (1%-იანი

უმრუნველყოფა) და 50 წელიწადში ერთხელ (2%-იანი უმრუნველყოფა), ნაკლებად საიმედოა და მათი ანგარიშებში გამოყენება არ არის დაშვებული.

დღეთა რიცხვი სხვადასხვა ნალექებით

შვიდი გრადაციის მიხედვით განსაზღვრულია ნალექიან დღეთა მრავალწლიური საშუალო რიცხვი, რომელიც მიღებულია უშუალოდ გაანგარიშებების საფუძველზე. ისეთი დღე-ღამე, როდესაც დღე-ღამის განმავლობაში მოსული ნალექების რაოდენობა აღემატება 0.1 მმ-ს, მიღებულია ნალექიან დღე-ღამედ. მიღებული მონაცემები შენახულია სათანადო ცხრილების სახით გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემთა ბაზაში.

ცხრილის გამოყენებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ პირველ გრადაციაში შედის ყველა დღე, ნალექების სიდიდის მიუხედავად; მეორე ჯგუფში – დღეთა რიცხვი 0.5 მმ- ზე ნაკლები ნალექით, მესამე ჯგუფში – ყველა დღე, გარდა იმ დღეებისა, როდესაც ნალექების რაოდენობა ნაკლებია 1.0 მმ-ზე და ა.შ. 1-ზე ნაკლები შემთხვევათა რაოდენობა გვიჩვენებს, რომ შესაბამისი გრადაციის ნალექები არ დაიკვირვება ყოველწლიურად. ინფორმაცია ნალექიან დღეთა შესახებ მეტად საინტერესოა ტერიტორიის დატენიანების რეჟიმის შესწავლისას.

ცხრილი. 2.11. დღეთა რიცხვი სხვადასხვა სიდიდის ნალექებით

Table. 2.11. Number of days with different amounts of precipitation

თვე	≥0.1	≥0.5	≥1.0	≥5.0	≥10.0	≥20.0	≥30.0	≥50.0
2. ამბროლაური								
1	13.5	12.5	11.1	5.6	2.8	0.8	0.3	0.1
2	11.4	10.6	9.3	4.5	2.0	0.7	0.2	0.1
3	12.4	11.4	10.0	4.8	2.1	0.6	0.3	0.0
4	13.5	12.5	11.2	5.8	2.9	0.6	0.3	0.0
5	14.4	13.4	11.8	5.7	3.2	0.9	0.2	0.0
6	13.1	12.0	11.0	6.0	3.3	1.3	0.5	0.1
7	10.1	9.2	7.9	4.1	2.3	1.2	0.6	0.2
8	9.5	8.6	7.7	4.2	2.5	1.1	0.5	0.1
9	10.1	9.4	8.4	4.9	2.9	1.2	0.4	0.1
10	11.8	11.1	10.0	6.2	4.0	1.9	0.7	0.1
11	12.0	11.2	10.2	6.2	3.7	1.1	0.2	0.1
12	13.1	12.5	11.4	6.3	3.6	1.4	0.6	0.1
წელი	144.9	134.3	120.1	64.5	35.3	12.6	4.6	1.1
4. ახალციხე								
1	8.2	6.5	5.3	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0
2	8.1	6.6	5.5	1.6	0.4	0.1	0.0	0.0

3	9.5	7.9	6.5	2.4	0.9	0.1	0.0	0.0
4	12.0	10.1	8.8	3.4	1.2	0.2	0.1	0.0
5	15.9	13.9	11.9	4.9	1.7	0.3	0.1	0.0
6	14.7	13.1	11.5	5.5	2.4	0.5	0.1	0.0
7	11.7	10.1	8.5	3.6	1.7	0.5	0.1	0.0
8	10.5	9.1	7.5	3.7	1.6	0.4	0.1	0.0
9	8.9	7.2	6.1	2.2	0.9	0.1	0.0	0.0
10	9.8	8.4	7.1	2.5	1.1	0.2	0.1	0.0
11	8.6	7.2	6.0	2.3	0.9	0.2	0.1	0.0
12	9.4	7.3	6.1	1.9	0.6	0.1	0.0	0.0
წელი	127.3	107.5	90.7	35.4	13.8	2.8	0.7	0.1

ქარი. ქარის სიჩქარე და მიმართულება.

ქარი, როგორც ვექტორული სიდიდე, ხასიათდება მოდულით (სიჩქარით) და ორიენტაციით. ამიტომ მისი კლიმატური დამუშავება მიმდინარეობს ორი მიმართულებით; განსაზღვრულია ცალ-ცალკე ქარის სიჩქარე და მიმართულება. დიდი ყურადღება დაეთმო პირველადი (ამოსავალი) რიგების ხარისხის შეფასებას. საქმე ისაა, რომ მეტეოინფორმაცია ქარის შესახებ მიიღება ორი ძირითადი ქარმზომი ხელსაწყოს: ფლუგერის და ანემორუმბომეტრის მიხედვით. ფლუგერის მიხედვით მიღებულ დაკვირვებათა მეთოდის თანახმად, ქარის სიჩქარე განისაზღვრება 2-ნთ-იანი ინტერვალით. ამასთანავე ფლუგერის ტექნიკური თავისებურებების გამო 10მ/ წმ-მდე ქარის სიჩქარის დროს ათვლის სიზუსტეა 1 მ/წმ, 11-დან 20 მ/წმ-მდე – 2მ/წმ, 20-დან 31 მ/წმ-მდე 4 მ/წმ და 32-დან 40 მ/ წმ-მდე – 6 მ/წმ.

ქარის სიჩქარის საშუალო თვიური და წლიური მნიშვნელობები გამოთვლილია ქარის საშუალო თვიური სიჩქარის მნიშვნელობების მიხედვით ყოველწლიური რიგებიდან 1961-1990 და 1961-2010 წ.წ. პერიოდებისთვის 10-წუთიანი გასაშუალებით. ქარის სიჩქარის მნიშვნელობები საკვლევი პერიოდების მიხედვით და მათი დამუშავების შედეგები, შესაბამისი ცხრილების სახით, ინახება გარემოს ეროვნული სააგენტოს სერვერზე ელექტრონულ არქივში [17,18]. როგორც მოყვანილი მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, ქარის სიჩქარე დამოკიდებულია მეტეოსადგურის მდებარეობაზე, რელიეფსა და ადგილის სიმაღლეზე, ღია ადგილზე ქარის სიჩქარე სიმაღლის მიხედვით იზრდება, ხოლო დიდ ქალაქებში, ტყიან რაიონებში, ღრმა ხეობებში, ქვაბულებსა და დაცულ ადგილებში ქარის სიჩქარე მცირდება.

წლიდან წლამდე უმნიშვნელოდ იცვლება ქარის სიჩქარის საშუალო წლიური მნიშვნელობები. ყველაზე დიდი გადახრები ქარის საშუალოდან ტერიტორიის უდიდეს ნაწილში აღინიშნება რიგ წლებში და აღწევს 25-35%-ს, ზოგიერთ რეგიონში კი – 50-70%-ს. ქარის სიჩქარის წლიურ სვლაში საქართვე-

ლოს მთელ ტერიტორიაზე შენარჩუნებულია გარკვეული კანონზომიერება. ზოგიერთი ადგილის გამოკლებით ძლიერი ქარები დაიკვირვება, უპირატესად, ზამთარ-გაზაფხულის, ხოლო სუსტი – ზაფხულ-შემოდგომის პერიოდში. ამის მიზეზია ის, რომ ქარის სიჩქარე შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთმანეთისაგან პუნქტის დაცულობის ხარისხის მიხედვით. საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს მეტეოსადგურის განლაგების თავისებურებანი ქარის სიჩქარის შეფასებისას იმ ადგილებში, სადაც ქარზე მიმდინარეობს დაკვირვებები.

ქარის საშუალო თვიური სიჩქარე იცვლება განსახილველ ტერიტორიაზე უფრო დიდ საზღვრებში, ვიდრე საშუალო წლიური სიჩქარე. საქართველოში საშუალო წლიური სიჩქარე იცვლება 0.6 მ/წმ-დან (აბასთუმანი) 9,2 მ/წმ-მდე (მთა-საბუეთი). უმცირესი ქარის სიჩქარე დაიკვირვება უფრო მეტად დაცულ რაიონებში, ღრმა ხეობებსა, დიდი ვაკვასიონის და სამხრეთ-მთიანეთის, ქვემო ქართლის დაბლობის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში და ვახეთის მთათაშორის დაბლობზე. საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე ქარის საშუალო სიჩქარე მერყეობს 2.1 მ/წმ-დან 4.0 მ/წმ-მდე. ქარის საშუალო სიჩქარე დიდი ვაკვასიონის მაღალმთიან ღია ადგილებში იზრდება და აღწევს 9,2 მ/წმ-ს. საქართველოს ღია მთიან ადგილზე მდებარე სადგურზე მთა-საბუეთი, რომელიც განიცდის ძლიერ აღმოსავლეთ და დასავლეთის შემოჭრებს, დაიკვირვება ქარის უდიდესი საშუალო სიჩქარე. ხოლო ღრმა ხეობებში აღინიშნება უმცირესი საშუალო თვიური სიჩქარე და აღწევს 0,2-0,4 მ/წმ-ს.

ქარის მაქსიმალური საშუალო სიჩქარე დაიკვირვება ზამთარ-შემოდგომის პერიოდში, უმეტესად იანვრიდან მარტის ჩათვლით, ხოლო მინიმალური – ზაფხულ-შემოდგომის პერიოდში (ივლისიდან სექტემბრის ჩათვლით). როგორც მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, კოლხეთის დაბლობზე [17,18], ზღვის სანაპირო ზოლის ჩათვლით, აჭარა-იმერეთის და თრიალეთის ქედებზე, ახალქალაქის მთიანეთში და დიდი ვაკვასიონის მთიან რაიონებში. დიდი ვაკვასიონის საშუალო მთიანი ზოლის, აღმოსავლეთ საქართველოს მთათაშორის დაბლობებზე და ჩაკეტილ ხეობებში მაქსიმალური საშუალო სიჩქარეები დაიკვირვება გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში (აპრილი-ივლისი), ხოლო მინიმალური – შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში (ოქტომბერ-დეკემბერი), რაც აიხსნება მთა-ხეობის ცირკულაციის გაძლიერებით მითითებულ რეგიონებში წლის თბილ პერიოდში.

საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე უდიდესი საშუალო თვიური ქარის სიჩქარე მერყეობს 0.8 მ/წმ-დან დახურულ (დაცულ) ადგილზე (აბასთუმანი) 10.6 მ/წმ-მდე გახსნილ (ღია) მთიან ადგილზე (მთა-საბუეთი). ქარის საშუალო თვიური სიჩქარის უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობათა განაწილების თავისებურებანი, როგორც მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, ქარის საშუალო წლიური სიჩქარის განაწილების ანალოგიურია.

ქარის მიმართულებისა და შტილის განმეორადობა

დაკვირვების საერთო რიცხვიდან თვეების მიხედვით განსაზღვრულია ქარის მიმართულების განმეორადობა, გამოხატული პროცენტებში, ასევე საშუალოდ წლისათვის, შტილის აღრიცხვის გარეშე, ყველა დაკვირვების საერთო რიცხვიდან. შტილის განმეორადობა მოცემულია პროცენტებში. გაანგარიშებისათვის გამოყენებულია დაკვირვებათა რიგები საკვლევი პერიოდისათვის.

არსებული კლასიფიკაციის შესაბამისად, ქარის მიმართულებაზე რელიეფის ფორმის ზემოქმედების დადგენის მიზნით მოყვანილია ორიენტაციის მიხედვით მეტეოსადგურის დაცულობის შეფასება. ქარის მიმართულების განმეორადობის გაანგარშების ცდომილება შეადგენს 0.5-0.9%-ს.

გარემოს ეროვნული სააგენტოს სერვერზე ელექტრონულ არქივში ინახება ქარის სიჩქარის მნიშვნელობები საკვლევი პერიოდების მიხედვით და მათი დამუშავების შედეგები.

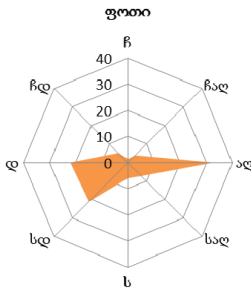
ცხრილში 2.12. მოცემულია ქარის მიმართულებისა და შტილის განმეორადობა (%), ხოლო ნახაზზე 7-10 ქარის ვარდულები პუნქტების მიხედვით

ცხრილი 2.12. ქარის მიმართულებისა და შტილის განმეორადობა (%)

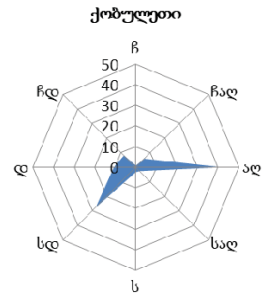
Table 2.12. Repetition of wind direction and wind direction (%)

№-№	პუნქტი	ჩ	ჩა	ა	სა	ს	სა	ა	ჩა	შტილი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ამბროლაური	1.3	2.2	43.0	0.6	1.3	1.5	49.9	0.2	52.5
2	ახალქალაქი	22.6	0.7	9.9	18.8	19.4	5.8	8.7	14.0	45.5
3	ახალციხე	7.0	6.7	22.3	8.4	10.8	8.1	25.9	10.8	63.9
4	ბათუმი აერ.	4.3	2.1	15.0	37.7	6.8	15.3	12.8	5.9	8.9
5	ბოლნისი	6.0	3.5	24.0	12.5	19.3	7.9	23.9	2.9	59.4
6	ბორჯომი	1.2	1.6	20.1	15.3	27.0	9.5	22.0	3.4	74.8
7	გორი	2.6	1.0	15.3	31.3	5.8	4.8	23.3	15.8	41.7
8	დედოფლისწყარო	11.3	10.4	14.9	13.8	9.9	4.1	20.1	15.4	67.5
9	ზესტაფონი	1.4	1.7	48.8	2.6	1.3	0.5	42.3	1.5	77.2
10	ზუგდიდი	9.2	9.9	26.2	10.1	9.3	10.5	20.0	4.7	28.2
11	თბილისი	25.7	9.5	10.2	7.0	10.5	7.6	14.1	15.5	59.0
12	თელავი	5.8	3.9	22.0	6.7	15.3	12.1	21.2	13.0	27.7
13	თიანეთი	3.8	2.1	9.9	26.7	3.7	7.4	40.9	5.4	52.4
14	ლაგოდეხი	32.3	17.2	10.4	9.7	12.8	9.6	4.9	3.2	80.5
15	მთა-საბუეთი	0.3	0.1	51.2	0.0	0.1	0.1	47.7	0.4	5.2
16	საგარეჯო	16.0	2.3	4.9	13.2	6.5	2.9	10.2	26.1	17.9
17	საჩხერე	0.3	0.2	6.6	2.3	0.9	1.4	13.1	0.1	75.1
18	ფასანაური	10.5	7.9	28.5	21.7	5.2	4.6	8.0	13.4	52.4
19	ფოთი	1.4	3.9	32.9	7.3	6.0	21.1	22.1	5.2	41.9
20	ქობულეთი	0.8	5.8	41.9	2.7	2.4	27.6	10.7	8.1	0.1
21	ქუთაისი	1.4	1.7	51.9	0.6	1.8	1.5	40.2	0.9	15.1

22	ყვარელი	15.9	13.9	10.7	13.3	16.8	12.9	9.6	7.0	61.0
23	ცაგერი	22.5	21.0	2.4	2.9	17.1	21.0	10.2	2.9	95.3
24	წალკა	2.2	4.9	14.9	11.6	7.5	8.8	31.7	18.4	53.2
25	ხაშური	0.3	0.2	35.6	0.1	0.1	0.3	63.1	0.3	48.9
26	ხულო	37.9	5.7	3.0	8.2	31.1	4.7	2.5	6.7	23.1



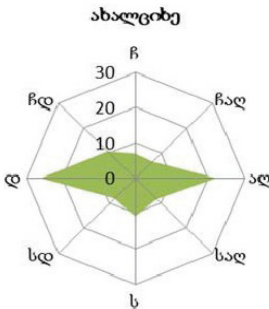
ნახ. 2.1



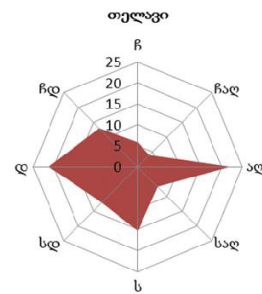
ნახ. 2.2

ქარის მიმართულებებისა და შტილის განმეორადობა (%) -ში ფოთსა და ქობულეთში

Fig. 2.1-2 Repetition of wind direction and still in (%) in Poti and Kobuleti



ნახ.2.3



ნახ.2.4

ქარის მიმართულებებისა და შტილის განმეორადობა (%) -ში ახალციხესა და თელავში [17,18]

Fig. 2. 3-4 Repetition of wind direction and still (%) in Akhaltsikhe and Telavi

ჰაერის ტენიანობა

ეკონომიკის მთელი რიგი დარგების სწორი დაპროექტებისა და დაგეგმარებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰაერის ტენიანობას, რომელიც კლიმატის ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია და საკმაოდ მგრძობიარეა ჰაერის ტემპერატურის, ატმოსფერული ნალექებისა და ღრუბლიანობის ცვლილების მიმართ. ატმოსფეროს შემადგენლობის არამდგრადი ნაწილის, წყლის

ორთქლის შემცველობა მკვეთრად იცვლება ადგილის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების, წლის სეზონების, ატმოსფეროს ცირკულაციის თავისებურებებისა და ქვეფენილი ზედაპირის ხასიათის მიხედვით. ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის საშუალო მრავალწლიური მონაცემები გამოთვლილია მათივე საშუალო თვიური და წლიური მნიშვნელობების მიხედვით ორი საანგარიშო პერიოდისათვის.

წყლის ორთქლის შემცველობა ჰაერში (პარციალური წნევა) ახასიათებს ჰაერის ტენის შემცველობას, ფარდობითი ტენიანობა კი წარმოადგენს ჰაერში შემავალი წყლის ორთქლის პარციალური წნევის შეფარდებას გაჯერებული წყლის ორთქლის პარციალურ წნევასთან იმავე ტემპერატურაზე, გამოსახულს პროცენტში [17,18].

ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის პარციალური წნევა, ისევე როგორც ჰაერის ტემპერატურა წლის განმავლობაში, უმცირეს მნიშვნელობას აღწევს ზამთარში (იანვარი-თებერვალი). ეს დაკავშირებულია ჰაერის ტემპერატურის წლიურ მსვლელობასთან და განპირობებულია ცირკულაციური პროცესებით. გაანგარიშებულია წყლის ორთქლის საშუალო თვიური და წლიური პარციალური წნევა (ჰპა) საქართველოსთვის. როგორც მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, წყლის ორთქლის სიდიდეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ადგილის მდებარეობა ზღვის დონიდან. სიმაღლის გაზრდასთან და ზღვის ნაპირის დაშორებასთან ერთად წყლის ორთქლის პარციალური წნევა კლებულობს, განსაკუთრებით ზაფხულის პერიოდში. ამ პარამეტრის წლიური მსვლელობა შეესაბამება ტემპერატურის მსვლელობას. მინიმუმს ადგილი აქვს იანვარში და დასავლეთ საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე იგი აღწევს 4.2-4.5 ჰპა-ს, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში – 3.1-3.9 ჰპა-ს. მაქსიმუმს ადგილი აქვს ივლის-აგვისტოში 23.2-23.9 ჰპა დასავლეთ საქართველოში და 18.1-18.7 ჰპა-ს აღმოსავლეთში. ამასთან დასავლეთ საქართველოში წყლის ორთქლის პარციალური წნევის დღელამური მერყეობა უმნიშვნელოა. მისი დღელამური ამპლიტუდის საშუალო სიდიდე უმნიშვნელოა. როდესაც დასავლეთის ნოტიო ქარს ცვლის აღმოსავლეთის მშრალი ქარი, წყლის ორთქლის პარციალური წნევა მკვეთრად იცვლება.

მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო და ექსტრემალური მნიშვნელობების, ინტენსივობისა და განმეორებადობის ცვალებადობის შესწავლა ბოლო 60-წლიანი პერიოდის (1956-2015 წ.წ.) დაკვირვებათა მონაცემების განზოგადების საფუძველზე

საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურის უკანასკნელი 60-წლიანი პერიოდის (1956-2015 წ.წ.) მონაცემებზე დაყრდნობით შესწავლილ იქნა მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო და ექსტრემალური მნიშვნელობების ინტენსივობისა და განმეორებადობის ცვლილების ხასიათი. აღნიშნული 39 სადგური შერჩეული იქნა საქართველოს ტერიტორიის კლიმატური

თავისებურებების ოპტიმალურად გათვალისწინების მიზნით, ასევე ქვეყნის ადმინისტრაციულ-ტერიტორიული დაყოფის საფუძველზე [5,10].

- აჭარა: ბათუმი, ქობულეთი, ხულო, გოდერძის უღელტეხილი
- გურია: ბახმარო, ჩოხატაური
- სამეგრელო-ზემო სვანეთი: ფოთი, ზუგდიდი, მესტია, ხაიში
- რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთი: ამბროლაური, შოვი, ლენტეხი
- იმერეთი: მთა-საბუეთი, ქუთაისი, ზესტაფონი, საჩხერე, სამტრედია
- სამცხე-ჯავახეთი: ახალციხე, ახალქალაქი, ბორჯომი, ბაკურიანი, ფარავანი
- შიდა ქართლი: გორი, ხაშური
- ქვემო ქართლი: თბილისი, ბოლნისი, წალკა, გარდაბანი
- მცხეთა-მთიანეთი: ფასანაური, თიანეთი, სტეფანწმინდა, გუდაური
- კახეთი: თელავი, გურჯაანი, საგარეჯო, ყვარელი, ლაგოდეხი, დედოფლისწყარო

შეფასებულ იქნა, როგორც ტემპერატურისა და ნალექების, ასევე ქარის სიჩქარისა და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის ცვლილების ტენდენციები. გამოყენებული მონაცემების ბაზა შეიქმნა ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის დაკვირვებათა მასალის დამუშავების შედეგად. ბაზის შექმნის პროცესში განხორციელდა მონაცემთა ხარისხის კონტროლისა და უზრუნველყოფის პროცედურა. გარდა ამისა, მონაცემთა რიგებში ხელოვნური ცვლილებების გამორიცხვის მიზნით, მონაცემთა რიგები შემოწმებულ იქნა სტატისტიკურ ერთგვაროვნებაზე.

რამდენადაც კლიმატური პარამეტრების ექსტრემალური მნიშვნელობები უფრო მეტად მგრძობიარეა კლიმატის ცვლილების მიმართ, ვიდრე მათი საშუალო სიდიდეები, ამასთან, საშუალო სიდიდეებით ხშირად შეუძლებელია კლიმატის ცვლილების სხვადასხვა სექტორზე სოციალურ-ეკონომიკური ზეგავლენის შეფასება, გარდა კლიმატური პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობებისა, კლიმატის ცვლილების შესაფასებლად გამოითვლება სხვადასხვა სახის კლიმატური მახასიათებლები/ინდექსები (როგორცაა თბური ტალღები, ექსტრემალურად ნალექიანი/უნალექო პერიოდები და სხვ.), რომელთა გამოთვლის მეთოდოლოგია შემუშავებულია IPCC-ს რეკომენდაციებით და რომელთა საშუალებითაც დგინდება კლიმატური პარამეტრების ექსტრემალური მნიშვნელობების სიდიდის, სიხშირისა და ინტენსივობის ცვლილების კანონზომიერებები.

როგორც საშუალო პარამეტრებისათვის (4 პარამეტრი – ტემპერატურა, ნალექები, ტენიანობა, ქარი), ისე ექსტრემალური კლიმატური ინდექსებისთვის (35 ინდექსი) შესწავლილ იქნა ცვლილების ტენდენციები საშუალო წლიური მნიშვნელობისა და წლის სეზონების მიხედვით ზემოთ მოყვანილი 39 პუნქტისთვის [5,10].

მიღებული შედეგების საიმედოობის გაზრდის მიზნით, აღნიშნული პარამეტრები შეფასდა ორი მეთოდით: თითოეული პარამეტრისათვის 1956-2015 წლებში ცვლილების ტრენდების გამოვლენა და ამ ტრენდების სტატისტიკური საიმედოობის შეფასება (მენ-კენდელის მეთოდით) და ორი 30-წლიანი პერიოდის (1956-1985 და 1986-2015) საშუალო/ექსტრემალური მნიშვნელობების შედარება.

სექტორული კლიმატური ინდექსების გაანგარიშებისთვის გამოყენებულ იქნა R-დაფუძნებული პროგრამული პაკეტი ClimPact2, რომელიც შექმნილია მმო-ს კლიმატის კომისიის სექტორული კლიმატური ინდექსების ექსპერტთა ჯგუფის მიერ (<https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2>).

განსახილველი დროითი სერიების ჰომოგენურობის შემოწმების მიზნით გამოყენებულ იქნა R-დაფუძნებული პროგრამული უზრუნველყოფები RHtestV4 და RHtests_dlyPrpc4 (<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>).

დახასიათება პარამეტრების მიხედვით (ცვლილებები ტერიტორიულ განაწილებაში, ცვლილებები შიდაწლიურ განაწილებაში)

- საშუალო ტემპერატურა
- საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა
- ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმი
- საშუალო მინიმალური ტემპერატურა
- ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმი
- ნალექების რაოდენობა
- ნალექების დღეღამური მაქსიმუმები
- ქარის საშუალო სიჩქარე
- ქარის მაქსიმალური სიჩქარე (ძლიერქარიანი დღეები, მაქსიმალური ქარების ალბათობა)
- საშუალო ფარდობითი ტენიანობა
- ტენიანობის ექსტრემალური მნიშვნელობები (ნოტიო/ჩახუთული და მშრალი დღეები)

სეზონების დახასიათება (გამოყენებული იქნება როგორც საშუალო პარამეტრების, ისე სექტორული კლიმატური ინდექსების ანალიზი)

- ზამთარი
- გაზაფხული
- ზაფხული
- შემოდგომა
-

ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურა, საშუალო ტემპერატურა

ორ განხილულ 30-წლიან პერიოდს (1956-1985 და 1986-2015) შორის ქვეყნის ტერიტორიაზე მინისპირა ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა

მომატებულია თითქმის ყველგან, 1 გრადუსამდე ფარგლებში, საშუალოდ ტერიტორიაზე ნაზრდი 0.5°C -ს შეადგენს.

დათბობის პროცესი შედარებით ინტენსიურად მიმდინარეობს სამეგრელო-ზემო სვანეთის მხარეში, კახეთსა და სამცხე-ჯავახეთში. ყველაზე ნიშნავი დათბობა გამოვლინდა დედოფლისწყაროს რაიონში, სადაც მაქსიმალურია ორ პერიოდს შორის ნაზრდი ($+0.73^{\circ}\text{C}$, წლიური), ხოლო ტრენდის დახრის კუთხე და საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე უდიდესია ბორჯომში და შეადგენს $+0.28^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში (რაც ნიშნავს, რომ მაგ., ყოველ წელს ტემპერატურა იზრდება 0.028°C -ით, 100 წელიწადში -2.8°C -ით და ა.შ.). ტემპერატურის არასაკმარისად საიმედო ცვლილებები აღინიშნა, ძირითადად, აჭარა-გურიის მაღალმთიან მხარეში.

ცალკეული თვეების ანალიზმა აჩვენა, რომ დათბობა მიმდინარეობს ზაფხული-შემოდგომის (ივნისი-ოქტომბერი) ტემპერატურების მატების ხარჯზე, როდესაც ყველა განხილულ პუნქტზე აღინიშნა დადებითი ნაზრდები საშუალოდ $0.7-1.3^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში. ტემპერატურის ზრდის გამოვლენილი ტენდენციები მდგრადია და ტერიტორიის უმეტეს ნაწილში ტრენდებით დასტურდება წლის სწორედ აღნიშნულ (ივნისი-ოქტომბერი) პერიოდში, ასევე საშუალო წლიური მნიშვნელობების მიხედვით. გამონაკლისია მხოლოდ აჭარა-გურიის მაღალმთიანი მხარე [5,10].

სეზონების მიხედვით ტემპერატურის ცვლილებას შემდეგი ხასიათი აქვს: როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, თითქმის ყველგან დამთბარია შემოდგომა და ზაფხული, ზაფხულის ტემპერატურის უფრო საიმედო მატების ფონზე. სეზონურ ტემპერატურებში უდიდესი ნაზრდი აღინიშნა დედოფლისწყაროში ($+1.28^{\circ}\text{C}$, ზაფხული), ხოლო ზაფხულის საშუალო ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე მაქსიმალურია ბორჯომში ($+0.38^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში).

წლის განმავლობაში ყველაზე გამოკვეთილია აგვისტოს დათბობა ($0.9-1.8^{\circ}\text{C}$), როდესაც ტემპერატურის მდგრადი ზრდა ფიქსირდება უკლებლივ მთელ ტერიტორიაზე. ამავე დროს, თითქმის ყველა განხილულ სადგურზე აგვისტოს ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე უდიდესია წლის განმავლობაში. აღმავალი ტრენდის მაქსიმალური დახრა ($0.51^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში) გამოვლინდა ზუგდიდში.

ზამთარსა და გაზაფხულზე საშუალო ტემპერატურა მომატებულია, თუმცა ცვლილებებს უმეტესად არამდგრადი ხასიათი აქვს. მხოლოდ მარტში, ძირითადად, კახეთში და აღმოსავლეთ საქართველოს რიგ რაიონებში, ასევე, შავი ზღვის სანაპირო ზოლში გამოვლინდა საიმედო დათბობა ორ პერიოდს შორის ნაზრდით $0.4-1.1^{\circ}\text{C}$ -ის ფარგლებში და ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარით $0.3-0.410$ წელიწადში. აღსანიშნავია, რომ ამ სეზონებზე ცალკეულ თვეებში (მაისი, ნოემბერ-დეკემბერი) უპირატესია აგრილების ტენდენციებიც. ყველაზე დიდი უარყოფითი გადახრები აღინიშნა ნოემბერში მაღალმთიან აჭარაში (-0.8°C).

საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა

საშუალო მაქსიმუმების წლიური მნიშვნელობა საიმედოდ იზრდება თითქმის მთელ ტერიტორიაზე. გამონაკლისია, ძირითადად, მთიანი რაიონები აჭარა-გურიასა და რაჭა-ლეჩხუმში, ასევე, აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორია, სადაც ჩამოყალიბებულია მშრალი სუბტროპიკული (სტეპების) ჰავა.

საშუალო მაქსიმუმების ცვლილების უდიდესი სიჩქარეები გამოვლინდა დასავლეთ საქართველოში – შავი ზღვის სანაპირო ზოლსა და კოლხეთის დაბლობის მიმდებარე რაიონებში (ფოთი, $0.31^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში), აღმოსავლეთში – დედოფლისწყაროში ($0.41^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში) და ასევე, სამხრეთ საქართველოს მთიანეთის ტერიტორიაზე.

საშუალო მაქსიმუმებისთვის ორ 30-წლიან პერიოდს შორის ნაზრდი 1.5 გრადუსამდე აღწევს. დღის ტემპერატურების მიხედვით დათბობა შედარებით ინტენსიურად მიმდინარეობს აღმოსავლეთ საქართველოში, განსაკუთრებით, სამხრეთ საქართველოს მთიანეთში. როგორც საშუალო წლიური, ისე სეზონური და თვის ტემპერატურების მიხედვით, ნაზრდები და ტემპერატურის მატების ტენდენციები ყველაზე ნიშნავია სამცხე-ჯავახეთში (ბაკურიანი, $+1.3^{\circ}\text{C}$ – წლიური, $+2.4^{\circ}\text{C}$ – ზაფხული, $+2.8^{\circ}\text{C}$ – აგვისტო).

ისევე, როგორც საშუალო ტემპერატურის, საშუალო მაქსიმუმების ზრდაც, ძირითადად, განპირობებულია ზაფხული-შემოდგომის მაქსიმუმების აწევით. წლის განმავლობაში მაქსიმალური დადებითი ნაზრდები აღინიშნა ივნისი-ოქტომბრის განმავლობაში. ყველაზე მეტად დღის ტემპერატურების მატება კი კვლავ აგვისტოში ფიქსირდება.

ამ პარამეტრის მიხედვით ზაფხულის დათბობის საიმედო ტენდენციები საქართველოს თითქმის ყველა განხილულ სადგურზე გამოვლინდა, ხოლო შემოდგომაზე ტენდენციები შედარებით შერბილებულია, როგორც ჩანს, ნოემბრის აგრილების გამო და საქართველოს დაბლობ და ვაკე ტერიტორიის ნაწილში (მაგ., ქუთაისი, ზესტაფონი, თბილისი, საგარეჯო) ტრენდებით აღარ დასტურდება, თუმცა ორ 30-წლიან პერიოდს შორის ნაზრდი აქაც დადებითია [5,10].

გაზაფხულზე დღის ტემპერატურების ნიშნავი მატება მიმდინარეობს მხოლოდ მარტში, აპრილ-მაისში კი ტენდენციები არასაიმედოა და აპრილში, ძირითადად, აქვს დადებითი, ხოლო მაისში – უარყოფითი ნიშანი.

ზამთრის მაქსიმუმებში საიმედო ცვლილება არ გამოვლინდა თითქმის არც ერთ განხილულ პუნქტში. ამ სეზონზე თებერვლის დათბობის ტენდენციები კომპენსირდება იანვრის და, განსაკუთრებით, დეკემბრის აგრილებით. ზამთარში დღის ტემპერატურების შემცირება ($0.7-0.9^{\circ}\text{C}$ -მდე) უფრო გამოკვეთილია დასავლეთ საქართველოში. ყველაზე დიდი უარყოფითი გადახრები აღინიშნა იანვარში რაჭა-ლეჩხუმსა და ქვემო სვანეთის მხარეში, ხოლო დეკემბერში – აჭარა-გურიის მხარეში, ასევე იმერეთშიც.

საშუალო მინიმალური ტემპერატურა

საშუალო მინიმუმების წლიური მნიშვნელობები გაზრდილია ქვეყნის უმეტეს ტერიტორიაზე, თუმცა ამ პარამეტრის მიხედვით დათბობის ტენდენციები საიმედოა მხოლოდ ტერიტორიის ნაწილში. ღამის ტემპერატურების ნაზრდები 1956-1985 წ.წ. პერიოდთან მიმართებაში 1 გრადუსამდე ფარგლებშია. მაქსიმალური დათბობა გამოვლინდა ვახეთში, ლაგოდეხისა და დედოფლისწყაროს რაიონებში ($+0.9^{\circ}\text{C}$), აქვე ფიქსირდება საშუალო მინიმუმების ცვლილების მაქსიმალური სიჩქარეც ($+0.31^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში).

დასავლეთ საქართველოში აღმავალი ტრენდები აღინიშნა შავი ზღვის სანაპირო ზოლში, კოლხეთის დაბლობზე და ლიხის ქედის მიმდებარე რაიონებში, ხოლო რაჭა-ლეჩხუმისა და ქვემო სვანეთის მხარეში (ამბროლაური, შოვი) ორი 30-წლიანი პერიოდის შედარებით გამოვლენილი ცვლილებები ტრენდებით არ დასტურდება. აღმოსავლეთ საქართველოს სადგურებზე საშუალო მინიმუმებისთვის დათბობის მდგრადი ტენდენციები გამოვლინდა ვაკე ტერიტორიასა და საშუალომთიან რაიონებში, ხოლო შედარებით მაღალმთიან ნაწილში (ახალქალაქი, ყაზბეგი, გუდაური) მინიმუმების ცვლილების ტენდენციები არ აღმოჩნდა ნიშნადი.

ისევე, როგორც საშუალო და საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურების, საშუალო მინიმუმების ზრდა, ძირითადად, განპირობებულია ზაფხული-შემოდგომის (ივნისი-ოქტომბერი) მინიმუმების აწევით. მთელ ტერიტორიაზე საიმედო ზრდადი ტრენდების უმრავლესობა გამოვლინდა ზაფხულში, ხოლო შემოდგომაზე ღამის ტემპერატურების ნიშნადი ზრდა აღინიშნება, ძირითადად, დასავლეთ საქართველოში. შიდაწლიურ ციკლში, აგვისტოსთან ერთად, გამოკვეთილია ოქტომბრის დათბობა. ამასთან, აგვისტოს ღამეების დათბობა უფრო ინტენსიურია აღმოსავლეთში, მაქსიმუმით – ვახეთში ($+1.8^{\circ}\text{C}$, ლაგოდეხი, დედოფლისწყარო), ხოლო ოქტომბრის – დასავლეთში, მაქსიმუმით – იმერეთში ($+1.74^{\circ}\text{C}$, ზესტაფონი, საჩხერე) [5,10].

როგორც მაქსიმუმების შემთხვევაში, მინიმალური ტემპერატურების დათბობის საიმედო ტენდენცია გაზაფხულზე გამოვლინდა, ძირითადად, მარტის თვეში, ხოლო მაისში, განსაკუთრებით, აღმოსავლეთ საქართველოში უპირატესია ღამის ტემპერატურის კლების ტენდენციები. ღამეების აგრილება კიდევ უფრო ინტენსიურია ნოემბერ-დეკემბერში, როდესაც ტემპერატურის შემცირების სიდიდე 0.7-0.9 გრადუსს აღწევს. ამ მხრივ, აღსანიშნავია საშუალო მინიმალური ტემპერატურის ცვლილების შედარებით განსხვავებული ხასიათი გორსა და ახალქალაქში, სადაც ზამთრისა და გაზაფხულის აგრილების მაგნიტუდა ზაფხული-შემოდგომის დათბობის რიგისაა, თუმცა აქ მინიმუმების ცვლილების რაიმი მდგრადი ტენდენცია არც ერთ თვეში არ აღინიშნება.

როგორც ჩანს, დათბობა ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე განპირობებულია წლის თბილ პერიოდში დღის ტემპერატურების ზრდით. ღამეების დათბობა

უფრო ინტენსიურია დასავლეთ საქართველოში, განსაკუთრებით, შემოდგომაზე. წლის განმავლობაში აგრილების ტენდენციები უპირატესია ნოემბერ-დეკემბერსა და ასევე მაისში. ტემპერატურების შემცირება აღმოსავლეთში მეტწილად განპირობებულია ღამის, ხოლო დასავლეთში – დღის ტემპერატურების კლებით, მაშინ როცა დათბობა აღმოსავლეთში ხდება უპირატესად მაქსიმუმების, ხოლო დასავლეთში – მინიმუმების აწევის ხაზზე.

წლიურ ციკლში ტერიტორიის ნაწილში მოხდა მაქსიმუმის წანაცვლება ივლისიდან აგვისტოში. თუ პირველ პერიოდში ყველაზე თბილი თვე როგორც საშუალო, ისე მაქსიმალური ტემპერატურის მიხედვით დასავლეთ საქართველოს უმეტეს რაიონებში იყო აგვისტო, ხოლო აღმოსავლეთში – ივლისი, მეორე პერიოდში წლის მაქსიმუმმა აგვისტოში წანაცვლა სამცხე-ჯავახეთის, შიდა და ქვემო ქართლის მხარეებში. რაც შეეხება მინიმუმებს, პირველ პერიოდში წლის განმავლობაში მთელ ტერიტორიაზე ყველაზე თბილი თვე იყო ივლისი, მეორე პერიოდში კი დასავლეთ საქართველოს უმეტეს რაიონებში, გარდა რაჭა-ლეჩხუმისა და ქვემო სვანეთისა, ყველაზე თბილი ღამეები აგვისტოში აღინიშნება.

ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმები

წლიური აბსოლუტური მაქსიმუმის დადებითი ტრენდები, ძირითადად, გამოვლინდა აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე, ხოლო დასავლეთში ეს პარამეტრი საიმედო დათბობას აჩვენებს მხოლოდ რამდენიმე მაღალმთიან რაიონში (შოვი, მთა-საბუეთი). როგორც სხვა ტემპერატურული მახასიათებლები, ეს პარამეტრიც დამთბარია ბათუმული-შემოდგომის, განსაკუთრებით, ივლისი-ოქტომბრის თვეების აბსოლუტური მაქსიმუმების აწევის ხარჯზე. თუმცა აღმავალი ტრენდები გამოვლინდა თებერვალ-მარტშიც. სხვა პარამეტრების მსგავსად, აბსოლუტური მაქსიმუმებისთვის კლება დამახასიათებელია წლის ცივი პერიოდისთვის ნოემბრიდან იანვრამდე. წლიური აბს. მაქსიმუმების ცვლილების უდიდესი სიჩქარეები გამოვლინდა: დასავლეთში $0.42^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში (შოვი), აღმოსავლეთში $0.74^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში (დედოფლისწყარო). წლის განმავლობაში მთელ ტერიტორიაზე დადებითი ტენდენციების ნიშნადობა ყველაზე მაღალია აგვისტოში. კლების ტენდენციები უმეტესად არასაიმედოა, თუმცა აღსანიშნავია სამცხე-ჯავახეთსა და მცხეთა-მთიანეთის რეგიონებში გამოვლენილი უარყოფითი ტრენდები. მათ შორის აბს. მაქსიმუმების ყველაზე ინტენსიური კლება აღინიშნა ბორჯომში ნოემბერში ($-0.52^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში) [5,10].

ორ 30-წლიან პერიოდს შორის მაქსიმუმების გადაჭარბების შემთხვევები თითქმის ყველა განხილულ პუნქტში აღინიშნა სექტემბერ-ოქტომბერში, ასევე უმეტეს ტერიტორიაზე დაფიქსირდა მაქსიმუმების გადაფარვა აპრილ-მაისსა და ივლის-აგვისტოში. გადაჭარბების სიდიდეები 4-6 გრადუსს აღწევს, ხოლო მაღალმთიან ზონაში 10 გრადუსამდეც ფიქსირდება. ამასთან, ბოლო პერიოდ-

ში ქვეყნის დაბლობ და ვაკე ტერიტორიაზე დაფიქსირებული მაქსიმუმები 40°C-ს აჭარბებს. ყველაზე მაღალი ტემპერატურა მთელი დაკვირვების პერიოდში კი ფოთში დაფიქსირდა (45.2°C, დაკვირვების თარიღი – 31/07/2000). მეორე პერიოდში წლიურ ციკლში აბს. მაქსიმუმები უმეტესად აგვისტოში დაიკვირვება.

ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმები

ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმები საიმედოდ იზრდება მხოლოდ რიგ სადგურებზე: დასავლეთში – ზუგდიდში (0.58°C/10 წელიწადში) და საჩხერეში (1.11°C/10 წელიწადში), აღმოსავლეთში – დედოფლისწყაროში (0.63°C/10 წელიწადში). სეზონების მიხედვით აბსოლუტური მინიმუმების მდგრადი დათბობა რაიმე კანონზომიერებას არ ავლენს და გაზაფხულის გარდა ცვლილების თითქმის თანაბარ ტენდენციებს აჩვენებს. წლის განმავლობაში ყველაზე ინტენსიურია აბს. მინიმუმების ზრდა ოქტომბერში, ხოლო შემცირება – აპრილ-მაისში. თბილი პერიოდის აბს. მინიმუმების მატების ტემპი მაქსიმალურია შავი ზღვის სანაპირო რაიონებსა და კოლხეთის დაბლობზე, აღმოსავლეთში კი – მცხეთა-მთიანეთის რეგიონში და ვახეთში. აბს. მინიმუმების აგრილების ტენდენციები გამოვლინდა აპრილ-მაისში, უმეტესად სამხრეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს რაიონებში. ამასთან, შიდა ქართლში (გორი), იანვარი-თებერვლის გარდა, ადგილი აქვს მინიმუმების დაწევას მთელი წლის განმავლობაში, განსაკუთრებით შემცირებულია ღამის ტემპერატურები გაზაფხულის დასაწყისში (მარტი, -0.36°C/10წელიწადში) [5,10].

ორ 30-წლიან პერიოდს შორის მინიმუმების გადაფარვა (აგრილების მიმართულებით) დასავლეთ საქართველოში უმეტესად აღინიშნა დეკემბერში, ხოლო აღმოსავლეთში – მაისში. გადაჭარბების სიდიდეები 2-3 გრადუსს შეადგენს, ხოლო მაღალმთიან ზონაში 6-7 გრადუსამდეც ფიქსირდება. აღსანიშნავია, რომ აბს. მინიმუმების გადაჭარბების არც ერთი შემთხვევა არ დაკვირვებულა შემოდგომაზე. წლიურ ციკლში აღინიშნება აბს. მინიმუმების წანაცვლება. კერძოდ, თუ პირველ 30-წლიან პერიოდში ყველაზე დაბალი ტემპერატურები უმეტესობა რაიონებში იანვარში და ნაწილობრივ, თებერვალში ფიქსირდებოდა, 1986-2015 წ.წ. პერიოდში აბს. მინიმუმები, ძირითადად, თებერვალში და რიგ რაიონებში დეკემბერშიც აღინიშნა.

ატმოსფერული ნალექები

ნალექების რაოდენობა

ცვლილებები ნალექების რეჟიმში არამდგრადია დროით ჭრილში და ასევე არაერთგვაროვანია სივრცულად, თუმცა გარკვეული კანონზომიერებით მაინც ხასიათდება. კერძოდ, დასავლეთ საქართველოში ნალექების წლიური რაოდენობა ძირითადად გაზრდილია, ხოლო აღმოსავლეთის რიგ რაიონებში

– შემცირებული, თუმცა ნალექების წლიური ჯამების ცვლილების ხასიათი უმეტესად არასაიმედოა და გამოკვეთილ ტენდენციებს ადგილი არ აქვს. ტრენდები გამოვლინდა მხოლოდ რიგ სადგურებზე. დასავლეთში ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობის ცვლილებების ტენდენციები თითქმის ყველგან დადებითია, ორ პერიოდს შორის უდიდესი გადახრა (15%-მდე) და, შესაბამისად, ყველაზე მდგრადი ზრდის ტენდენცია ფოთსა და ხულოში გამოვლინდა (60-75მმ/10 წელიწადში). გამონაკლისია მხოლოდ გურიის მხარესა და აჭარის მაღალ მთაში (გოდერძის უღელტეხილი) გამოვლენილი ნალექების კლების ნიშნადი ტენდენციები (60-120მმ/10 წელიწადში). აღმოსავლეთში წლიური ნაზრდი მაქსიმალურია და შესაბამისი ტენდენციები ნიშნადია ლაგოდეხში (17%, 75მმ/10 წელიწადში), ნალექების შემცირება კი ყველაზე ინტენსიურია თიანეთში (-18%, 39 მმ/10 წელიწადში) [5,10].

რაც შეეხება ნალექების რაოდენობების ცვლილების ხასიათს სეზონების მიხედვით, აღმოჩნდა, რომ ზამთარში ტრენდები თითქმის არ გამოვლინდა, ზაფხულში საიმედოა მხოლოდ ნალექების შემცირების ტენდენციები. ტრენდები კი, ძირითადად, აღინიშნა გარდამავალ სეზონებზე, განსაკუთრებით, გაზაფხულზე. აღსანიშნავია, რომ ამ სეზონებზე ყველა ტენდენციას (გარდა თიანეთისა) დადებითი ნიშანი აქვს. ამასთან, გაზაფხულზე ტრენდები გამოვლინდა აღმოსავლეთშიც – ქვემო ქართლსა და კახეთში. ნალექების სეზონური ჯამების ცვლილება 15-25%-ის ფარგლებშია და დასავლეთში უფრო ინტენსიურია შემოდგომაზე, ხოლო აღმოსავლეთში – გაზაფხულზე. ზაფხულის ნალექების შემცირების სიდიდე კი მეტად გამოკვეთილია აღმოსავლეთში, განსაკუთრებით კახეთში. თვეების მიხედვით, მატება დასავლეთში უპირატესად დაიკვირვება იანვარში, აღმოსავლეთში – ოქტომბერ-ნოემბრის თვეებში, ხოლო კლება ყველგან მიმდინარეობს – ივლისი-სექტემბრის პერიოდის ხარჯზე.

წლიურ ციკლში აღმოსავლეთ საქართველოს უმეტეს ნაწილში მოხდა თვის მაქსიმუმების წანაცვლება ზაფხულიდან გაზაფხულზე. თუ პირველ პერიოდში ყველაზე ნალექიანი თვე იყო მაისი და ივნისი, ახლა უმეტეს რაიონებში ნალექის უდიდესი რაოდენობა მაისში მოდის, უმცირესი კი კვლავ იანვარში და ნაწილობრივ, დეკემბერში დაიკვირვება. დასავლეთ საქართველოს უმეტეს რაიონებში ყველაზე მშრალი თვე იყო მაისი, მეორე პერიოდში კი ნალექების მინიმალური რაოდენობა უფრო გაზაფხულის დასაწყისში – მარტი-აპრილში აღინიშნება, ხოლო ყველაზე მეტი ნალექი დეკემბრის ნაცვლად შემოდგომის თვეებში – ოქტომბერ-ნოემბერში ან იანვარში მოდის.

ნალექების დღეღამური მაქსიმუმები

რაც შეეხება ერთ და ხუთ დღე-ღამეში მოსული ნალექების მაქსიმალურ რაოდენობებს, საქართველოს ტერიტორიაზე უმეტესად აღინიშნება ამ პარამეტრების ზრდა. შემცირების ტენდენციები კი გამოვლინდა ქვეყნის ცენ-

ტრალურ რაიონებში (იმერეთი, სამცხე-ჯავახეთი, შიდა ქართლი), თუმცა ცვლილებების ტენდენციები, ძირითადად, არამდგრადია და გამოვლინდა მხოლოდ რამდენიმე მდგრადი ტრენდი. როგორც ჩანს, მაქსიმუმების გამოვლენილი ნიშვნადი ზრდა განპირობებული უნდა იყოს დასავლეთში შემოდგომაზე, ხოლო აღმოსავლეთში – გაზაფხულზე და ზაფხულის დასაწყისში (ივნისი) ნალექების 1- და 5-დღიური მაქსიმუმების მატებით. აღსანიშნავია, რომ შემცირების ტენდენციები დასავლეთის მაღალმთიან რაიონებში დაკავშირებულია წლის ცივ პერიოდში ნალექების კლებასთან, ხოლო ამ პარამეტრების წლიური სიდიდე თბილისში გაზრდილია ივნისის ხარჯზე. ცვლილების უდიდესი სიჩქარეები აღინიშნა: დადებითი – ოქტომბერში, ხულოში (5მმ/10 წელიწადში), უარყოფითი – აგვისტოში, თიანეთში (2.7მმ/10 წელიწადში) [5,10].

ორ 30-წლიან პერიოდს შორის 1-დღიური მაქსიმუმების გადაჭარბების შემთხვევები უმეტეს ტერიტორიაზე დაფიქსირდა იანვარსა და მაისში, 5-დღიურების – ასევე, ნოემბერშიც. წლიური მაქსიმუმების გადაჭარბების სიდიდეები 70-80 მმ-ს აღწევს (ქობულეთი, ლაგოდეხი), ხოლო 5-დღიური მაქსიმუმებისა – 150-160 მმ-მდე ფიქსირდება (ამბროლაური). დღე-ღამეში მოსული ნალექის უდიდესი რაოდენობა მთელი დაკვირვების პერიოდში ქობულეთში დაფიქსირდა (261.3 მმ, დაკვირვების თარიღი – 15/08/2001), უდიდესი 5-დღიური მაქსიმუმი (380.5 მმ, თარიღი – 07/09/1995) კი ბათუმშია დაკვირვებული.

პირველ 30-წლიან პერიოდში წლიურ ციკლში ნალექების როგორც 1-, ისე 5-დღიური მაქსიმუმები უმეტესად ზაფხულის თვეებში დაიკვირვებოდა, ხოლო აჭარა-გურიის მხარეში – შემოდგომაზე. მეორე პერიოდში დღეღამურმა მაქსიმუმებმა დასავლეთის სადგურებზე ნაწილობრივ წაინაცვლა შემოდგომაზე, ხოლო 5-დღიური მაქსიმუმები უმრავლეს პუნქტებში შემოდგომა-ზამთრის თვეებში დაფიქსირდა.

ქარი

ქარის საშუალო სიჩქარე

ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილებას თითქმის ყველა განხილული სადგურისათვის შემცირების ტენდენცია აქვს. ორ 30-წლიან პერიოდს შორის ქარის საშუალო სიჩქარე შემცირებულია საშუალოდ 1-2 მ/წმ-ით. ამ მხრივ გამონაკლისს წარმოადგენს ქობულეთი და ბახმარო, სადაც ქარის საშ. სიჩქარე არამდგრადად, მაგრამ იმატებს ყველა სეზონზე. თუმცა გასათვალისწინებელია, რომ ეს ტენდენციები ეყრდნობა მხოლოდ 2010 წლამდე დაკვირვებას. ქვეყნის ტერიტორიაზე ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილების ტენდენციების უმეტესობა საიმედოა როგორც წლიური მნიშვნელობებისთვის, ისე სეზონებისთვის საშუალო სიჩქარეების მიხედვით. მხოლოდ თბილისის სადგურზე ტრენდი არ არის მდგრადი წლის არც ერთ სეზონზე, ზუგდიდში – შემოდგომაზე (სექტემბერ-ოქტომბერი) და ქუთაისში – ზაფხულში. მთელ განხილულ ტერიტორიაზე ქარის

საშუალო სიჩქარის ყველაზე ინტენსიური შემცირების სურათი გამოვლინდა მთა-საბუეთში და ფოთში, სადაც საშუალო წლიური სიჩქარეები მცირდება 0.5 მ/წმ-ით ყოველ 10 წელიწადში, ხოლო აღმოსავლეთში – შიდა ქართლში (გორი). ქარის სიჩქარეების ასეთი შემცირება განპირობებულია ამ პარამეტრის გაზაფხულზე, ყველაზე მეტად კი აპრილში, გამოვლენილი ინტენსიური კლებით [5,10].

წლიურ ციკლში დაიკვირვება გარკვეული ცვლილებები. კერძოდ, თუ პირველ 30-წლიან პერიოდში, ერთეული გამონაკლისების გარდა, წლის განმავლობაში ქარის საშუალო სიჩქარე ყველაზე მაღალი იყო თებერვალში – აჭარა-გურიაში და კოლხეთის დაბლობზე და მარტი-აპრილში – დანარჩენ ტერიტორიაზე, მეორე პერიოდში უმეტეს ტერიტორიაზე ყველაზე ქარიანი თვე გახდა მარტი, ხოლო აჭარა-გურიაში, ძირითადად – იანვარი.

ქარის მაქსიმალური სიჩქარე (ძლიერქარიანი დღეები, მაქსიმალური ქარების ალბათობა)

ქარის მაქსიმალური სიჩქარეების რეჟიმის დახასიათების მიზნით შერჩეულ იქნა ძლიერქარიან დღეთა (ქარის მაქსიმალური სიჩქარე ≥ 15 მ/წმ, ≥ 25 მ/წმ) რაოდენობა. რამდენადაც მაქსიმალური სიჩქარის ქარების მონაცემები მოიპოვება მხოლოდ 1970 წლიდან, ცვლილების ტენდენციები აგებულ იქნა 1970-2015 წ.წ. პერიოდისათვის, ხოლო ძლიერქარიან დღეთა რაოდენობათა შედარება განხორციელდა 1971-1985, 1986-2000 და 2001-2015 წ.წ. 15-წლიანი პერიოდებისთვის.

ძლიერქარიან დღეთა (≥ 15 მ/წმ) რაოდენობის შემცირების ტენდენციები უპირატესია დასავლეთში, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში, ძირითადად, დაიკვირვება მათი გახშირება. აღსანიშნავია ასეთი დღეების რიცხვის შემცირება დასავლეთ საქართველოში – ქუთაისში და განსაკუთრებით, ლიხის ქედის დასავლეთ კალთებზე (მთა-საბუეთი), სადაც ტრენდები გამოვლინდა ზაფხული-შემოდგომის სეზონებზე, ხოლო აღმოსავლეთში, მტკვრის ხეობაში, დაიკვირვება ასეთი დღეების ნიშნადი ზრდა. გორში ძლიერქარიანი დღეების გახშირება დაიკვირვება ყველა სეზონზე, ხოლო თბილისში მათი წლიური რაოდენობის ზრდა ხდება, ძირითადად, მარტის თვის ხარჯზე. ცვლილების ტენდენციები მაქსიმალურია მთა-საბუეთში და გორში და შეადგენს 1.7 დღე/10 წელიწადში. მსგავსი კანონზომიერებით იცვლება ექსტრემალურად ძლიერქარიან დღეთა (≥ 25 მ/წმ) განმეორებადობაც. კერძოდ, ასეთი დღეების ნიშნადი კლება გამოვლინდა ქუთაისსა და მთა-საბუეთში, ხოლო მდგრადი ზრდა დაიკვირვება გორში, ასევე ფოთში [5,10].

15-წლიანი პერიოდების შედარებამ აჩვენა, რომ ძლიერქარიან დღეთა შემცირება დამახასიათებელია მეორე პერიოდისთვის პირველთან მიმართებაში, ხოლო ბოლო პერიოდში უპირატესია სწორედ ასეთი დღეების გახშირების

ტენდენციები, რაც საკმაოდ ინტენსიურად მიმდინარეობს მტკვრის ხეობაში (გორი, თბილისი). ამასთან, მესამე პერიოდში აღინიშნება ძლიერქარიან დღეთა განმეორებადობის ზრდა (15-16 დღე) ქუთაისსა და მთა-საბუეთშიც. წლიური ნაზრდი მესამე და მეორე პერიოდებს შორის უდიდესია გორში (41 დღე), ხოლო ექსტრემალურად ძლიერი ქარების გახშირება ყველაზე გამოკვეთილია ფოთში (2.4 დღე).

წლიურ ციკლში აღინიშნება ძლიერქარიან დღეთა რაოდენობის მაქსიმუმების წანაცვლება და ბოლო 15-წლიან პერიოდში ასეთი დღეების უდიდესი რაოდენობა უმეტეს ტერიტორიაზე მარტში, ხოლო რიგ რაიონებში თებერვალში აღინიშნება.

როგორც ჩანს, თითქმის მთელ ტერიტორიაზე ქარის საშუალო სიჩქარის შემცირების ფონზე რიგ რაიონებში ადგილი აქვს ძლიერქარიან დღეთა რიცხვის კლებას, თუმცა აღინიშნება სანინააღმდეგო ტენდენციებიც, რაც განპირობებული უნდა იყოს ასეთი დღეების გახშირებით უპირატესად ბოლო 15-წლიან პერიოდში.

ატმოსფერული ჰაერის ტენიანობა

ჰაერის საშუალო ფარდობითი ტენიანობა

უკანასკნელ 60-წლიან პერიოდში საშუალო ფარდობითი ტენიანობა შემდეგი კანონზომიერებით იცვლება: იგი ყველა სეზონსა და წლიურად გამოკვეთილად იმატებს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილში. გამოვლინდა უარყოფითი ტენდენციების შემთხვევებიც, თუმცა მათი უმრავლესობა არამდგრადი ხასიათისაა. ნიშნადი დაღმავალი ტრენდები გამოვლინდა ქუთაისსა და ამბროლაურში ივლისი-სექტემბრის თვეებში (1-1.5%/10 წელიწადში).

დანარჩენ ტერიტორიაზე გამოვლენილი ფარდობითი ტენიანობის ზრდა, როგორც ჩანს, განპირობებულია ამ პარამეტრის უპირატესი მატებით წლის ცივ პერიოდში დასავლეთში, ხოლო აღმოსავლეთში – გარდამავალ სეზონებზე, როდესაც გამოვლინდა ტრენდების უმრავლესობა. ყველაზე ინტენსიური მატება დასავლეთში აღინიშნა დეკემბერში, ფოთში (2%/10წელიწადში), აღმოსავლეთში კი – თბილისში, მაისში (2.3%/10წელიწადში). წლიური ტენდენციებიც საიმედოა სამეგრელოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლსა (ფოთი) და მტკვრის ხეობაში (ახალციხე-გორი-თბილისი) [5,10].

ორ 30-წლიან პერიოდს შორის ფარდობითი ტენიანობის საშუალო წლიური მნიშვნელობების შემცირება 1%-მდე აღინიშნება, ხოლო ნაზრდი 4-5%-ს აღწევს. წლის განმავლობაში მაქსიმალური დადებითი გადახრები დაიკვირვება იანვარში (ფოთი, +8%), ხოლო ტენიანობის შემცირების შემთხვევები ყველაზე ხშირია სექტემბერში, თუმცა უდიდესი უარყოფითი გადახრები ივლის-აგვისტოში აღინიშნა (ქუთაისი, -5%). აღსანიშნავია, რომ გაზაფხული-ზაფხულის სეზონებზე ფარდობითი ტენიანობა შემცირებულია კახეთშიც.

წლიურ ციკლში მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ დაიკვირვება. როგორც პირველ, ისე მეორე 30-წლიან პერიოდში, წლის განმავლობაში ყველაზე მშრალი თვეებია: დასავლეთში – აპრილი-მაისი და აღმოსავლეთში – ივლისი-აგვისტო. 1956-1985 წ.წ. პერიოდში ყველაზე მაღალი ტენიანობა უმეტესობა რაიონებში დაიკვირვებოდა შემოდგომის ბოლოს და ზამთრის დასაწყისში, ხოლო პერიოდში კი წანაცვლებულია და ამჟამად ყველაზე ნოტიო თვეებია დეკემბერი და ნაწილობრივ, იანვარიც. გამონაკლისია აჭარა-გურია და იმერეთი-სამეგრელოს დაბლობი რაიონები, სადაც მთელი განხილული პერიოდის განმავლობაში ტენიანობის მაქსიმუმები წლის მანძილზე ზაფხულის თვეებზე მოდის.

ტენიანობის ექსტრემალური მნიშვნელობები (ნოტიო და მშრალი დღეები)

ტენიანობის ექსტრემალური სიდიდეების ცვლილების შეფასების მიზნით შერჩეულ იქნა ე.წ. ნოტიო/ჩახუთულ (შუადღის ფარდობითი ტენიანობა $\geq 80\%$) და მშრალ (მინიმალური ფარდობითი ტენიანობა $\leq 30\%$) დღეთა რაოდენობა.

ნოტიო დღეების რაოდენობა საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე გაზრდილია. ამასთან, აღმავალი ტენდენციები, ძირითადად, საიმედოა და ტრენდებით დასტურდება წლიური მნიშვნელობებისთვის, ხოლო წლის განმავლობაში ყველაზე მეტად გაზაფხულის სეზონზე. ყველაზე ნიშნავია ასეთი დღეების მატება დასავლეთში – ფოთში, ხოლო აღმოსავლეთში – თბილისში. კლებადი ტენდენციები გამოვლინდა რაჭაში. ორ პერიოდს შორის წლიური ნაზრდები დასავლეთში 20-30 დღეს აღწევს, აღმოსავლეთში კი გაცილებით მცირეა და 10-12 დღეს არ აღემატება. მაქსიმალური დადებითი ნაზრდი აღინიშნა ივანისში, ფოთში (5.5 დღე), უდიდესი კლება კი თებერვალში, ბოლნისში (1.5 დღე). ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე ასეთი დღეების გახშირება ყველაზე მეტად დაიკვირვება დეკემბერში, ხოლო კლება – მარტი-აპრილში [5,10].

წლიურ ციკლში მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ დაიკვირვება. როგორც პირველ, ისე მეორე 30-წლიან პერიოდში, წლის განმავლობაში ნოტიო დღეების მაქსიმალური რაოდენობა ზამთრის დასაწყისში (დეკემბერში) და ნაწილობრივ, იანვარში დაიკვირვება.

რაც შეეხება, ექსტრემალურად მშრალ დღეებს, თითქმის მთელ ტერიტორიაზე აღინიშნება ასეთი დღეების შემცირება, რაც წლის განმავლობაში განპირობებულია აპრილ-მაისში მშრალი დღეების ნიშნავი კლებით. ორ პერიოდს შორის შემცირების წლიური სიდიდე საშუალოდ ტერიტორიაზე 6-8 დღეს შეადგენს. ყველაზე გამოკვეთილად იკლებს იმერეთში (საშუალოდ, 11 დღემდე), ქუთაისში კი შემცირებულია 27 დღით. რიგ რაიონებში, ძირითადად, გაზაფხულზე – კახეთში და შემოდგომის დასაწყისში – მთელ აღმოსავლეთ საქართველოში, გამოვლინდა ასეთი დღეების გახშირება.

ტენდენციები ნიშნავდა კახეთში, სადაც წლიური ნაზრდი 6-9 დღეს, გაზაფხულზე კი 4-5 დღეს შეადგენს.

წლიურ ციკლში მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ დაიკვირვება დასავლეთში, სადაც როგორც პირველ, ისე მეორე 30-წლიან პერიოდში, წლის განმავლობაში მშრალი დღეების უდიდესი რაოდენობა აპრილში დაიკვირვება, ხოლო აღმოსავლეთში თუ პირველ პერიოდში ასეთი დღეების მაქსიმალური განმეორებადობა კახეთსა და ქვემო ქართლში, ძირითადად, აგვისტოში აღინიშნებოდა, მეორე პერიოდში, ისევე როგორც დანარჩენ ტერიტორიაზე, ყველაზე მეტად აპრილზე მოდის.

ტენიანობის ექსტრემუმების ანალიზი ადასტურებს და ხსნის საშუალო ფარდობითი ტენიანობის ცვლილების გამოვლენილ კანონზომიერებებს. კერძოდ, ტენიანობის მატება გაზაფხულის სეზონზე განპირობებული უნდა იყოს უფრო მეტად მშრალი დღეების განმეორებადობის შემცირებით, განსაკუთრებით, აღმოსავლეთ საქართველოში, ხოლო დეკემბერ-იანვარში ტენიანობის მატება დაკავშირებული უნდა იყოს ამ თვეებში ნოტიო დღეების გახშირებასთან, რაც უფრო მეტად გამოკვეთილია დასავლეთ საქართველოში.

სეზონების დახასიათება

ზამთარი. საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე ზამთარი ბოლო 30 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით, წინა 30 წელთან შედარებით შერბილებულია, თუმცა სხვა სეზონებთან შედარებით, ტემპერატურული რეჟიმის ცვლილება ყველაზე ნაკლებად ნიშნავდა, რამდენადაც უმეტეს რაიონებში იანვარ-თებერვალში გამოვლენილი დათბობის ტენდენციები კომპენსირებდნენ დეკემბრის აგრილებით. დათბობა ყველაზე გამოკვეთილია საქართველოს დაბლობ და ვაკე ტერიტორიაზე: აღმოსავლეთში – ქართლ-კახეთში, დასავლეთში – სამეგრელოში. ზამთრის გამჟავების ტენდენციებს კი ადგილი აქვს აჭარა-გურიის მაღალმთიან მხარეში, სადაც აგრილება იანვარ-თებერვალშიც აღინიშნება. სეზონის საშუალო ტემპერატურის გადახრები პირველ პერიოდთან მიმართებაში ± 1 გრადუსის ფარგლებშია. უდიდესი დადებითი ნაზრდი აღინიშნა შიდა ქართლში (ხაშური, $+0.63^{\circ}\text{C}$), მაქსიმალური უარყოფითი გადახრა – აჭარაში (ხულო, -0.38°C) [5,10].

სხვა ტემპერატურული პარამეტრების ანალიზი აჩვენებს, რომ ზამთრის შერბილება უფრო მეტად მინიმუმების დათბობის ხარჯზე ხდება. აბსოლუტური მინიმუმები რიგ რაიონებში (კოლხეთის დაბლობი, დედოფლისნარო) დამთბარია 4-5 გრადუსით, სადაც ამ პარამეტრების ცვლილება საიმედოა და დასტურდება ტრენდებით. ორ პერიოდს შორის ნაზრდები როგორც დღის, ისე ღამის ტემპერატურებისთვის $0.7-0.8^{\circ}\text{C}$ -მდეა, თუმცა მაქსიმუმების ზრდა აღინიშნება, ძირითადად, აღმოსავლეთ საქართველოში და სამეგრელოს დაბლობ რაიონებში, ხოლო მინიმუმების – ქვეყნის დანარჩენ ტერიტორიაზე.

გამონაკლისია ღამის ტემპერატურების კლების შედეგად ზამთრის შედარებით გამოკვეთილი გამკაცრების ტენდენციები სამხრეთ საქართველოს მაღალმთიან ზონაში (ახალქალაქი), სადაც საშუალო მინიმუმები შემცირებულია ზამთრის ყველა თვეში, უდიდესი უარყოფითი გადახრა (-0.86°C) კი დეკემბერში აღინიშნება. ამავე დროს, მეორე პერიოდში აქ დაფიქსირდა 2-3 გრადუსით აბს. მინიმუმების გადაფარვის შემთხვევებიც.

ზამთრის დათბობას ადასტურებს ექსტრემალური ტემპერატურული ინდექსებიც (TX10p, TN10p, TX90p, TN90p, FD0, ID0). როგორც ჩანს, ზამთრის შერბილება უპირატესად განპირობებულია ცივი ღამეების პროცენტული რაოდენობის კლებით, განსაკუთრებით, იანვარში. ასეთი ღამეების შემცირება ყველაზე გამოკვეთილია კახეთში, მაგ., დედოფლისწყაროში მეორე პერიოდში ცივი ღამეების სეზონური განმეორებადობა შემცირებულია საშუალოდ 6%-ით. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ რიგ რაიონებში, იანვარში კი თითქმის მთელ ტერიტორიაზე, აღინიშნება ზამთრის თბილი დღეების რაოდენობის შემცირებაც, ხოლო დეკემბერში დასავლეთ საქართველოში გამოვლინდა ცივი დღეების განმეორებადობის მატება საშუალოდ 3-4%-ით თვეში. ზამთრის შერბილებაზე მიუთითებს ქვეყნის ტერიტორიაზე ცივი ტალღების რაოდენობისა და ხანგრძლივობის შემცირებაც. თუმცა რიგ რაიონებში, განსაკუთრებით, დასავლეთში მეორე პერიოდში აღინიშნა ცივი ტალღების მაქსიმალური ხანგრძლივობის გადაჭარბების შემთხვევებიც (მაგ., შოვეში – 11 დღით, ქუთაისში – 7 დღით, შავი ზღვის სანაპიროზე – 3-4 დღით).

ზამთარში ნალექების სეზონური რაოდენობის ცვლილების მხოლოდ რამდენიმე საიმედო ტენდენცია გამოვლინდა, რომლებიც ნალექების ნიშნად შემცირებაზე მიუთითებს გურიასა და შიდა ქართლის მხარეებში. უმეტეს ტერიტორიაზე ნალექების კლება აღინიშნება თებერვალში, ხოლო ნალექიანობის მატება სახეგა იანვარში – დასავლეთ და სამხრეთ საქართველოს ტერიტორიაზე, დეკემბერში კი – აღმოსავლეთ საქართველოში, განსაკუთრებით, ქვემო ქართლსა და კახეთში. 1986-2015 წწ. პერიოდის ნალექების სეზონური ნაზრდი უდიდესია ახალქალაქში (+33%), ხოლო შემცირების ტენდენცია ყველაზე ნიშნავია ბახმაროში (-38მმ/10 წელიწადში) [5,10].

ნალექების რაოდენობის აღნიშნული ცვლილებები დაკავშირებულია, ძირითადად, იანვრის თვეში უხვნალექიანი დღეების (R30, R50) გახშირებასთან დასავლეთ საქართველოში: შავი ზღვის სანაპიროზე, კოლხეთის დაბლობსა და მიმდებარე მთიან რაიონებში. ასევე, დასავლეთში აღინიშნება გადაბმულად ნალექიანი პერიოდების გახანგრძლივება (მაქს. 5-6 დღით), ხოლო აღმოსავლეთში ზამთარში ყველაზე თვალსაჩინოა მშრალი პერიოდების ხანგრძლივობის ზრდა (მაქს. 10-11 დღით), განსაკუთრებით, კახეთსა და მცხეთა-მთიანეთში (მაქს. 14-16 დღით), თუმცა იანვარში და განსაკუთრებით, დეკემბერში თანმიმდევრულად უნალექო დღეების გახშირება დაიკვირვება იმერეთშიც. აღსანიშნავია, რომ ზამთრის სეზონზე მდგრადია და ტრენდებით დასტურდება

ნალექების მახასიათებლებისთვის გამოვლენილი ის ცვლილებები, რომლებიც ნალექების შემცირებაზე მიუთითებს.

ტემპერატურისა და ნალექების ნაკლებად საიმედო ცვლილებების ფონზე, დანარჩენ სეზონებთან შედარებით, ზამთარში და განსაკუთრებით იანვარში, ქვეყნის თითქმის მთელ ტერიტორიაზე (გარდა ქვემო ქართლის საშუალო-მთიანი რაიონებისა) მომატებულია ფარდობითი ტენიანობა. მატება სეზონურად 2-3%-ს შედაგენს, რიგ რაიონებში კი (ფოთი, ახალციხე) 5-6%-ს აჭარბებს. ტენიანობის ზრდის ტენდენციების უმეტესობა მდგრდია (მათ შორის, თბილისში), ცვლილების სიჩქარეები კი 10 წელიწადში 1-2%-ის რიგისაა.

აღნიშნული ცვლილებები ტერიტორიის მეტ ნაწილში განპირობებული უნდა იყოს ნოტიო დღეების (RH80) კიდევ უფრო გახშირებით, ვახეთში კი, უფრო მეტად – მშრალი დღეების (RH30) განმეორებადობის შემცირებით.

ქარის საშუალო სიჩქარე მთელ ტერიტორიაზე მდგრადად მცირდება (გარდა თბილისისა) ყოველ 10 წელიწადში 0.5-1მ/წმ-ით.

რაც შეეხება ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობას, 2000-იანი წლებიდან, განსაკუთრებით დეკემბერსა და თებერვალში, ქვეყნის მთათაშორის ზოლში (ფოთი-ქუთაისი-მთა-საბუეთი-გორი-თბილისი) აღინიშნება ასეთი დღეების გახშირება. აღსანიშნავია, რომ გორში გამოვლინდა ძლიერქარიანი დღეების ნიშნადი მატება მთელი განხილული 60-წლიანი პერიოდის განმავლობაში ზამთრის ყველა თვეში, ხოლო ექსტრემალურად ძლიერქარიანი დღეებისა – თებერვალში.

ანუ, საქართველოში ზამთარი გახდა უფრო ტენიანი და ნაკლებად მკაცრი (უპირატესად ცივი და ყინვიანი დღეებისა და ღამეების განმეორებადობის შემცირების ხარჯზე), დასავლეთში – გახშირებული უხვნალექიანი დღეებით, ხოლო აღმოსავლეთში – უფრო ხანგრძლივი უნალექო პერიოდებით, რასაც რიგ რაიონებში თან ახლავს ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობის ზრდა.

გაზაფხული. გაზაფხული ქვეყნის თითქმის მთელ ტერიტორიაზე დამთბარია. დათბობის ტენდენციები შედარებით ნიშნადია, ვიდრე ზამთრის სეზონზე და ორ 30-წლიან პერიოდს შორის საშუალო ტემპერატურის ნაზრდები 0.2-0.3 გრადუსის ფარგლებშია, თუმცა ზოგ რაიონებში (მცხეთა-მთიანეთი, სამცხე-ჯავახეთი) 0.4-0.6°C აღწევს. ისევე როგორც ზამთარში, ტემპერატურის უარყოფითი გადახრები 0.3-0.4°C-ს ფარგლებში გამოვლინდა აჭარა-გურიის მაღალმთიან მხარეში. ცალკეული თვეების ანალიზი აჩვენებს, რომ გაზაფხულის დათბობა, ძირითადად, განპირობებულია ტემპერატურის მატებით მარტში, როდესაც უმრავლესობა განხილულ პუნქტებზე გამოვლინდა დათბობის აღმავალი ტრენდები, ხოლო მაისში უპირატესად დაიკვირვება აგრილების, თუმცა დათბობაზე ნაკლებად საიმედო ტენდენციები. აღსანიშნავია, რომ როგორც დათბობის, ისე აგრილების ინტენსივობა ყველაზე გამოკვეთილია ვახეთში და ორ პერიოდს შორის ნაზრდი, ასევე ტემპერატურის ცვლილების მაქსიმალური სიჩქარე აღინიშნა დედოფლისწყაროში მარტში

($+1.1^{\circ}\text{C}$, $+0.37^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში). მეორე პერიოდში ტემპერატურის შემცირების უდიდესი მნიშვნელობები დაიკვირვება მაისში მაღალმთიან აჭარაში (ხულო, -0.6°C), ასევე, შიდა ქართლში (გორი, -0.4°C).

სხვა ტემპერატურული პარამეტრების ანალიზი აჩვენებს, რომ გაზაფხულის დათბობა, ზამთრისგან განსხვავებით, უფრო მეტად მაქსიმუმების აწევის ხარჯზე ხდება. მაქსიმუმების ნაზრდები ტერიტორიაზე საშუალოდ ნახევარ გრადუსს, ხოლო მინიმუმების – 0.3°C -ს შეადგენს. დღის ტემპერატურების მატების სიდიდე ქვეყნის ტერიტორიაზე მაქსიმალურია მაღალმთიან რაიონებში (შოვი, $+1.1^{\circ}\text{C}$, $0.44^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში), ხოლო ღამის ტემპერატურების მდგრადი ზრდა, ძირითადად, დასავლეთში აღინიშნება. ორ პერიოდს შორის გადახრა და საშუალო მინიმუმების წრფივი ტრენდების უდიდესი დახრის კუთხე აქ უდიდესია კოლხეთის დაბლობზე (საჩხერე, $+0.6^{\circ}\text{C}$, $0.21^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში). რაც შეეხება აგრილებას მაისში, როგორც ჩანს, ის განპირობებული უნდა იყოს ღამის ტემპერატურების უპირატესი კლებით. სწორედ ამ პარამეტრის მიხედვით გამოვლინდა რამდენიმე რაიონში (ამბროლაური, ახალქალაქი, გორი) გაზაფხულზე ყველა თვეში აგრილება. აღსანიშნავია, რომ გორში აღინიშნება გაზაფხულის აბს. მინიმუმების მდგრადი შემცირების ტენდენციაც ($-0.44^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში), რაც ამ სეზონზე ტემპერატურულ პარამეტრებში გამოვლენილი ერთადერთი უარყოფითი ტრენდია.

გაზაფხულზე ტემპერატურულ რეჟიმში ცვლილებებს ადასტურებს ექსტრემალური ტემპერატურული ინდექსებიც. როგორც ჩანს, დათბობა ამ სეზონზე, ზამთრისგან განსხვავებით, უპირატესად განპირობებულია თბილი დღეებისა და ღამეების პროცენტული რაოდენობის ზრდით, განსაკუთრებით, მარტში. ასეთი დღეების მატება ყველაზე გამოკვეთილია სამცხე-ჯავახეთში, ასევე, მაღალმთიან რაჭაში. მაგ., ბაკურიანსა და შოვიში მეორე პერიოდში თბილი დღეების სეზონური განმეორებადობა გაზრდილია საშუალოდ 9-10%-ით. ამასთან, უმეტესობა რაიონებში, მაისში კი თითქმის მთელ ტერიტორიაზე, გარდა შავი ზღვის სანაპირო ზოლისა, აღინიშნება გაზაფხულის ცივი ღამეების გახშირებაც, რასაც აღმოსავლეთ საქართველოში მაისის თვეში თან ახლავს ცივი დღეების განმეორებადობის მატება საშუალოდ 2-3%-ით თვეში. აღსანიშნავია ყინვიანი ღამეების შემცირება გაზაფხულზე, რაც ამცირებს გაზაფხულის წაყინვების რისკს. თუმცა სამხრეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მაღალმთიან რაიონებში, ასევე, გორში, აპრილ-მაისის აგრილებების შედეგად, დაიკვირვება ასეთი ღამეების რაოდენობის და შესაბამისად, წაყინვების რისკების ზრდა გაზაფხულის ბოლოს. გარდა ამისა, აღსანიშნავია აქტიურ (10°C -ზე მაღალი) ტემპერატურათა ჯამების ზრდა გაზაფხულზე სამცხე-ჯავახეთის მთიან რაიონებში, რაც წარმოადგენს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების განვითარებისთვის ხელშემწყობ ფაქტორს.

ნალექების რეჟიმში გამოვლენილი ცვლილებები ამ სეზონზე უმეტესად ნალექების სეზონური რაოდენობის მატებაზე მიუთითებს, თუმცა საიმედოა

მხოლოდ რამდენიმე აღმავალი ტენდენცია, რომლებიც უმეტესად ქვეყნის აღმოსავლეთ ნაწილში აღინიშნება. მათ შორის ყველაზე ნიშნავია ნალექიანობის ზრდა კახეთში (ლაგოდეხი, +18%, 21მმ/10 წელიწადში), რაც აქ აპრილ-მაისში უხვნალექიან დღეთა (R30, R50) გახშირებითაა განპირობებული. ამასთან, კახეთში გაზაფხულზე ყველგან დაიკვირვება 1- და 5-დღეში მოსული ნალექების მაქსიმალური რაოდენობის (Rx1day, Rx5day) გადაჭარბების შემთხვევებიც, ხოლო 5-დღიური სეზონური მაქსიმუმებისთვის ზრდის ტენდენციები მდგრადია და თელავსა და ლაგოდეხში დასტურდება ტრენდებით (ლაგოდეხი, 6მმ/10წელიწადში). აღსანიშნავია, რომ კახეთში ნალექების სეზონური ჯამების მატებასთან ერთად გამოვლინდა მშრალი პერიოდების მაქსიმალური ხანგრძლივობის ზრდაც (მაქს. 20-25 დღით).

დანარჩენ ტერიტორიაზე გამოვლინდა შემდეგი ხასიათის ცვლილებები: დასავლეთ საქართველოში ნალექების მატება აღინიშნება მარტში და განსაკუთრებით მაისში, ხოლო აღმოსავლეთში – აპრილში. ნალექიანობის შემცირება სახეგა მარტში – შიდა და ქვემო ქართლში, აპრილში კი – ქვეყნის დასავლეთ ნაწილში. ნალექების ექსტრემალური ინდექსების ანალიზი აჩვენებს, რომ დასავლეთში ნალექიანობის ზრდა დაკავშირებული უნდა იყოს მარტში გადაბმულად ნალექიანი პერიოდების გახანგრძლივებასთან, ხოლო მაისში – უხვნალექიან დღეთა გახშირებასთან. გაზაფხულის თვეებში 1986-2015 წ.წ. პერიოდის ნალექების ნაზრდი უდიდესია ფოთში (მაისი, +57%), ხოლო უარყოფითი გადახრა – თიანეთში (მაისი, -32%). აღნიშნული ცვლილებები გაზრდის გაზაფხულზე რიგ რაიონებში (მთიანი აჭარა, სამეგრელო, კახეთი) წყალმოვარდნებისა და ღვარცოფების რისკებს, ხოლო უნალექო პერიოდების გახანგრძლივება (კახეთი, სამცხე-ჯავახეთი) წარმოადგენს რისკ-ფაქტორს სოფლის მეურნეობისთვის.

გაზაფხულზე ფარდობითი ტენიანობის 2-3%-ით ზრდა აღინიშნება ქვეყნის უმეტეს ტერიტორიაზე, ხოლო მტკვრის ხეობაში და სამეგრელოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლში ეს ზრდა საიმედოა და დასტურდება ტრენდებით. ტენიანობის შემცირების, თუმცა არამდგრადი ტენდენციები გამოვლინდა რაჭა-ლეჩხუმსა და კახეთში (1-1.5%-ით). ტენიანობის ზრდა ხდება, ძირითადად, აპრილ-მაისში, როდესაც ორ 30-წლიან პერიოდს შორის ნაზრდები 3-4%-ის ფარგლებშია, ხოლო რიგ რაიონებში (ახალციხე, თბილისი) 5-6%-ს აღწევს, ტრენდის დახრის კუთხე კი 10 წელიწადში საშუალოდ 2%-ს შეადგენს [5, 10].

ტენიანობის გამოვლენილი მატება უმრავლესობა რაიონებში დაკავშირებულია მშრალი დღეების (RH30) შემცირებასთან, ფოთსა და თბილისში კი განპირობებულია ნოტიო დღეების (RH80) გახშირებით. ასეთი დღეების განმეორებადობა მთელ ტერიტორიაზეა გაზრდილი მაისში.

გაზაფხულზე ქარის საშუალო სიჩქარე მდგრადად მცირდება მთელ განხილულ ტერიტორიაზე, გარდა თბილისისა. გადახრები პირველ პერიოდ-

თან მიმართებაში 1-2 მ/წმ-ის ფარგლებშია. ამასთან, ქარის სიჩქარის შემცირების ინტენსივობა გაზაფხულზე უდიდესია სეზონებს შორის.

რაც შეეხება ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობას, განსაკუთრებით მარტი-აპრილში, მტკვრის ხეობაში (გორი-თბილისი), ხოლო 2000-იანი წლებიდან – ლიხის ქედზე (მთა-საბუეთი), აღინიშნება ასეთი დღეების გახშირება (გორი, ნაზრდი სეზონზე – 11 დღე). აღსანიშნავია ასევე ექსტრემალურად ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობის ზრდა ბოლო პერიოდში ფოთსა და კახეთში. ისევე როგორც ზამთარში, გორში გამოვლინდა ძლიერქარიანი დღეების ნიშნადი მატება მთელი განხილული 60-წლიანი პერიოდის განმავლობაში გაზაფხულის ყველა თვეში, ხოლო თბილისსა და თელავში – მარტში. აღნიშნული ტენდენცია წარმოადგენს სოფლის მეურნეობის სექტორისთვის მნიშვნელოვან რისკ-ფაქტორს, რამდენადაც იწვევს რა ნიადაგის ზედა ფენის გამოშრობას და ახვეტას, საკმაოდ აზიანებს საგაზაფხულო ნარგავებს. თუმცა უნდა აღინიშნოს ქარის ენერგეტიკისთვის ამ ფაქტორის პოზიტიური როლიც (გორის ქარის ტურბინები).

ანუ, საქართველოში გაზაფხული გახდა უფრო ტენიანი და თბილი (უპირატესად თბილი დღეებისა და ღამეების განმეორებადობის ზრდის ხარჯზე მარტი-აპრილში), გახშირებული უხვნალექიანი და ნოტიო დღეებით – მაისში, რასაც რიგ რაიონებში (მტკვრის ხეობა) თან ახლავს ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობის ზრდა.

ზაფხული. ზაფხული მნიშვნელოვნად დამთბარია ყველა ტემპერატურული პარამეტრის მიხედვით და თითქმის მთელ ტერიტორიაზე დათბობა დასტურდება ტემპერატურის საშუალო მახასიათებლებისა თუ ექსტრემალური ინდექსების აღმავალი ტრენდებით. გამონაკლისია მხოლოდ აჭარა-გურიის მაღალმთიანი მხარე. ყველაზე ინტენსიური დათბობა გამოვლინდა დასავლეთში – სამეგრელოში და აღმოსავლეთში – კახეთში. სეზონის საშუალო ტემპერატურის გადახრები პირველ 30-წლიან პერიოდთან მიმართებაში 0.5-1.3 გრადუსის ფარგლებშია. უდიდესი დადებითი ნაზრდი აღინიშნა კახეთში (დედოფლისწყარო, +1.28°C). ზაფხულის განმავლობაში ყველაზე მეტად დამთბარია აგვისტო, როდესაც საშუალო ტემპერატურის ნაზრდები 2 გრადუსს აღწევს, მაქსიმალური დათბობა სამეგრელოში დაიკვირვება (ზუგდიდი, +1.81°C), სადაც გამოვლინდა ყველაზე ნიშნადი აღმავალი წრფივი ტრენდიც, დახრის კუთხით +0.51°C/10 წელიწადში.

სხვა ტემპერატურული პარამეტრების ანალიზი აჩვენებს, რომ ზაფხულის დათბობა, გაზაფხულის მსგავსად, უფრო მეტად მაქსიმუმების აწვევის ხარჯზე ხდება. მინიმუმების ნაზრდები ტერიტორიაზე საშუალოდ 1 გრადუსამდე აღინიშნება, ხოლო მაქსიმუმებისა – 1.5°C-ს აღწევს. დღის ტემპერატურების მატების სიდიდე ქვეყნის ტერიტორიაზე მაქსიმალურია სამცხე-ჯავახეთსა (ბაკურიანი, +2.41°C) და კახეთში (დედოფლისწყარო, +2.12°C), ხოლო ღამის

ტემპერატურების მდგრადი ზრდა ყველაზე ნიშნადია სამეგრელოსა და კახეთში. ორ პერიოდს შორის გადახრა და საშუალო მინიმუმების წრფივი ტრენდების დახრის კუთხე უდიდესია დედოფლისწყაროში (+1.6°C, +0.42°C/10 წელიწადში). აგვისტოში დათბობა ყველაზე ინტენსიურია და მაქსიმალური ტემპერატურის გადახრები ბაკურიანში +2.85°C და დედოფლისწყაროში +2.5°C-ს აღწევს, ხოლო მინიმალურისა – 1.8°C-მდეა (ლაგოდეხი, დედოფლისწყარო). ზაფხულში 1986-2015 წწ. პერიოდში ტერიტორიის უმეტეს ნაწილში დაფიქსირდა აბს. მაქსიმუმების გადაჭარბება. გადაფარვის სიდიდე მაქსიმალურია შოვსა და დედოფლისწყაროში და 3-4 გრადუსს შეადგენს. რაც შეეხება აბს. მინიმუმებს, გამოვლინდა აგრილების ტენდენციები გორსა და ახალქალაქში. აღსანიშნავია, რომ ეს არის ერთადერთი ტემპერატურული პარამეტრი, რომელიც თუნდაც არასაიმედოდ, მაგრამ ტემპერატურის გარკვეულ შემცირებაზე მიუთითებს ზაფხულის სეზონზე.

ექსტრემალური ტემპერატურული ინდექსების ანალიზი ადასტურებს, რომ ზაფხულში ისევე, როგორც გაზაფხულზე, დათბობა უპირატესად განპირობებულია თბილი დღეებისა და ღამეების განმეორებადობის ზრდით (საშუალოდ, 8-9%-ით), თუმცა ცივი დღეებისა და ღამეების პროცენტული წილიც ამ სეზონზე მნიშვნელოვნად შემცირებულია (საშუალოდ 4-5%-ით). ცხელი დღეების ზრდა ყველაზე გამოკვეთილია შავი ზღვის სანაპირო ზოლში და მეორე პერიოდში ასეთი დღეების განმეორებადობა სეზონზე 20%-ით არის მომატებული, ხოლო აგვისტოში ნაზრდი 30%-ს აჭარბებს. თბილი და ტროპიკული ღამეების გახშირება კი ყველაზე ინტენსიურია კახეთში. ზაფხულის სეზონური ნაზრდი აქაც 20%-ის ფარგლებშია, ხოლო აგვისტოში ასეთი ღამეების წილი 25%-ით არის გაზრდილი. ანუ, ზაფხულში ქვეყნის ტერიტორიაზე სახეგა დათბობის ყველა ინდიკატორი.

დათბობის ფონზე ნალექების საზონური ჯამი ქვეყნის უმეტეს ტერიტორიაზე შემცირებულია, თუმცა ნიშნადი ცვლილებები აღინიშნება მხოლოდ რამდენიმე რაიონში. უმეტეს ტერიტორიაზე ნალექების კლება აღინიშნება აგვისტოში, აღმოსავლეთში კიდევ უფრო ინტენსიურია ივლისში, ხოლო ნალექიანობის მატება სახეგა ივნისში მხოლოდ აჭარაში და კოლხეთის დაბლობზე, ასევე, თბილისში. 1986-2015 წ.წ. პერიოდში ზაფხულში ნალექების სეზონური ჯამების კლება ყველაზე გამოკვეთილია კახეთში (20%-მდე), ხოლო შემცირების ტენდენცია ყველაზე ნიშნადია თიანეთში (-24მმ/10წელიწადში). ნალექების სეზონური ნაზრდი უდიდესია ხულოში (+16%).

ნალექების რაოდენობის აღნიშნული ცვლილებები დაკავშირებულია, ძირითადად, ივნისის თვეში უხვნალექიანი დღეების (R30, R50) გახშირებასთან და ნალექების დღელამური მაქსიმუმების ზრდასთან ფოთსა და თბილისში, ხოლო ივლისში და განსაკუთრებით, აგვისტოში მშრალი პერიოდების ხანგრძლივობის ზრდასთან (საშუალოდ, 9-10 დღით). უნალექო პერიოდების გახანგრძლივება ყველაზე გამოკვეთილია კახეთსა და შიდა ქართლში, რაც ამ

რეგიონებში გვალვების გახშირებაზე მიუთითებს და მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს არა მარტო სოფლის მეურნეობის სექტორისთვის და სასმელი და სარწყავი წყლის დეფიციტის საშიშროებას შექმნის.

როგორც ჩანს, ზაფხულისთვის მომატებული ტემპერატურის ფონზე რისკს წარმოადგენს გვალვიანი პერიოდების გახშირება, რასაც რიგ რაიონებში თან სდევს უხვნალექიან დღეთა გახშირება და დღელამური მაქსიმალური ნალექების მატება, რაც მენყრულ-ღვარცოფული პროცესების განვითარების ხელშემწყობი ფაქტორია.

ზაფხულის საშუალო ფარდობითი ტენიანობა მომატებულია, თუმცა ზრდადი ტრენდების ყველაზე ნაკლები რაოდენობა სწორედ ამ სეზონზე გამოვლინდა. ტენიანობის შემცირების ტრენდი გამოვლინდა იმერეთში (ქუთაისი, -1.1%/10 წელიწადში). ზოგადად, ზაფხულში ტენიანობის ცვლილების ტენდენციები ისეთივეა, როგორც გაზაფხულზე, მხოლოდ შემცირებულია ტენიანობის ნაზრდები, ხოლო შემცირების ტენდენციები უფრო ნიშნავი ხდება. ტენიანობის ზრდა ხდება, ძირითადად, ივნისში, როდესაც ორ 30-წლიან პერიოდს შორის ნაზრდები 3-4%-ის ფარგლებშია, ხოლო რიგ რაიონებში (ფოთი, ახალციხე) 5%-ს აღწევს. ტენიანობის კლებადი ტენდენციები უპირატესად ივლის-აგვისტოში აღინიშნა.

ტენიანობის გამოვლენილი მატება უმრავლესობა რაიონებში დაკავშირებულია მშრალი დღეების (RH30) შემცირებასთან, ფოთში კი განპირობებულია ნოტიო (ჩახუთული) დღეების გახშირებით. ასეთი დღეების განმეორებადობა ტერიტორიის უმეტეს ნაწილში გაზრდილია ივნისში. ზაფხულის თბური ტალღების გახშირებასთან ერთად, ფოთში გამოვლენილი ექსტრემალურად ნოტიო დღეების განმეორებადობის ზრდა მნიშვნელოვან რისკ-ფაქტორს წარმოადგენს ჯანმრთელობის სექტორისთვის.

როგორც სხვა სეზონებზე, ზაფხულში ქარის საშუალო სიჩქარე მდგრადად მცირდება მთელ განხილულ ტერიტორიაზე, გარდა თბილისისა. გადახრები პირველ პერიოდთან მიმართებაში 1-2 მ/წმ-ის ფარგლებშია.

რაც შეეხება ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობას, ქვეყნის მთათა-შორის ზოლში – ფოთიდან თბილისამდე, 2000-იანი წლებიდან აღინიშნება ასეთი დღეების გახშირება (გორი, ნაზრდი სეზონზე – 11 დღე). ექსტრემალურად ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობის ზრდა ბოლო პერიოდში მხოლოდ გორში დაიკვირვება. როგორც სხვა სეზონებზე, გორში გამოვლინდა ძლიერქარიანი დღეების ნიშნავი მატება მთელი განხილული 60-წლიანი პერიოდის განმავლობაში ზაფხულის ყველა თვეში.

ანუ, ზაფხული საქართველოში გახდა საგრძნობლად ცხელი და შედარებით მშრალი, რიგ რაიონებში გახშირებული უხვნალექიანი და ჩახუთული (ნოტიო) დღეებით.

შემოდგომა. შემოდგომაც დამთბარია. ამ სეზონზეც ისევე, როგორც ზაფხულში, სახეზეა დათბობის ყველა ინდიკატორი, თუმცა დათბობის ინტენ-

სივობა შედარებით ნაკლებია. აღსანიშნავია, რომ სექტემბერი-ოქტომბერი, აგვისტოს შემდეგ, წლის განმავლობაში გამოირჩევა დათბობის ყველაზე ნიშნადი ტენდენციებით, ხოლო ნოემბერი – აგრილების ყველაზე მაღალი ინტენსივობით. ყველაზე გამოკვეთილია დათბობა სამეგრელოსა და სამცხე-ჯავახეთში, ხოლო აგრილება – აჭარა-გურიის მაღალმთიან მხარეში (ხულო, -0.82°C). სეზონის საშუალო ტემპერატურის გადახრები პირველ 30-წლიან პერიოდთან მიმართებაში 1 გრადუსამდეა. უდიდესი დადებითი ნაზრდი აღინიშნა სამეგრელოში (ზუგდიდი, $+0.90^{\circ}\text{C}$). შემოდგომის განმავლობაში ყველაზე მეტად დათბარია ოქტომბერი, როდესაც საშუალო ტემპერატურის ნაზრდები 1.5 გრადუსს აღწევს. მაქსიმალური დათბობა ოქტომბერშიც სამეგრელოში დაიკვირვება (ზუგდიდი, $+1.42^{\circ}\text{C}$), სადაც გამოვლინდა ყველაზე ნიშნადი აღმავალი წრფივი ტრენდიც, დახრის კუთხით $+0.50^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში. ნოემბერში ტემპერატურის უარყოფითი გადახრები აღინიშნება ქვეყნის თითქმის მთელ ტერიტორიაზე და საშუალოდ $0.2-0.3^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს, ხოლო აჭარა-გურიაში მთიან რაიონებში $0.5-0.8^{\circ}\text{C}$ -ის ფარგლებშია.

სხვა ტემპერატურული პარამეტრების ანალიზი აჩვენებს, რომ შემოდგომაზე დათბობა დღისა და ღამის ტემპერატურების თითქმის თანაბარი მატებით არის განპირობებული. საშუალო მაქსიმუმების ნაზრდები საშუალოდ ტერიტორიაზე 0.7°C , ხოლო მინიმუმების 0.6°C -ს შეადგენს. დღის ტემპერატურების მატება მაქსიმალურია მაღალმთიან რაიონებში (ბაკურიანი, $+1.28^{\circ}\text{C}$, $+0.42^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში), ხოლო ღამის ტემპერატურები ყველაზე მეტად ($+1.1^{\circ}\text{C}$ -ით) მომატებულია შავი ზღვის სანაპიროსა და კოლხეთის დაბლობზე, ასევე, ვახეთში, სადაც დაიკვირვება მინიმუმების ზრდის ყველაზე მაღალი ტემპი (დედოფლისწყარო, $+0.40^{\circ}\text{C}/10$ წელიწადში). რაც შეეხება აგრილებას, აღსანიშნავია, რომ უმეტესობა ტერიტორიაზე ნოემბერში გამოვლინდა აბს. მაქსიმუმების შემცირების ტენდენციები, მათ შორის რამდენიმე რაიონში ეს ტენდენციები მდგრადია, ცვლილების ტემპი კი 10 წელიწადში $0.3-0.6^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს.

ექსტრემალური ტემპერატურული ინდექსების ანალიზიდან ჩანს, რომ შემოდგომაზე თბილი დღეებისა და ღამეების განმეორებადობის ზრდასთან (საშუალოდ, 4-5%-ით) ერთად, ადგილი აქვს ცივი დღეებისა და ღამეების პროცენტული წილის შემცირებასაც (საშუალოდ 2-3%-ით). თბილი დღეებისა და ღამეების გახშირება ყველაზე გამოკვეთილია სამეგრელოში და მეორე პერიოდში ასეთი დღეებისა და ღამეების განმეორებადობა სეზონზე 10%-მდეა მომატებული, ხოლო სექტემბერში ნაზრდი საშუალოდ 15%-ს შეადგენს. აღსანიშნავია, ასევე, ცხელი დღეების რაოდენობის მკვეთრი მატება (თითქმის 25%-ით) ქობულეთში სექტემბერში. ნოემბრის აგრილება კი, განსაკუთრებით დასავლეთში, განპირობებული უნდა იყოს ცივი დღეების რიცხვის ზრდით თვის განმავლობაში (საშუალოდ, 2-3%-ით).

ისევე როგორც გაზაფხულზე, შემოდგომაზეც აღინიშნება ყინვიანი ღამეების რაოდენობისა და შესაბამისად, შემოდგომის წაყინვების რისკების

შემცირება. თუმცა სამხრეთ და აღმოსავლეთ საქართველოში, ნოემბრის აგრილების შედეგად, დაიკვირვება ასეთი ღამეების რაოდენობისა და, შესაბამისად, წაყინვების რისკების ზრდა შემოდგომის ბოლოს. გარდა ამისა, შემოდგომაზეც, ისევე როგორც გაზაფხულზე, სამცხე-ჯავახეთისა და მცხეთა-მთიანეთის მთიან რაიონებში, ძირითადად ოქტომბრის დათბობის ხარჯზე, აღინიშნება აქტიურ (10°C-ზე მაღალი) ტემპერატურათა ჯამების ნიშნავი ზრდა.

შემოდგომაზე ქვეყნის ტერიტორიის უმეტესობა რაიონებში ნალექების სეზონური რაოდენობა, წლის სხვა სეზონებთან შედარებით, ყველაზე მეტად არის გაზრდილი, თუმცა საიმედოა ნალექების ზრდის მხოლოდ რამდენიმე აღმავალი ტენდენცია, რომლებიც უმეტესად ქვეყნის დასავლეთში, ასევე, კახეთში აღინიშნება. მათ შორის ყველაზე ნიშნავია ნალექიანობის ზრდა შავი ზღვის სანაპიროზე (ფოთი, 35მმ/10 წელიწადში), ხოლო ნალექების სეზონური რაოდენობის უდიდესი ნაზრდები კახეთში დაიკვირვება (დედოფლისწყარო, +20%). ცალკეული თვეების ანალიზიდან ჩანს, რომ ნალექების მატება შემოდგომაზე, ძირითადად, ნოემბრის და განსაკუთრებით, ოქტომბრის ხარჯზე ხდება, ხოლო სექტემბერში თითქმის მთელ ტერიტორიაზე აღინიშნება ნალექების შემცირების ტენდენციები. თვეების მიხედვით ნალექიანობის როგორც კლების (საშუალოდ, 25%-ით), ისე მატების (საშუალოდ, 40%-ით) ინტენსივობა უდიდესია მცხეთა-მთიანეთში, შესაბამისად, სექტემბერსა და ოქტომბერში.

ნალექის თითქმის ყველა ექსტრემალური ინდექსი ადასტურებს, რომ შემოდგომაზე და მით უფრო ოქტომბერში გამოვლენილი ნალექების რაოდენობის მატება თავსხმანალექიან დღეთა გახშირებისა და ნალექების 1- და 5-დღიური მაქსიმუმების (ე.წ. წყალდიდობის ინდექსი) ზრდის ხარჯზე ხდება. ცვლილებები ნიშნავია და ტრენდებით დასტურდება შავი ზღვის სანაპირო ზოლში, სამეგრელოში, რაჭა-ლეჩხუმსა და კახეთში ნალექის ყველა ინდექსის მიხედვით. ნალექების რეჟიმში გამოვლენილი ცვლილებები მიუთითებს აღნიშნულ რაიონებში წყალმოვარდნებისა და მენყერ-ღვარცოფების რისკის გაზრდაზე. რაც შეეხება ნალექების რაოდენობის შემცირებას სექტემბერში, მთელ ტერიტორიაზე და ყველაზე მეტად იმერეთში, სამცხე-ჯავახეთში, ქვემო ქართლსა და კახეთში, ამ დროს აღინიშნება უნალექო პერიოდების ხანგრძლივობის ზრდა (მაქს. 10-15, ზოგან 20 დღით). ამასთან, წლის განმავლობაში ასეთი პერიოდების გახანგრძლივება ყველაზე გამოკვეთილია სწორედ სექტემბერში, რაც ამ თვეში გამოვლენილი დათბობის ფონზე, მიუთითებს გვალვების ხდომილების გახშირებაზე და წარმოადგენს სოფლის მეურნეობის სექტორისა და სასურსათო უსაფრთხოებისთვის მნიშვნელოვან რისკ-ფაქტორს.

ტერიტორიის უმეტესობა ნაწილში საშუალო ფარდობითი ტენიანობა ამ სეზონზეც მომატებულია დაახლოებით 2-3%-ით პირველ 30-წლიან პერიოდთან შედარებით. ტენიანობის ტენდენციების მდგრადი ზრდა აღინიშნება შავი ზღვის სანაპიროზე და მტკვრის ხეობაში, სადაც უდიდესია ტენიანობის ნაზრდებიც (3-4%). თვეების მიხედვით, ყველაზე მეტად ტენიანობის მატება დაიკვირვება

ოქტომბერ-ნოემბერში, როდესაც აღნიშნულ რაიონებში დადებითი გადახრები 5-7%-ს აღწევს, ცვლილების სიჩქარე კი 10 წელიწადში 1-2%-ს შეადგენს. ტენიანობის შემცირების ტენდენციები გამოვლინდა იმერეთსა და რაჭა-ლეჩხუმში, სემონური საშუალოები აქ შემცირებულია 1-2%-ით, სექტემბერში კი – 3-4%-ით.

როგორც ჩანს, შემოდგომაზე ტენიანობის მატება უმრავლესობა რაიონებში დაკავშირებულია ნოტიო დღეების გახშირებასთან. ასეთი დღეების განმეორებადობა ოქტომბერ-ნოემბერში გაზრდილია მთელ ტერიტორიაზე, განსაკუთრებით ოქტომბერ-ნოემბერში შავი ზღვის სანაპიროზე (ფოთი, სემონზე 9 დღით). მშრალი დღეების განმეორებადობის უმნიშვნელო (სემონზე 1-2 დღით) მატება აღინიშნება მხოლოდ სექტემბერში აღმოსავლეთ საქართველოში. ანუ, როგორც ბათუმში, ფოთში ექსტრემალურად ნოტიო (ჩახუთული) დღეების განმეორებადობის ზრდა, სექტემბერ-ოქტომბერში გამოვლენილი დათბობის ფონზე, კვლავ მნიშვნელოვან რისკ-ფაქტორად რჩება ჯანმრთელობის სექტორისთვის.

როგორც წლის დანარჩენ სემონებზე, შემოდგომაზეც ქარის საშუალო სიჩქარე მცირდება მთელ განხილულ ტერიტორიაზე, გარდა თბილისის და ზუგდიდისა. გადახრები პირველ პერიოდთან მიმართებაში 1-2მ/წმ-ის ფარგლებშია. მთელი განხილული 60-წლიანი პერიოდის განმავლობაში ქარის შემცირების ტენდენციები ყველაზე გამოკვეთილია ლიხის ქედზე (მთა-საბუეთი, -0.5მ/წმ/10 წელიწადში).

რაც შეეხება ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობას, ქვეყნის ცენტრალურ რაიონებში – ლიხის ქედიდან გორამდე, 2000-იანი წლებიდან აღინიშნება ასეთი დღეების გახშირება (გორი, ნაზრდი სემონზე – 10 დღე). ექსტრემალურად ძლიერქარიანი დღეების განმეორებადობის რაიმე ნიშნადი ცვლილებები კი შემოდგომაზე ბოლო პერიოდში არ დაიკვირვება. როგორც სხვა სემონებზე, გორში გამოვლინდა ძლიერქარიანი დღეების ნიშნადი მატება შემოდგომის ყველა თვეში. ანუ, შემოდგომა გახდა შედარებით ნალექიანი, ნოტიო და საგრძნობლად თბილი, შემოდგომის დასაწყისში – უფრო ხანგრძლივი მშრალი პერიოდებით თბილი დღეებისა და ღამეების გახშირების ფონზე, ხოლო სემონის ბოლოს – გახშირებული უხვნალექიანი და ჭარბად ნოტიო დღეებით.

წლიურ ციკლში ტემპერატურული რეჟიმის მახასიათებლებში გამოვლინდა შემდეგი ტენდენციები:

- მნიშვნელოვნად გაზრდილია ცხელი დღეების (TX90p) და თბილი ღამეების (TN90p) რაოდენობა.
- მნიშვნელოვნად შემცირებულია ცივი დღეების (TX10p) და ღამეების (TN10p) განმეორებადობა, ხოლო ყინვიანი ღამეების (FD0) რიცხვი უმნიშვნელოდ იკლებს.

- ცვლილების ტენდენციები შედარებით ნიშნავდა მაქსიმალურ ტემპერატურასთან დაკავშირებული ინდექსებისთვის, რაც განაპირობებს დღეღამური ტემპერატურის განაწილების წანაცვლებას მაქსიმუმების მიმართულებით. ამ მხრივ გამოწვევას შავი ზღვის სანაპირო ზოლი და კოლხეთის დაბლობი.

- შიდაწლიურ ციკლში ტრენდები არ გამოვლინდა ცივი ღამეებისა და ყინვიანი დღეების სიხშირის ცვლილებაში ზამთარში, ხოლო ცხელი დღეებისა და თბილი ღამეების რიცხვმა ზაფხულსა და შემოდგომაზე საგრძობლად მოიმატა მთელ განხილულ ტერიტორიაზე, რაც ადასტურებს საშუალო კლიმატური პარამეტრებით გამოვლენილ ზაფხულის დათბობის ტენდენციას.

- კლიმატური მახასიათებლების ანალიზი მიუთითებს იმაზე, რომ თბილი პერიოდის (მაისი-სექტემბერი) საშუალო ტემპერატურის ზრდა ასევე განპირობებულია თბური ტალღების (HW) ხდომილების გახშირებით და მათი ხანგრძლივობის ნიშნავი ზრდით, რაც ყველაზე გამოკვეთილია შავი ზღვის სანაპირო ზოლში, მიმდებარე დაბლობ რაიონებში და ივრის ზეგანზე. აქ ორ პერიოდს შორის თბური ტალღების მაქსიმალური ხანგრძლივობა თითქმის ერთი თვით არის მომატებული, ზრდის ტემპი კი 10 წელიწადში დაახლოებით 3 დღეს შეადგენს.

- ცივი ტალღების (CW) რაოდენობისა და ხანგრძლივობის შემცირება სახეზეა, თუმცა არ არის ნიშნავი, რაც აისახება წლის ცივი პერიოდის (ნოემბერი-აპრილი) დათბობის არამდგრად ხასიათზე.

- მდგრადი დადებითი ცვლილებები აღინიშნება მთელი წლის განმავლობაში თბილი პერიოდების/spells (WSPI) განმეორებადობაშიც. მათი ხანგრძლივობა ყველაზე მეტად (20-25 დღით) გაზრდილია კვლავ შავი ზღვის სანაპიროსა და დედოფლისწყაროს რაიონში, ცვლილების სიჩქარე კი 10 წელიწადში საშუალოდ 7დღეს შეადგენს.

- ცვლილებები ცივი პერიოდების/spells ხანგრძლივობაში (CSDI) არ არის ნიშნავი და ტრენდებით არ დასტურდება.

- პირველ 30-წლიან პერიოდთან შედარებით სავსეგეტაციო პერიოდის ($>5^{\circ}\text{C}$) ხანგრძლივობის (GSL) ცვლილებები უმეტესობა რაიონებში არამდგრადი ხასიათისაა, რამდენადაც, შემოდგომის დასაწყისში გამოვლენილი დათბობა ნაწილობრივ კომპენსირდება აგრილებით გაზაფხულის ბოლოს.

- ყველაზე ნიშნავი ზრდა გამოვლინდა თბილ პერიოდში ტემპერატურის დაგროვილი ჯამების – ე.წ. გრადუს-დღეებიანი ინდექსებისთვის (GddGrow, HddHeat, CddCold).

- ყველა განხილულ პუნქტში (გარდა გორისა) ტრენდებით დასტურდება აქტიურ ტემპერატურათა (10°C -ზე მაღალი) დაგროვილი ჯამების ზრდა (GddGrow10). ცვლილებები კვლავ ყველაზე ინტენსიურია კახეთში (დედოფლისწყაროს რაიონი), ასევე, შავი ზღვის სანაპირო ზოლსა და კოლხეთის დაბლობის მიმდებარე რაიონებში, სადაც 10°C -ზე მაღალ ტემპერატურათა ჯამები 205-300 გრ.დღით არის გაზრდილი.

- გათბობისა (HddHeat) და გაგრილების (CddCold) გრადუს-დღეების ანალიზი, რაც გამოიყენება შენობებში ენერჯის მოხმარების შეფასების მიზნით, აჩვენებს, რომ ცვლილების ტენდენციები ნიშნავდა თბილი პერიოდის ტემპერატურული ინდექსებისთვის (CddCold), ხოლო გასათბობი (ცივი) პერიოდის მახასიათებლების ცვლილება უმეტეს შემთხვევაში ტრენდებით არ დასტურდება. კერძოდ, გათბობის გრადუს-დღეების რიცხვის მნიშვნელოვანი შემცირება აღინიშნება მხოლოდ შავი ზღვის სანაპირო ზოლში და რიგ მაღალმთიან რაიონებში, თუმცა დიდ ქალაქებში (თბილისი, ქუთაისი, გორი, თელავი) ამ პერიოდში ენერჯეტიკულ სექტორზე დატვირთვა, როგორც ჩანს, კვლავ იმავე რიგისაა. ამასთან, ქვეყნის უმეტესობა რაიონებში (გარდა გორისა) მდგრადი დადებითი ტენდენციები გამოვლინდა გაგრილების (კონდიციონერების) პერიოდის გრადუს-დღეებისთვის (CddCold). ნაზრდი მეორე პერიოდში კონდიციონერების პერიოდში საშუალოდ 100 გრ.დღეს შეადგენს, ხოლო რიგ რაიონებში (სამეგრელო, კახეთი) 200-220 გრ.დღეს აღწევს. გამოვლენილი ტრენდების მიხედვით კი შეიძლება ითქვას, რომ კონდიციონერების პერიოდში ენერჯეტიკულ სექტორზე დატვირთვა მზარდია და ქვეყნის დიდ დასახლებულ პუნქტებში (სადაც კონდიციონერება ყველაზე მოთხოვნადია) 35-60 გრ.დღით იმატებს ყოველ 10 წელიწადში. გამოდის, რომ ამ სექტორზე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენა საკმაოდ მნიშვნელოვანია, რამდენადაც გასათბობ პერიოდში დატვირთვების შემცირება ნაკლებად ნიშნავდა, ხოლო გაგრილების პერიოდში კონდიციონერების მოთხოვნაზე აღინიშნება მხოლოდ მზარდი აღმავალი ტენდენციები [17,18].

რაც შეეხება ნალექების რეჟიმის ექსტრემალურ მახასიათებლებს, როგორცაა ექსტრემალურად ნალექიანი დღეების პროცენტული და რაოდენობრივი წვლილი ნალექების წლიურ ჯამში (R95pTOT, R99pTOT, R99p, R99p), რომლებიც განიხილება სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური (წყალდიდობა-წყალმოვარდნები) და გეოლოგიური მოვლენების (მენყრები, ღვარცოფები) ხელშემწყობი ფაქტორების შეფასებისას, წლიურ ციკლში გამოვლინდა შემდეგი ტენდენციები:

- ისევე როგორც ნალექების საშუალო რაოდენობისთვის, ექსტრემალური მახასიათებლების ცვლილებები მთელ ტერიტორიაზე არასტაბილური და არაერთგვაროვანია, გამოვლინდა მხოლოდ რამდენიმე მდგრადი ტენდენცია.
- მათი უმეტესობა დაიკვირვება დასავლეთ საქართველოს სადგურებზე, ძირითადად, სამეგრელოსა და აჭარის მთიან რაიონებში და მიუთითებს, რომ ნალექების მატების ტენდენციები აქ განპირობებული უნდა იყოს სწორედ უხვნალექიანი შემთხვევების გახშირებით. მთიან აჭარასა და რაჭა-ლეჩხუმში 5-7%-ით არის გაზრდილი უხვი და 2-4%-ით – ექსტრემალურად უხვი ნალექების წვლილი წლიურ ჯამში, რაც რაოდენობრივად უხვი ნალექების 30-40%-ით, ხოლო ექსტრემალურის – 50-75%-ით

მატებას შეესაბამება. ამასთან, როგორც სეზონების დახასიათებისას იყო აღნიშნული, ამ რაიონებში გამოვლინდა ყველა სხვა ექსტრემალური ინდექსის, როგორცაა უხვნალექიანი დღეების რაოდენობა (R30mm, R50mm) და ნალექების დღელამური მაქსიმალური რაოდენობა (Rx1D, Rx5D), საკმაოდ ნიშვნადი ზრდა. შედეგად, როგორც ჩანს, უკანასკნელ პერიოდში ამ რაიონებში მნიშვნელოვნად არის გაზრდილი სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური და გეოლოგიური პროცესების გააქტიურების რისკები.

- ქვეყნის სამხრეთსა და აღმოსავლეთში ნალექების ექსტრემალური ინდექსები მიუთითებს, რომ მიუხედავად ნალექების წლიური რაოდენობის ცვლილების ნიშნისა, თითქმის ყველგან და განსაკუთრებით კახეთსა და მცხეთა-მთიანეთში, იზრდება უნალექო პერიოდების ხანგრძლივობა (CDD). ამავე დროს, თბილისში, თელავსა და ლაგოდეხში მომატებულია, ასევე, ექსტრემალურად ნალექიანი შემთხვევების გახშირების დამადასტურებელი ტენდენციებიც. გამომდინარე აქედან, აქ სავარაუდოა როგორც გვალვების, ისე წყალდიდობა-წყალმოვარდნებისა და სტიქიური გეოლოგიური პროცესების გახშირების ალბათობა.

კლიმატის მიმდინარე ცვლილების ტენდენციების შესწავლა ადასტურებს დათობას ქვეყნის ტერიტორიაზე. სახეზეა კლიმატის ცვლილების თითქმის ყველა ინდიკატორი. კერძოდ:

- მინისპირა ჰაერის ტემპერატურის მატება,
- ტენიანობის ზრდა,
- ცხელი დღეებისა და თბილი ღამეების გახშირება, ცივი დღეებისა და ღამეების განმეორებადობის შემცირება,
- თბილი პერიოდების/თბური ტალღების სიხშირისა და ხანგრძლივობის ზრდა,
- ყინვიანი დღეების რაოდენობის კლება,
- ცვლილებები ნალექების რეჟიმში,
- უხვნალექიან დღეთა განმეორებადობის, ნალექის ინტენსივობის და რაოდენობის ზრდა,
- გვალვების ინტენსივობისა და ხანგრძლივობის ზრდა.

საბოლოოდ შეიძლება ითქვას, რომ სხვადასხვა სექტორზე ზემოქმედების კუთხით, კლიმატური პარამეტრების ცვლილებებს ისეთი ხასიათი აქვს, რომ უმეტესად არსებული რისკების გამწვავებას უფრო შეუწყობს ხელს. გამოვლინდა ამ რისკების შემარბილებელი გარკვეული ფაქტორებიც, როგორცაა: სოფლის მეურნეობის სექტორისთვის – საგაზაფხულო და საშემოდგომო წაყინვების რისკების შემცირება და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარებისთვის აუცილებელი აქტიურ ტემპერატურათა ჯამების ზრდა, ტურისტული საქმიანობისთვის – შავი ზღვის სანაპიროზე ტურისტული სეზონის ხანგრძლივობის ზრდა და მშრალი პერიოდის გახანგრძლივება (სექტემბრის

ხარჯზე), ენერგეტიკის სექტორისთვის – გათბობის პერიოდში ენერჯის მოხმარებაზე მოთხოვნილების გარკვეულწილად შემცირების ტენდენცია, ჯანმრთელობის სექტორისთვის – სიცხის ტალღების განმეორებადობისა და ხანგრძლივობის შემცირება და ა.შ. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ რისკების შემცირების თითქმის ყველა აღნიშნული ტენდენცია სტატისტიკურად არასაიმედოა, ხოლო რისკების გამწვავების ხელშემწყობი პირობების განმეორებადობა (გვალვიანი პერიოდების ხანგრძლივობის ზრდა, ექსტრემალური ნალექების, თბური ტალღებისა და ნოტიო დღეების გახშირება, ძლიერქარიან დღეთა განმეორებადობის მატება სხვ.) უმეტესობა რაიონებში შედარებით სტაბილურად იმატებს.

თავი 3.

კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების ცვლილებები

მოცემული ადგილის კლიმატური პარამეტრების გათვალისწინება არის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი თანამედროვე პირობებში როგორც ეკონომიკური, ასევე ეკოლოგიური თვალსაზრისით.

საკითხის ასეთი დასმა განპირობებულია იმით, რომ ეკონომიკის ისეთი წამყვანი დარგების, როგორცაა ტურიზმი, ენერჯეტიკა, მშენებლობა, წყლის რესურსები, სწორი დაპროექტების მიზნით მართვის ერთ-ერთ მთავარ პირობას წარმოადგენს საიმედო და სრულყოფილი კლიმატური ინფორმაციის არსებობა.

გასული საუკუნის ბოლო წლებიდან დაწყებულმა კლიმატის გლობალურმა დათბობამ ვაცობრიობას ძალიან ბევრი სიძნელე და საფრთხე შეუქმნა. როგორც სამამულო [85,102,103,204], ისე საზღვარგარეთელი მეცნიერების მთელი რიგი გამოკვლევების [21,79,195,196,121] შედეგად დადგინდა, რომ მიმდინარე სტიქიური კატასტროფები დაკავშირებულია უშუალოდ ამინდისა და კლიმატის ცვლილებასთან.

დედამინის ზედაპირზე მიმდინარე პროცესების ჩამოყალიბებაში, როგორცაა მცენარეთა საფარის და ცხოველთა სამყაროს გეოგრაფიული განაწილება, ბიოლოგიური პროცესების ინტენსივობა და ხასიათი უშუალოდ მონაწილეობს ამინდი და კლიმატი. თუმცა, ამავე დროს დროს უნდა აღინიშნოს, რომ ადამიანის ყოველდღიური საქმიანობა, როგორცაა სოფლის მეურნეობა, ტურიზმი და საკურორტო ინდუსტრია, სამშენებლო საქმე და ენერჯეტიკული რესურსების მართვა უშუალოდაა დაკავშირებული მოცემული ადგილის კლიმატურ პირობებთან.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კლიმატი ხასიათდება დუალიზმით, ორბუნებოვანია და როგორც ბუნებრივ, ასევე სოციალურ-ეკონომიკურ ფაქტორსაც წარმოადგენს.

ამდენად, კლიმატის კვლევა ყოველთვის იყო მნიშვნელოვანი და განსაკუთრებით კი აქტუალური გახდა მისი შესწავლა გასული საუკუნის მეორე ნახევრიდან. ეს განპირობებულია იმით, რომ კლიმატის გლობალური დათბობის ფონზე თავი იჩინა რეგიონულმა კლიმატურმა ვარიაციებმა, რამაც ვაცობრიობას უამრავი პრობლემა შეუქმნა.

ეკონომიკის მდგრადი განვითარების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან გამოწვევას, რომელსაც საკმაოდ ხანგრძლივი ნეგატიური შედეგები მოსდევს, სწორედ კლიმატის ცვლილება წარმოადგენს. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გამოვლენილი და შესწავლილი იქნება კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზები და აგრეთვე განსაკუთრებით მონყვლადი სისტემები და ეკონომიკური სექტორები.

მიღებული კვლევების საფუძველზე უნდა იქნეს გატარებული შესაბამისი ზომები როგორც სახელმწიფოებრივ, ისე საერთაშორისო და, შესაბამისად, პრობლემის აქტუალურობიდან გამომდინარე რეგიონულ დონეზე.

კლიმატის ცვლილების მიმართ ისეთი მოწყვლადი დარგების დაპროექტებისას, როგორცაა (ტურიზმი და საკურორტო საქმე, მშენებლობა, სოფლის მეურნეობა, ჯანდაცვა) აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს მოცემული ადგილის კლიმატური პირობების ცვლილებათა კანონზომიერებანი.

საკითხის ასეთი დასმა განპირობებულია იმით, რომ კლიმატური პირობების სწორი გათვალისწინების შედეგად თავიდან იქნეს აცილებული ისეთი ნეგატიური მოვლენები, რაც კლიმატის გლობალური ცვლილებისთვის არის დამახასიათებელი.

ცალკეული კლიმატური მახასიათებლების გარდა ძალიან დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ეგრეთ წოდებული კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების განსაზღვრას, რომელიც წარმოადგენს სხვადასხვა მეტეოელემენტის შეხამებათა ერთობლიობას. ეს მახასიათებლები გამოყენებითი კლიმატოლოგიის ისეთი დარგების საქმიანობაში ფართოდ გამოიყენება, როგორცაა სამშენებლო კლიმატოლოგია, კურორტოლოგია, სამედიცინო კლიმატოლოგია და ა.შ.

განვიხილოთ, როგორც ცალკეული, ისე კომპლექსური კლიმატური მახასიათებლების ზემოქმედება ეკონომიკის სხვადასხვა დარგის – ტურიზმი და საკურორტო საქმე, სამშენებლო ინდუსტრია და ჯანმრთელობის სექტორის დაგეგმარებასა და დაპროექტებაზე.

3.1. ტურიზმი და კლიმატი

ეკონომიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან დარგს, რომელიც სწრაფი ტემპებით ვითარდება, წარმოადგენს ტურიზმი. მას მსოფლიო ინდუსტრიაში მესამე ადგილი უჭირავს, ავტომობილისა და გაზის წარმოების შემდეგ.

ტურისტული ინდუსტრიის საწარმოების ფუნქციონირება ხასიათდება მკვეთრი სეზონურობით და სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებას განიცდის.

პირველადი ფაქტორებია ბუნებრივ-კლიმატური, ხოლო მეორადს წარმოადგენს ეკონომიკური, დემოგრაფიული, ფსიქოლოგიური, ტექნოლოგიური და სხვა.

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (მმო) და მსოფლიო ტურისტული ორგანიზაციის (მტო)-ს თანახმად, საერთაშორისო კონფერენციაზე „ტურიზმი და კლიმატის ცვლილება“, (2003 წელი ტუნისი), რომელიც წარმოადგენდა ამ ორი საერთაშორისო ორგანიზაციის პირველ ერთობლივ კონფერენციას, მიღებულ იქნა მთელი რიგი გადაწყვეტილებები ტურიზმის დარგის დასახმარებლად.

ამ კონფერენციაზე მიღებული ერთ-ერთი რეზოლუციის თანახმად, ეროვნულმა ჰიდრომეტეოროლოგიურმა სამსახურებმა უნდა უზრუნველყონ მსოფლიო ტურისტულ ორგანიზაციაში შემავალი 187 ქვეყანა კლიმატისა და ექსტრემალური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების ადრეული გაფრთხილებებით, წყლის რესურსების, მყინვარების უკან დახვევისა და კლიმატის ცვლილების შესახებ არსებული მიმდინარე ინფორმაციით. განსაკუთრებით აქტუალურია ეროვნული ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურების ასეთი მომსახურება გასული საუკუნის ბოლო ათწლეულიდან კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე განვითარებული რეგიონული კლიმატური ვარიაციების გამო.

აქედან გამომდინარე ტურიზმის ბიზნესის სწორი დაპროექტების მიზნით ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შეფასებისას აუცილებელია, როგორც ეკოლოგიური, ისე მატერიალური თვალსაზრისით შეფასებულ იქნეს კლიმატის და მისი ცვლილების როლი ეკონომიკის ამ მნიშვნელოვანი სექტორის განვითარებისას [50,62,64,67,73,80,116,120,152,168,169,198,199].

გარე სამყაროზე სხვადასხვანაირად ზემოქმედებს ტურიზმი. ქვეყნის ბუნებრივ, კულტურულ და ისტორიულ რესურსებს იგი უწევს ექსპლუატაციას, აჭუჭყიანებს ჰაერს, წყალს და ნიადაგს. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ გარე სამყაროზე ტურიზმი ახდენს ძლიერ ანთროპოგენურ ზემოქმედებას. დადებითი ზემოქმედება საერთაშორისო ტურიზმის მიმართულებით შეიცავს ისტორიული ძეგლების დაცვასა და რესტავრაციას, ეროვნული პარკებისა და ნაკრძალების შექმნას, სანაპიროების დაცვას, ტყეების შენახვას და ა.შ.

სამწუხაროდ, ხშირად ტურიზმის ნეგატიური ზემოქმედება უფრო მეტია დადებითზე. კერძოდ, ეს არის ზემოქმედება წყლის ხარისხზე (მდინარეებში, ზღვებსა და ტბებში); ჰაერის ხარისხზე (გამონახობლქვით დაბინძურების გამო), მცენარეული საფარისა და ტყეების განადგურება კოცონების გამო, ზოგიერთ შემთხვევაში კი ადგილი აქვს ისტორიული ძეგლების დაზიანებას და დანგრევასაც კი.

გარე სამყაროსთან უშუალო კავშირის გარეშე, ტურიზმის განვითარება შეუძლებელია, მაგრამ სწორი დაგეგმვის შედეგად შესაძლებელია, იქნეს თავიდან აცილებული ნეგატიური ზემოქმედება და, პირიქით, დადებითი გაძლიერდეს.

აქედან გამომდინარე, ტურიზმის ზემოქმედება გარე სამყაროზე შეიძლება იყოს პირდაპირი და ირიბი, აგრეთვე, დადებითი და უარყოფითი. ტურიზმი არ შეიძლება განვითარდეს გარე სამყაროსთან ურთიერთობის გარეშე. თუმცა ტურიზმის განვითარების დაგეგმვის საშუალებით შეიძლება გარკვეულწილად შემცირდეს ტურიზმის ნეგატიური ზემოქმედება და გაძლიერდეს დადებითი. იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს ხანგრძლივი ტურისტული საქმიანობა აუცილებელია არსებობდეს გარემოს დაცვის პოლიტიკა.

სამწუხაროდ, ზოგიერთი ქვეყნები ირჩევენ კომერციულ და ფინანსურ მოგებას და არ ითვალისწინებენ სხვადსხვა მოდელს, რომელიც მიღებულია ტურიზმის გარე სამყაროზე ზემოქმედების შესაფასებლად

გარდა ამისა, უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთ ტურისტულ რეგიონებში არ არსებობს ბუნების დამცავი ნორმატიული აქტები და ასევე ბუნების დამცავი სამსახურები. განვითარებადი ტურიზმის დაგეგმვა არ უნდა შეაჩეროს ამ ნაკლოვანებამ და აუცილებლად უნდა ჩატარდეს შესაბამისი კვლევები ამ დარგის სპეციალისტების მიერ. უნდა აღინიშნოს, რომ გარე სამყაროს დაცვა უფრო ადვილია, ვიდრე მის მიერ მიყენებული ზარალის აღდგენა.

გარემოზე ეკოლოგიური ზემოქმედების გათვალისწინებით, სულ უფრო აქტუალური გახდა ტურიზმის განვითარების პოლიტიკა, რომლის მიზანია ტურისტული საქმიანობის მართვა ეკოლოგიური ასპექტების გათვალისწინებით.

გასული საუკუნის ერთ-ერთი უმთავრეს ეკონომიკურ და სოციალურ ფენომენად აღიარებულია ტურიზმი, რომლის წილი მსოფლიო ექსპორტში 88%-ს შეადგენს, ხოლო იგი 31 %-იან ნიშას იკავებს მომსახურების საერთაშორისო ბაზარზე და 105 მილიონს აღემატება ტურიზმის ინდუსტრიაში დასაქმებულთა რაოდენობა. 1950 წლიდან დღემდე 25 მილიონიდან 840 მილიარდამდე გაიზარდა საერთაშორისო ტურისტული ნაკადი. წლიურად იგი იზრდებოდა 4%-ით და 1,6 მილიარდს მიაღწია 2020 წლისათვის [10].

ტურიზმის სექტორს მსოფლიო ექსპორტის 7,5% ეკუთვნის ავტომობილისა და გაზის მრეწველობის შემდეგ, ტურიზმის განვითარება ხასიათდება მისი გეოგრაფიის გაფართოებით და ასევე დივერსიფიკაციით. ტურიზმის ახალი ფორმების ჩამოყალიბება და მარკეტინგის სექტორის გაფართოება აუცილებელია ტურიზმის მდგრადი განვითარებისათვის.

ტურიზმის ლიდერ ქვეყნად საქართველო ითვლებოდა ყოფილი საბჭოთა კავშირის პერიოდში. 120-ზე მეტი საერთაშორისო და შიდა ტურისტული მარშრუტი გადიოდა საქართველოს ტერიტორიაზე. ჩვენ ქვეყანაში მიმდინარე პოლიტიკურმა მოვლენებმა 1990-იან წლებში ქვეყნის სტრუქტურის სრული პარალიზება და ტურისტული ნაკადების შეწყვეტა განაპირობა.

ჩვენს ქვეყანაში ტურიზმმა ორმაგი დარტყმა განიცადა ამ პერიოდისათვის. პირველი ის, რომ ინფრასტრუქტურა განადგურდა და მეორე დარტყმა იყო ამ დარგში მუშაობის დიდი გამოცდილების მქონე კადრების გადინება, რამაც დიდი ზარალი მოუტანა ამ დარგის შემდგომ განვითარებას. ტურიზმმა კვლავ აღმასვლა დაიწყო საქართველოში 1993 წლიდან. იგი, როგორც წევრი ქვეყანა, გაერთიანდა მსოფლიო ტურისტულ ორგანიზაციაში.

დროთა მანძილზე თანდათანობით გაიზარდა როგორც ტურისტთა მიმწოდებელი ქვეყნების გეოგრაფია, ასევე ტურისტთა ნაკადებიც. მსოფლიოს ექვსივე ტურისტული რეგიონიდან საქართველოს სტუმრობენ ტურისტები.

ყველაზე მეტი სტუმრები ჩამოდიან ევროპიდან, რომელთაც საკმაოდ დიდი ხვედრითი წონა უკავიათ ტურისტების საერთო რიცხვოვნებაში.

მსოფლიო ეკონომიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან სექტორს საკურორტო-ტურისტული ინდუსტრია წარმოადგენს. ადგილის გეოგრაფიული მდებარეობა, ტოპოგრაფია, მცენარეული საფარი და ცხოველთა სამყარო, ეკოლოგია, ამინდი და კლიმატი არის ის ფაქტორები, რომლებიც მის წარმოქმნასა და განვითარებას განაპირობებს. ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალს კი უშუალოდ ამინდი და კლიმატი – ეს ორი ძირითადი ფაქტორი განსაზღვრავს. ამდენად, მთელ რიგ ქვეყნებში დიდი ყურადღება ეთმობა იმ რესურსების გამოკვლევას, რომელიც აუცილებელია საკურორტო-ტურისტული დარგის ორგანიზაციისა და განვითარებისათვის.

მსოფლიო ტურისტული ორგანიზაციისა და მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის თანამშრომლობა. განაპირობებს საერთაშორისო ტურიზმის აქტიურ განვითარებას. ეს კი თავის მხრივ პოზიტიურად მოქმედებს მომსახურების სერვისის გაუმჯობესებაზე და ტურისტული პროდუქტის ხარისხის გაზრდაზე. სეზონურობის შესწავლა ტურიზმის სფეროში საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ბუნებრივ-კლიმატური პირობების გავლენის ხარისხი ტურისტული პროდუქტის ფორმირებაზე; გამოვლინდეს ის ფაქტორები, რომლებიც განაპირობებენ სეზონურობას ტურიზმში;

კლიმატური რესურსები წარმოადგენს ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალს გაეროს რეზოლუციის თანახმად. 2003 წელს მმო-ს და მტო-ს მიერ პირველად იქნა მიღებული რეზოლუცია იმის შესახებ, რომ ამ ორგანიზაციებში შემავალ ქვეყნებში აუცილებელია შეფასდეს რეგიონების მიხედვით ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალი. ამ მონაცემების საფუძველზე უნდა დამუშავდეს ტურისტული პროდუქტი, რომელიც გასაყიდად იქნება კონკურენტუნარიანი. საქართველო არის ორივე ორგანიზაციის სრულუფლებიანი წევრი 1990 წლიდან. ამიტომ აუცილებელია შეფასდეს საქართველოს ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალი.

ტურიზმის განვითარების უზარმაზარ პოტენციალს საქართველოს მრავალფეროვანი კლიმატური პირობები წარმოადგენს. თუმცა, საქართველოში კლიმატური პოტენციალის განსაზღვრა ტურიზმის სტანდარტების შესაბამისად, ისე როგორც მიღებულია მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში, ჯერჯერობით ვერ განხორციელდა. ეს ფაქტი კი განაპირობებს გარკვეულწილად შეფერხდეს საქართველოს კლიმატური პოტენციალის შეფასება ტურიზმის განვითარების თვალსაზრისით სხვა ქვეყნების ტურისტულ კლიმატურ რესურსებთან. ამან კი შეიძლება უარყოფითი გავლენა იქონიოს საქართველოში პოტენციური ტურისტების მოზიდვაზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შესაფასებლად გამოიყენება ტურისტული კლიმატური ინდექსები, რომლებიც

წარმოადგენს კომპლექსურ კლიმატურ პარამეტრს და შეიცავს ორ ან მეტ კლიმატურ მახასიათებელს.

გამოყენებით კლიმატოლოგიაში არსებობს 200-ზე მეტი კლიმატური ინდექსი. ტურიზმის კლიმატური ინდექსი იყოფა სამ კატეგორიად.

რეკრეაციული რესურსების შესაფასებლად ნაკლებად მისაღებია ელემენტარული კლიმატური ინდექსები, რომელნიც რამოდენიმე მეტეოროლოგიური მონაცემების მნიშვნელობათა სინთეზს წარმოადგენს, თუმცა იგი არ შეიცავს ბიომეტეოროლოგიურ ინფორმაციას და, ამდენად, ნაკლებად მისაღებია რეკრეაციული რესურსების შესაფასებლად.

მეტეოელემენტების კომპლექსს, რომელიც კარგად ასახავს მათი მნიშვნელობების კომბინირებულ ეფექტს, წარმოადგენს ბიოკლიმატური და ტურიზმის კლიმატური ინდექსები. ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალის შესაფასებლად ჩვენს მიერ პირველად საქართველოს პირობებში გამოყენებულ იქნა ტურიზმის კომპლექსური კლიმატური პარამეტრი K , რომელიც განისაზღვრება სხვადასხვა მეტეოელემენტის (ჰაერის ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა, ფარდობითი სინოტივე, მზის ნათების საშუალო ხანგრძლივობა) შეხამებათა საფუძველზე [18].

$$K=H.f/ A.A. (3.1.),$$

სადაც H – არის თბილ პერიოდში მოსული ნალექების რაოდენობა, მმ-ში;

f - არის ყველაზე ცხელი თვის ფარდობითი სინოტივე, %-ში;

S – ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის ნათების საშუალო ხანგრძლივობა, სთ-ში;

AA - ჰაერის ტემპერატურის (იანვარი და ივლისი) წლიური ამპლიტუდა;

ტურისტული ინდუსტრიის განვითარების მიზნით აუცილებელია ტურისტული რესურსების პოტენციალის დადგენა სეზონებისა და თვეების მიხედვით. ზემოთ აღნიშნული ტურიზმის კომპლექსური კლიმატური პარამეტრის საშუალებით კი მხოლოდ წლიური მნიშვნელობები გამოითვლება. ამავ დროს ამ ინდექსში კომპლექსურად არ არის ჩართული თერმობიოლოგიური კომპონენტი, რომელიც აუცილებელია ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შესაფასებლად.

ამიტომ ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალის შესაფასებლად გამოყენებულ იქნა ტურიზმის კლიმატური ინდექსი TCI [168], რომელიც მიღებულია მმო-ს მიერ. ინდექსი შეიცავს შვიდი პარამეტრის კომპლექსს,

$$TCI = 8 \cdot C_{td} + 2 \cdot C_{la} + 4 \cdot R + 4 \cdot S + 2 \cdot W (3.2.),$$

სამი არის დამოუკიდებელი, ორი კი წარმოადგენს ბიოკლიმატურ კომბინაციას, სადაც, *Cld* – არის დღიური კომფორტულობის ინდექსი, რომელიც შეიცავს ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მაქსიმუმს – ($^{\circ}\text{C}$) და ფარდობითი ტენიანობის მინიმუმს – f (%),

– *Cla* არის დღეღამური კომფორტულობის ინდექსი, რომელიც შეიცავს ჰაერის საშუალო ტემპერატურას და საშუალო ფარდობით ტენიანობას,

R – არის ნალექების ჯამი (მმ),

S – მზის ნათების ხანგრძლივობა (სთ) და

W – ქარის საშუალო სიჩქარე (მ/წმ).

სხვა კლიმატური ინდექსებისაგან განსხვავებით TCI-ში შემავალი თითოეული პარამეტრი შეფასებულია ბალებში.

ცხრილი 3.1. TCI -ში შემავალი პარამეტრები ბალებში.

Table 3.1. Parameters included in T CI in points.

CI	კატეგორია	Category
90 ÷ 100	იდეალური	Idealy
80 ÷ 89	შესანიშნავი	Good
70 ÷ 79	ძალიან კარგი	Very Good
60 ÷ 69	კარგი	Good
40 ÷ 49	მისაღები	Marginal
30 ÷ 39	არახელსაყრელი	Unfavorable
20 ÷ 29	ძალიან არახელსაყრელი	Very Unfavorable
10 ÷ 19	უკიდურესად არახელსაყრელი	Extremely Unfavorable
- 30 ÷ 9	მიუღებელი	Impossible

3.2. კლიმატის გათვალისწინება სამშენებლო ინდუსტრიაში

არსებული კლიმატური პირობების უფრო დეტალური განსაზღვრა და სპეციალიზებული კლიმატური პარამეტრების დამუშავების აუცილებლობა განაპირობა სამშენებლო ინდუსტრიის ტემპების სწრაფმა ზრდამ და თანამედროვე ახალი სამშენებლო მასალების გამოყენებამ.

არქიტექტურულ-გეგმარებითი ღონისძიებების სწორი გადაწყვეტა მიმდინარეობს კლიმატური პარამეტრების ზემოქმედების გათვალისწინების საფუძ-

ველზე. ამდენად, უნდა იქნეს შესწავლილი კლიმატის როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ფაქტორები, რათა მშენებლები და არქიტექტორები იყვნენ უზრუნველყოფილი საჭირო ინფორმაციით სამშენებლო ობიექტების სწორი დაპროექტების მიზნით.

საზოგადოებასა და ეკოსისტემაზე ექსტრემალურ მოვლენებს დიდი გავლენა აქვს. ამიტომ ცალკეული მეტეოელემენტების საშუალო მნიშვნელობების მიხედვით არ შეიძლება ჩაითვალოს საიმედოდ კლიმატის ზემოქმედების გათვალისწინება ეკონომიკის სხვადასხვა დარგის დაპროექტებისას.

ექსტრემალური ტემპერატურები, ძლიერი ქარები, თავსხმა წვიმები მოქმედებენ ინტენსიურად შენობების თბოტექნიკურ რეჟიმზე, ენერგეტიკაზე, სოფლის მეურნეობაზე, წყლის რესურსებზე და ა.შ. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია განისაზღვროს სპეციალიზირებული კლიმატური მახასიათებლები. ამისათვის კი საჭიროა არსებული მეტეოროლოგიური და კლიმატური ინფორმაციის შეფასება პრაქტიკული მიზნით, რათა ატმოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური კანონები კონკრეტული ამოცანის გადასაწყვეტად გამოვიყენოთ. ჩვენ მიერ განსაზღვრული იქნა მთელი რიგი სპეციალიზებული მახასიათებლები, რომლებიც უნდა იქნეს დანერგული პრაქტიკულ საქმიანობაში. შენობის კონსტრუქციის მდგომარეობასა და გამძლეობას, სანარმოო პროცესების ნორმალურ მიმდინარეობას განაპირობებს შენობის სითბური რეჟიმი. შენობის სითბური მდგომარეობის განმსაზღვრელი ფაქტორებისა და პროცესების ერთობლიობას ეწოდება შენობის სითბური რეჟიმი. მისი განმსაზღვრელი ფაქტორებია: ჰაერის ტემპერატურა, ჰაერის სინოტივე და მოსაზღვრე ზედაპირების რადიაციული გამოსხივება. შენობის სითბური რეჟიმის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს ჰაერის ტემპერატურა. განვიხილოთ მისი განაწილებათა კანონზომიერებანი რა გავლენას ახდენს შენობის თერმულ რეჟიმზე.

კლიმატური მონაცემების საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები, რომლებიც ნორმას წარმოადგენს, ძალიან მნიშვნელოვანია, რადგან განაპირობებს სხვადასხვა რეგიონის კლიმატური პირობების ანალიზს. მაგრამ ცალსახად მართო ეს ინფორმაცია არ არის საკმარისი მოცემული ადგილის კლიმატური თავისებურებების შესასწავლად და შესაბამისი კონსტრუქციული გადაწყვეტილების მისაღებად, კლიმატის ნეგატიური ზემოქმედებისაგან დაცვის მიზნით, ასევე საჭირო გახდა სხვადასხვა კლიმატური ელემენტების ერთობლივი ზემოქმედების ე.წ. კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების განსაზღვრა. არსებობს კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების განსაზღვრის ორი მეთოდი, ერთი გახლავთ მეტეოროლოგიური პარამეტრების შეხამებათა ალბათობების განსაზღვრა, ხოლო მეორე – თეორიული, როდესაც გამოთვლები მიმდინარეობს სხვადასხვა ფორმულების მიხედვით. განვიხილოთ არსებული კომპლექსური პარამეტრები ცალ-ცალკე თანმიმდევრობით.

ა)ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, შენობის თერმული რეჟიმის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს ჰაერის ტემპერატურა, ამიტომ საჭიროა გავანალიზოთ, როგორ მოქმედებს იგი შენობის შიგნით არსებულ ტემპერატურაზე. ჰაერის ტემპერატურა საცხოვრებელი სახლების შიგნით არ უნდა იყოს თბოტექნიკური გაანგარიშებებისას 18 გრადუსზე ნაკლები, საბავშვო ბაღებსა და საავადმყოფოებში კი – 20-22 გრადუსზე ნაკლები [19].

დიდ გავლენას ახდენს შენობის შიგა ტემპერატურაზე ზამთარში გარე ჰაერის ტემპერატურის დანევა, რომელიც საკმაოდ დიდხანს გრძელდება. შენობებში სიცივე მით უფრო სწრაფად აღწევს, რაც უფრო თხელია შენობის კედლები. გარე ჰაერის ტემპერატურის დანევა, რომელიც განუწყვეტლივ გრძელდება 5 დღის მანძილზე (ხუთდღიური პენტანდა), ასევე მოქმედებს ჩვეულებრივი სისქის კედლებზე. ნელინადის ყველაზე ცივი პერიოდის დროს გარე ჰაერის ტემპერატურა, ე.წ. საანგარიშო ტემპერატურა შენობების დაპროექტებისას თბოტექნიკოსმა აუცილებლად აუნდა იცოდეს.

საანგარიშო ტემპერატურის გამოთვლისას აუცილებელია კედლის მასიურობის ცოდნა. საანგარიშო ტემპერატურის გასაშუალება ხდება კედლის მასიურობის მიხედვით.

საანგარიშო ტემპერატურის გასაშუალება ხდება მით უფრო ნაკლები პერიოდით, რაც უფრო ნაკლებად მასიურია კედელი. ეს განპირობებულია იმით, რომ ჰაერის ტემპერატურის ცვლილებაზე უფრო სწრაფად რეაგირებს ნაკლებად მასიური კედელი. ეს კი დისკომფორტს და ასევე ზოგჯერ წყლის ორთქლის კონდენსაციას იწვევს კედლის ზედაპირზე და, შესაბამისად, მისი ტენიანობისა და სითბოგამტარობის გაზრდას.

საქართველოში მოქმედი სამშენებლო ნორმების (ცნობარი) მიხედვით გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურად მიიღება:

- 1) მასიური კედლებისათვის – ყველაზე ცივი ხუთდღიურის საშუალო ტემპერატურა;
- 2) საშუალო მასიურობის კედლებისათვის – ყველაზე ცივი სამდღიურის საშუალო ტემპერატურა;
- 3) მსუბუქი კედლებისათვის – ყველაზე ცივი დღე-ღამის საშუალო ტემპერატურა.

ყველაზე ცივი ხუთდღიურები შეირჩევა ზამთრის დღეღამური საშუალო ტემპერატურის რიგიდან და გამოითვლება მათი საშუალო ტემპერატურა. მიღებული ყველაზე ცივი პენტანდების რიგიდან განისაზღვრება ცივი ხუთდღიურების გარკვეული პროცენტი. დადგენილია, რომ ოპტიმალური სიდიდე იანგარიშება 92% და 98%-იანი უზრუნველყოფით. საანგარიშო ტემპერატურების საფუძველზე სხვადასხვა კლიმატური პირობების მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს კედლის საჭირო თერმული წინაღობა და მისი სისქე. მასიურობის კოეფიციენტის საშუალებით განისაზღვრება კედლის მასიურობა.

კედელი არის მასიური იმ რაიონებში, სადაც იგი მეტია 7-ზე, კედელი იქნება საშუალოდ მასიური, როდესაც მასიურობის კოეფიციენტი მერყეობს 4-დან 7-მდე, ხოლო კედელი იქნება მსუბუქი, როდესაც მასიურობის კოეფიციენტი არის 4-ის ტოლი.

ბ) გასათბობი პერიოდის ხანგრძლივობა, სავნტილაციო ტემპერატურა

წელიწადის ისეთ მონაკვეთს, როდესაც ჰაერის საშუალო მრავალწლიური დღედამური ტემპერატურა, +8 გრადუსზე ნაკლებია ან ტოლი, ეწოდება გასათბობი პერიოდი.

საშუალო დღედამური ტემპერატურის +8 გრადუსზე ზევით და ქვევით მდგრადად გადასვლის თარიღები გაზაფხულსა და შემოდგომაზე წარმოადგენს ამ პერიოდის დასაწყისსა და დასარულს. გასათბობი პერიოდის დასაწყისსა და დასასრულს შორის დღეების რაოდენობა კი არის გასათბობი პერიოდის ხანგრძლივობა. გასათბობი პერიოდის ხანგრძლივობა ზოგიერთ წლებში შეიძლება იყოს უფრო გრძელი ან მოკლე, ვიდრე საშუალო მრავალწლიური ხანგრძლივობა.

გასათბობი პერიოდის ყველაზე ცივი ნაწილის ჰაერის საშუალო ტემპერატურა წარმოადგენს ზამთრის სავნტილაციო ტემპერატურას. გასათბობი პერიოდის ყველაზე ცივ ნაწილად კი მიიჩნევა მისი ხანგრძლივობის 15% (მაქსიმუმ 25 დღე).

შენობის პერიოდული გათბობა არის აუცილებელი, თუ შემოდგომასა და გაზაფხულზე +8 გრადუსის ფარგლებში მერყეობს ჰაერის საშუალო დღედამური ტემპერატურა. როდესაც ხუთი დღის მანძილზე არის ჰაერის საშუალო დღედამური ტემპერატურა +8 გრადუსი ან მასზე დაბალი, მაშინ საჭიროა შენობის რეგულარული გათბობა. გასათბობი პერიოდის ხანგრძლივობა დიდ ქალაქებში არის განსხვავებული, ქალაქის ცენტრში უფრო ხანმოკლეა და ძირითადად ქარის დიდი სიჩქარის გამო გარეუბნებში უფრო ხანგრძლივი [17,19].

გ) გრადუს-დღეების განსაზღვრა

იმისათვის, რომ შესწავლილ იქნეს შენობის თერმული რეჟიმი, საჭიროა დადგინდეს იქნეს არის თუ არა საჭირო კლიმატის ხელოვნური რეგულირება. საკითხის ასეთი დასმა განპირობებულია იმით, რომ შენობების სითბური ეფექტი ძირითადად წარმოიქმნება იმ თბოტექნიკური თვისებების მექანიზმების ხარჯზე, როგორცაა გათბობა და ვენტილაცია. გარე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება განაპირობებს შენობაში გათბობის და გაგრილების მოთხოვნის ჩამოყალიბებას. შენობის გათბობისა და გაგრილების გრადუს-დღეების საშუალებით არის მხოლოდ შესაძლებელი, დამყარდეს კავშირი გარე ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობას და შენობის ენერჯის მოთხოვნას შორის. აქედან

გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ შენობებში გრადუს-დღე გამოიყენება, როგორც ინსტრუმენტი ენერჯის მოხმარების ანალიზისთვის [17,19].

შენობების შემომზადებული გარე კონსტრუქციების თერმული წინააღმდეგობის ნორმირებისთვის და აგრეთვე გათბობისა და გაგრილების გრადუს-დღეების განსაზღვრისას კლიმატური პირობებიდან გამომდინარე საბაზისო ტემპერატურის განმარტება არის ერთ-ერთი ძირითადი საკითხი. გაგრილებისთვის და გათბობისათვის საჭირო ენერჯის განსაზღვრის მიზნით გამოიყენება გრადუს-დღის ცნება. ამ საკითხის შესწავლისას მთავარია, განსაზღვრულ იქნეს, რომელი მეთოდით გამოითვლება გრადუს-დღე და როგორ ვაპირებთ იგი ენერჯის შენობაში მოხმარებასთან. ამა თუ იმ დასახლებულ პუნქტში თუ რამდენად მაღალი ტემპერატურებით ხასიათდება ზაფხულის პერიოდი, განსაზღვრავს გაგრილების (კონდიციონირების) გრადუს-დღე.

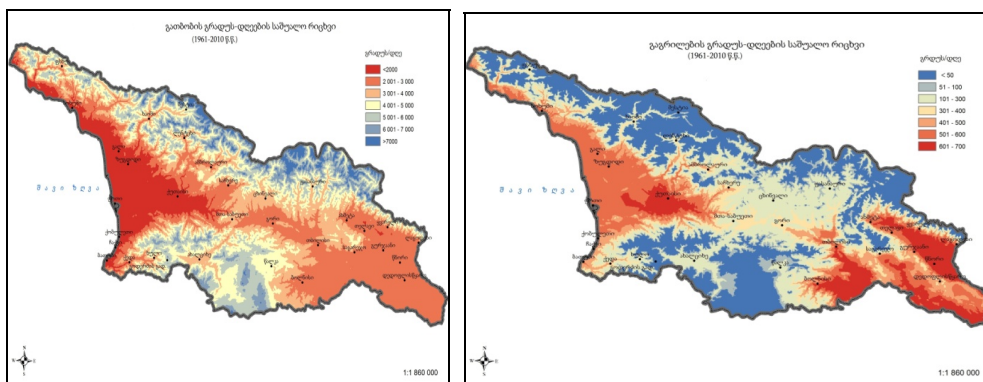
გაგრილების (კონდიციონირების) გრადუს-დღეების რიცხვი გამოინგარიშება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$CDD_{cold} = \sum_j TM_{ij} - T_b \quad (3.1)$$

სადაც CDD_{cold} (Cooling Degree Days) არის გაგრილების სეზონის გრადუს-დღეების რიცხვი;

გათბობის გრადუს-დღე განსაზღვრავს, ამა თუ იმ დასახლებულ პუნქტს რამდენად დაბალი ტემპერატურა ახასიათებს, ანუ რამდენად მკაცრია ზამთრის კლიმატური პირობები.

მიღებული მონაცემების საფუძველზე აგებულ იქნა საქართველოს ტერიტორიაზე გათბობისა და გაგრილების გრადუს-დღეების განაწილების რუკა.



ნახ.3.2.1 და ნახ. 3.2.2. გათბობის და გაგრილების გრადუს-დღეების განაწილების რუკა.

Fig. 3.2.1 and Fig. 3.2.2. Map of distribution of heating and cooling degree-days.

გამოვლინდა, რომ იმ დასახლებულ პუნქტებში, სადაც ზამთრის პერიოდი არის მოკლე და საშუალო თვიური ტემპერატურა $< 8^{\circ}\text{C}$ პერიოდისთვის საშუალოდ მაღალია, განსხვავება იყო 37 – 40 % ფარგლებში, რადგანაც უფრო შემცირებული აღმოჩნდა *გათბობის სეზონის ხანგრძლივობის პერიოდი*.

საკითხის გარკვევისთვის გამოყენებითი სამეცნიერო კლიმატური ცნობარის ნორმები [17,19] შედარებული იყო ძველ საბჭოურ ნორმებთან, როგორცაა: (СНиП 2.01.01-82 „Строительная Климатология и Геофизика“), გამოვლინდა, რომ საქართველოს ახალ ნორმებში ძველ საბჭოურ ნორმებთან შედარებით შემცირდა გათბობის სეზონის ხანგრძლივობის პერიოდი აბსოლუტურად ყველა დასახლებული პუნქტისთვის, მაგრამ უფრო არსებითად შეიცვალა იმ დასახლებულ პუნქტებში, სადაც ზამთრის პერიოდი არის მოკლე და საშუალო თვიური ტემპერატურა $< 8^{\circ}\text{C}$ პერიოდისთვის საშუალოდ მაღალია. მაგალითად: ქ. ქუთაისისთვის ხანგრძლივობა ადრე (ძველი საბჭოური ნორმებით) შეადგენდა $Z=122$ დღეს, და საშუალო ტემპერატურა $T_{\text{საგ}} = 6.6^{\circ}\text{C}$, ხოლო ამჟამინდელი საქართველოს სამშენებლო კლიმატოლოგიის მონაცემებით შეადგენს: $Z=91$ დღეს, $T_{\text{საგ}} = 5.9^{\circ}\text{C}$, ანუ გათბობის სეზონის ხანგრძლივობა შემცირდა $Z=122-91=31$ დღით.

აქედან გამომდინარე მიგვაჩნია, რომ საქართველოსთვის გამოთვლილი გაგრილების და გათბობის გრადუს-დღეების დანერგვა არის აუცილებელი. ამავე დროს საიმედო მონაცემთა უზრუნველყოფის მიზნით დაკვირვების თანამედროვე ინსტრუმენტების დანერგვით აუცილებელია მონაცემთა ბაზის განახლება (საქართველოში უკვე მიმდინარეობს ავტომატური მეტეო-დაკვირვებათა ხელსაწყოების დანერგვა 2010 წლიდან). გრადუს-დღეები გამოიყენება საინჟინრო თბოტექნიკურ ანგარიშებში, რადგან იგი წარმოადგენს მნიშვნელოვან კლიმატურ პარამეტრს.

დ) ქარის საანგარიშო სიჩქარე

კონსტრუქციების ვიბრაციის ძირითად წყაროს წარმოადგენს შენობებზე ქარის ზემოქმედება, რომელიც დატვირთვის სახით ვლინდება. ეს კი იწვევს მთელ რიგ ნეგატიურ მოვლენებს, როგორცაა ხიდების, მაღალი შენობების დანგრევა, ელექტროენერჯის და რადიოანძების ხაზების დაწყვეტა.

როგორც მთელი რიგი გამოკვლევებით დადგინდა, ქარისმიერი დატვირთვა ყველა ამ უბედური შემთხვევის მიზეზს [19] წარმოადგენს. ქარის ზემოქმედება შენობებზე დამოკიდებულია არა მარტო ნაგებობათა ზომებზე, არამედ კონსტრუქციის ფორმაზე, რომელიც ხასიათდება აეროდინამიკური კოეფიციენტით. ქარის სიჩქარესა და სიმძაფრეზე დამოკიდებულია ქარის დატვირთვა და იმისათვის, რომ შეფასდეს შენობებზე ქარის ზემოქმედება, საჭიროა განსაზღვრული იყოს მისი საანგარიშო სიჩქარე და სიმძაფრე, სხვადასხვა სიჩქარის ქარის აღბათობა პროფილის სიმაღლის მიხედვით.

შენობის რეაქცია ქარის მიმართ არის სხვადასხვა, ვინაიდან ქარი იწვევს დინამიკურ დატვირთვას. ქარისმიერი დატვირთვის გათვალისწინება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაღალი შენობების დაპროექტებისას. ქარის უდიდესი სიჩქარე შესაძლებელი სხვადასხვა ალბათობით არის ქარის საანგარიშო სიჩქარე, რომელსაც საფუძვლად უდევს ქარის წლიური მაქსიმუმების რიგები დაწყებული 1961 წლიდან. ექსტრემალური მნიშვნელობების თეორიის საშუალებით განსაზღვრულ იქნა ქარის საანგარიშო სიჩქარის მნიშვნელობები, რომლებიც შესაძლებელია აღინიშნოს 1-, 5-, 10-, 20-, 50,100 წელიწადში ერთხელ.

ექსტრემალური მნიშვნელობების თეორიის გამოყენებით. ანალიზი შესრულდა ყოველ სადგურზე განსაზღვრული წლიური ექსტრემუმების რიგების მორგებით GEV განაწილების მრუდებზე. ეს მონაცემები კი უდევს საფუძვლად შენობა-ნაგებობებზე ქარისმიერი დატვირთვის გაანგარიშებას.

შენობების მიკროკლიმატის მკვეთრ გაუარესებას იწვევს ქარის სიჩქარისა და მიმართულების გაუთვალისწინებლობა, სადაც ხდება ტემპერატურის მკვეთრი დაცემა ქარპირა მიმართულების მიხედვით. ქარი განაპირობებს შენობის საექსპლუატაციო დონის ამაღლებას მაღალი ტენიანობის რეგიონებში, რადგან ხელს უწყობს გამოშრობას.

ე) ორი და მრავალგანზომილებიანი კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების განაწილებათა კანონზომიერებები

ორ და მრავალგანზომილებიან კლიმატურ კომპლექსებს დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთი ელემენტების შეხამება, როგორც არის ტემპერატურა – წყლის ორთქლის პარციალური წნევა, ტემპერატურა – მოღრუბლელობა, ტემპერატურა – ქარის სიჩქარე, ქარი და წვიმა (ირიბი წვიმა) [17].

ცხრილში წარმოდგენილია კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები წყვილ კლიმატურ ელემენტებს შორის

როგორც ცხრილიდან ჩანს, კორელაცია ტემპერატურასა და წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას შორის დადებითია; ტემპერატურასა და შეფარდებით სინოტივს შორის – უარყოფითია; ტემპერატურასა და მოღრუბლელობას შორის – ზამთარში დადებითია, ხოლო ზაფხულში – უარყოფითი; ტემპერატურასა და ქარის სიჩქარეს შორის კი კორელაცია მნიშვნელოვანია.

როდესაც კორელაციის კოეფიციენტი აღემატება 0.70-ს, კავშირი კომპლექსის მდგენელებს შორის შეიძლება ჩაითვალოს ფუნქციონალურად და დამოკიდებულება მათ შორის შეიძლება გამოისახოს წრფივი რეგრესიის განტოლებით. ასეთი სახით შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულება ტემპერატურას და წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას შორის ზამთარში და ტემპერატურასა და შეფარდებით სინოტივს შორის ზაფხულში.

ცხრილი 3. 2. კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები კომპლექსის მდგენელებს შორის

Table 3. 2. Values of the correlation coefficient between the components of the complex

კომპლექსი	პუნქტი			
	თბილისი		შოვი	
	იანვარი	ივლისი	იანვარი	ივლისი
ტემპერატურა-პარციალური წნევა	0.75	0.13	0.56	0.13
ტემპერატურა-შეფარდებითი სინოტივე	-0.45	-0.69	-0.25	-0.82
ტემპერატურა-მოდულულობა	0.24	-0.31	0.20	-0.25
ტემპერატურა-ქარის სიჩქარე	-0.02	0.05	0.04	0.10

შენობის ექსპლუატაციისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს სათავსის თერმულ რეჟიმს, რომელიც განაპირობებს მის კომფორტს, საწარმოო პროცესების ნორმალურ მიმდინარეობას, შენობის კონსტრუქციის მდგომარეობასა და გამძლეობას.

შენობის სითბური რეჟიმი ეწოდება იმ ფაქტორების და პროცესების ერთობლიობას, რომელიც განსაზღვრავს მის სითბურ მდგომარეობას. მას განაპირობებს: ჰაერის ტემპერატურა, სინოტივე, ჰაერის პარამეტრების განაწილება სიმაღლის მიხედვით, მოსაზღვრე ზედაპირების რადიაციული გამოსხივება და სხვა.

შენობის სითბური რეჟიმის მნიშვნელოვანი განმსაზღვრელი ფაქტორებია ჰაერის ტემპერატურა და ქარი. შტილის დროს შენობის თბოგაცემა დამოკიდებულია მხოლოდ გარე ჰაერის ტემპერატურაზე (საანგარიშო ტემპერატურაზე), როდესაც $v=0.5$ მ/წმ-ს. ამ დროს შენობათა თბოგაცემა კონდუქციურია, ე.ი. განისაზღვრება შენობის კედლების სახურავების სითბოგამტარობით.

დიდი სიჩქარის ქარების დროს ადგილი აქვს დამატებით თბოგაცემას ე.წ. ინფილტრაციას, რომელიც წარმოიშობა შენობის შიგა ჰაერის გამოდევნით გარეთ ე.ი. ფილტრაციით (ფანჯრებიდან, კარებიდან და იმ მასალის ფორებიდან, რომლისგანაც ისინია დამზადებული). ქარის მცირე სიჩქარის ე.ი. ჰაერის ნაკადის ლამინარული მოძრაობის დროს ინფილტრაციული თბოგაცემა ქარის სიჩქარის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია, ხოლო დიდი სიჩქარის, ე.ი. ტურბულენტური მოძრაობისას შენობის ფულტრაციული თბოგაცემა იცვლება ქარის სიჩქარის პროპორციულად, საშუალო სიჩქარის ქარის დროს კი იგი პირდაპირპროპორციულია ქარის სიჩქარისა ერთ-ნახევარ ხარისხში, ე.ი. 0.5 მ/წმ-ზე მეტი ქარის სიჩქარის დროს შენობის საერთო თბოგაცემა შედგება კონდუქციური და ინფილტრაციული თბოგაცემის ჯამისაგან [17,19].

კონდუქციური თბოგაცემა ჭარბობს ინფილტრაციულს ძალიან დაბალი ტემპერატურის და შედარებით სუსტი ქარის დროს (მაგ. სამხრეთ საქართველოში ანტიციკლონური ამინდის დროს) და პირიქით, ინფილტრაციული თბოგაცემა ჭარბობს კონდუქციურს დიდი ქარების და არცთუ ძალიან მცირე ტემპერატურების დროს (მაგ. დასავლეთ საქართველოსა და ზღვის სანაპიროზე ანტიციკლონური ამინდის პირობებში).

შენობის საერთო თბოგაცემა იქნება უდიდესი, როდესაც დაბალ ტემპერატურებს ემთხვევა დიდი სიძლიერის ქარები, ამიტომ საჭიროა განსაზღვრულ იქნეს ქარის სიჩქარის და ტემპერატურის კომპლექსი, რომელსაც ეწოდება ეფექტური ტემპერატურა [17,19].

ეფექტური ტემპერატურა ეს ისეთი ტემპერატურაა, რომლის დროსაც შენობის თბოგაცემა შტილის დროს იქნება ისეთივე, როგორცაა გარე ჰაერის ტემპერატურისა (T) და ქარის სიჩქარის (V) შემთხვევაში [17,19].

ეფექტური ტემპერატურის გამოსათვლელ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$T_{\text{ფე}} = T - CV^2(T_{\text{ბ}} - T)$$

სადაც $T_{\text{ბ}}$ – სათავსოს შიგა ტემპერატურაა (ჩვეულებრივი ანგარიშის დროს 18°C);

C – კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ზღუდური კონსტრუქციების ინფილტრაციის თვისებებს, ჩვეულებრივ $C=0,005$;

T – გარე ჰაერის ტემპერატურა;

V – ქარის სიჩქარე, მ/წმ;

ე.ი. ეფექტური დამატება T-თან ქარის სიჩქარეზე არის

$$\Delta T = -CV^2(T_{\text{ბ}} - T)$$

ამ ფორმულით შეიძლება გამოვითვალოთ ეფექტური ტემპერატურები T-ს და V-ს სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. T ეფექტური T-სა და V-ს საშუალო მნიშვნელობისათვის შეიძლება მიღებულ იქნეს ინტერპოლაციის საშუალებით.

ჩვენ მიერ განსაზღვრულ იქნა ჰაერის ტემპერატურისა და ქარის სიჩქარეების შეხამებათა განმეორებადობები (%) საქართველოს ზოგიერთ პუნქტში თვეების და წლის მიხედვით. ტემპერატურა-ქარის სიჩქარის კომპლექსის მნიშვნელოვანი ცვლილებების გამოსავლენად შედარებული იყო ამ კომპლექსის განმეორებადობათა სიხშირეები ორი პერიოდისთვის [17,19].

როგორც მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, საქართველოში ძირითადად არ აღინიშნება ძალიან დაბალი ეფექტური ტემპერატურები, რაც განპირობებულია იმით, რომ დაბალ ტემპერატურებს არ ემთხვევა ძლიერი ქარები. აღმოსავლეთ საქართველოში ყველაზე მეტად მეორდება ისეთი შემთხვევები, როდესაც დაბალ ტემპერატურებს თან ემთხვევა სუსტი ქარები. ამიტომ აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე, შენობებში კონდუქციური თბოგაცემა სჭარბობს ინფილტრაციულს. დასავლეთ საქართველოსა და შავი ზღვის სანაპიროზე კი, პირიქით, დიდ ქარებს შეეხამება არცთუ ძალიან მცირე

ტემპერატურები, რაც განაპირობებს იმას, რომ შენობებში ინფილტრაციული თბოგაცემა ჭარბობს კონდუქციურს.

შენობის ყველაზე უდიდესი საერთო თბოგაცემა არის საქართველოს მაღალმთიან რაიონებში, სადაც დაბალ ტემპერატურებს თან ემთხვევა დიდი სიძლიერის ქარები. ამ კომპლექსის ცვლილებების ხასიათი განსხვავებულია სხვადასხვა კლიმატური ოლქის პირობებში.

უპირველეს ყოვლისა აღსანიშნავია, რომ თბილისში ქარის დიდი სიჩქარეების განმეორებადობა შემცირდა. ამავე დროს ასეთი სიჩქარეების დროს (10 – 11 და 12 – 13 მ/წმ) ბოლო ათწლეულში შემცირდა ტემპერატურის რყევადობის დიაპაზონიც. როდესაც ქარის სიჩქარე შეადგენს 10 – 11 მ/წმ-ს, ჰაერის ტემპერატურა 1956-1990 წლებში იცვლებოდა 2-დან 22⁰-მდე დიაპაზონში, ბოლო ათწლეულს ქარის ამავე სიჩქარეებისათვის ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონი შემცირდა – 2⁰-დან 8⁰-მდე. ე.ი. ქარის დიდი სიჩქარეების დროს ჰაერის ტემპერატურამ დაიკლო.

ქარის დაბალი სიჩქარეების პირობებში ტემპერატურის რყევადობის დიაპაზონი მნიშვნელოვნად არ შეიცვალა, მაგრამ არსებითი ცვლილება განიცადა ტემპერატურის განაწილების ფუნქციამ. კერძოდ, თუ ძველ პერიოდში (196-1990 წწ) 0-1 მ/წმ ქარის სიჩქარის პირობებში ტემპერატურის განმეორებადობის უდიდესი სიხშირეები შეესაბამებოდა გრადაციებს 0-დან 6⁰-მდე და 14-დან 20⁰-მდე ახალ პერიოდში (1990-2010წწ) მაქსიმალური ტემპერატურების პირველი გრადაცია შენარჩუნებულ იქნა და ამავე დროს წარმოიქმნა ახალი მაქსიმუმი 10-დან 12⁰-ის დიაპაზონში. აგრეთვე რამდენადმე გაიზარდა მაღალი ტემპერატურების (26⁰ და მეტი) განმეორებადობები, რაც საერთო დათბობით აიხსნება.

ვ) ტემპერატურა-სინოტივის კომპლექსი.

შენობაში ნორმალური ტენიანობის რეჟიმის შესაქმნელად საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს დანესტიანების ყველა წყარო. ტენიანობის რეჟიმის შესწავლა შეუძლებელია სითბოს რეჟიმის შესწავლის გარეშე, რადგან კედლების დანესტიანების ერთ-ერთ მიზეზს, როგორც აღვნიშნეთ, წარმოადგენს წყლის ორთქლის კონდენსაცია, რომელიც მიმდინარეობს ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის შესაბამისი მნიშვნელობების თანხვედრისას, კერძოდ კი მაშინ, როდესაც ჰაერი მიაღწევს გაჯერების მდგომარეობას და მისი ტემპერატურა ნამის წერტილის ტემპერატურაზე დაბლა დაინევს.

ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა კლიმატის დამახასიათებელი ძირითადი ფაქტორებია და მოქმედებს შემომზღუდავი კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ამ საკითხის შესწავლა ცხელი ნოტიო კლიმატის რაიონებში [5,10,19], რომლებიც ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე IV სამშენებლო კლიმატურ ზონაში მდებარეობს. აქ IV_ა ქვერაიონად ნოტიო სუბტროპიკული ზონა გამოიყოფა.

ამ ქვერაიონისათვის დამახასიათებელია ცხელი ზაფხული და თბილი ზამთარი, უარყოფითი ტემპერატურები იშვიათობაა. ყველაზე ცხელ თვეში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურა $22 - 28^{\circ}$ -ს აღწევს, ხოლო ფარდობითი ტენიანობა $55 - 76\%$ -ს; IV^ა ქვერაიონის კლიმატური ზონები ხასიათდება ქარის რეჟიმისა და ნალექების რაოდენობის სხვადასხვაობით. მიუხედავად იმისა, რომ ზამთარში აქ გაბატონებულია ზომიერი განედის ჰაერი, ზაფხულში ტროპიკული ჰაერი ჭარბობს და რადიაციული ბალანსი თავისი სიდიდით ტროპიკული განედების რადიაციულ ბალანსს უტოლდება. ირიბი წვიმების მონაცემების ანალიზმა ცხადყო, რომ ამ რეგიონის ზოგიერთ რაიონში, კერძოდ შავი ზღვის სანაპიროზე (ბათუმი, ფოთი) და ლენქორანის დაბლობზე (ბაქო, ლენქორანი, ასტარა) მოდის ისეთივე თავსხმა წვიმები, როგორც ეკვატორული განედის ზოგიერთ ქვეყანაში [5, 10], ამიტომ ამ რაიონებისათვის განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ტემპერატურისა და ტენიანობის რეჟიმის შესწავლას.

კლიმატის თავისებურების, სათავსის გარე და შიგა ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის შემცველობის შეფარდების მიხედვით წყლის ორთქლი შეიძლება გადაადგილდეს გარედან შიგნით, ან პირიქით. ზოგიერთ რაიონში ზამთარში წყლის ორთქლი სათავსიდან გარეთ გადაადგილდება, ზოგიერთში კი – პირიქით. ამიტომ შენობების დაპროექტებისას აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს ტემპერატურისა და ტენიანობის რეჟიმის წლიური მსვლელობა [5,10,19.]

ჩრდილოეთ რაიონებში წლის მანძილზე გარე ჰაერის ტემპერატურა იშვიათად აღემატება სათავსის შიგა ტემპერატურას, მაშასადამე, წყლის ორთქლი სათავსიდან გარეთ გამოდის, ხოლო ბალტიისპირეთისა და შავი ზღვის-პირეთის რაიონებში – პირიქით. წლის უმეტეს პერიოდში (გარდა ზამთრისა) წყლის ორთქლი სათავსის შიგნით მიემართება, ამის გამო სათანადო ზომები მიიღება კონსტრუქციების კონდენსაციური დატენიანებისგან დასაცავად [10].

ტენიანობის რეჟიმი განისაზღვრება მეტეოროლოგიაში ცნობილი მახასიათებლებით – აბსოლუტური ტენიანობა, კუთრი ტენიანობა, წყლის ორთქლის პარციალური წნევა. ჰაერის გარკვეული ტემპერატურისა და წყლის ორთქლის მაქსიმალური დრეკადობა შეესაბამება ჰაერის მაქსიმალურ აბსოლუტურ ტენიანობას.

ჰაერის წყლის ორთქლით გაჯერების ხარისხი ხასიათდება ფარდობითი ტენიანობის მიხედვით, რომელიც წარმოადგენს წყლის ორთქლის ფაქტობრივი დრეკადობის გაჯერებული წყლის ორთქლის პარციალურ წნევასთან შეფარდებას. ჰაერის ტემპერატურის და ფარდობით ტენიანობას შორის არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება – ტემპერატურის შემცველობით მისი ფარდობითი ტენიანობა იზრდება, თუ შენობის შიგა ზედაპირის გაცივებით ტემპერატურა დაეცემა ნამის წერტილის ტემპერატურაზე დაბლა, მაშინ ტენი,

რომელსაც შეიცავს სათავსის ჰაერი, კონდენსირდება და გამოიყოფა ზედაპირზე.

წლის თბილ პერიოდში ფარდობითი ტენიანობა, როგორც წესი, იცვლება დღე-ღამის განმავლობაში, მაგ. საქართველოში, შავი ზღვის სანაპიროზე, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა ზაფხულში, ღამის საათებში ხშირად ნორმას აღემატება, ამიტომ მიზანშეწონილია სათავსში ჰაერის ტენიანობის შესამცირებლად სპეციალური მოწყობილობების დაყენება; შუა აზიაში კი, პირიქით, ზაფხულში ჰაერის ზედმეტი სიმშრალის გამო დღის საათებში აუცილებელია დანესტიანება.

ტენიანობის რეჟიმის ზემოქმედების გათვალისწინებისას კონსტრუქციების დაპროექტებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს როგორც მაღალი ტემპერატურის დროს (ჭარბი ტენიანობა ხელს უწყობს კოროზიის პროცესების დაჩქარებას), ისე 0°C დროს (მკვეთრად ძლიერდება ნგრევის მექანიკური პროცესის გაყინვისას და ღნობის პროცესის ზემოქმედების გამო).

ჰაერის ტემპერატურას, წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას და ფარდობით ტენიანობას შორის არსებობს ფუნქციონალური დამოკიდებულება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰაერის ტემპერატურისა (t°) და წყლის ორთქლის პარციალური წნევის (e) მნიშვნელობათა მიხედვით განისაზღვრება ფარდობითი ტენიანობის (Φ) მნიშვნელობა.

ტემპერატურა-სინოტივის კომპლექსის რეჟიმის შესასწავლად გამოყენებულ იქნა როგორც ვადიანი, ისე საათობრივი დაკვირვებები. ამოირჩევა ტემპერატურის საწყისი მონაცემებისა მიმდინარეობდა ყოველი 5° -ის შემდეგ, ხოლო ფარდობითი ტენიანობისა – ყოველი 5%-ის შემდეგ.

ეს კომპლექსები გამოანგარიშებულ იქნა საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონებში მდებარე პუნქტებისათვის [5,10] ტემპერატურა-სინოტივის განაწილება დასავლეთ საქართველოში წარმოდგენილია ფოთისა და სამტრედიის მონაცემებით. ადგილობრივი კლიმატური პირობების გამო ტემპერატურა მერყეობს – 5° -დან 40° -მდე. ტემპერატურის ამპლიტუდა აღწევს $40-45^{\circ}$ -ს, ხოლო ფარდობითი ტენიანობა – 90%-ს (11-დან 100%-მდე). ყველაზე მაღალი განმეორებადობა ტემპერატურებისა მოდის 5-დან 25° -მდე.

ყველაზე მეტად მეორდება გრადაციები $5.0^{\circ}-9.9^{\circ}\text{C}$. ამასთანავე ყველაზე მაღალი განმეორებადობა მოდის ფარდობითი ტენიანობის გრადაციაზე 91-95% და შეადგენს საერთო შემთხვევათა რიცხვის 4.1%-ს. ამ გრადაციებისთვის ტემპერატურის ზრდის გამო განმეორებადობები თანდათან მცირდება 3.6%-მდე, $20-25^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს ფოთში გრადაცია -10, -5°C მაღალ ტენიანობასთან შეხამებით იშვიათად დაიკვირვება და 25 წლის მანძილზე შეადგენს მხოლოდ 10 დღეს.

როდესაც ჰაერის ტემპერატურა მეტია 25°C -ზე, ცხელი დღეების განმეორებადობის რიცხვი წლიურ ჯამში წარმოადგენს 9,3%-ს, 71-75% ტენიანობის გრადაციის განმეორებადობა წარმოადგენს 2,7%-ს. აღმოსავლეთ საქართველოში

ველოს კლიმატის ზოგადი კანონზომიერების გათვალისწინებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ შიგა რაიონებში ტემპერატურისა და სინოტივის კომპლექსი კლიმატური კონტინენტალურობის და სიმშრალის გაზრდით მაღალი ტემპერატურისა და დაბალი ფარდობითი ტენიანობის შეხამებისას აღმოსავლეთით იზრდება (თბილისი, გორი, ხაშური, თელავი).

ტემპერატურის და სინოტივის შეხამების განმეორებადობა მიღებული ინტერვალის მიხედვით გვიჩვენებს, რომ თბილისში ყველაზე დიდი განმეორებადობა შეესაბამება ტემპერატურას 5-დან 25⁰-მდე და ფარდობითი ტენიანობის 60-90%-მდე გრადაციებს.

ცივი დღეების განმეორებადობა 0⁰C-ის და დაბლა წარმოადგენს წელიწადში საერთო შემთხვევათა 5,5%-ს. არახელსაყრელი ამინდის პირობები აღინიშნება იმ დღეებში, როდესაც დაბალი ტემპერატურები 10⁰C-ზე მაღალია ფარდობითი ტენიანობის დროს. თბილისში ასეთი დღეების რაოდენობა არის უმნიშვნელო და წარმოადგენს 0,1%-ზე ნაკლებს. განმეორებადობა ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის გრადაციებისათვის 20-25⁰C, ხოლო ფარდობითი ტენიანობა კი 70-75% ფოთში უფრო მეტია, ვიდრე თბილისში. ეს განპირობებულია უპირველეს ყოვლისა იმით, რომ თბილისის რაიონი არის ყველაზე მშრალი და აგრეთვე იმიტომაც, რომ ზღვის ჰაერი აღმოსავლეთით გადაადგილების დროს განიცდის ტრანსფორმაციას, კარგავს ტენის ნაწილს და ამის გამო მოცემული კომპლექსის განმეორებადობა მცირდება. ყველა შემთხვევაში, როდესაც ტემპერატურა თბილისში აღწევს 20⁰-ს, ფარდობითი ტენიანობა არის 50%-ზე ნაკლები.

თუ შევადარებთ სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში მყოფი სადგურის კლიმატურ მონაცემებს, მივიღებთ შესამჩნევ განსხვავებებს, რაც, რა თქმა უნდა, მოსალოდნელი იყო. ქუთაისში მაღალი ტემპერატურა აღინიშნება დაბალი ტენიანობის დროს – 1-5%. სიმაღლის და ნალექების რაოდენობის გაზრდის გამო ნალექიან დღეთა რაოდენობა თანდათან იზრდება და შესაბამისად იზრდება კომპლექსების შემთხვევათა რიცხვიც, რომელიც წარმოიქმნება მაღალი ფარდობითი ტენიანობით და ტემპერატურის დაბალი მნიშვნელობებით,

ეს ხდება იმის გამო, რომ ტემპერატურა მცირდება ადგილის სიმაღლის შესაბამისად. მთიანი და მაღალმთიანი მონაცემების მიხედვით (მესტია, მთა-საბუეთი, ბახმარო, ბაკურიანი) ტემპერატურების ცვლილებების დიაპაზონი მცირდება. ტემპერატურების მაქსიმალური მნიშვნელობები არ აღემატება 30⁰-ს. ცხელი დღეების განმეორებადობა ჰაერის ტემპერატურით 25⁰C და მაღალი ან ფარდობითი ტენიანობით [50-55%] არ აღემატება საერთო შემთხვევათა 1%-ს, მთა-საბუეთში კი ერთეულ შემთხვევაში ჰაერის ტემპერატურა აღემატება 25⁰-ს და ამ დროს აღინიშნება არცთუ იშვიათად ფარდობითი ტენიანობა 80-85%. ამ სადგურში დაბალ ტემპერატურას -10⁰-ის მაღალ ფარდობით ტენიანობასთან კომპლექსში აქვს საკმაოდ მაღალი განმეორებადობა -4,4% საერთო შემთხვევიდან.

ტემპერატურა-სინოტივის კომპლექსის განხილვისას აღმოჩნდა, რომ ძალიან დიდ როლს თამაშობს რელიეფი. მაგ. მესტიაში ზამთრის დღეებში ტემპერატურა არის 3-4⁰-ით ნაკლები, ვიდრე ზევით გაგრის ქედზე, ხოლო ზაფხულის თვეებში სვანეთში უფრო ცხელა, აქ ვერტიკალური თერმული გრადიენტი არის 10⁰-ზე მაღალი. ბახმაროზე, ბაკურიანსა და მესტიაში უფრო ხშირად ფარდობითი ტენიანობა არის 91-100%. ასევე საზღვრებში დაიკვირვება იგი ტემპერატურისას – 10-დან 20⁰-მდე.

მაღალმთიანი სადგურის მონაცემები გვიჩვენებს, რომ 1500 მ. სიმაღლესა და ზევით შეიძლება აღინიშნოს როგორც მაღალი, ისევე დაბალი ფარდობითი ტენიანობები, ხოლო ჰაერის ტემპერატურისას 25-30⁰C ფარდობითი ტენიანობა არ აღემატება 55-60%-ს. დაბალი ტემპერატურის დროს (0-დან -10⁰-მდე) შეიძლება ადგილი ჰქონდეს როგორც დაბალ, ისე მაღალ ფარდობით ტენიანობას, მაგრამ უფრო ხშირად 40-100%-ის ფარგლებში.

ქარისა და წვიმის ერთობლივი ზემოქმედება ვერტიკალურ ზედაპირზე (ირიბი წვიმები)

ისეთ წვიმებს, რომლებიც გადაიხრება ვერტიკალის მიმართ რაღაც კუთხით, ქარის მიმართულებით, ეწოდება ირიბი წვიმები. ნაგებობათა გარე ზედაპირები განიცდის სხვადასხვა ინტენსიურობისა და ხანგრძლივობის ირიბი წვიმების ზემოქმედებას. განსაკუთრებით ინტენსიურად ნესტიანდება შენობის გარე კედლები ძლიერი ქარების დროს [17]. იმ რაიონებში, სადაც მოდის ატმოსფერული ნალექები ინტენსიურად და გაბატონებულია აგრეთვე ძლიერი ქარები, წვიმის წყალი აღწევს შენობის შიგნითა ზედაპირებამდეც კი. ამ შემთხვევაში, თუ არ იქნება მიღებული სპეციალური ზომები შენობების დანესტიანებისაგან უკუღებელსაყოფად, შესაძლებელია ამან გამოიწვიოს არა მარტო შენობის საექსპლუატაციო დონის შემცირება, არამედ მისი ნაადრევი დანგრევაც კი.

შენობის ირიბი წვიმების ზემოქმედებისაგან დაცვის პრობლემა არსებობდა წინათაც, მაგრამ ეს საკითხი განსაკუთრებით გამწვავდა თანამედროვე ინდუსტრიული მშენებლობის განვითარების გამო. ძველ ხალხურ საცხოვრებელ ბინებში შენობების დაცვის მარტივ, მაგრამ საკმაოდ ეფექტურ საშუალებებს იყენებდნენ.

ინდუსტრიული მშენებლობის განვითარებასთან დაკავშირებით წარმოიშვა ატმოსფერული ნალექებისგან შენობების დაცვის პრობლემა იმ რაიონებშიც კი, რომლებშიც იგი წინათ არ არსებობდა. ეს გამოწვეულია მთელი რიგი ფაქტორების ერთობლიობით, რაც დამახასიათებელია ამ ტიპის მშენებლობისათვის. შენობის ანაკრებ ელემენტებს შორის გაჟონვები აღინიშნება მთელ რიგ ქვეყნებში, მათ შორის ისეთებშიც, სადაც მშენებლობის მაღალი დონეა.

როგორც მშენებლობის პრაქტიკა უჩვენებს, გაჟონვების რაოდენობა უშუალოდაა დამოკიდებული სამშენებლო რაიონის კლიმატურ პირობებზე, ამიტომ შენობებისა და გარე კედლების სწორი დაპროექტებისას, დანესტიანებისაგან დასაცავად მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ირიბი წვიმების ზემოქმედების ფაქტორი. ამ საკითხის შესწავლის აუცილებლობაზე მიუთითებენ, როგორც ჩვენი ქვეყნის, ისე საზღვარგარეთის ქვეყნების მეცნიერები [17]. ინგლისში, ნორვეგიაში, შვეციასა და სხვა ქვეყნებში კლიმატურ ცნობარებში მოცემულია ირიბი წვიმების რუკები [17], რომლებსაც თან ახლავს სათანადო ახსნა-განმარტებები და რეკომენდაციები. ჩვენს ქვეყანაში არსებულ კლიმატურ ცნობარებში კი არ არის არავითარი ინფორმაცია ირიბი წვიმების შესახებ.

იმისთვის, რომ დამუშავებულ იქნეს თვით პანელების და მათ შორის პირაპირების ახალი კონსტრუქციები, საჭიროა დადგენილ იქნეს მოცემული სამშენებლო რაიონის ირიბი წვიმების პარამეტრები სხვადასხვა კლიმატურ რაიონში. შენობის გარე კედლებზე ქარისა და წვიმის ერთობლივი ზემოქმედება შეისწავლება ორი ურთიერთდაკავშირებული მეთოდით: ანალიზური მეთოდით, რომელიც ემყარება მრავალწლიური ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვებების სათანადო დამუშავებას ალბათობის თეორიის გამოყენებით, და ექსპერიმენტალური მეთოდით, რომელიც ემყარება სხვადასხვა შენობის გარე კედლებზე ატმოსფერული ნალექებისა და ქარის მოქმედების უშუალო გაზომვებს.

ირიბი წვიმების მახასიათებლების განსაზღვრა განსაკუთრებით აუცილებელია ისეთი რთული კლიმატური რაიონისათვის, როგორც საქართველოა.

წვიმის წყლის შეღწევა შენობების შიგნით დამოკიდებულია კლიმატურ პირობებზე. ზოგიერთ რაიონებში აუცილებელია მიღებულ იქნეს შესაბამისი ზომები შენობების დანესტიანებისაგან დასაცავად, რომლებიც სხვა კლიმატური პირობების მქონე რაიონებში შეიძლება საერთოდ არ იყოს საჭირო.

ირიბი წვიმების ზემოქმედების ხარისხის დასადგენად მიღებულია ე.წ. ირიბი წვიმების ინდექსი. სხვადასხვა ქვეყნებში შედგენილია ირიბი წვიმების ინდექსის რუკა, საქართველოსთვის ასეთი რუკა არ არსებობდა, ამიტომ ჩვენ მიერ დამუშავებულ იქნა ირიბი წვიმების ინდექსის განაწილების სქემატური რუკა.

ნებისმიერი მთიანი ქვეყანა, ისევე როგორც საქართველო, ხასიათდება რთული ოროგრაფიული პირობებით და კლიმატის მრავალფეროვნებით. ამის გამო არარენტაბელურია, საქართველოს ტერიტორიაზე შემოღებული იქნეს ირიბი წვიმებისაგან დამცავი ერთიანი სისტემა, აუცილებელია განსაზღვრულ იქნეს საქართველოს უმეტესი კლიმატური რაიონებისთვის ირიბი წვიმების ინტენსიურობა და მიღებული მონაცემების საფუძველზე დამუშავებული იქნეს შესაბამისი ღონისძიებები. ასეთი მიდგომა იძლევა საშუალებას, გაკეთდეს ეკონომია სამშენებლო მასალებზე ირიბი წვიმების უმნიშვნელო ზემოქმედების

რაიონებში და ამავე დროს დაცულ იქნეს შენობები დანესტიანებისაგან ირიბი წვიმების ინტენსიური ზემოქმედების რაიონში.

ირიბი წვიმების ინდექსის გამოანგარიშებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ქარის სიჩქარე წვიმის დროს, მაგრამ ჰიდრომეტეოროლოგიური სადგური არ ატარებს ასეთ დაკვირვებებს. როგორც ჩვენი [17], ისე საზღვარგარეთის მეცნიერების გამოკვლევებით [17, 18] დადგინდა, რომ წვიმის დროს ქარის სიჩქარის შეფარდება ქარის სიჩქარესთან ნებისმიერი ამინდის პირობებში არცთუ ისე ძალიან იცვლება. ამ ფარდობის საშუალო მნიშვნელობა შეადგენს 1.2-1.3-ს, ხოლო გადახრა მერყეობს 10%-ის ფარგლებში, ამიტომ ეს ფარდობა შეიძლება ჩავთვალოთ მუდმივად და ირიბი წვიმების ინდექსი გამოვიანგარიშოთ ნალექების საშუალო რაოდენობისა და ქარის საშუალო სიჩქარის მრავალწლიური მონაცემების მიხედვით, ფორმულით:

$$I = \frac{HgV_w}{1000} \quad 3.3.$$

H_g – ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების რაოდენობა, მმ;

V_w – ქარის სიჩქარე, მ/წმ,

ცხრილი 3.3. წვიმის და ნებისმიერი ამინდის პირობებში ქარის სიჩქარეთა შეფარდება

Table 3.3. Ratio of wind speeds in rain and any weather conditions

სადგურები	ქარის საშუალო თვიური სიჩქარე მ/წმ		ფარდობა $\frac{V_B}{V_0}$
	ნალექების დროს V_0	ნებისმიერი ამინდის დროს V_0	
საქართველო			
1. ახალციხე	1.8	1.6	1.1
2. ბათუმი	2.7	2.1	1.3
3. ფოთი	3.5	2.7	1.3
4. თბილისი	3.0	2.4	1.2
			$(V_B/V)_{საშ}=1.2$
ინგლისი			
1. კრეიდონი	11.5	8.9	1.3
2. ჰოლექჰიდი	16.9	14.1	1.2
3. რენფრიუ	12.2	8.7	1.3
			$(V_B/V)_{საშ}=1.3$

შენობებზე ირიბი წვიმების ხარისხობრივი მოქმედების მიხედვით საქართველოს ტერიტორია დაყოფილია ზონებად. შენობის კედლებზე ირიბი წვიმების მოქმედება უმნიშვნელოა, როცა $1 < 3$. შენობები იმყოფება საშუალო პირობებში, როცა $3 < 1 < 5$, ან როცა $1 > 7$ -ზე შენობები განიცდიან ირიბი წვიმების ძლიერ ზემოქმედებას.

მიღებული მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ საქართველოს თითქმის ნახევარზე მეტ ტერიტორიაზე შენობები განიცდის დიდი ინტენსიურობის ირიბი წვიმების ზემოქმედებას, განსაკუთრებით მაღალმთიან რაიონებსა და დასავლეთ საქართველოში. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ამ რაიონებისათვის დამახასიათებელია დიდი ინტენსიურობისა და ხანგრძლივობის წვიმები, რომლის დროსაც აღინიშნება აგრეთვე ძლიერი ქარები. ამიტომ ამ რაიონებში საჭიროა მივიღოთ შენობების ირიბი წვიმების ზემოქმედებისაგან დაცვის სპეციალური ზომები.

აფხაზეთსა და ქართლ-კახეთში ირიბი წვიმების ზემოქმედება შედარებით უმნიშვნელოა (ინდექსი აქ არის 3მ/წმ^{-1}). ეს გამოწვეულია იმით, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა არ აღემატება $300-700$ მმ-ს, ამიტომ აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ პუნქტებში ირიბი წვიმების ინდექსი 1-ზე ნაკლებია (გარდაბანი $0,8\text{მ}^2\text{წმ}^{-1}$, შირაქი $0,8\text{მ}^2\text{წმ}^{-1}$).

აფხაზეთის სანაპიროზე მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა კი აღმოსავლეთ საქართველოსთან შედარებით 2-3-ჯერ მეტია, ხოლო ქარის სიჩქარე ამდენჯერვე ნაკლებია, ამიტომ აფხაზეთისა და ქართლ-კახეთის ტერიტორიები იმყოფება დაახლოებით ერთნაირ პირობებში. როგორც სახლების მშენებლობის პრაქტიკამ უჩვენა ამ რაიონებში შენობების შიგნით წვიმის წყალი აღწევს მცირე რაოდენობით. მაშასადამე, აქ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მარტივი კონსტრუქციების გარე კედლები და პირობები.

ირიბი წვიმების ინდექსის საშუალებით არქიტექტორსა და კონსტრუქტორს შეუძლიათ დაადგინონ, განიცდიან თუ არა შენობის კედლები დანესტიანებას და როგორი კონსტრუქციული გადაწყვეტა უნდა იქნეს მიღებული მის უკულებელ-საყოფად. მაგრამ ამ რუკა-სქემას გააჩნია გარკვეული ნაკლოვანებაც. კერძოდ, ის არ გვაძლევს არავითარ ინფორმაციას ქარის მიმართულების შესახებ. გარდა ამისა შენობების სწორი დაპროექტებისთვის აუცილებელია აგრეთვე ვიცოდეთ ის მიმართულება, საიდანაც კედლები განიცდიან ირიბი წვიმების მაქსიმალურ ზემოქმედებას.

დასავლეთ საქართველოში ირიბი წვიმების დიდი რაოდენობა მოდის იმ ქარებთან ერთად, რომლებიც ქრიან სამხრეთ და დასავლეთ მიმართულებებს შორის. ამიტომ ამ რეგიონებში შენობების დაპროექტებისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ კედლების დაცვას, რომლებიც ორიენტირებული არიან დასავლეთით, სხვა ორიენტაციის კედლები კი განიცდიან ნაკლებ დანესტიანებას.

მიღებული რუკა-სქემების მიხედვით შენობების დაპროექტებისას შეგვიძლია, უფრო მეტი სიზუსტით გავითვალისწინოთ სამშენებლო რაიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების თავისებურებანი. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ირიბი წვიმების ინდექსი წარმოადგენს პირობით კლიმატურ მახასიათებელს და განისაზღვრება გასაშუალოებული სიდიდეების საფუძველზე. ამიტომ მის მიხედ-

ვით ვერ განვსაზღვრავთ ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობას.

ცხრილი 3. 4. ირიბი წვიმების ინდექსის განაწილება ორიენტაციის მიხედვით
Table 3. 4. Distribution of indirect rain index by orientation

პუნქტის დასახელება	ირიბი წვიმების ინდექსი	ირიბი წვიმების ინდექსის განაწილება ორიენტაციის მიხედვით							
		ჩ	ჩა	ა	სა	ს	სდ	დ	ჩდ
ახალციხე	0.7	0.03	0.01	0.1	0.01	0.06	0.2	0.3	0.3
ბათუმი	7.8	0.1	0.2	0.1	2.8	0.1	3.7	0.5	0.3
გორი	1.7	0.01	0.01	0.1	0.5	0.01	0.01	0.1	1.0
თელავი	1.4	0.08	0.1	0.2	0.08	0.1	0.09	0.5	0.2
თბილისი	1.7	0.2	0.04	0.05	0.3	0.02	0.04	0.04	1.0
სოხუმი	2.6	0.1	0.6	0.9	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3
სამტრედია	3.9	0.04	0.05	0.5	0.2	0.1	1.1	1.7	0.2
ქუთაისი	7.0	0.3	0.8	2.2	0.4	0.2	0.2	2.8	0.1

ჩვენ მიერ დამუშავებული მეთოდის მიხედვით, ქარის სიჩქარის, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობისა და ინტენსიურობის მეტეოროლოგიური მონაცემების მათემატიკური დამუშავების გზით განისაზღვრება ირიბი წვიმების შემდეგი პარამეტრები:

1. ირიბი წვიმების რაოდენობა;
2. ირიბი წვიმების ინტენსიურობა;
3. ქარის სიჩქარე ირიბი წვიმების დროს;
4. ირიბი წვიმების მყისი ინტენსიურობა;

განაგარიშების დროს მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული ქარისმიერი დატვირთვა დამოკიდებული ქარის სიჩქარულ დანწევაზე, რისთვისაც აუცილებელია საანგარიშო ქარის სიჩქარის განსაზღვრა. საანგარიშო ქარის სიჩქარის განსაზღვრის მეთოდი დამოკიდებულია სამშენებლო ტექნიკის ამოცანებზე [5,10]. ასე მაგალითად, სამშენებლო კონსტრუქციების გამძლეობის გამოსათვლელად განისაზღვრება ქარის მაქსიმალური სიჩქარე 2-ნუთიანი გასაშუალებით, რომელიც მოსალოდნელია 5 წელიწადში ერთხელ [5,10,19]. ქარის საშუალო სიჩქარე წვიმის დროს კი განისაზღვრება საშუალოდ აწონილი სიდიდეების გამოთვლის ცნობილი ხერხით, ქარის სიჩქარეებისა და შესაბამისი დროის ინტერვალის ნამრავლების ჯამის გაყოფით ინტერვალის ჯამზე.

$$V_{wi} = \frac{\sum_i^n V_{wi} t_{wi}}{\sum_i^n t_{wi}} \quad 2.4.$$

სადაც V_{wi} – ქარის სიჩქარეა (ცალკეული გაზომვები) მ/წმ;

n – გაზომვების რაოდენობა;

$t_{wi} = V_{wi}$ ქარის სიჩქარის ხანგრძლივობა, წმ.

შენობების ირიბი წვიმებით დანესტიანებისაგან დამცავი ღონისძიებები უნდა იქნეს გათვალისწინებული მათი მაქსიმალური შემოქმედებისათვის. ამისთვის კი აუცილებელია განსაზღვრულ იქნეს ქარის მაქსიმალური სიჩქარე წვიმის დროს. მწკრივი დგება 5 მ/წმ და მეტი ქარის სიჩქარეების მონაცემების ამოკრეფით ყოველდღიური მეტეოროლოგიური ცხრილებიდან (TM-1).

წვიმის წვეთები ქარის დროს გადაიხრებიან და მოდიან ვერტიკალურ ზედაპირზე. წვიმის წვეთების ტრაექტორია ქარის შემოქმედებით ემნის ვერტიკალურ ზედაპირთან კუთხეს (დახრის კუთხე). ამ კუთხის ზრდასთან ერთად იზრდება წვიმის ის რაოდენობა, რომელიც მოდის ვერტიკალურ ზედაპირზე. წვიმის რაოდენობა, რომელიც შესაძლოა მოვიდეს ვერტიკალურ ზედაპირზე, როგორც შემოთ იყო აღნიშნული, განისაზღვრება ფორმულით:

$$H_v = H_g \operatorname{tg} \alpha \cos (\theta - \theta_0). \quad 2.5$$

3.4. ირიბი წვიმების მახასიათებლების ტერიტორიული განაწილება

იმისთვის, რომ დავადგინოთ ქარისა და წვიმის ერთობლივი შემოქმედება შენობის კედლებზე და მივიღოთ ზომები მათი დანესტიანებისაგან დასაცავად, აუცილებელია ვიცოდეთ შენობებზე არა მარტო ირიბი წვიმების შემოქმედების ხარისხი, არამედ მათი რაოდენობრივი მახასიათებლები.

ირიბი წვიმების შემოქმედების ხარისხის შესაფასებლად და ტერიტორიული დარაიონებისათვის დამუშავდა ირიბი წვიმების ინდექსი. ირიბი წვიმების ინდექსი არის მხოლოდ პირობითი, მიახლოებითი კლიმატური მახასიათებელი. მისი პირობითობა კი განისაზღვრება განზომილებით, ხოლო მიახლოებითი ხასიათი გამოწვეულია იმით, რომ არ არის გათვალისწინებული წვიმის წვეთების დაცემის სიჩქარე, რომელიც უშუალოდაა დაკავშირებული მათ ინტენსიურობასთან.

დაპროექტებისათვის უფრო აუცილებელია ირიბი წვიმების რაოდენობრივი მახასიათებლები, რომლებიც უნდა დაედოს საფუძვლად წვიმისგან დამცავი მოწყობილობის დაპროექტებას.

განსაზღვრულია ირიბი წვიმების მრავალწლიური რაოდენობა წლის განმავლობაში და მათი განაწილება თვეების მიხედვით. ამ მონაცემების საფუძველზე აგებულ იქნა მათი განაწილების გრაფიკები თვეების მიხედვით.

მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ საქართველოს ტერიტორიის თითქმის ნახევარზე შენობების ზედაპირები განიცდის ირიბი წვიმების

ინტენსიურ ზემოქმედებას, განსაკუთრებით დასავლეთ საქართველოში და მაღალმთიან რაიონებში. ეს განპირობებულია იმით, რომ დასავლეთ საქართველოსთვის დამახასიათებელია დიდი ინტენსიურობისა და ხანგრძლივობის წვიმები. მაღალმთიან რაიონებში წვიმები მოდის წელიწადში 1-3 თვის განმავლობაში, მაგრამ ძლიერი ქარების გამო შენობები განიცდის ირიბი წვიმების თითქმის იმავე ინტენსიურ ზემოქმედებას, როგორც სანაპიროზე მდგარი შენობები.

ბათუმში ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა მოსული ჰორიზონტალურ ზედაპირზე 10-ჯერ მეტია, ვიდრე მამისონის უღელტეხილზე. ვერტიკალური ზედაპირისათვის კი ეს თანაფარდობა მცირდება დაახლოებით 4-მდე. საშუალო თვიური მაქსიმალური რაიონების შეფარდება კი მცირდება 1,6-მდე. თუ შედარებებს გავაკეთებთ, მხოლოდ საშუალო წლიური მონაცემებით ან ინდექსით, მაშინ შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბათუმი მდებარეობს ირიბი წვიმების ინტენსიური ზემოქმედების პირობებში, ხოლო მამისონის უღელტეხილზე შენობები არ განიცდიან მნიშვნელოვან ზემოქმედებას. მაქსიმალური თვიური ნალექების რაოდენობის შედარება ვერტიკალურ ზედაპირზე გვიჩვენებს, რომ მამისონის უღელტეხილზე შენობები ამ შემთხვევაში განიცდის ირიბი წვიმების ძლიერ ზემოქმედებას. აქედან გამომდინარე, ირიბი წვიმების მაქსიმალური თვიური რაოდენობა უფრო მეტად ასახავს შენობებზე ირიბი წვიმების ზემოქმედების ინტენსიურობას, ვიდრე საშუალო წლიური მონაცემები. მიღებული შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ირიბი წვიმების მაქსიმალური თვიური რაოდენობა საქართველოს ტერიტორიაზე იცვლება ფართო საზღვრებში 15 მმ-დან (აბასთუმანი-15 მმ) 300-მმდე (ბათუმი-300 მმ).

კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ ნაწილში ირიბი წვიმების მაქსიმალური თვიური რაოდენობა იცვლება ძირითადად 100-დან 200 მმ-მდე. აუცილებელია აღვნიშნოთ, რომ აჭარაში მოდის ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა არა მარტო საქართველოს, არამედ ყოფილი საბჭოთა კავშირის მთელი ტერიტორიისათვის. ამით აიხსნება ამ რეგიონებში ირიბი წვიმების დიდი რაოდენობა.

აფხაზეთის ზოგიერთ პუნქტებში შენობის კედლები უმნიშვნელოდ ნესტიანდება (გალი, ოჩამჩირე), ამიტომ ამ რაიონებში შესაძლებელია გამოვიყენოთ უფრო მარტივი კონსტრუქციული გადაწყვეტები. ხოლო ისეთ პუნქტებში, როგორც არის გაგრა, სოხუმი, ლესელიძე, სადაც ირიბი წვიმების მაქსიმალური თვიური რაოდენობა აჭარბებს 50 მმ-ს, შენობის კედლები ზომიერად ტენიანდება და აქ აუცილებელია მივიღოთ წვიმისგან დამცავი სპეციალური ზომები. იმ რაიონებში, სადაც ირიბი წვიმების მაქსიმალური თვიური რაოდენობა 80 მმ-ზე მეტია, აუცილებელია გამოვიყენოთ ნყალსარინი მონყობილობები.

ცხრილი 3. 5. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების H_g შედარება ირიბი წვიმის მახასიათებლებთან (I, H_v, H_{vmax})

Table 3. 5. Comparison of precipitation falling on the horizontal surface H_g with characteristics of indirect rain (I, H_v, H_{vmax})

სადგურის დასახელება	ნალექების წლიური რაოდენობა (მმ)		ირიბი წვიმის ინდექსი m^2mm^{-1}	ირიბი წვიმის მაქსიმალური თვიური რაოდენობა (მმ) H_{vmax}
	H_g	H_v		
ბათუმი, შუქურა	2360	1120	5.0	136
მამისონის გადას.	246	260	1.13	85
შეფარდება	9.6	4,4	4,4	1,6

აღმოსავლეთ საქართველოს რაიონებში, კერძოდ ქართლის რაიონებში, ირიბი წვიმების საშუალო თვიური რაოდენობა მცირდება და იცვლება შემდეგ ფარგლებში 15-50 მმ. ახალქალაქის და გარდაბნის რაიონებში ირიბი წვიმების რაოდენობა აღწევს თავისი მნიშვნელობების მინიმუმს – მთელი საქართველოს ტერიტორიაზე (15-20 მმ). ეს აიხსნება იმით, რომ ამ რაიონში ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოდის ნალექების მცირე რაოდენობა, ხოლო ქარები დაიკვირვება არაწვიმიან დღეებში.

ალაზნის ველზე და კახეთის მთელ რიგ რაიონებში ირიბი წვიმების მაქსიმალური საშუალო თვიური რაოდენობა აღწევს 50 მმ, რაც გამონვეულია ნალექების რაოდენობის გაზრდით, რომელიც მოდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ეს განპირობებულია ადგილის სიმაღლის და ჰაერის მასების კონვერგენციის გაზრდის გამო. აქედან გამომდინარეობს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს რაიონებში, კერძოდ ქართლ-კახეთის ზონაში, შენობის კედლები განიცდის ირიბი წვიმების უმნიშვნელო შემოქმედებას. ამიტომაც არ არის საჭირო წვიმისაგან დამცავი მოწყობილობები.

იმისთვის, რომ დაგვედგინა, შესაბამება თუ არა ქართა ვარდული ნებისმიერი ამინდის პირობებში ქართა ვარდულს წვიმიანი ამინდის დროს, საქართველოს რამდენიმე პუნქტისათვის გაკეთდა ქარის მიმართულებისა და სიჩქარის განმეორებადობის გამოთვლები წვიმის მოსვლის დროს. ეს პუნქტები იმყოფება სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში.

იმ შემთხვევაში, როდესაც დამახასიათებელია ნებისმიერი ამინდის პირობებში განსაზღვრული მიმართულების ქარი, მკვეთრად არის გამოსახული ქარის მიმართულება წვიმის მოსვლის დროსაც.

თუ გავაკეთებთ მონაცემების ანალიზს, დავრწმუნდებით, რომ ირიბი წვიმების რაოდენობრივი მაჩვენებლები, მაგალითად, ქ. თბილისისთვის და ქ.

ფოთისთვის, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთიმეორისგან. უხეში შეფასებით, თბილისში ირიბი წვიმების რაოდენობა 10-ჯერ მცირეა, ვიდრე ფოთში (55 მმ – 550 მმ). ცხადია, რომ ამ პუნქტებში შენობის კედლები განიცდის ირიბი წვიმების სხვადასხვა ზემოქმედებას.

იმისდა მიუხედავად, რომ დასავლეთ საქართველოს ისეთი პუნქტები, როგორცაა, ბათუმი, გაგრა, გალი, იმყოფება სამშენებლო კლიმატოლოგიის ნორმებისა და წესების მიხედვით ერთ IV < კლიმატურ რაიონში, შენობის კედლები აქ განიცდის სხვადასხვანაირ დანესტიანებას ირიბი წვიმების ზემოქმედების შედეგად. ირიბი წვიმების წლიური რაოდენობა ქ. ბათუმში აღწევს 840 მმ-ს, ხოლო გაგრაში შენობის კედლები შედარებით ზომიერად ტენიანდება და მათი წლიური რაოდენობა არ აღემატება 480 მმ-ს.

ირიბი წვიმების უდიდესი რაოდენობა დაიკვირვება ქ. ფოთში – 1120 მმ, შემდეგ ქ. ბათუმში 840 მმ. ნალექების უდიდესი რაოდენობა მოდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ბათუმში, ხოლო ვერტიკალურზე – ფოთში, რაც ამ უკანასკნელში ძლიერი ქარების ზემოქმედებით აიხსნება.

იმისთვის, რომ გადავწყვიტოთ მთელი რიგი სამშენებლო ამოცანები, ვერძოდ, ლაბორატორიულ პირობებში წვიმისგან დამცავი ხელსაწყოს რეჟიმის მუშაობა, აუცილებელია ვიცოდეთ წვიმის წვეთების დაცემის დახრის კუთხე და აზიმუტი მოცემული ქარის სიჩქარის და წვიმის ინტენსიურობის დროს.

ამ სამუშაოს ჩატარებისას საქართველოს სხვადასხვა პუნქტისათვის იქნა განსაზღვრული $\frac{H_v}{Hg}$ შეფარდება, რომელიც ძირითადად ქარის სიჩქარეზეა

დამოკიდებული და ახასიათებს წვიმის წვეთის ტრაექტორიის დახრის კუთხეს.

მიღებული შედეგების ანალიზმა უჩვენა, რომ როცა ქარის სიჩქარე დიდია, დაიკვირვება დიდი დახრის კუთხეც, რაც განაპირობებს $\frac{H_v}{Hg}$ შეფარდების

მაქსიმუმს ამ პირობებში, როცა ქარის სიჩქარეა 4-5 მ/წმ, დახრის კუთხე გახდება დაახლოებით 45° .

ამრიგად, შენობის დაპროექტებისას და ირიბი წვიმების მოდელირებისას ლაბორატორიულ პირობებში, აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ არახელსაყრელი ორიენტაციით ირიბი წვიმების მაქსიმალურ რაოდენობას თან ახლავს მათი მაქსიმალური ხანგრძლივობა.

ჰორიზონტალური და ვერტიკალური წინაფრების (ეკრანების) გაანგარიშებისას საანგარიშოდ მიიღება ის დახრის კუთხე, რომელიც შეესაბამება მაქსიმალური წვიმის განმეორებადობას 20 წელიწადი ერთხელ. პუნქტებისთვის: ფოთი, გაგრა, სოხუმი და თბილისი განსაზღვრულ იქნა წვიმის წვეთების ტრაექტორიების დაცემის კუთხეები სხვადასხვა ორიენტაციის მიხედვით. აღმოჩნდა, რომ დაცემის კუთხეები არახელსაყრელი ორიენტაციების მიხედვით და გასაშუალოებული ყველა მიმართულების მიხედვით ერთმანეთს პრაქტიკულად ემ-

თხვევა. ამის გამო გასაშუალოებული მნიშვნელობები მიიღება, როგორც საანგარიშო.

სამშენებლო ამოცანების გადაწყვეტისას აუცილებელია აგრეთვე განსაზღვრულ იქნეს ირიბი წვიმების რაოდენობა თითოეულ რაიონში გარკვეული ხანგრძლივობის პერიოდისათვის – (თვე და წლის წვიმიანი პერიოდი).

შენობების ანაკრებ ელემენტებს შორის აღინიშნება გაჟონვები, რაც ამცირებს შენობების საექსპლუატაციო დონეს და ზოგიერთ შემთხვევაში მათ ნაადრევ დანგრევასაც კი იწვევს. სამშენებლო რაიონის კლიმატურ პირობებზე დამოკიდებული უშუალოდ გაჟონვების წარმოქმნა შენობებში. ამიტომ შენობებზე ქარის და წვიმის ერთობლივი ზემოქმედების ფაქტორი უნდა გათვალისწინებულ იქნეს შენობების დანესტიანებისაგან დასაცავად.

არსებობს ირიბი წვიმების გაანგარიშების როგორც თეორიული, ისე ექსპერიმენტული მეთოდი. ირიბი წვიმების გაანგარიშების თეორიული მეთოდი მრავალწლიური ჰიდრომეტეოროლოგიური მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე მიმდინარეობს. თეორიული მეთოდი ეყრდნობა დაკვირვებების მონაცემების (ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული თხევადი ნალექების რაოდენობა, ნალექიან დღეთა რიცხვი, ნალექის ხანგრძლივობა და ქარის სიჩქარე) სტატისტიკურ დამუშავებას.

საქართველოს რთული ოროგრაფიული და კლიმატური პირობები განაპირობებს ირიბი წვიმების განაწილებათა თავისებურებებს კლიმატური ზონების მიხედვით.

აჭარის სანაპირო ზოლში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ირიბი წვიმების ინტენსივობა და თვეში მისი რაოდენობა აღწევს 200-300 მმ-ს, ამიტომ საჭიროა მიღებულ იქნეს შენობების ირიბი წვიმებისაგან დაცვის მეთოდები.

დასავლეთ საქართველოს დანარჩენი ნაწილი ირიბი წვიმების ზემოქმედების ზომიერ ზონას მიეკუთვნება. შედარებით უმნიშვნელოა ირიბი წვიმების ზემოქმედება სამხრეთ საქართველოს მთიანეთსა და აღმოსავლეთის ვაკე რაიონებში.

სპეციალიზებული კლიმატური პარამეტრები გაითვალისწინება ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების არქიტექტურული დაგეგმარებისას, შენობა-ნაგებობების დაპროექტების, კონსტრუქციების მასალების შერჩევის, გათბობის, ვენტილაციისა და ჰაერის კონდიციონირების, ასევე, წყალმომარაგების დაგეგმარების დროს.

კლიმატის ცვლილების ფონზე აუცილებელი გახდა ასეთი პარამეტრების მიხედვით გათვლილი ძველი ნორმების განახლება, მით უფრო, რომ საშუალო კლიმატური სიდიდეების მცირე ვარიაცია დაკავშირებულია ექსტრემალური პარამეტრების უფრო ინტენსიურ ცვლილებებთან. გამოვლინდა შემდეგი ტენდენციები:

ტერიტორიის ძირითად ნაწილში ჭარბობს დათბობის ტენდენცია;

უმნიშვნელო აგრილება აღინიშნება დასავლეთ და სამხრეთ საქართველოს რაიონებში;

ცვლილების ტენდენცია ნიშნავდა თბილი პერიოდის ტემპერატურული ინდექსებისთვის, ხოლო გასათბობი (ცივი) პერიოდის მახასიათებლების ცვლილება უმეტეს შემთხვევაში ტრენდებით არ დასტურდება;

ყველაზე მდგრადი დადებითი ცვლილებები აღინიშნება კონდიციონების პერიოდის გრადუს-დღეებისთვის (cddcold), ddcold მაშინ როცა გათბობის პერიოდის გრადუს-დღეების ცვლილებები (hddheat) ddheat არამდგრადი ხასიათისაა. შედეგები ადასტურებს საშუალო კლიმატური პარამეტრებით გამოვლენილ ზაფხულის დათბობის ტენდენციას.

თავი 4.

სტიქიური აბიოსფერული მოვლენები

საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენები არის ამინდის ისეთი პროცესები, რომლებიც მათი ინტენსივობით, ხანგრძლივობითა და წარმოქმნის დროით საფრთხეს უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობას (ხშირად მათ არსებობასაც კი) და ასევე შეუძლია მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენოს გარემოს და ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორს. ასეთ მოვლენებს მიეკუთვნება ძლიერი და გრიგალისებრი ქარი, ტორნადოები, შვავალი, ელჭექი, სეტყვა, ქარბუქი, თქეში წვიმა, ნისლი, მტვრიანი ქარიშხალი, ანომალური სიცხე, ლიპყინული, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ხილვადობის ცვლილება. იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველოში, ამა თუ იმ ხარისხით, თითქმის ყველა ჩამოთვლილი საშიში ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენა დაიკვირვება, მათ შესწავლას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა. კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებით, ბოლო ათწლეულების განმავლობაში, ამ კვლევებისადმი ინტერესი კიდევ უფრო გაიზარდა, ვინაიდან არ არის გამორიცხული მომავალში ამ ცვლილებების გამო არაერთი NH-ის გაძლიერება. გარდა ამისა, ზოგიერთი NH-ის გააქტიურებამ მომავალში შეიძლება ხელი შეუწყოს ისეთი საშიში ბუნებრივი პროცესების ზრდას, როგორიცაა მენყერი, ღვარცოფები, თოვლის ზვავები, წყალდიდობები და გვალვები, ნიადაგის ეროზია, ჰაერის დაბინძურება და ა.შ. მეორე მხრივ, გარკვეული ტიპის NH-ის (მაგალითად, ძლიერი ქარი, ხანგრძლივი წვიმა, თოვა) შეიძლება ასევე შემცირდეს მომავალში, ხელს უწყობს ისეთი არახელსაყრელი ბუნებრივი პროცესების ზრდას, როგორიცაა გვალვა, ჰაერის დაბინძურება და ა.შ.

ქართველმა მეცნიერებმა გამოაქვეყნეს არაერთი ნაშრომი, რომელიც მიეძღვნა ჩამოთვლილ საშიშ ჰიდრომეტეოროლოგიურ მოვლენებს. კერძოდ, ნაშრომში [260] მოცემულია საქართველოსა და კავკასიის სხვა რეგიონებში საშიში ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების მონაცემების შედარებითი ანალიზი. [3,270] განახლებული მონაცემების გამოყენებით წარმოდგენილია საქართველოს ტერიტორიაზე ბუნებრივი მეტეოროლოგიური მოვლენების დეტალური ანალიზი. [219] 12 სახის სტიქიური კატასტროფების მონაცემებზე დაყრდნობით, საქართველოს ტერიტორიაზე შედგენილ იქნა მათი საშიშროების რუკები, განხორციელდა გვალვის, ქარიშხლების, სეტყვის, ყინვების, წყალდიდობებისა და მიწისძვრების ეკონომიკური ზარალის შეფასება და ა.შ.

ნაშრომში [27] ავტორი გვანჯდის ზოგად ინფორმაციას სტიქიური უბედურებების შესახებ. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა გეოფიზიკური კატასტროფების აღწერას (მათ შორის საქართველოში), სამხედრო მიზნებისთვის მათი ხელოვნური ინიცირების შესაძლებლობას, პრევენციულ

ზომებსა და მეთოდებს, რათა შემცირდეს მათი უარყოფითი ზემოქმედება ადამიანის გარემოზე.

გრძელდება ძლიერი და გრიგალისებრი ქარის და ტორნადოების შესწავლა [87,89,100,101,142], ქარბუქი [189], წყალდიდობა [74,90], თოვლი და ზვავი [88] საქართველოში.

საქართველოში მენყრები მრავალ ნაშრომშია შესწავლილი, მათ შორის [4,118,203,217]. ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო საქართველოში მენყრული მოვლენების ნალექებთან ურთიერთობის შესწავლას [52,53], კლიმატის ზემოქმედების შედეგად მენყრული აქტივობის ცვალებადობის შეფასებას რამდენიმე ათწლეულის მანძილზე ნალექების რეჟიმის ცვლილების მიმართ [54].

2018 წელს გამოცემული მონოგრაფია [16] შეიქმნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის გეგმური პროექტის „სეტყვა-ელჭექური ვარიაციები საქართველოს ტერიტორიაზე“ და მ.ტატიშვილის სადისერტაციო ნაშრომის „კონვექციური ღრუბლის ნალექნარმოქმნის ეფექტურობა“ საფუძველზე. სტატისტიკური ანალიზის გამოყენებით შესწავლილია სეტყვა-ელჭექური პროცესების განაწილება კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე. აგრეთვე ნაშრომში ჩართულია ნალექნარმოქმნელი პროცესების მოდელირება.

მოგვხსენებათ, საქართველო მსოფლიოს ერთ-ერთ ელჭექისა და სეტყვა საშიშ რეგიონს წარმოადგენს. ზემოაღნიშნულთან დაკავშირებით, ამ პროცესების შესწავლა ყოველთვის აქტუალური იყო და მათ ექცევა მეტი ყურადღება საქართველოში ელჭექის და სეტყვის პროცესების შესწავლისა და კლიმატის დათბობის გამო. მათი ცვალებადობის შესწავლის სამუშაოების ბოლო დეტალური მიმოხილვა წარმოდგენილი იყო პუბლიკაციებში [226, 242,243,259].

საქართველოში ელჭექისა და სეტყვის შესწავლას დიდი ისტორია აქვს [https://ka.wikipedia.org/wiki/საქართველო_IV_საუკუნეში; [11,37,46,76,78, 251,267]. ამ ატმოსფერულ მოვლენებზე რეგულარული მეტეოროლოგიური დაკვირვებები ტარდებოდა 100 წელზე მეტი ხნის განმავლობაში [240,248,250,261]. ამავდროულად, ეს პროცესები ყველაზე დეტალურად იქნა შესწავლილი აღმოსავლეთ საქართველოსთვის და განსაკუთრებით კახეთის რეგიონისთვის [239,241,249,261,269].

ელჭექის უარყოფითი შედეგები ხშირად დაკავშირებულია შენობების, საინჟინრო ნაგებობების, მანქანების, სხვადასხვა ელექტროკომუნიკაციების, გაზსადენებისა და ნავთობსადენების დაზიანებასთან, ცხოველებისა და ადამიანების დაღუპვასთან და ა.შ. [16,27,171,219]. სეტყვის უარყოფითი შედეგები დაკავშირებულია სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისა და სხვა მცენარეული საფარის, შენობების, ნაგებობების, სატრანსპორტო საშუალებების მასიურ დაზიანებასთან, ზოგ შემთხვევაში ცხოველებისა და ადამიანების დაღუპვასთან და ა.შ. [27,89,219,230,233,234,235,236,268].

როგორც ადრეულ, ისე თანამედროვე კვლევებში დიდი ყურადღება ეთმობა ელქეფის და სეტყვის კლიმატოლოგიას, რასთან დაკავშირებითაც ეს მოვლენები საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ რეგიონში იქნა შესწავლილი. ამ შემთხვევაში ძირითადად გამოყენებული იყო 1990 წლამდე მეტეოროლოგიური სადგურების ვიზუალური (სეტყვის) და ვიზუალურ-სმენითი (ჭექა-ქუხილი) დაკვირვებების გრძელი მონაცემთა ბაზა ამ ფენომენების დღეების რაოდენობასა და ხანგრძლივობაზე.

ბოლო წლებში ელქეფისა და სეტყვის პროცესების შესასწავლად გამოიყენება ინსტრუმენტული მეთოდები: ელვისებური განმუხტვის ჩამწერები, რადარი და სატელიტური გაზომვები, ელქეფის ელექტრული ველის სიძლიერის ჩამწერების ქსელები და ელვის განმუხტვის დროს მათი ნახტომები და ა.შ. დაკვირვების ინსტრუმენტული მეთოდები გამოყენებული იყო ღრუბლის ქარიშხლის აქტივობის მონიტორინგისთვის (ელვის განმუხტვის მრიცხველი დუშეთში [33], ასევე ჭექა-ქუხილზე აქტიური ზემოქმედების ექსპერიმენტული ტექნიკის შემუშავებაში (რადარის გაზომვები, მინისზედა ელვისებური ჩამწერების ქსელი და ელექტრული ველის სიძლიერის ვერტიკალური კომპონენტის მრიცხველები ვახეთში [59,60,232] შესასწავლად გამოიყენებოდა კონვექციური ღრუბლების რადარული დაკვირვებები სეტყვის პროცესებზე [55,56]. გარდა ამისა, ვახეთში იყო სეტყვის და წვიმის მრიცხველების მინისპირა სადამკვირვებლო ქსელი, ასევე მოსული სეტყვის და მისი გეომეტრიული და ფიზიკური პარამეტრების (ზომა, ფორმა, სიმკვრივე) დასადგენად [256].

ქვემოთ მოცემულია ბოლო ათწლეულების განმავლობაში საქართველოში ელქეფის და სეტყვის პროცესების შესწავლის შედეგები, კლიმატის ცვლილების, აქტიური ზემოქმედებისა და ატმოსფერული დაბინძურების გავლენა ამ პროცესებზე.

4.1. ელქეფიანი და სეტყვიანი დღეების რაოდენობა წელიწადში და მათი ცვალებადობა საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში

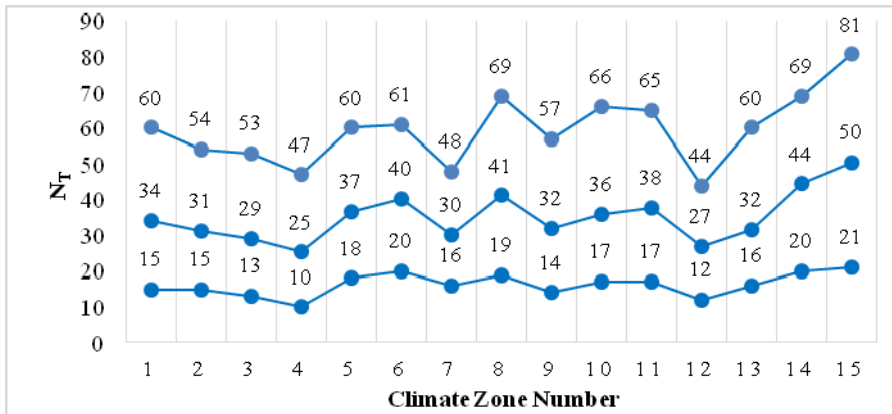
ელქეფიანი დღეების რაოდენობის სივრცითი და დროითი მახასიათებლების გასაანალიზებლად გამოყენებულ იქნა საქართველოს გარემოს დაცვის სააგენტოს მონაცემები საქართველოს 115 მეტეოროლოგიური სადგურიდან 1936-1990 წლებში და სეტყვიანი დღეების რაოდენობა (NH) 123-დან. ინფორმაცია საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში მეტეოროლოგიური სადგურების რაოდენობის შესახებ NT და NH-ის რეგისტრაციისთვის წლის თბილ ნახევარში მოცემულია ცხრილში 4.1.1.

ცხრილი 4.1.1. საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში მეტეოროლოგიური სადგურების რაოდენობა წელიწადის თბილ პერიოდში ელჭექიანი NT (1936-1990 წწ.) და სეტყვიანი NH (1941-1990 წწ.) დღეების აღრიცხვისათვის.

Table 4.1.1. The number of meteorological stations in different climatic zones of Georgia for recording lightning NT (1936-1990) and hail NH (1941-1990) days in the warm period of the year

რეგიონი, კლიმატური ზონა	ფართ. კმ ²	რაოდ. სადგ.	ფართ. სადგ., კმ ²	რაოდ. სადგრ.	ფართ. სადგ., კმ ²
I. შავი ზღვის სანაპიროს სამხრეთი ნაწილი.	900	5	180	4	225
II. შავი ზღვის სანაპიროს ჩრდილოეთი ნაწილი.	2000	8	250	9	220
III. დასავლეთ საქართველოს ვაკე ნაწილი.	10900	21	520	29	375
IV. იმერეთის ზეგანი	3700	10	370	10	370
V. ზემო ქართლისა და ქვემო ქართლის ვაკეები მთისწინეთი	7000	17	410	16	440
VI. ალაზნის ველი მთისწინეთი.	4200	7	600	5	840
VII. იორის პლატო მიმდებარე სტეპებით.	5600	4	1400	4	1400
VIII. დასავლეთ კავკასიონის პერიფერიული ნაწილი	2900	2	1450	3	970
IX შიდა კავკასიის ინტერიერი.	9900	12	825	13	760
X. აღმოსავლეთ კავკასიონის მთისწინეთი და შუა მთები	4400	2	2200	3	1470
XI. აღმოსავლეთ საქართველოს მთიანეთი	2200	4	550	4	5500
XII. კავკასიონის ჩრდილოეთ კალთები.	2500	3	835	2	1250
XIII. სამხრეთ საქართველოს მთიანეთის დასავლეთი ნაწილი	2600	4	650	4	650
XIV. მესხეთისა და თრიალეთის სამხრეთ კალთები	5500	8	690	10	650
XV. სამხრეთ საქართველოს მთიანეთის სამხრეთ ნაწილი	5700	8	715	7	815
სულ	70000	115		123	

ნახ. 4.1.1 ნარმოდგენილია მონაცემები 1936-1990 წლებში საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში ელჭექიანი დღეების საშუალო მაქსიმალური, საშუალო მინიმალური და საშუალო რაოდენობის შესახებ. [243,244].



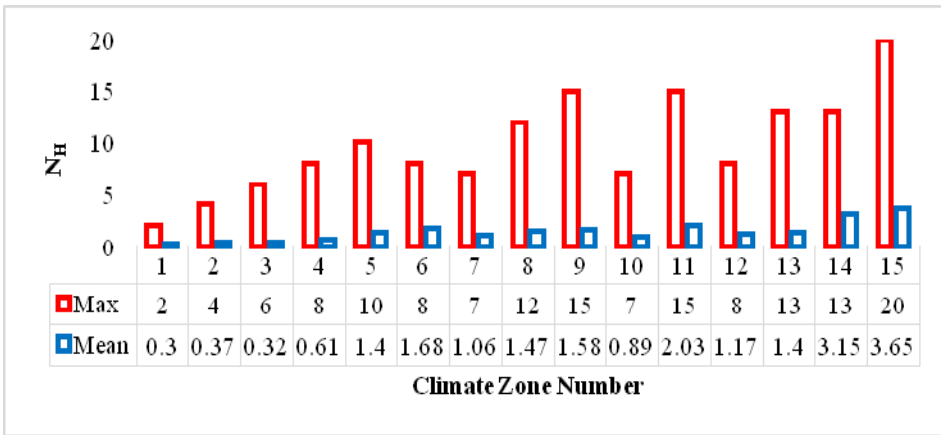
ნახ. 4.1.1. საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში 1941-1990 წლებში წელიწადის თბილ პერიოდში სეტყვიანი დღეების მაქსიმალური და საშუალო რაოდენობა.
 Fig. 4.1.1. The maximum and average number of hail days in the warm period of the year in different climatic zones of Georgia in 1941-1990.

როგორც ჩანს, ნახ. 4.1.1 ელქეციანი დღეების რაოდენობა საქართველოს კლიმატურ ზონებში საკმაოდ არაერთგვაროვანია. ელქეციანი დღეების რაოდენობის ცვლილების დიაპაზონი ასეთია: NT-ის საშუალო მაქსიმალური მნიშვნელობა მეტეოროლოგიურ სადგურზე არის 44-დან (ზონა XII) 81-მდე (ზონა XV); NT-ის საშუალო მინიმალური მნიშვნელობა არის 10-დან (ზონა IV) 21-მდე (ზონა XV); საშუალო NT მნიშვნელობა არის 25-დან (ზონა IV) 50-მდე (ზონა XV) [252].

ნახ. 4.1.2 წარმოდგენილია მონაცემები 1941-1990 წლებში საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში სეტყვიანი დღეების მაქსიმალური და საშუალო რაოდენობის შესახებ. [237,244].

ნახ. 4.1.2.-დან გამომდინარეობს, რომ ისევე, როგორც ელქეცის შემთხვევაში, NH-ის განაწილება საქართველოს კლიმატურ რეგიონებში ძალზე არაერთგვაროვანია. მაქსიმალური NH მნიშვნელობების დიაპაზონი 2-დან (ზონა I) 20-მდე (ზონა XV); XV); NH-ის საშუალო მნიშვნელობა მერყეობს 0.3-დან (I ზონა) 3.65-მდე (ზონა XV).

იშვიათი მოვლენების სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით, მეტეოროლოგიურ სადგურებზე სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობა არ განსხვავდება ერთმანეთისგან შემდეგი წყვილი კლიმატური ზონებისთვის: I-II და III; II და III; V-VI, VIII, IX, XII და XIII; VI-VIII, IX, XI და XIII; VII-X და XII; IX და XIII; X და XII; XII და XIII; XIV და XV. რაიონების დარჩენილი წყვილებისთვის, მინიმუმ 90%-იანი სანდლობით, არის განსხვავებები.



ნახ. 4.1.2. საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში 1941-1990 წლებში წელიწადის თბილ პერიოდში სეტყვიანი დღეების მაქსიმალური და საშუალო რაოდენობა.

Fig. 4.1.2. The maximum and average number of hail days in the warm period of the year in different climatic zones of Georgia in 1941-1990.

დღეების რაოდენობის ცვლილების დიაპაზონი ასეთია: NT-ის საშუალო მაქსიმალური მნიშვნელობა მეტეოროლოგიურ სადგურზე არის 44-დან (ზონა XII) 81-მდე (ზონა XY); NT-ის საშუალო მინიმალური მნიშვნელობა არის 10-დან (ზონა IY) 21-მდე (ზონა XY); საშუალო NT მნიშვნელობა არის 25-დან (ზონა IY) 50-მდე (ზონა XY).

ცხრილში 4.1.2 მოცემულია მონაცემები ელჭექიან (1936-1962, 1963-1990) და სეტყვიან (1941-1965, 1966-1990) დღეეთა რაოდენობის ცვალებადობის შესახებ საქართველოს დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილში წლის თბილი პერიოდისთვის. ასევე მისი კლიმატური ზონების მიხედვით [237,238,244,259].

ცხრილი 4.1.2.-დან გამომდინარეობს, რომ წელიწადის თბილ ნახევარში (აპრილი-ოქტომბერი) თბილი დღეების რაოდენობის ტენდენცია შეიმჩნევა საქართველოს მეტეოროლოგიური სადგურების 53%-ზე. ძირითადად გამოვლინდა ელჭექიანი დღეების რაოდენობის ზრდა. აღმოსავლეთ საქართველოში (53 მეტეოროლოგიური სადგური) სადგურების 51%-ზე შეინიშნება დღეების რაოდენობის ტენდენცია, საიდანაც 40% დადებითია. დასავლეთ საქართველოში (62 მეტეოროლოგიური სადგური) სადგურების 55%-ში ელჭექიანი დღეების რაოდენობაში ძირითადად დადებითი ტენდენცია იყო.

ცხრილი 4.1.2. ელჭექიანი დღეების რაოდენობის (1936-1962, 1963-1990) და სეტყვიან დღეთა რაოდენობის ცვლილება (1941-1965, 1966-1990) თბილი პერიოდისთვის

Table 4.1.2. Changes in the number of lightning days (1936-1962, 1963-1990) and the number of hail days (1941-1965, 1966-1990) for the warm period

რეგიონი კლიმატური ზონა	ტრენდი, %, ჭექა-ქუხილი			ტრენდი, %, სეტყვა		
	+	-	0	+	-	0
საქართველო	37	16	47	12	53	35
დასავლეთ საქართველო	36	19	45	15	51	35
აღმოსავლეთ საქართველო	40	11	49	7	57	36
I	60	0	40	0	0	100
II	38	25	37	22	33	44
III	24	10	66	17	52	31
IV	40	30	30	10	40	50
V	41	18	41	0	69	31
VI	43	0	57	0	60	40
VII	25	0	75	0	50	50
VIII	50	0	50	33	67	0
IX	75	0	25	15	62	23
X	50	0	50	0	33	67
XI	25	0	75	0	100	0
XII	0	33	67	0	0	100
XIII	0	50	50	0	50	50
XIV	37	13	50	10	70	20
XV	62	13	25	43	43	14

კლიმატური ზონების მიხედვით გამოვლინდა შემდეგი:

შავი ზღვის სანაპიროზე, სადგურების 60%-ზე, დაფიქსირდა ელჭექიანი დღეების რაოდენობის ტენდენცია;

IV და V კლიმატურ ზონებში სადგურების 60-70%-ზე დაფიქსირდა ტენდენციების არსებობა და დადებითი;

VI, XIII, IX, X და XV ზონებში დადებითი ტენდენციები დაფიქსირდა სადგურების 50-75%-ზე;

XIV ზონაში სადგურების 50%-ზე შეინიშნება ტენდენცია, ძირითადად დადებითი;

XIII ზონაში ჭექა-ქუხილით დღეების რაოდენობის შემცირება დაფიქსირდა სადგურების 50%-ით;

III, VII, XI, XII კლიმატურ ზონებში სადგურების 60-75%-ზე ელჭექიანი დღეების რაოდენობის ტენდენცია არ შეინიშნებოდა [ბერიტაშვილი და სხვ., 2004; ფიფია, 2022].

რაც შეეხება სეტყვიანი დღეების რაოდენობას, 1966-1990 წწ. 1941-1965 წლებთან შედარებით. NH-ის მნიშვნელობების უპირატესი შემცირება ზრდასთან მიმართებაში აღინიშნება, როგორც საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე, ასევე მის დასავლეთ, აღმოსავლეთ ნაწილებსა და უმეტეს კლიმატურ ზონებში (გარდა ზონებისა I, XII და XY).

ახალი მონაცემების გათვალისწინებით, 2006-2021 და 1941-1990 წლებში საქართველოს 30 მეტეოსადგურზე სეტყვიანი დღეების შედარება განხორციელდა. აღმოჩნდა, რომ მეორე პერიოდში, პირველ პერიოდთან შედარებით, 18 სადგურზე სეტყვიანი დღეების რაოდენობა შემცირდა, 10 სადგურზე არ შეცვლილა, მხოლოდ ერთ სადგურზე (ქედა) გაიზარდა [43,259]. ანუ შენარჩუნებულია NH მნიშვნელობების შემცირების ტენდენცია.

4.2 ელჭექიანი და სეტყვიანი დღეების რაოდენობის დინამიკა წლის თბილი პერიოდის განმავლობაში საქართველოს ტერიტორიაზე, 1941-1990 წლებში

ცხრილში 4.2.1 წარმოდგენილია საშუალო NT და NH მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლები მეტეოროლოგიურ სადგურზე საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში 1941-1990 წლებში.

ცხრილი 4.2.1. ელჭექიან და სეტყვიან დღეთა საშუალო რაოდენობის სტატისტიკური მახასიათებლები მეტეოროლოგიურ სადგურზე წელიწადის თბილ პერიოდში.

Table 4.2.1. Statistical characteristics of the average number of lightning and hail days at the meteorological station in the warm period of the year.

პარამეტრი	სეტყვიან დღეთა რაოდენობა			ელჭექიან დღეთა რაოდენობა		
	Geo	West Geo	East Geo	Geo	West Geo	East Geo
რეგიონი	Geo	West Geo	East Geo	Geo	West Geo	East Geo
Max	52.5	52.9	51.9	1.82	1.57	2.81
Min	23.7	20.5	25.1	0.37	0.23	0.64
Mean	34.1	32.0	37.5	1.27	0.97	1.84
St Dev	5.56	6.19	5.54	0.40	0.33	0.59
Correlation Matrix						
Geo	1	0.96	0.88	1	0.95	0.94
West Geo	0.96	1	0.72	0.95	1	0.78

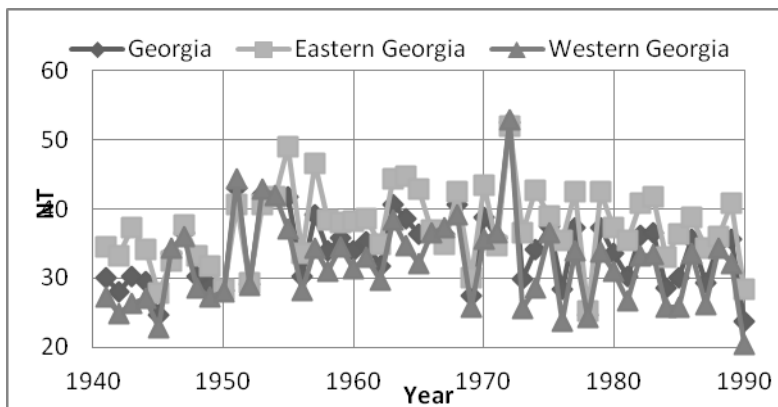
East Geo	0.88	0.72	1	0.94	0.78	1
1941-1965	34.2	32.2	37.3	1.54	1.18	2.24
1966-1990	34.1	31.7	37.6	0.99	0.76	1.44

როგორც ამ ცხრილიდან ირკვევა, მეტეოროლოგიურ სადგურზე ელჭექიან და სეტყვიან დღეების საშუალო რაოდენობა 1941-1990 წლებში შესაბამისად, საქართველოში – 34,1 და 1,27, დასავლეთ საქართველოში – 32,0 და 0,97, აღმოსავლეთ საქართველოში – 37,5 და 1,84.

[128] შესაბამისად, არსებობს ძალიან მაღალი ($R=0.96$) და მაღალი ($R=0.88$) წრფივი კორელაცია NT საშუალო მნიშვნელობებს შორის მეტეოროლოგიური სადგურისთვის საქართველოში და მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებში. შესაბამისად, დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოში NT სიდიდეებს შორის კორელაცია მაღალია ($R=0.72$).

ძალიან მაღალია კორელაცია საქართველოსა და მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონებში NH საშუალო სიდიდეებს შორის მეტეოროლოგიურ სადგურზე ($R=0.95$ და 0.94 შესაბამისად). კორელაცია NH მნიშვნელობებს შორის დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოში მაღალია ($R=0.78$).

სტიუდენტის კრიტერიუმის შესაბამისად [128] 1966-1990 წწ. 1941-1965 წლებთან შედარებით. საშუალო NT მნიშვნელობები მეტეოროლოგიურ სადგურზე საქართველოში და მის აღმოსავლეთ და დასავლეთ რეგიონებში არ შეცვლილა (ცხრილი 4.2.1, ნახ. 4.2.1), ხოლო NH მნიშვნელობები შემცირდა ყველა მითითებულ ტერიტორიაზე (ცხრილი 4.2.1, ნახ. 4.2.2

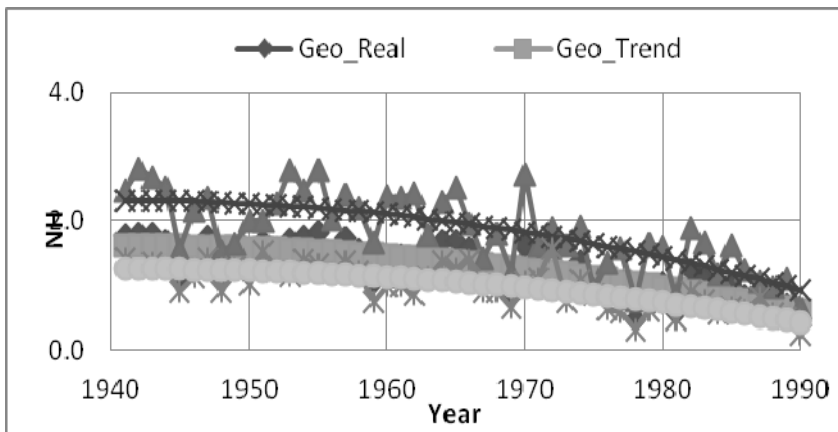


ნახ. 4.2.1. დღეების საშუალო რაოდენობის ცვალებადობა მეტეოროლოგიურ სადგურზე საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში 1941-1990 წლებში.

Fig. 4.2.1. Variation of the average number of days at the meteorological station in different regions of Georgia in 1941-1990.

აღსანიშნავია, რომ მეტეოროლოგიურ სადგურზე სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობის ტენდენციას ყველა შესწავლილი პუნქტებისათვის მეორე რიგის პოლინომის ფორმა აქვს (ნახ. 4.2.2) და აღწერილია შემდეგი განტოლებით:

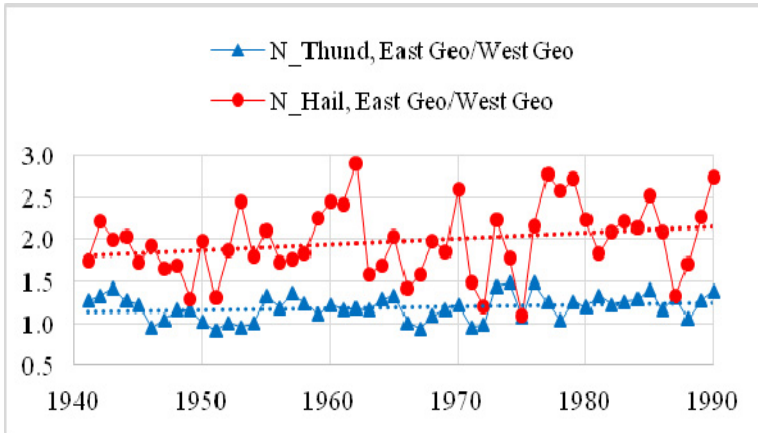
- საქართველო: $NH = - 0,00042054 X^2 + 0,0006038 X + 1,0396$, ($R^2 = 0,625$);
- აღმოსავლეთ საქართველო: $NH = - 0,0005685 X^2 + 0,0004756 X + 1,556$, ($R^2 = 0,537$);
- დასავლეთ საქართველო: $NH = - 0,0003438 \cdot X^2 + 0,00067036 \cdot X + 0,7676$, ($R^2 = 0,576$), სადაც X არის წლის რიცხვი, 1...50.



ნახ. 4.2.2. სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობის ცვალებადობა მეტეოროლოგიურ სადგურზე საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში 1941-1990 წწ.

Fig. 4.2.2. Variation of the average number of days with hail at the meteorological station in different regions of Georgia, 1941-1990

ნახ. 4.2.3 გვიჩვენებს 1941-1990 წლებში აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს მეტეოროლოგიურ სადგურზე ელჭექიან და სეტყვიან დღეების საშუალო რაოდენობის თანაფარდობის მსვლელობას ამ თანაფარდობების წრფივი რეგრესიის განტოლებებია: NT (East Geo/West Geo) = $0,0024 X - 3,63$, ($R^2 = 0,0543$); NH (East Geo/West Geo) = $0,007 X - 11,84$, ($R^2 = 0,0568$), X – წლები: 1941...1990.



ნახ. 4.2.3. 1941-1990 წლებში აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოში ელჭექიან და სეტყვიან მეტეოროლოგიურ სადგურზე დღეების საშუალო რაოდენობის შეფარდების ცვალებადობა.

Fig. 4.2.3. Changes in the average number of days with lightning and hail at a meteorological station in East and West Georgia in 1941-1990.

როგორც ნახ. 4.2.3-დან ჩანს ამ კოეფიციენტების ტენდენცია სუსტი დადებითია. გაითვალისწინეთ, რომ 1941-1965 წწ. და 1966-1990 წწ NT (East Geo/West Geo) თანაფარდობა იყო 1.17 და 1.21, შესაბამისად, და NH (East Geo/West Geo) თანაფარდობა იყო 1.94 და 2.02 (ფაქტობრივად უცვლელი).

განვიხილოთ ელჭექის და სეტყვის პროცესების ურთიერთკავშირის თავისებურებები დროის სხვადასხვა მონაკვეთში საქართველოს ტერიტორიის სხვადასხვა რეგიონში [228].

ცხრილი 4.2.2 გვიჩვენებს მონაცემებს წრფივი კორელაციისა და რეგრესიის მიმართებების შესახებ სეტყვიან დღეების საშუალო რაოდენობას მეტეოსადგურზე და ელჭექიან დღეების რაოდენობას შორის საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში წელიწადის სამ პერიოდში.

როგორც ამ ცხრილიდან ირკვევა, ყველა მითითებულ რეგიონსა და დროში ეს კავშირი დადებითია და უმეტესად მნიშვნელოვანი. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ 1971-1990 წლებში 1941 წლიდან 1960 წლამდე პერიოდთან შედარებით კორელაციის სიახლოვე NH-სა და NT-ს შორის მნიშვნელოვნად გაიზარდა. კორელაციის კოეფიციენტი შესაბამისად უდრის: დასავლეთ საქართველოსთვის 0.32 (დაბალი კორელაცია) და 0.75 (მაღალი კორელაცია), აღმოსავლეთ საქართველოსთვის – 0.50 (ზომიერი კორელაცია) და 0.70 (მაღალი კორელაცია), მთლიანად საქართველოსთვის – 0.41 (დაბალი კორელაცია). და 0.75 (მაღალი კორელაცია).

ცხრილი 4.2.2. წრფივი რეგრესიის კავშირი სეტყვიან დღეების რაოდენობასა და ელჭექიან დღეების რაოდენობას შორის საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში სხვადასხვა პერიოდში.

Table 4.2.2. Linear regression relationship between the number of hail days and the number of lightning days in different regions of Georgia in different periods.

$$N_{\text{H}} = a \cdot N_{\text{L}} + b$$

ტერიტორია	პერიოდი	R	a	b
დასავლეთი საქართველო	1941-1990	0.47	0.0256	0.15
	1941-1960	0.32	0.0105	0.862
	1971-1990	0.75	0.0322	-0.292
აღმოსავლეთი საქართველო	1941-1990	0.36	0.0383	0.407
	1941-1960	0.50	0.0361	0.921
	1971-1990	0.70	0.0494	-0.513
საქართველო	1941-1990	0.42	0.03	0.242
	1941-1960	0.41	0.018	0.948
	1971-1990	0.75	0.0374	0.333

ცხრილი 4.2.3 გვიჩვენებს ელჭექის ე.წ. წარმომქმნელი ფაქტორის J ($J=100 \text{ NH/NT}$, %) სტატისტიკურ მახასიათებლებს, საშუალოდ მეტეოროლოგიურ სადგურზე, მთლიანად საქართველოს ტერიტორიისთვის, მისი დასავლეთი და აღმოსავლეთი რეგიონისთვის. ზემოაღნიშნულ სამ პერიოდში

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, 1941 წლიდან 1990 წლამდე პერიოდში მთლიანად საქართველოს ტერიტორიისთვის ელჭექის წარმომქმნელი კოეფიციენტის საშუალო სიდიდე მეტეოროლოგიურ სადგურზე არის 3,73% და მერყეობს 1,58-დან 6,41%-მდე; დასავლეთ საქართველოსთვის J-ის საშუალო მნიშვნელობა 3,04%-ია და მერყეობს 1,15-დან 5,21%-მდე; აღმოსავლეთ საქართველოსთვის J-ის მნიშვნელობა საშუალოდ 4,94%-ს შეადგენს და 2,26-დან 8,48%-მდე მერყეობს. ყველა პერიოდისთვის J-ის მნიშვნელობები აღმოსავლეთ საქართველოში უფრო მაღალია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში (სტიუდენტის კრიტერიუმით α არ არის 0,01-ზე უარესი). დროის მეორე მონაკვეთში პირველთან შედარებით კლებულობს ელჭექის ქალაქწარმომქმნელი ფაქტორის სიდიდე 4.2.3 ცხრილში მითითებული ყველა ტერიტორიისთვის (α სტიუდენტის კრიტერიუმის მიხედვით არ არის 0.01-ზე უარესი). ამასთან, აღნიშნული კლება საქართველოს ტერიტორიაზე, მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებზე ერთნაირია, დაახლოებით 42%-ით.

ცხრილი 4.2.3. საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში სეტყვიანი და ელჭექიანი დღეების ურთიერთობის სტატისტიკური მახასიათებლები წელიწადის სხვადასხვა დროს.

Table 4.2.3. Statistical characteristics of the relationship between hail and lightning days in different regions of Georgia at different times of the year.

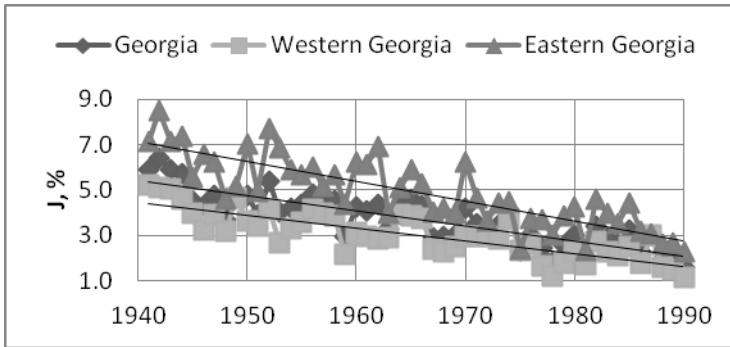
ტერიტორია	პერიოდი	საშუალო	max	min	σ	$C_v, \%$
დას. საქართველო	1941-1990	3.04	5.21	1.15	1.02	33.5
აღმ. საქართველო	1941-1990	4.94	8.48	2.26	1.55	31.3
საქართველო	1941-1990	3.73	6.41	1.58	1.15	30.9
დას. საქართველო	1941-1960	3.85	5.21	2.15	0.82	21.3
აღმ. საქართველო	1941-1960	6.2	8.48	4.38	1.09	17.6
საქართველო	1941-1960	4.69	6.41	2.95	0.84	17.9
დას. საქართველო	1971-1990	2.24	3.75	1.15	0.69	30.7
აღმ. საქართველო	1971-1990	3.55	4.69	2.26	0.81	22.7
საქართველო	1971-1990	2.72	3.97	1.58	0.66	24.8

ნახ. 4.2.4 საილუსტრაციოდ ნაჩვენებია მეტეოროლოგიური სადგურის J-ის საშუალო მნიშვნელობების დროის მსვლელობა საქართველოს ტერიტორიაზე, აგრეთვე მის აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებზე.

ნახაზი. 4.2.4 ნათლად აჩვენებს J მნიშვნელობების დროთა განმავლობაში შემცირებას. კორელაციის კოეფიციენტი J-სა და წლებს შორის ყველა მითითებული ტერიტორიისთვის არის მინიმუმ 0.81 (მაღალი კორელაცია). შესაბამისი წრფივი რეგრესიის განტოლებებია:

საქართველო: $J = -0,0677 X + 5,45$; დას. საქართველო: $J = -0,0566 X + 4,49$;

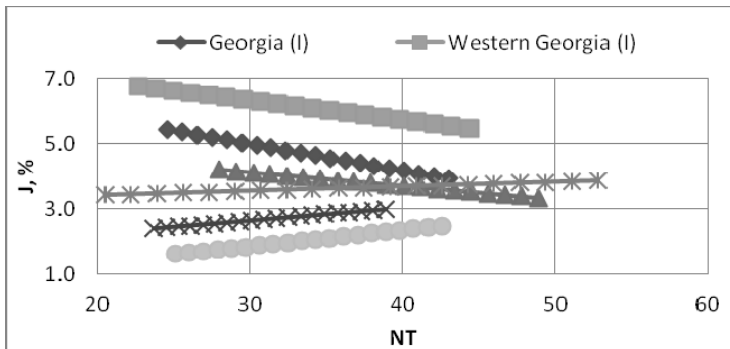
აღმ. საქართველო: $J = -0,00878 X + 7,17$ (X არის წლის რიცხვი, $0,655 \leq R^2 \leq 0,735$, $\alpha < 0,005$).



ნახ. 4.2.4. საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში სეტყვიანი და ელჭექიანი დღეების თანაფარდობის საშუალო ერთ მეტეოროლოგიურ სადგურზე 1941-1990 წწ.

Fig. 4.2.4. The average ratio of days with hail and lightning in different regions of Georgia at one meteorological station 1941-1990.

და ბოლოს, წარმოდგენილ ნახ. 4.2.5-ზე, რომელიც გვიჩვენებს 1941-1960 წლებში ელჭექის წარმომქმნელი კოეფიციენტის საშუალო სიდიდეების წრფივი დამოკიდებულების გრაფიკებს ელჭექიანი დღეების რაოდენობასთან საქართველოს ტერიტორიაზე, მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილში 1941-1960 წლებში. და 1971-1990 წწ ცხრილი 4.2.4 გვიჩვენებს ხაზოვანი რეგრესიის განტოლებების შესაბამის კოეფიციენტებს ამ მიმართებებისათვის.



ნახ. 4.2.5. წრფივი რეგრესიის განტოლებების გრაფიკები ელჭექიანი დღეების საშუალო რაოდენობას მეტეოსადგურზე და სეტყვისა და ელჭექიანი დღეების რაოდენობას შორის საქართველოს ტერიტორიაზე, აგრეთვე მის აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებს შორის 1941-1960 და 1971-1990 წლებში.

Fig. 4.2.5. Graphs of linear regression equations between the average number of lightning days at the weather station and the number of hail and lightning days in the territory of Georgia, as well as between its eastern and western parts in 1941-1960 and 1971-1990.

ცხრილი 4.2.4. წრფივი რეგრესიის განტოლებების კოეფიციენტები $J=a NT + b$ საქართველოს ტერიტორიისთვის, ასევე მისი აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებისთვის 1940-1960 და 1971-1990 წლებში.

Table 4.2.4. Coefficients of linear regression equations $J=a NT + b$ for the territory of Georgia, as well as for its eastern and western parts in 1940-1960 and 1971-1990.

წლები	პარამეტრ	საქართველო	დას. საქართველო	აღმ. საქართველო
1941-1960	a	-0.0816	-0.0593	-0.0411
	b	7.428	8.09	5.341
	R	-0.54	-0.33	-0.28
	α	0.015	0.2	0.2
1971-1990	a	0.039	0.0137	0.05
	b	1.47	3.125	0.354
	R	0.33	0.12	0.41
	α	0.2	<0.2	0.075

როგორც ჩანს ნახ. 4.2.5 და ცხრილი 4.2.4-დან, კავშირი J და NT შორის მნიშვნელოვნად შეიცვალა ამ ორ პერიოდში. თუ პირველ პერიოდში ეს ურთიერთობა იყო საპირისპირო, რაც საკმაოდ შეესაბამება ამ საკითხზე ზოგადად მიღებულ შეხედულებებს [119,255], შემდეგ დროის მეორე პერიოდში, როდესაც ატმოსფერული დაბინძურების დონე მნიშვნელოვნად გაიზარდა, კავშირი J და NT შორის დადებითი გახდა. ამასთან, აღნიშნულ პარამეტრებს შორის კორელაციის სიახლოვე 1971-1990 წლებში. აღმოსავლეთ საქართველოში უფრო მაღალი აღმოჩნდა, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში (შესაბამისად $R=0.41$ – დაბალი კორელაცია, ხოლო 0.12 – უმნიშვნელო კორელაცია), ხოლო 1941-1960 წწ. ამ ურთიერთობის სიახლოვე აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოში ერთნაირი იყო (შესაბამისად, $R = -0.28$, უმნიშვნელო კორელაცია და -0.33 , დაბალი კორელაცია) [228].

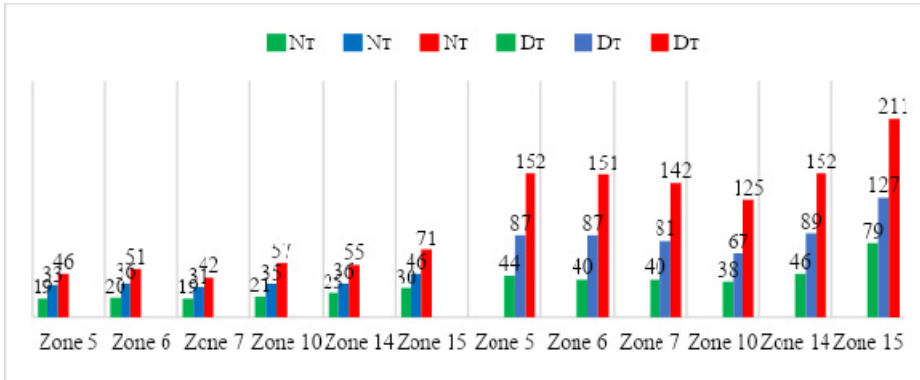
ამრიგად, იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველოს ზემოაღნიშნულ ტერიტორიებზე ელქეციანი დღეების ხანგრძლივმა ცვალებადობამ მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ განიცადა, რაც შედარებითი სტაბილურობის ნიშანია კონვექციური პროცესების წარმოქმნის დროს, შესაძლებელია ვარაუდობენ, რომ ელქეცის ფორმირების ფაქტორის უკუკავშირის დროის ცვლილების ეფექტის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზი არის ატმოსფეროს ანთროპოგენური დაბინძურების ზრდა. ამავდროულად, ელქეცის წარმომქმნელი ფაქტორის უარყოფითი ტენდენცია (ნახ. 4.2.4) შეიძლება იყოს ანთროპოგენური ატმოსფერული დაბინძურების გავლენის დამატებითი დადასტურება ქალაქის ფორმირების პროცესებზე.

4.3 ელქეჯური აქტივობა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში

ელქეჯის აქტივობა განისაზღვრება, როგორც ელქეჯიანი დღეების რაოდენობით წელიწადში, ასევე მათი ხანგრძლივობით და განმუხტვის რაოდენობით.

ნაშრომში [44] და სტატიაში [243] მოცემულია მონაცემები ელქეჯიანი დღეების რაოდენობისა და ელქეჯის ხანგრძლივობის (DT) კორელაციური კავშირის შესახებ წელიწადის თბილ ნახევარში (აპრილი-ოქტომბერი) აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონში. აღმოსავლეთ საქართველოს 35 მეტეოროლოგიური სადგურისთვის NT და DT ვიზუალურ დაკვირვების მონაცემები მოპოვებულია 1955-1974 წლებში. სადგურები განლაგებულია ექვს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში (N 5, 6, 7, 10, 14 და 15).

ნახ. 4.3.1 წარმოდგენილია სტატისტიკური ინფორმაცია ელქეჯიანი დღეების რაოდენობისა და ელქეჯის ხანგრძლივობის შესახებ აღმოსავლეთ საქართველოს 6 კლიმატურ ზონაში 1955-1974 წლებში.



ნახ. 4.3.1. დღეების რაოდენობა და ხანგრძლივობა წელიწადის თბილ ნახევარში აღმოსავლეთ საქართველოს 6 კლიმატურ ზონაში.

fig. 4.3.1. Number and duration of days in the warm half of the year in 6 climatic zones of Eastern Georgia.

დღეების მაქსიმალური რაოდენობა დაფიქსირდა ნინოწმინდის სადგურზე (85 დღე), ხოლო ელქეჯის აქტივობის მაქსიმალური ხანგრძლივობა დაფიქსირდა ახალქალაქის სადგურზე (317 საათი). დღეების მინიმალური რაოდენობა დაფიქსირდა ახმეტაში (8 დღე), ელქეჯის მინიმალური ხანგრძლივობა დაფიქსირდა დმანისში (8 საათი).

კლიმატური ზონების თვალსაზრისით, როგორც ელქეჯის დღეების რაოდენობის, ასევე ელქეჯის ხანგრძლივობის მაქსიმალური მნიშვნელობები დაფიქსირდა მე-15 ზონაში (71 დღე ჭექა-ქუხილით და მათი ხანგრძლივობაა 211 საათი), ხოლო მინიმალური მნიშვნელობები ორივე შესწავლილი პარამეტრის აღინიშნება 5-10 ზონაში (19-21 დღე ჭექა-ქუხილით და ხანგრძლივობა 38-44 საათი) [44,243].

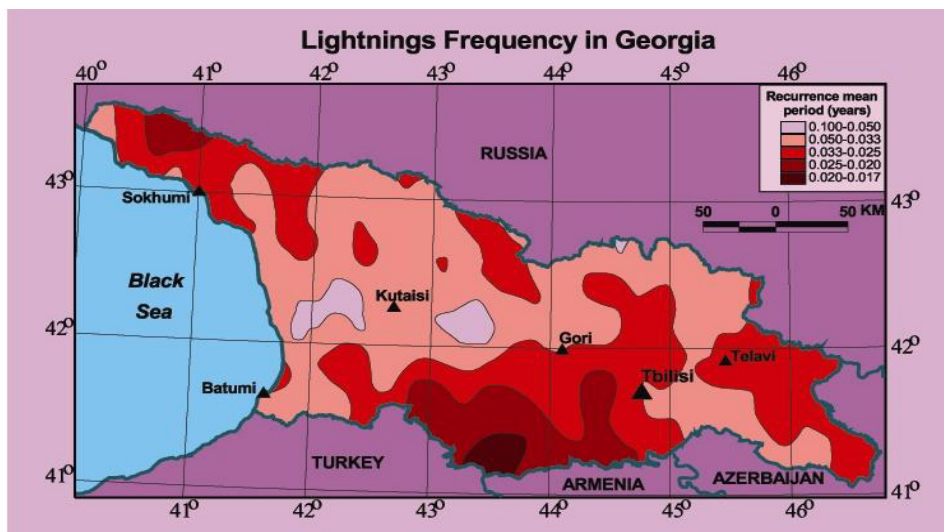
აღმოჩნდა, რომ უმეტეს სადგურებში, როგორც წრფივი, ასევე არანრფივი რეგრესიის განტოლებისთვის, მიიღება განსაზღვრის კოეფიციენტის საკმაოდ მაღალი მნიშვნელობები. შედარებით დაბალი კოეფიციენტები ხაზოვანი განტოლებისთვის მიიღეს დმანისისა და კოჭრის სადგურებზე, ხოლო სიმძლავრის განტოლებისთვის – შირაქისა და გარდაბნის სადგურებზე. ორივე განტოლების მიხედვით, დმანისის სადგურზე აღინიშნება განსაზღვრის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობები.

ინსტრუმენტული გამოძვების არარსებობის შემთხვევაში, ელვის დაცემის საშუალო წლიური რაოდენობის შეფასება დედამინის ზედაპირის 1 კმ²-ზე (დედამინაზე ელვის დაცემის კუთრი სიმკვრივე N_g) შეიძლება განხორციელდეს [IEC 61024-1, 1990] შემდეგი ფორმულის მიხედვით

$$N_g = 0.04 \cdot (N_r)^{1.25} \quad (4.3.1)$$

საქართველოს 148 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების ანალიზის შედეგად განსაზღვრულია 1891 წლიდან 2006 წლამდე ელჭექიანი დღეების რაოდენობა, ელჭექიანი დღეების საშუალო რაოდენობის მნიშვნელობები თითოეული მეტეოროლოგიური სადგურისთვის.

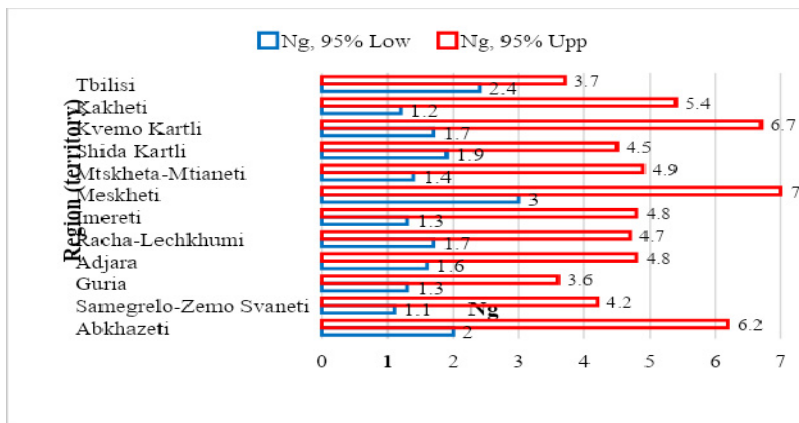
გასათვალისწინებელია, რომ ზემოაღნიშნული ფორმულა მიღებულია ვაკე ტერიტორიისათვის და მთიანი საქართველოს პირობებში იგი იძლევა N_g -ის გარკვეულწილად დაბალ მნიშვნელობებს [34]. მიუხედავად ამისა, ეს ინფორმაცია სასარგებლოა ეროვნული ეკონომიკის სხვადასხვა ობიექტის ელვისებური ზემოქმედების საფრთხის ხარისხის შესაფასებლად.



ნახ.4.3.2. მიწისპირა განმუხტვის საშუალო წლიური სიხშირის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე.

Fig. 4.3.2. Distribution of the average annual frequency of shore discharge in the territory of Georgia

ნახ. 4.3.2 გვიჩვენებს მინისპირა განმუხტვის საშუალო წლიური სიხშირის განაწილებას საქართველოს ტერიტორიაზე. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, აქტივობის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე საკმაოდ არათანაბარია..



ნახ. 4.3.3. მინისპირა განმუხტვის საშუალო წლიური რაოდენობის ზედა და ქვედა დონეები საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში.

Fig. 4.3.3. The upper and lower levels of the average annual number of landside discharges in different regions of Georgia

ნახ. 4.3.3 წარმოგიდგენთ მონაცემებს მინისპირა დაცემის საშუალო წლიური რაოდენობის 95%-იანი სანდოობის ინტერვალის ქვედა და ზედა დონის ცვლილების მდგრადების შესახებ საქართველოს სხვადასხვა რეგიონისთვის. როგორც ამ მაჩვენებლიდან ჩანს, ელვის საშიშროების ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები დაფიქსირდა აფხაზეთში, ქვემო ქართლში, კახეთსა და მესხეთში ($N_g > 5.3$).

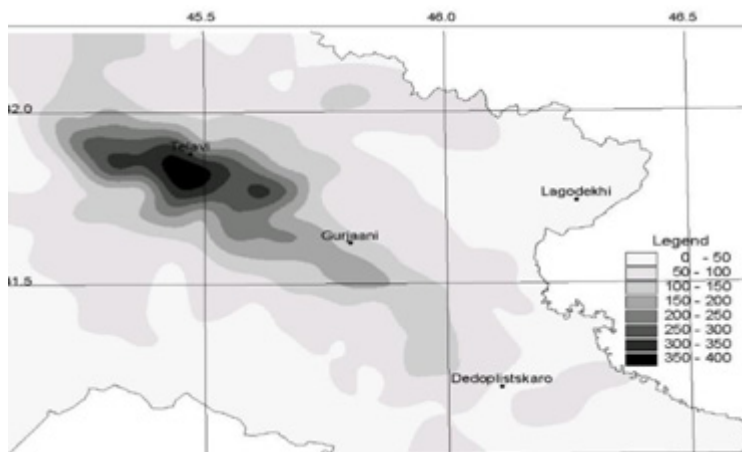
ელჭექის აქტივობის დამოკიდებულება მთლიანად ტერიტორიის სიმაღლეზე საქართველოს ტერიტორიისთვის დადებითია, მაგრამ სუსტი. წრფივი კორელაციის კოეფიციენტი R რელიეფის H და NH სიმაღლეს შორის მნიშვნელოვანია და შეადგენს 0,28-ს, სანდოობის კოეფიციენტი α არ არის 0,001-ზე ნაკლები. წრფივი რეგრესიის განტოლებას ელჭექიანი დღეების საშუალო წლიურ რაოდენობასა და ზღვის დონიდან H ფართობის სიმაღლეს შორის ურთიერთობისთვის აქვს ფორმა (H in m):

$$N_H = 0.0038 \cdot H + 31.3 \quad (4.3.2)$$

შესაბამისად, სუსტი დადებითი კორელაცია არის N_g -სა და H-ს შორის (კორელაციის კოეფიციენტი $R = 0,29$ α 0,001-ზე ნაკლები არ არის). N_g -სა და H-ს შორის ურთიერთობა აღწერილია განტოლებით

$$N_g = 0.00047 \cdot H + 2.98 \quad (4.3.3)$$

[ამირანაშვილი და სხვ., 2000], 1972-1976 წლებში კახეთის ტერიტორიაზე კონვექციური ღრუბლების მაქსიმალური სიმაღლის H მონაცემების მიხედვით, რომელიც გამოიღო რადარის გამოყენებით და N_g -სა და H2-ს შორის დადგენილი კავშირის მონაცემების მიხედვით. მათი ერთდროული გამოძვები რადარისა და ქსელის ელექტროსტატიკური ნაკადის მრიცხველების ($N_g \approx 5.2 \cdot 10^{-4} \cdot H_m^{3.27} \text{ min}^{-1}$), გამოყენებით კახეთში (1978-1984 წლებში.), ავტორებმა აღადგინეს მინაზე ელვისებური განმუხტვის რაოდენობის განაწილება 1972 წლიდან 1976 წლამდე პერიოდისთვის. (ნახ. 4.3.4)



ნახ 4.3.4. ღრუბლებიდან მინაზე ელჭექის განმუხტვის საშუალო სეზონური რაოდენობის განაწილება (25 კმ²-ზე) კახეთის ტერიტორიაზე.

Fig. 4.3.4. Distribution of average seasonal amount of lightning discharge from clouds to ground (per 25 km²) in Kakheti area

კახეთში სეზონის განმავლობაში 1 კმ²-ზე მინისპირა ელვის დაცემის მინიმალური რაოდენობაა 0,52, მაქსიმალური -15,08. თბილ სეზონში კახეთის ტერიტორიაზე საშუალოდ 1კმ²-ზე 3,6 ელჭექის განმუხტვაა. კახეთში ელჭექის აქტივობაში ძირითადი წვლილი შეაქვს ღრუბლებს მაქსიმალური რადარის ექოთი 8-დან 12 კმ-მდე (დაახლოებით 87%); განმუხტვის ნახევარზე მეტი ხდება ღრუბლებში Hm 9-დან 11 კმ-მდე.

ნიშანდობლივია, რომ კახეთის N_g მონაცემები წარმოდგენილი ნახ. 4.3.3 და 4.3.4, კარგად ეთანხმება ერთმანეთს. N_g -ის საშუალო მნიშვნელობა, ნახ. 4.3.3-ზე არის 3.6 ელჭექის განმუხტვა 1 კმ²-ზე და მოცემულია ნახ. 4.3.3 (დიაპაზონი 1.2-დან 5.6-მდე განმუხტვა 1 კმ²-ზე).

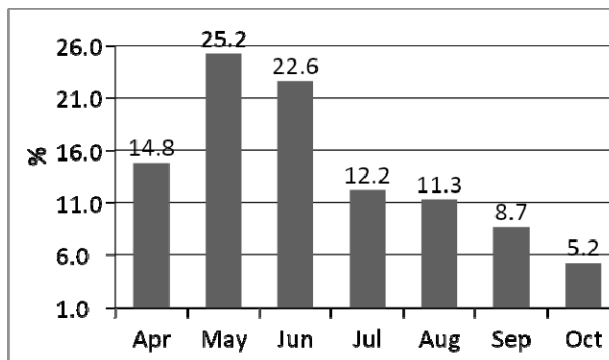
ნაშრომში [34] აღნიშნულია, რომ სამომავლოდ საჭიროა დახვეწილ იქნეს მიღებული შედეგები მინაში განმუხტვების სიმკვრივეზე, რაც კვლევის ამ ეტაპზე

წინასწარია, რადგან ეს შეფასებები არ ითვალისწინებს ელქეცის ხანგრძლივობას. ასევე, მიზანშეწონილია თანამედროვე ელვის ჩამწერი მონაცემების ინსტალაცია, რომელიც შესაძლებელს გახდის ელქეცის ვიზუალური დაკვირვების ხელმისაწვდომ გრძელვადიან მონაცემებსა და ელქეცის ელექტრულ პარამეტრებს შორის კავშირის დადგენას.

4.4. სეტყვის ინტენსივობა კახეთში

როგორც ზემოთ აღინიშნა, სეტყვა საქართველოში ყველაზე მოდის. სეტყვა განსაკუთრებით ყველაზე დიდ ზიანს აყენებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს კახეთსა და სამხრეთ საქართველოში, რის გამოც ამ რეგიონებში გასულ საუკუნეში სამუშაოები მიმდინარეობდა სეტყვის წინააღმდეგ, რომელიც შეჩერდა გასული საუკუნის ოთხმოციანი წლების ბოლოს. [28, 55, 56, 230, 231] ამირანაშვილი და სხვ., 2002, 2013; ამირანაშვილი, 2017]. ამჟამად ეს სამუშაოები აღდგენილია მაღალ ტექნიკურ დონეზე კახეთში, საქართველოს სხვა რეგიონებში შემდგომი განვითარების პერსპექტივით [28,55]. ქვემოთ მოცემულია კახეთში სეტყვის პროცესების ინტენსივობის წარსული და მიმდინარე კვლევების შედეგები.

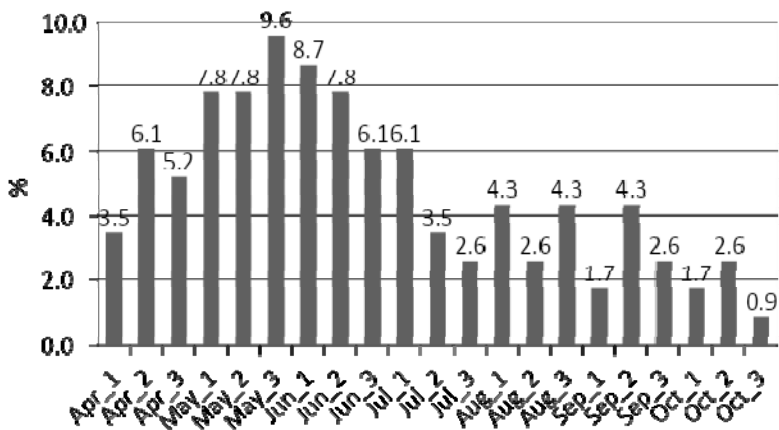
მეტეოროლოგიური სადგურების გრძელვადიანი დაკვირვებით, სეტყვა შეინიშნება კახეთში აპრილიდან ოქტომბრის ჩათვლით ყველა თვეში (სურ. 4.4.1, 4.4.2) [236,241].



ნახ. 4.4.1. სეტყვიანი დღეების ყოველთვიური განმეორადობა კახეთში

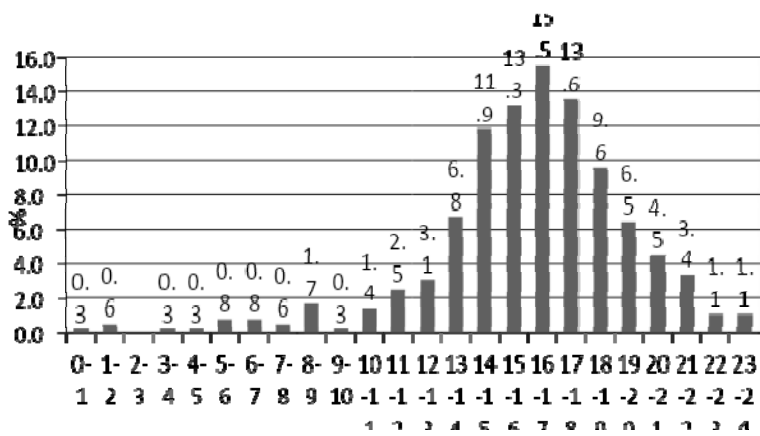
Fig. 4.4.1. Monthly recurrence of hail days in Kakheti

სეტყვიანი დღეების ყველაზე დიდი საშუალო თვიური რაოდენობა (ნახ. 4.4.1) ფიქსირდება მაისში (შემთხვევების 25%), ოდნავ ნაკლები – ივნისში (შემთხვევების დაახლოებით 23%), ყველაზე ნაკლებად – ოქტომბერში (შემთხვევების 5%).).



ნახ. 4.4.2. სეტყვიანი დღეების ათწლეულის განმეორადობა კახეთში
 Fig. 4.4.2. Repeating the decade of hail days in Kakheti

სეტყვიანი დღეების საშუალო ათდღიანი რაოდენობის მაქსიმუმი (სურ. 4.4.2) მოდის მაისის მესამე დეკადაზე (შემთხვევების 9.6%), მინიმალური – ოქტომბრის მესამე დეკადაზე (დაახლოებით 0.9% შემთხვევა).



ნახ. 4.4.3. სეტყვის განმეორება დღის გარკვეულ საათებში კახეთის რეგიონში.
 Fig. 4.4.3. Recurrence of hail at certain hours of the day in the Kakheti region.

სეტყვა კახეთში შეინიშნება პრაქტიკულად დღის ნებისმიერ დროს [236,24]. ყველაზე ხშირად სეტყვა შუადღისას, 16:00 სთ-დან 17:00 სთ-მდე მოდის (შემთხვევების 15,5%). ხშირია სეტყვის შემთხვევები საღამოს და ღამით (ნახ. 4.4.3) ნაკლებად, ხშირად – შუადღისას და დილით ადრე.

აღმოსავლეთ საქართველოში სეტყვის ხანგრძლივობის დაახლოებით 60% 5 წუთზე ნაკლებია, 80%-10 წუთზე ნაკლები. ნახევარ საათზე მეტი

ხანგრძლივობის სეტყვის განმეორება მხოლოდ 3%-ია, ხოლო საათზე მეტ ხანს სეტყვის განმეორება 1%-ზე ნაკლებია. ამ მონაცემების მიხედვით, სეტყვის საშუალო ხანგრძლივობა 9–10 წუთია. კერძოდ, ყველაზე ხანგრძლივი სეტყვა დაფიქსირდა 1982 წლის 21 მაისს ვახეთში (სიღნაღი, ანაგა, გურჯაანი, ტბაანი), როცა სეტყვა 240 წუთს გაგრძელდა და 1986 წლის 8 ივნისს სამხრეთ საქართველოს მთიანეთში (წალკა) სეტყვა გაგრძელდა 210 წუთს [235,268].

სეტყვის ინტენსივობა დიდწილად დამოკიდებულია სეტყვის ზომასა და სეტყვის ხანგრძლივობაზე. სეტყვის მარცვლების დიამეტრი მერყეობს რამდენიმე მილიმეტრიდან რამდენიმე სანტიმეტრამდე [248]. აღმოსავლეთ საქართველოში მოვარდნილი სეტყვის მაქსიმალური დიამეტრი 4–5 სმ. გ.კ. სულაქველიძეს მოჰყავს ფაქტი, რომ ჩრდილოეთ კავკასიაში 8 სმ დიამეტრის სეტყვა მოვიდა [261]. ზოგადად, კავკასიის ტერიტორიისთვის, უმეტეს შემთხვევაში ტიპური მცირე ინტენსიური სეტყვა – დაახლოებით 70%. საშუალო (20-30 მმ) და დიდი (დიამეტრის 30 მმ-ზე მეტი) სეტყვის სიხშირე 25-30%-ია. ამასთან, ჩრდილოეთ კავკასიასა და საქართველოში 30-50 მმ დიამეტრის სეტყვის სიხშირე 10%-ს აღწევს, სომხეთში კი მხოლოდ 1%-ს. საქართველოსა და ჩრდილოეთ კავკასიაში სეტყვის 4%-ში 50 მმ-ზე მეტი დიამეტრის სეტყვა მოდის სომხეთის ტერიტორიაზე და ეს წილი 1%-ს არ აღემატება [55,219,260].

რაც უფრო დიდია სეტყვა, მით უფრო ძლიერია ზემოქმედების ეფექტი, მაგალითად, 5 სმ-ზე მეტი დიამეტრის სეტყვას აქვს ძალიან ძლიერი – კატასტროფული ეფექტი. სეტყვის ზომის შემცირებით მცირდება ექსპოზიციის ეფექტი და 5 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის სეტყვას აქვს სუსტი ეფექტი. ჩამოვარდნილი სეტყვა ქმნის სეტყვის ბილიკს დედამიწის ზედაპირზე. სეტყვის ბილიკები მრავალი ავტორის მიერ არის შესწავლილი [248,261]. ვ.მ. გიგინეიშვილის [248] მიხედვით, აღმოსავლეთ საქართველოში სეტყვის ბილიკების საშუალო სიგრძე 20–30კმ-მდე მერყეობს, ხოლო საშუალო სიგანე – 5–7კმ-მდე, ამიტომ სეტყვით დაკავებული ფართობი საშუალოდ 100–200კმ²-ია. სეტყვის ბილიკების მაქსიმალური სიგრძე, ასევე ვ.მ. გიგინეიშვილის მიხედვით, არის 100კმ, ხოლო მაქსიმალური სიგანე 10 კმ. ჩრდილოეთ კავკასიაში სეტყვის ბილიკის მაქსიმალური სიგრძე დაახლოებით 400 კმ-ია [261].

ბოლო წლებში სეტყვის სიდიდის ზემოაღნიშნული მონაცემები მნიშვნელოვნად არ შეცვლილა. ამრიგად, [89] მიხედვით 2014-2018 წწ. ვახეთის ტერიტორიაზე მოვარდნილი სეტყვის ზომა მერყეობდა 8-დან 20 მმ-მდე. 2019 წლის 28 მაისს ინტენსიური სეტყვის დროს, ღრუბლებში სეტყვის მარცვლების ზომა, რადარის გაზომვების მიხედვით (ზედაპირთან მათი დიამეტრის შემდგომი გაანგარიშებით), თბილისი-რუსთავის მარშრუტზე მერყეობდა 0-დან 26,7 მმ-მდე. (საშუალო დიამეტრი – 13,5 მმ); ყვარლის მუნიციპალიტეტში – 0-დან 26,5 მმ-მდე (საშუალო დიამეტრი – 8,0 მმ); საგარეჯოს მუნიციპალიტეტში – 0-დან 35,3 მმ-მდე (საშუალო დიამეტრი – 21,6 მმ) [57,243].

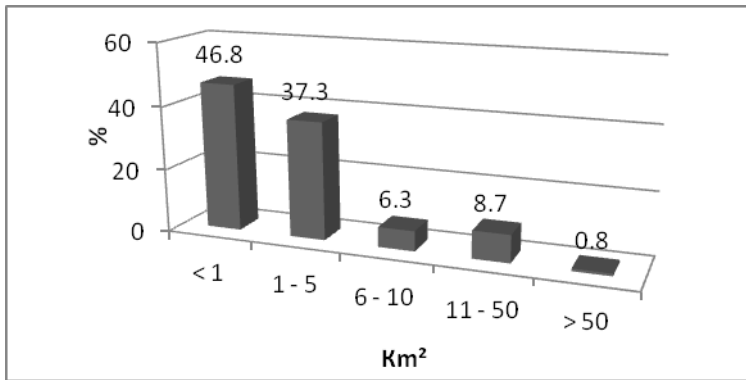
ლიტერატურული მონაცემების [219,235,236,268], ანალიზის გათვალისწინებით, შემოთავაზებულ იქნა სეტყვის ინტენსივობის სკალა სეტყვის ზომის, 100%-იანი ზარალის არეების და შესაძლო ზარალისა და დაზიანების გათვალისწინებით (ცხრილი 4.4.)

ცხრილი 4.4. ინტენსივობის მასშტაბი. 1 – სეტყვიანობის ინტენსივობა (ბალი), 2 – სეტყვის დიამეტრი (მმ), 3 – დაზიანების ფართობი 100% (ჰა), 4 – შედეგი.
Table 4.4. intensity scale. 1 – hail intensity (point), 2 – diameter of hail (mm), 3 – damage area 100% (ha), 4 – result.

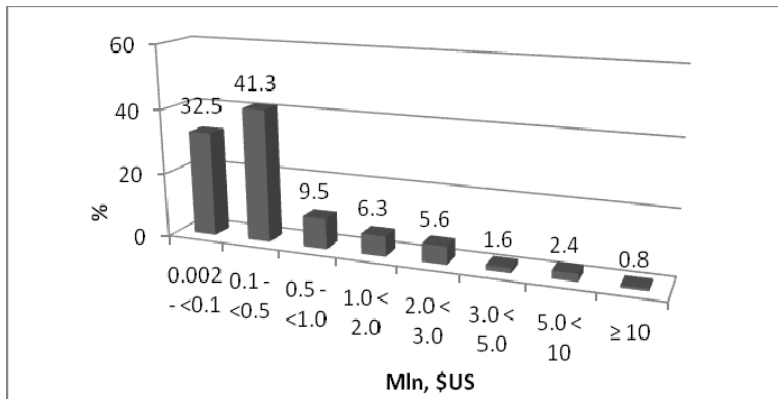
1	2	3	4
1	≤5	<100	სუსტი. ნაწილობრივ დაზიანდა ნათესები და ხეების ფოთლები.
2	6-10	100-500	ზომიერი. შესაძრევად დაზიანებულია ხეხილის ბაღები, ვენახები, სამეურნეო კულტურები და ნათესები
3	11-20	600-1000	საშუალო. დაზიანებულია სათბურები, შენობებისა და მანქანების მინები, ნაწილობრივ დაზიანებულია შენობების სახურავები, ბაღები, ვენახები და მარცვლეული კულტურები.
4	21-50	1100-5000	ძლიერი. ნათესები მთლიანად განადგურებულია, სახლების სახურავები გახვრეტილი, ფანჯრები ჩამტვრეულია, ფრინველი და წვრილფეხა პირუტყვი დახოცილია. დაზიანებულია აგურის შენობების კედლები, ჩამტვრეულია მანქანების მინები და დაზიანებულია მათი კორპუსი. არსებობს მსუბუქი თვითმფრინავის კორპუსის დაზიანების რისკი
5	>50	>5000	ძალიან ძლიერი. სრულად ნადგურდება მოსავალი, მიანდება საცხოვრებელი კორპუსები, შესაძლებელია მსხვერპლი

გასული საუკუნის სეტყვისგან მიყენებული ზარალის შეფასება სეტყვის საწინააღმდეგო სამსახურის წლებში განხორციელდა სახელმწიფო სადამღვევო ორგანოების, ადგილობრივი აგროინდუსტრიული ორგანიზაციების (RAPO-რაიონული აგროინდუსტრიული ასოციაციები), ასევე სეტყვის კონტროლის სამსახურის მიერ. როგორც წესი, ამ ორგანიზაციების მიერ განსაზღვრული ზიანის ოდენობა ერთმანეთისგან განსხვავდებოდა. ქვემოთ მოცემულია მონაცემები სეტყვის შედეგად მიყენებული ზარალის შესახებ, სეტყვით დაზიანებული ტერიტორიების კვლევის სახელმწიფო დამღვევის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე.

ნახ. 4.4.4-4.4.6 წარმოდგენილია 1982, 1984-1989 წლებში კახეთში 124 სეტყვიანი დღის ანალიზის შედეგები. 100%-ით სეტყვისგან დაზიანებული ტერიტორიების განმეორადობაზე, ეკონომიკური ზარალის განმეორება სეტყვიან დღეს, ეკონომიკური ზარალის განმეორება სეტყვით დაზარალებულ ტერიტორიებზე და სეტყვით 100%-ით დაზიანებული ტერიტორიების ცალკეული დასახლებების არეალები [236].

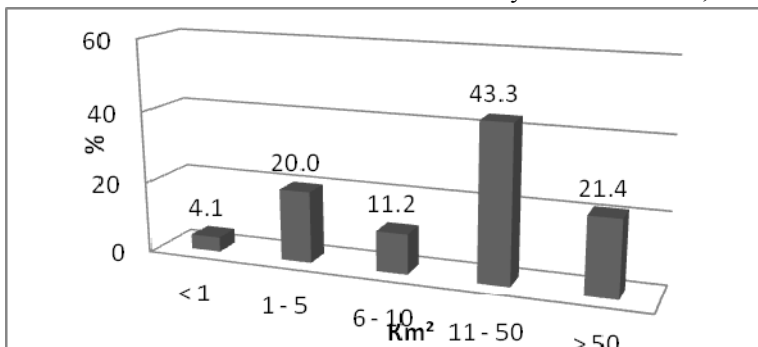


ნახ. 4.4.4. სეტყვისგან 100%-ით დაზიანებული ტერიტორიების განმეორადობა კახეთში 1982, 1984-1989 წწ. სულ – 126 დღე მყარი ნალექებით.
 Fig. 4.4.4. Recurrence of 100% hail damaged areas in Kakheta in 1982, 1984-1989. Total – 126 days with solid precipitation.



ნახ 4.4.5. ეკონომიკური ზარალის განმეორება სეტყვიან დღეს კახეთში 1982, 1984-1989 წწ.

Fig. 4.4.5. Recurrence of economic losses on a hail day in Kakheta 1982, 1984-1989.



სურ.4.4.6. სეტყვით დაზიანებული ტერიტორიების ეკონომიკური ზარალის განმეორება კახეთში 1982, 1984-1989 წწ.

Fig.4.4.6. Recurrence of economic damage by areas damaged by hail in Kakheta in 1982, 1984-1989

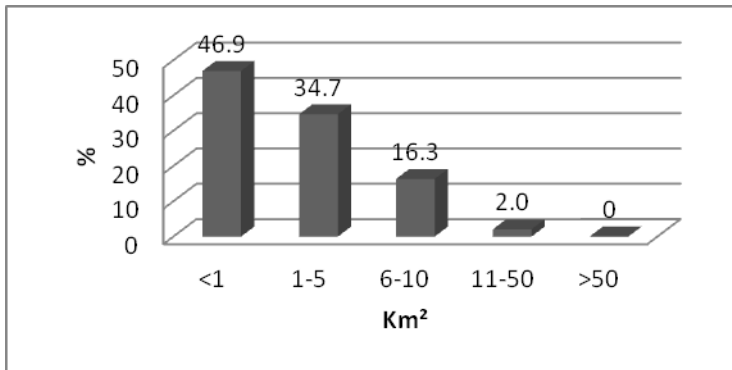
სეტყვის დროს ყველაზე ხშირად ზიანდება 1-ზე ნაკლები და ასევე 1-დან 5 კმ²-მდე ფართობის ტერიტორიები (შესაბამისად, 46,8 და 37,3% შემთხვევაში). ტერიტორიები 6-10 კმ² ფართობით ზიანდება 100%-ით 7%-ზე ნაკლებ შემთხვევაში, 11-50 კმ² – 9%-ში, 50 კმ²-ზე მეტი – 1%-ზე ნაკლებ შემთხვევაში (ნახ. 4.4.4). საშუალოდ, სეტყვიან დღეში 100%-ით დაზიანებული ფართობი იყო 4.0 კმ

ყველაზე ხშირად სეტყვის დროს ზარალი 100-500 ათას აშშ დოლარს შეადგენდა (შემთხვევების 41%-ზე ოდნავ მეტი), 100 ათას დოლარამდე ზარალი იყო შემთხვევების 32,5%-ში. სეტყვით დაზიანების შემთხვევების 9,5%-ში კულტურები დაზიანდა 0,5-დან 1 მილიონ დოლარამდე, 1,0-დან 2,0-მდე, 2,0-დან 3,0-მდე, 3,0-დან 5,0-მდე, 5,0-დან 10,0-მდე და 10 მილიონზე მეტი დოლარი, შესაბამისად 6.3, 5.6, 1.6, 2.4 და 0.8% შემთხვევაში (ნახ. 4.4.5). სეტყვის საშუალო ზარალმა დღეში 0,827 მილიონი დოლარი შეადგინა.

როგორც ჩანს ნახ. 4.4.6-დან, 4 ბალიანი ინტენსივობის სეტყვამ ყველაზე დიდი ზიანი კახეთში მოიტანა (ზარალი 100%-ით 11-50 კმ², ზიანი – მთლიანი ეკონომიკური ზარალის 43.3%). დაახლოებით იგივე ეკონომიკური ზარალი მიაყენა სეტყვამ 2 და 5-ბალიანი ინტენსივობით (შესაბამისად, ზარალის ფართობი იყო 1-5 კმ² და 50 კმ²-ზე მეტი, ზარალი 20,1 და მთლიანი ეკონომიკური ზარალის 21,4%). ყველაზე ნაკლები ეკონომიკური ზიანი მოაქვს სეტყვის 1-ბალიანი ინტენსივობას (ზარალის ფართობი იყო 1 კმ²-ზე ნაკლები, ზარალმა შეადგინა მთლიანი ეკონომიკური ზარალის 4.0%). 3-ბალიანი სეტყვის ინტენსივობის (ზარალის ზონა 6-10 კმ²) ეკონომიკური ზარალი, მთლიანი ეკონომიკური ზარალის 11,2%-ის ოდენობას უტოლდება.

ამჟამად სეტყვით დაზიანებული ტერიტორიების და მათგან მიყენებული ზარალის შეფასებას ახორციელებენ კახეთის შესაბამისი მუნიციპალიტეტების კომისიები, სეტყვის სანინაალმდეგო სამსახურის წარმომადგენლების მონაწილეობის გარეშე. ნახ. 4.4.7 გვიჩვენებს სეტყვით 100%-ით დაზიანებული ტერიტორიების სიხშირეს კახეთში 2016-2019 წლებში.

ნახ. 4.4.4 და 4.4.7-ს შედარება გვიჩვენებს შემდეგს: ერთდღიანი სეტყვის განმეორება კახეთში 100%-ით ნაკლები 1 კმ²-ით დაზიანებული ტერიტორიების 1982, 1984-1989 წლებში. და 2016-2019 წწ თითქმის იგივე (46,8 და 46,9%, შესაბამისად); გასულ საუკუნეში 1-5 კმ² დიაპაზონში დაზიანებული ტერიტორიების სიხშირე ოდნავ აღემატებოდა დღევანდელს (37,3 და 34,7%, შესაბამისად); აღნიშნული სიხშირე 6-10 კმ²-ის დიაპაზონში ადრე მნიშვნელოვნად დაბალი იყო, ვიდრე 2016-2019 წლებში. (6.3 და 16.3% შესაბამისად); დაზიანებული ტერიტორიების სიხშირე 11-50 კმ² დიაპაზონში 1982, 1984-1989 წლებში. საგრძნობლად მაღალი იყო დღევანდელთან შედარებით (8,7 და 2,0%, შესაბამისად); გასულ საუკუნეში 50 კმ²-ზე მეტი დაზიანებული ტერიტორიების სიხშირე იყო 0,8%, ამჟამად არ არის დაფიქსირებული.



ნახ 4.4.7. სეტყვით 100%-ით დაზიანებული ტერიტორიების განმეორება კახეთში 2016-2019 წლებში. სულ – 49 დღე მყარი ნალექებით
 Fig. 4.4.7. Repetition of 100% hail damage areas in Kakheti in 2016-2019. Total – 49 days with solid precipitation

გასულ საუკუნესთან შედარებით, კახეთში საგრძნობლად გაიზარდა 3-ბალიანი სეტყვა, რაც განპირობებულია სეტყვის 4-ბალიანი ინტენსივობის შემცირებით და მაქსიმალური ინტენსივობის სეტყვის არარსებობით (ცხრილი 4.4. 1). სეტყვის სანინალმდეგო საშუალების საშუალო ფიზიკური ეფექტურობა კახეთში სეტყვის სანინალმდეგო სამსახურის დაწყებამდე და 1967 წლიდან 1989 წლამდე 100%-ით დაზიანებული სასოფლო-სამეურნეო მიწის მონაცემების მიხედვით. იყო დაახლოებით 7% [სეტყვა5 და ბრძოლა, 1990]. ეს უფრო დაბალია, ვიდრე ამჟამად (~88%, ცხრილი 4.4.2). გარდა ამისა, 2016-2020 წწ საშუალოდ დღეში სეტყვის შედეგად ზარალის ფართობი 100%-ით იყო ≈ 2.7 კმ² (ცხრილი 4.4.2) 1982, 1984-1989 წლებში 4.0 კმ² შეადგინა [236].

ეს შედეგები, ჩვენი აზრით, ძირითადად დაკავშირებული უნდა იყოს სეტყვის სანინალმდეგო სამსახურის უფრო ეფექტურ მუშაობასთან სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების ოპერაციებში (სეტყვის ღრუბლების სწრაფი ჩვენება თანამედროვე რადარის გამოყენებით, სეტყვის სანინალმდეგო დანადგარების ოპერატიული დისტანციური მართვა და ა.შ.). კლიმატის დათბობამ შესაძლოა გარკვეული როლი ითამაშოს ამ ეფექტებში. კერძოდ, კახეთში 2012-2016 წწ. 1958-1961 წლებთან შედარებით, ივნისიდან ოქტომბრამდე აღინიშნა ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლე 71-442 მ დიაპაზონში (მაისში ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლე 260 მ-ით შემცირდა). გასათვალისწინებელია აგრეთვე გასულ საუკუნესთან შედარებით ანთროპოგენური აეროზოლების ქიმიური შემადგენლობის ცვლილება, რომლებსაც დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ქალაქის ფორმირების პროცესებში. ამ ფაქტორების როლის შეფასება სეტყვის პროცესების ინტენსივობის შემცირების ზოგად ტენდენციაში (მათ შორის, თანამედროვე სეტყვის სანინალმდეგო სამსახურის აქტივობა) შემდგომი კვლევის საგანია.

არსებული სეტყვის საწინააღმდეგო სამსახურის თანამედროვე სარაღარო აპარატურით აღჭურვამ შესაძლებელი გახადა სეტყვის ღრუბლების სხვადასხვა მახასიათებლის დეტალური შესწავლა. ამრიგად, [57] და მიმოხილვის სტატიაში [243], კახეთის ცალკეული მუნიციპალიტეტებისთვის სეტყვის პროცესების ისეთი პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები 2016 წლიდან 2019 წლამდე პერიოდში, როგორცაა: სეტყვის ღრუბლების მაქსიმალური სიმაღლე, ღრუბლებში სეტყვის მარცვლის მაქსიმალური დიამეტრი, სხვადასხვა კატეგორიის სეტყვის ღრუბლების რაოდენობა, სეტყვის ღრუბლების სიხშირე.

ცხრილი 4.4.3. სეტყვის სტატისტიკური მახასიათებლები ღრუბლებში და დედამიწის ზედაპირზე საშუალო მაქსიმალური დიამეტრის მიხედვით კახეთში აპრილიდან სექტემბრამდე.

Table 4.4.3. Statistical characteristics of hail in the clouds and on the Earth's surface according to the average maximum diameter in Kakheti from April to September.

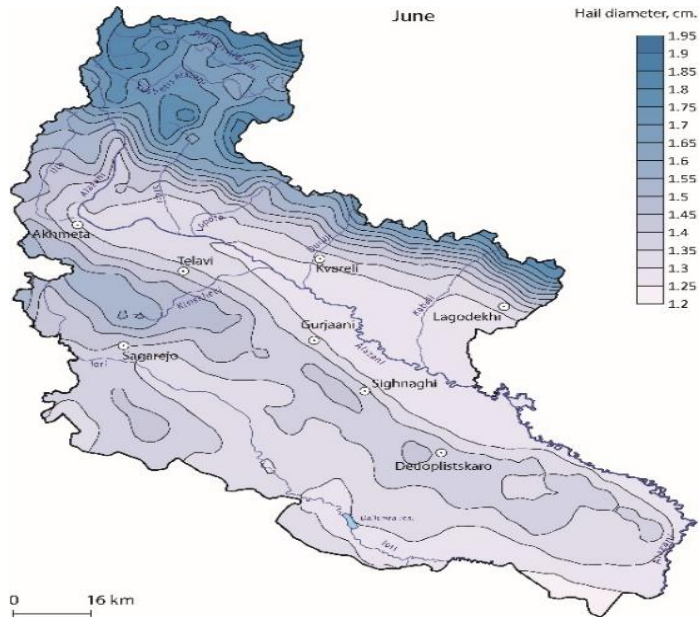
Parameter	April	May	June	July	August	September
	ღრუბლები					
99%_Low	0.91	1.53	1.79	1.73	0.70	1.49
Mean	1.17	1.69	1.97	1.97	1.27	1.79
99%_Upp	1.42	1.84	2.16	2.21	1.84	2.08
	მიწის ზედაპირი					
99%_Low	0.29	1.02	1.17	0.88	0.00	0.81
Mean	0.75	1.23	1.41	1.25	0.12	1.24
99%_Upp	1.09	1.42	1.65	1.58	1.06	1.61

როგორც 4.4.3 ცხრილიდან ირკვევა, ღრუბლებში სეტყვის მარცვლების საშუალო მაქსიმალური დიამეტრი მერყეობს 1,17 სმ-დან (აპრილი) 1,97 სმ-მდე (ივნისი, ივლისი). მიწის ზედაპირზე, საშუალოდ კახეთის ტერიტორიისთვის, D მნიშვნელობები მერყეობს 0,12 სმ-დან (აგვისტო) 1,41 სმ-მდე (ივნისი) [48,49].

ნახ. 4.4.8 და 4.4.9 საილუსტრაციოდ წარმოდგენილია დაცემული სეტყვის განაწილება საშუალო მაქსიმალური დიამეტრის მიხედვით კახეთის ტერიტორიაზე ივნისსა და აგვისტოში.

ნახ. 4.4.10 და 4.4.11 არის სეტყვის საშუალო მაქსიმალური დიამეტრის ვერტიკალური განაწილების გრაფიკები და მათი ქვედა და ზედა დონეების 99%-იანი განაწილება კახეთში ივნისსა და აგვისტოში 0.11-დან 3.84 კმ-მდე სიმაღლეზე. როგორც წინა ორ გრაფიკზე, მნიშვნელოვანი განსხვავებაა D მნიშვნელობების ვერტიკალურ განაწილებაში ივნისსა და აგვისტოშია.

ზოგადად, D მნიშვნელობები სიმაღლეების მითითებულ დიაპაზონში წლის სხვადასხვა თვეში შემდეგნაირად იცვლება [ამირანაშვილი და სხვ., 2021a].



ნახ. 4.4.10 სეტყვის საშუალო მაქსიმალური დიამეტრისა და მათი ქვედა და ზედა დონის 99%-იანი ვერტიკალური განაწილება აგვისტოში კახეთში.

Fig. 4.4.10 Vertical distribution of average maximum hail diameter and their lower and upper 99% levels in August in Kakheti.

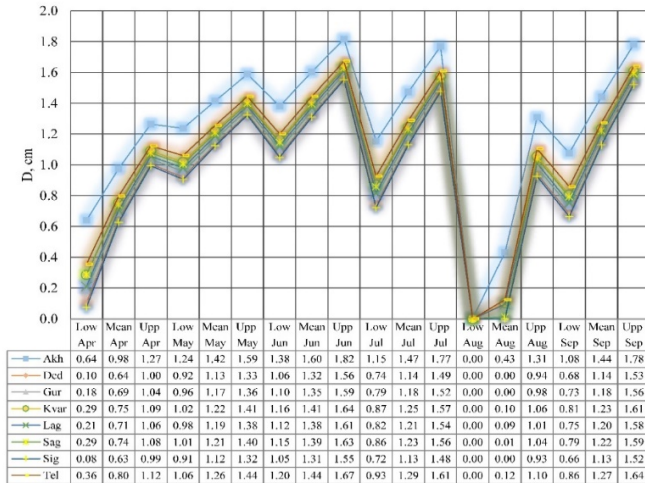
- D_{99%}_დაბალი. აპრილი: $0 \div 0,91$ სმ; მაისი: $0,82 \div 1,53$ სმ; ივნისი: $0,96 \div 1,75$ სმ; ივლისი: $0,59 \div 1,60$ სმ; აგვისტო: $0 \div 0,42$ სმ; სექტემბერი: $0,54 \div 1,49$ სმ.

- D .აპრილი: $0,52 \div 1,17$ სმ; მაისი: $1,05 \div 1,69$ სმ; ივნისი: $1,24 \div 1,94$ სმ; ივლისი: $1,04 \div 1,86$ სმ; აგვისტო: $0 \div 1,11$ სმ; სექტემბერი: $1,05 \div 1,79$ სმ.

- D_{99%}_Upp. აპრილი: $0,92 \div 1,42$ სმ; მაისი: $1,26 \div 1,84$ სმ; ივნისი: $1,49 \div 2,12$ სმ; ივლისი: $1,40 \div 2,11$ სმ; აგვისტო: $0,82 \div 1,72$ სმ; სექტემბერი: $1,46 \div 2,09$ სმ.

დაბოლოს, ნახ. 4.4.12 გვიჩვენებს სეტყვის საშუალო მაქსიმალური დიამეტრის და მათი ქვედა და ზედა დონის მიხედვით 99% -იან განაწილებას კახეთის მუნიციპალიტეტების ტერიტორიებზე აპრილიდან სექტემბრამდე [49].

ნახ. 4.4.12-დან, D-ის საშუალო მნიშვნელობები მერყეობს 0 სმ-დან (აგვისტო – დედოფლისწყაროს, გურჯაანის და სიღნაღის მუნიციპალიტეტები) 1.60 სმ-მდე (ივნისი – ახმეტის მუნიციპალიტეტი). 99% _ დაბალი D მნიშვნელობები მერყეობს 0 სმ-დან (აგვისტო – ყველა მუნიციპალიტეტი) 1,8 სმ-მდე (ივნისი, ახმეტის მუნიციპალიტეტი).



ნახ 4.4.12. სეტყვის საშუალო მაქსიმალური დიამეტრი და მათი 99%-იანი ქვედა და ზედა დონეები კახეთის მუნიციპალიტეტებში აპრილიდან სექტემბრამდე.

Fig. 4.4.12. Average maximum diameter of hail and their 99% lower and upper levels in Kakheti municipalities from April to September.

4.5 ანთროპოგენური ატმოსფერული დაბინძურების გავლენა ელჭექისა და სეტყვის პროცესების ცვალებადობაზე

ჭექა-ქუხილი, სეტყვა და კონვექციური ღრუბლების აქტივობა დამოკიდებულია ატმოსფეროსა და ღრუბლების შემდეგ პარამეტრებზე:

- ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მახასიათებლები, რომლებიც დაკავშირებულია ტერიტორიის ფიზიკურ და გეოგრაფიულ პირობებთან;
- ღრუბელში გადაციებული წყლის შემცველობა;
- ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების ზომების სპექტრი;
- ღრუბლიდან მოსული ნალექების რაოდენობა და ინტენსივობა;
- ელექტრული გამტარობა ღრუბლებში;
- ღრუბლებში ყინულის ნაწილაკების შემცველობა;
- ღრუბლის ელემენტების ქიმიური შემადგენლობა;
- ღრუბელში სხვადასხვა აეროზოლური მინარევისა და ბუნებრივი და ანთროპოგენური წარმოშობის აირების შემცველობა.

ამ პარამეტრების ცვლილების ბუნებიდან გამომდინარე, რომელთა რიგს ასევე აქვს უკუკავშირი ელჭექთან და ნალექებთან, ღრუბლის ელჭექის აქტივობა შეიძლება გაიზარდოს ან შემცირდეს.

ურბანიზაციის გავლენა ამ პარამეტრებზე შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა ფაქტორის მოქმედებით, რაც, სავარაუდოთ, სხვადასხვა ავტორის აზრით [31,35,45, 220,228,229,254,265] მოიცავს:

1. ურბანული სითბური კუნძულის არსებობა, რომელსაც აქვს ადგილობრივი გავლენა მოლრუბლეულობაზე და პრეაქტივობაზე.

2. ქვეფენილი ზედაპირის მკვეთრად გამოხატული უსწორმასწორობანი, რომელიც ასუსტებს ჰორიზონტალურ გადატანას ზედაპირულ ფენაში.

3. ატმოსფეროს დაბინძურება, რაც იწვევს ჰაერის ელექტრული გამტარობის შემცირებას და ელექტრული ველის პოტენციური გრადიენტის მატებას. ატმოსფერული დაბინძურება ასევე გავლენას ახდენს ღრუბლების მიკროფიზიკურ სტრუქტურაზე (წვეთების ზომის სპექტრი, წყლის შემცველობა, ყინულის შემცველობა).

4. ქალაქებში მაღალი შენობების ისეთი ელექტრული განმუხტვის გაჩენა, რომელიც გავლენას ახდენს ღრუბლების ელქეჟურ აქტივობაზე. ამ უკანასკნელის ცვლილებამ შეიძლება გამოიწვიოს ღრუბლების მიკროფიზიკური მახასიათებლების ცვლილება, რომელიც განსაზღვრავს სეტყვის წარმოქმნას და ზრდას.

5. გაზრდილი ელექტრომაგნიტური ფონი მრავალი ელექტრული დანადგარისაგან, რამაც შეიძლება შეცვალოს ატმოსფეროს იონიზაციის მდგომარეობა.

6. ატმოსფერული იონიზაცია ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროებიდან (რადიონუკლიდები – რადონი და სხვ., კოსმოსური გამოსხივება, ნიადაგის გამა-გამოსხივება), რომლებიც გავლენას ახდენენ ჰაერის გამტარობაზე, კონდენსაციისა და კრისტალიზაციის ბირთვების წარმოქმნაზე.

ამრიგად, 1 და 2 ეფექტები ცვლის თერმოდინამიკურ პირობებს ელქეჟის და სეტყვის ღრუბლების წარმოქმნასა და განვითარებას. 3 ეფექტი შეიძლება გამოვლინდეს რამდენიმე ასეულ კილომეტრამდე დაშორებით ძლიერი ანთროპოგენური დაბინძურების წყაროებიდან [84,245]. 4 და 5 ეფექტები გავლენას ახდენს ღრუბლებში ელექტრული გამტარობის ცვლილებაზე და, შესაბამისად, მათი ელქეჟური აქტიურობის ინტენსივობაზე. ამჟამად, ატმოსფეროს ელექტრული გამტარობის ცვლილებებით გამოწვეული ეფექტები კარგად არ არის შესწავლილი. 6 ეფექტი, როგორც აღმოჩნდა, ძალიან მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ატმოსფეროში მეორადი აეროზოლების, მათ შორის კონდენსაციის ბირთვების წარმოქმნაზე, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ ღრუბლების მიკროფიზიკური სტრუქტურის ფორმირებაზე [23,24,32,45,176].

უნდა აღინიშნოს, რომ სასოფლო-სამეურნეო ტერიტორიებზე ქიმიკატების მასიურმა გამოყენებამ ნათესების მოვლის პროცესში (მაგალითად, ბორდოს სითხე ვენახების შესხურებისთვის) შეიძლება გავლენა იქონიოს ღრუბლების ელქეჟის აქტივობაზე [257,258] თუმცა, ამ გავლენის მასშტაბი საჭიროებს შემდგომ კვლევას.

ქართველ მეცნიერთა კვლევებში შეფასებულ იქნა ანთროპოგენური (მათ შორის რადიოაქტიური) ატმოსფერული დაბინძურების გავლენა ელქეჟის და

სეტყვის პროცესების ინტენსივობაზე, ასევე ნალექების რეჟიმზე [23,24, 25,26,32,]. კერძოდ, დადგინდა, რომ კავშირი ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურებისა და ელჭექის ინტენსივობას შორის არის არანრფივი, ამ დაბინძურების ზრდამ შეიძლება გამოიწვიოს ელჭექის ინტენსივობის როგორც ზრდა, ასევე დაქვეითება.

ქვემოთ მოცემულია საქართველოში ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურებით გამოწვეული ელჭექისა და სეტყვის პროცესების ცვალებადობისა და მათი ინტენსივობის კვლევების შედეგები. ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სიღრმე (AOD) [35,36,45,262], ბეტა-რადიოაქტიური დაშლა (B) [38,247], ჰაერის ელექტროგამტარობა (AC) [228], გამოიყენება როგორც მათი მახასიათებლები.

ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სიღრმე გამოთვლილია აქტინომეტრიული გაზომვების მონაცემებით

ატმოსფეროს დაბინძურების დონე ოპტიკურად აქტიური დიაპაზონის აეროზოლებით კახეთის თავზე (ელჭექის პროცესების შესწავლის ძირითადი ტერიტორია) ოდნავ განსხვავდება თბილისის ამ დონისგან. დასავლეთ საქართველოში (ანასეული, სენაკი, სოხუმი) ჰაერის დაბინძურების დონე გაცილებით დაბალია, ვიდრე კახეთში და თბილისის მიმდებარე ტერიტორიებზე.

ჰაერის ნაკადები და ტურბულენტური შერევა ქმნის AOD ველს საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მაღალი წრფივი კორელაციით ცალკეული საზომი წერტილებისთვის, თუმცა მათ შორის საკმაოდ მნიშვნელოვანი მანძილია. უფრო მეტიც, მაღალი ხაზოვანი კორელაცია R სადგურებს შორის აღინიშნება არა მხოლოდ დაკვირვებული AOD მნიშვნელობებით (R არანაკლებ 0,71), არამედ მათი შემთხვევითი კომპონენტების მნიშვნელობებით (R მერყეობს 0,31-დან 0,70-მდე). ამრიგად, ერთი საზომი წერტილიც კი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ატმოსფერული დაბინძურების დონის შესაფასებლად ამ წერტილიდან რამდენიმე ათეული ან თუნდაც ასეული კილომეტრის მანძილზე.

დუშეთში, კერძოდ, 1966-1990 წლებში AC ზედაპირული ჰაერის ფენის ელექტრული გამტარობის ცვალებადობის ანალიზმა აჩვენა, რომ დუშეთში AC სიდიდეების კლება 1990 წელს 1966 წელთან შედარებით იყო: წლიური მონაცემებით 27,8%. წლის თბილ პერიოდზე – 34,2%, ცივ ნახევარწელს – 22,2%. დუშეთში ჰაერის გამტარობის გრძელვადიანი უარყოფითი ტენდენცია ძირითადად დაკავშირებულია თბილისში აეროზოლური ატმოსფერული დაბინძურების ანთროპოგენური კომპონენტის (AOD) ზრდასთან და პრაქტიკულად დამოუკიდებელია მისი შემთხვევითი კომპონენტისგან [228].

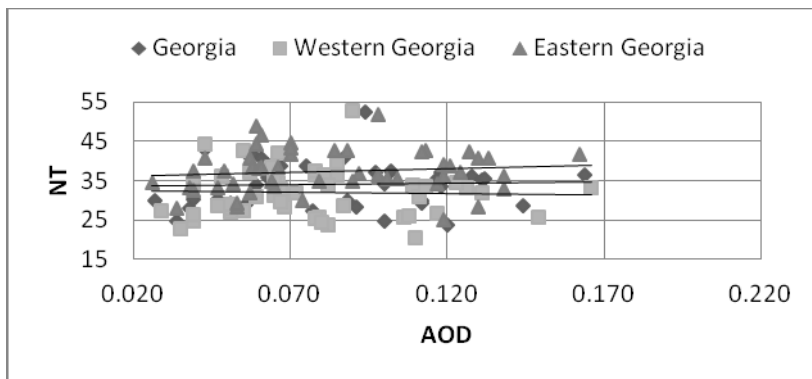
ამრიგად, AOD, B და AC დროის სერიების მნიშვნელოვანი ვარიაციები შესაძლებელს ხდის შეაფასოს მათი გავლენა ელჭექის და სეტყვის პროცესებზე არა მხოლოდ ყოველდღიურად და ყოველთვიურად, არამედ კლიმატური დროის მასშტაბით.

ცხრილი 4.5.1. ფონური, შემთხვევითი და ანთროპოგენური AOD კომპონენტების დონე (ტალღის სიგრძე 1 μm) საქართველოში ექვსი აქტინომეტრიული სადგურისთვის სამ დროს.

Table 4.5.1. Levels of background, random and anthropogenic AOD components (wavelength 1 μm) for six actinometric stations in Georgia at three times.

პერიოდი (წ)	პუნქტი	თბილისი	თელავი	ნალკა	ანასეული	სენაკი	სოხუმი	საშ.
1928-1950	ფონი	0.023	0.015	0.016	0.020	0.021	0.016	0.019
	შემთხ.	0.019	0.023	0.020	0.017	0.021	0.023	0.021
	ანთროპ.	0.004	0.003	0.001	0.003	0.002	0.002	0.003
	შემთხ.	0.046	0.041	0.038	0.040	0.044	0.042	0.042
1951-1970	ანთროპ.	0.020	0.023	0.020	0.017	0.021	0.029	0.022
	შემთხ.	0.037	0.032	0.016	0.026	0.024	0.026	0.027
	ანთროპ.	0.080	0.071	0.051	0.063	0.066	0.071	0.067
1971-1990	შემთხ.	0.032	0.042	0.028	0.032	0.025	0.031	0.032
	ანთროპ.	0.090	0.077	0.035	0.058	0.056	0.060	0.063
	სულ	0.144	0.134	0.079	0.111	0.102	0.106	0.113

ნახ.4.5.1 ასახავს ურთიერთდამოკიდებულებას NT საშუალო მნიშვნელობებს შორის მეტეოროლოგიურ სადგურზე და დაკვირვების წერტილზე AOD საშუალო მნიშვნელობებს შორის საქართველოში და მის აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებში 1941-1990 წლებში.



ნახ 4.5.1. წელწადის თბილ პერიოდში ელჭექიანი დღეების რაოდენობა ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სიღრმის სხვადასხვა მნიშვნელობაზე საქართველოში, მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებში 1941-1990 წლებში

Fig. 4.5.1. The number of days with lightning in the warm period of the year at different values of the aerosol optical depth of the atmosphere in Georgia, in its western and eastern parts in 1941-1990

როგორც ჩანს ნახ. 4.5.1-ზე, NT მნიშვნელობების ძალიან სუსტი დადებითი ხაზოვანი დამოკიდებულება AOD-ზე შეინიშნება მხოლოდ აღმოსავლეთ საქართველოში.

$$NT = 19.112 AOD + 39.875 (R^2 = 0.0139, \alpha > 0.2).$$

სრულიად განსხვავებული სურათი შეიმჩნევა სეტყვის შემთხვევაში (სურ. 4.5.2). ამ შემთხვევაში, არსებობს მნიშვნელოვანი შებრუნებული წრფივი კორელაცია NH და AOD მნიშვნელობებს შორის საქართველოს მთელი მითითებული ტერიტორიისთვის.

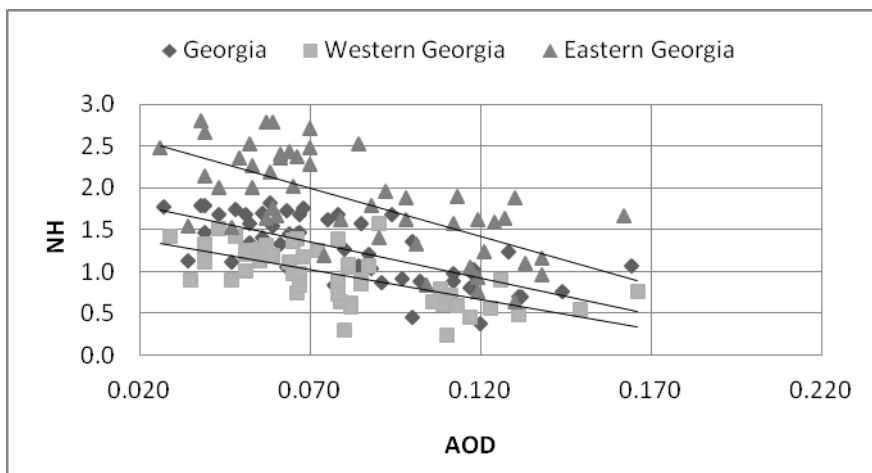
საქართველო: $NH = -8,7572 AOD + 1,97$; დას. საქართველო: $NH = -7,1145 AOD + 1,52$;

აღმ. საქართველო: $NH = -11,536 AOD + 2,80 (0,410 \leq R^2 \leq 0,490, \alpha < 0,005)$.

საქართველო: $J = -28.317 AOD + 6.01$; დას. საქართველო: $J = -23.883 AOD + 4.90$;

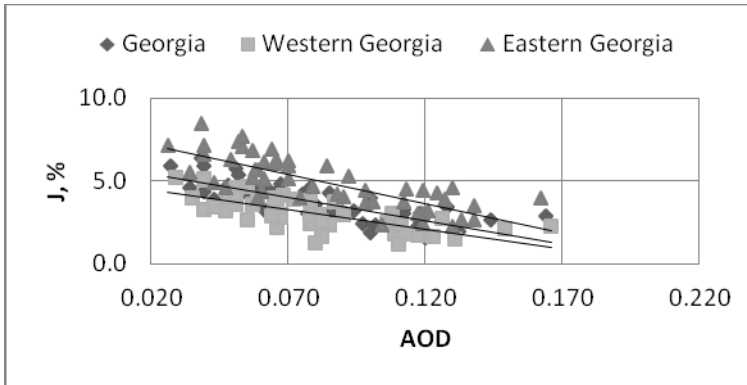
აღმ. საქართველო : $J = -35.173 \cdot AOD + 7.86 (0.504 \leq R^2 \leq 0.608, \alpha < 0.005)$.

აღსანიშნავია, რომ კორელაციური კავშირები რეალურ NH და J მონაცემებსა და AOD-ს შორის დასტურდება მნიშვნელოვანი კორელაციების არსებობით მათ შემთხვევით კომპონენტებს შორის დაკვირვებების შესაბამისი დროის სერიის მიხედვით.



ნახ. 4.5.2. კავშირი წელიწადის თბილ პერიოდში სეტყვიანი დღეების რაოდენობასა და ატმოსფეროს აეროზოლის ოპტიკურ სისქეს შორის საქართველოში, მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებში 1941-1990 წლებში.

Fig. 4.5.2. The relationship between the number of hail days in the warm period of the year and the optical thickness of the atmospheric aerosol in Georgia, its western and eastern parts in 1941-1990.



ნახ. 4.5.3. წლის თბილ პერიოდში ელჭექწარმოქმნელი ფაქტორის კავშირი ატმოსფეროს აეროზოლურ ოპტიკურ სისქესთან საქართველოში, მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებთან 1941-1990 წლებში.

Fig. 4.5.3. The relationship between the lightning factor in the warm period of the year and the aerosol optical thickness of the atmosphere in Georgia, its western and eastern parts in 1941-1990.

ამრიგად, საქართველოს პირობებში კლიმატური დროის მასშტაბით, ატმოსფეროს აეროზოლურმა დაბინძურებამ გამოიწვია კონვექციური ღრუბლების მიკროფიზიკური მახასიათებლების ისეთი ცვლილება, რამაც ხელი შეუწყო მათში ზომის სპექტრის შემცირებას და, შესაბამისად, სეტყვიანი დღეების შემცირებას.

განსაკუთრებით საინტერესოა სეტყვის პროცესებსა და ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების ურთიერთკავშირის შესწავლა კახეთის რეგიონში, სადაც 1967 წლიდან 1989 წლამდე სანარმოო სამუშაოები განხორციელდა სეტყვის წინააღმდეგ საბრძოლველად, რაკეტების დახმარებით ღრუბლებში ყინულის წარმოქმნელი რეაგენტის შეყვანით [226, 227]. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ეს სამუშაოები აღდგენილ იქნა 2015 წელს და გრძელდება დღემდე [55,56,57].

როგორც ვკვლევებმა [228,229] აჩვენა, ამ რეგიონში სეტყვის სანინააღმდეგო სამსახურის ფუნქციონირების წლებში კლიმატური დროის მასშტაბით, მათ შორის კახეთში, სეტყვიანი დღეების რაოდენობის შემცირების ფონზე. საკონტროლო ტერიტორიასთან შედარებით, მეტეოროლოგიური სადგურისთვის სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობა გარკვეულწილად გაიზარდა. საშუალო შეფასება განხორციელდა კახეთის 8 მეტეოროლოგიურ სადგურზე (ახმეტა, საგარეჯო, თელავი, გურჯაანი, ყვარელი, წნორი, ლაგოდეხი, შირაქი) და საკონტროლო ტერიტორიის 8 სადგურზე (ბაკურიანი, წიფა, საქარა, გუდაური, გორი, მუხრანი, დუშეთი, ჭავჭავაძე). სანდლობით არაუმეტეს 95% სტიუდენტის კრიტერიუმით მითითებულ ტერიტორიებზე 1970-1989 წლებში 1941-1960 წლებთან შედარებით შემცირდა სეტყვის საშუალო რაოდენობა მეტეოსადგურზე. ამასთან, კახეთში სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობის შეფარდება

საკონტროლო ზონაში სეტყვიანი დღეების რაოდენობასთან 1941-1960 წწ. შეადგენდა 71%-ს, ხოლო 1970-1989 წწ. – 96%. ანუ დაცულ ტერიტორიაზე საკონტროლო არეალთან მიმართებაში სეტყვის სანინააღმდეგო სამსახურის ფუნქციონირების წლებში სეტყვის ბარალის საშუალო რაოდენობა მეტეოსადგურზე 25%-ით გაიზარდა.

რაც შეეხება ელჭექიანი დღეების რაოდენობის (დროის პირველ პერიოდში 1941-1960 წწ.) თანაფარდობას ელჭექიანი დღეების საშუალო რაოდენობასთან კახეთის მეტეოროლოგიურ სადგურზე და საკონტროლო ზონაში ელჭექიანი დღეების რაოდენობას შორის იყო 97% დროის მეორე პერიოდში (1970-1989 წწ.) ეს თანაფარდობა პრაქტიკულად არ შეცვლილა და 100%-ს შეადგენდა.

ამრიგად, საკონტროლო მასშტაბით, დაცული ტერიტორიები და ელჭექიანი კონვექციური პროცესები დროთა განმავლობაში არ განიცდის მნიშვნელოვან ცვლილებებს. თუმცა, მიკროსკალაზე (საზომი წერტილის სიახლოვეს) ელჭექის აქტივობის ცვლილება ჰაერის დაბინძურების გავლენის ქვეშ შეიძლება იყოს მნიშვნელოვანი.

კერძოდ, [25,26,58,228,229] შეისწავლეს ატმოსფერული აეროზოლის დაბინძურების პარამეტრების (AOD, B, AC) გავლენა ელჭექის პროცესების ისეთ მახასიათებლებზე, როგორცაა ელვის განმუხტვის რაოდენობა N და მათი ინტენსივობა F, ელჭექიანი დღის ხანგრძლივობა TD, ღრუბლების მაქსიმალური რადარის არეკვლის მულტიპლიკატორის ლოგარითმი LgZ_m , ელვის საშიშროების რადარის პარამეტრი Rt. ელჭექის პროცესების ინტენსივობასა და ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების ურთიერთკავშირის ემპირიული მოდელები მიღებულ იქნა დანყვილებული და მრავალჯერადი წრფივი და არაწრფივი კორელაციისა და რეგრესიის მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე.

- კავშირი დუშეთში ელვისებური განმუხტვის რაოდენობასა და თბილისში AOD-ს შორის აღწერილია მეორე ხარისხის პოლინომით. როდესაც AOD იზრდება 0.12-დან 0.17-მდე, გამონადენის რაოდენობა მცირდება დაახლოებით 6000-დან 2800-მდე. შემდეგ, როდესაც AOD იზრდება 0.17-დან 0.21-მდე, სეზონზე გამონადენის რაოდენობა იზრდება 4000-მდე.

- კავშირი ელჭექის განმუხტვის რაოდენობასა და ჰაერის ელექტროგამტარობას შორის ასევე აღწერილია მეორე ხარისხის პოლინომით. ამ შემთხვევაში, როდესაც AC იცვლება $31 \cdot 10^{-15} / \text{ohm} \cdot \text{m}$ -დან $40 \cdot 10^{-15} / \text{ohm} \cdot \text{m}$ -მდე, გამონადენის რაოდენობა ოდნავ იცვლება. AC-ის შემდგომი ზრდა $48 \cdot 10^{-15} / \text{ohm} \cdot \text{m}$ იწვევს გამონადენის რაოდენობის ზრდას დაახლოებით 2000-დან 8000-მდე სეზონზე.

- ელჭექის განმუხტვის რაოდენობასა და B-ს შორის კავშირს აქვს მესამე ხარისხის პოლინომის ფორმა. $B \leq 3.0 \text{ Bq/m}^2$ დღეში, განმუხტვის რაოდენობის ცვალებადობა დიდია და მათი კავშირი B-სთან შეუძლებელია. თუმცა, B-ს

შემდგომ მატებასთან ერთად, ასევე აღინიშნება განმუხტვის რაოდენობის ზრდა. ამრიგად, დუშეთში ელვისებური განმუხტვის რაოდენობა იზრდება 2000-დან 8000-მდე, B-ს მატებით 6-დან 15 Bq/m² დღეში.

- კავშირი დუშეთში ელქეცის განმუხტვის ინტენსივობასა და თბილისში AOD-ს შორის აღწერილია მეოთხე ხარისხის პოლინომით. AOD-ის ზრდით 0,11-დან 0,125-მდე, ელვისებური განმუხტვის ინტენსივობა მცირდება 115 განმუხტვიდან საათში 40 განმუხტვამდე/სთ. შემდეგ, როდესაც AOD იცვლება 0,125-დან 0,185-მდე, ელვისებური განმუხტვის ინტენსივობა ოდნავ იცვლება. AOD-ის შემდგომი ზრდით 0,85-დან 0,195-მდე, განმუხტვის ინტენსივობა იზრდება 30-40 განმუხტვიდან საათში 70 განმუხტვამდე/საათში.

- კავშირი ელქეცის განმუხტვის ინტენსივობასა და B-ს შორის აღწერილია მესამე ხარისხის პოლინომით. ამ შემთხვევაში, როდესაც B იცვლება 1,5-დან 10 Bq/m² დღეში, განმუხტვის ინტენსივობა ოდნავ იცვლება. B-ის შემდგომი ზრდით 20 Bq/m² დღეში, ელვისებური განმუხტვის ინტენსივობა იზრდება დაახლოებით 60-დან 100 განმუხტვამდე საათში. ბეტა-რადიოაქტიური ფონის შემდგომი მატება 26 Bq/m² დღეში დაკავშირებულია ელვისებური განმუხტვის ინტენსივობის შემცირებასთან 100-დან 50 განმუხტვამდე/სთ.

- კავშირი დუშეთში ელქეციანი დღის ხანგრძლივობასა და თბილისში AOD-ს შორის ყოველთვიური დაკვირვების მიხედვით (1971-1973 წწ.) აღწერილია მეორე ხარისხის პოლინომით. AOD-ის ზრდით 0.11-დან 0.150-0.160-მდე, TD მნიშვნელობა მცირდება დაახლოებით 170 ნთ-დან. 115 ნუთამდე. AOD-ის შემდგომი ზრდა 0.160-დან 0.195-მდე დაკავშირებულია ელქეციანი დღის ხანგრძლივობის ზრდასთან 115 ნუთიდან. 140 ნუთამდე.

- ელქეცის დღის ხანგრძლივობასა და B-ს შორის კავშირი აქვს მესამე ხარისხის პოლინომის ფორმას. B-ის ზრდით 1,5-დან 10 Bq/m² დღეში, TD-ის მნიშვნელობა იზრდება დაახლოებით 90 ნუთიდან. 140 ნუთამდე. B მნიშვნელობების დიაპაზონში 10-დან 20 Bq/m² დღეში, ელქეციანი დღის ხანგრძლივობა ოდნავ იცვლება. B-ის შემდგომი ზრდა 26 Bq/m² დღეში დაკავშირებულია TD-ის მატებასთან 180 ნთ-მდე.

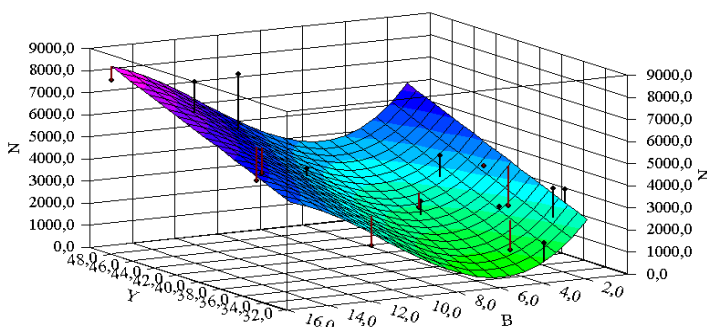
- LgZm-ის კავშირი AOD-თან თელავში აღწერილია მესამე ხარისხის პოლინომით. როდესაც AOD იზრდება 0.090-დან 0.180-მდე, LgZm მცირდება დაახლოებით 2.7-დან 2-მდე. შემდეგ, როდესაც AOD იზრდება 0.180-დან 0.230-მდე, LgZm იზრდება 2-დან 2.6-მდე.

- რადარის ელვის საშიშროების პარამეტრსა და AOD-ს შორის კავშირი მსგავსია LgZm-სა და AOD-ს შორის კავშირის. თავდაპირველად, როდესაც AOD იზრდება 0,090-დან 0,170-მდე, Rt-ის მნიშვნელობა მცირდება დაახლოებით 16-დან 10-მდე. შემდეგ, როდესაც AOD იზრდება 0,170-დან 0,230-მდე, Rt-ის მნიშვნელობა ოდნავ იზრდება 10-დან 12-მდე.

- LgZm-სა და B-ს შორის კავშირი აქვს მესამე ხარისხის პოლინომის ფორმა. ამ შემთხვევაში, როდესაც B იცვლება 1-დან 10 Bq/m² დღეში, LgZm-ის მნიშვნელობა ოდნავ მცირდება დაახლოებით 2.4-დან 2.2-მდე. B-ის შემდგომი ზრდით 16 Bq/m² დღეში, LgZm-ის მნიშვნელობა იზრდება დაახლოებით 2.2-დან 3.0-მდე.

- ელჭექის საფრთხის რადარის პარამეტრსა და B-ს შორის ურთიერთობის ბუნება წინა შემთხვევის მსგავსია და ასევე აქვს მესამე ხარისხის პოლინომის ფორმა. ამ შემთხვევაში, როდესაც B იცვლება 1-დან 6 Bq/m² დღეში, Rt-ის მნიშვნელობა ოდნავ მცირდება დაახლოებით 13-დან 11-მდე. B-ის შემდგომი ზრდით 16 Bq/m² დღეში, Rt-ის მნიშვნელობა იზრდება დაახლოებით 11-დან- 14.5 მდე.

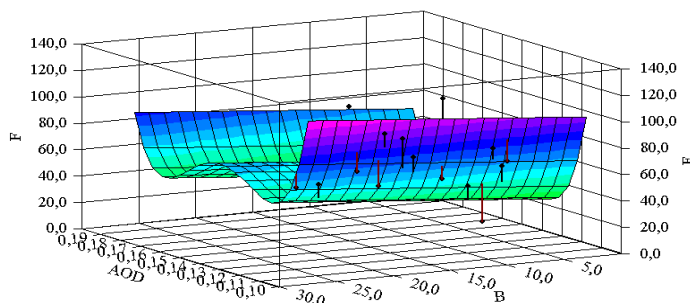
მაგალითად, ნახ. 4.5.4 და 4.5.5-ზე წარმოდგენილია AOD, AC და B ელვისებური განმუხტვის რაოდენობის და ინტენსივობის ორგანზომილებიანი არაწრფივი დამოკიდებულების მოდელები.



ნახ.4.5.4. სეზონური საშუალოების N-ის კავშირი AC და B-თან.

Fig. 4.5.4. Relationship of seasonal averages N to AC and B.

$$N = 216,14 \cdot AC - 1795 \cdot B + 216,66 \cdot B^2 - 6,514 \cdot B^3 - 2382,1 \quad (R^2 = 0,71, \alpha = 0,01)$$



ნახ.4.5.5. F თვიური საშუალოების კავშირი AOD-თან და B-თან.

Fig. 4.5.5. Relationship of F monthly averages with AOD and B

$$F = -545194 \cdot AOD + 5401943 \cdot AOD^2 - 23546662 \cdot AOD^3 + 38096766 \cdot AOD^4 + 0.7065 \cdot B + 20451, (R^2 = 0.60, \alpha = 0.01)$$

ამრიგად, ზოგადად, ეს ურთიერთობები საკმაოდ რთულია. ატმოსფეროს დაბინძურებამ, მისი ბუნებისა და დონის მიხედვით, შეიძლება გამოიწვიოს ელქეცის პროცესების ინტენსივობის როგორც მატება, ასევე დაქვეითება.

1978-1983 წლებში საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, სსრკ მთავარი გეოფიზიკური ობსერვატორია, ა.ი. ვოიკოვმა (GGO) და ლენინგრადის ჰიდრომეტეოროლოგიურმა ინსტიტუტმა (LHMI) წამოიწიეს ფართო სავსე კვლევები ალაზნის ველზე და ჩაატარეს ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტები ელქეცის ინტეგრირებული შესწავლისა და მათზე ხელოვნურად ზემოქმედების საშუალებებისა და მეთოდების შემუშავებაზე. მიღებულია, რომ:

- ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია ღრუბლების ელექტრული აქტივობის რეგულირება კრისტალიზებული რეაგენტებით და ყველაზე ეფექტურია კუმულონიმბუს ღრუბლების განვითარების სანყის ეტაპებზე;

- ღრუბლის განვითარების სანყის ეტაპებზე გარკვეულ კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ნაკლები დოზებით განხორციელებულმა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს ელქეცის აქტივობის ზრდა, ხოლო კრიტიკულზე მეტი დოზებით განხორციელებულმა ზემოქმედებამ გამოიწვიოს მოკლევადიანი ზრდა, ელექტრიზებაში, რომელსაც შემდგომ თან ახლავს ელქეცის აქტივობის შესუსტება ან მნიშვნელოვანი შემცირება [59,60,232].

ამ პერიოდში დაახლოებით 120 ღრუბელი იქნა შესწავლილი. აქედან გაანალიზდა 106 ღრუბლის მონაცემები, საიდანაც 18 იყო ბუნებრივი და 88 დაზარალებული.

ზემოქმედების ეფექტის შესაფასებლად როგორც ღრუბლების ელექტრული მდგომარეობის ინსტრუმენტული გაზომვების, ისე რადარის პარამეტრების მონაცემები, რომლებიც მჭიდრო კავშირშია ღრუბლების ელქეცის აქტივობასთან (ღრუბლების ელქეცის რისკის რადარის პარამეტრი R_t და მაქსიმალური სიმაღლე ღრუბლის რადიოეფო H) გამოიყენეს. ზემოქმედების შედეგი დადებითად იქნა მიჩნეული, თუ დაუცველი ღრუბლის სიცოცხლის ხანგრძლივობა $R_t \geq 8$ და $H \geq 8$ კმ იყო 60 წთ-ზე ნაკლები, რაც არის ბუნებრივად განვითარებადი ელქეცის საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობა საკვლევ ტერიტორიაზე.

შესწავლილი ღრუბლების მაქსიმალური სიმაღლე მერყეობდა 6,1-დან 12,8 კმ-მდე; ელქეცის კოეფიციენტების მაქსიმალური მნიშვნელობები მერყეობდა 5-დან 34-მდე. ღრუბლებზე დაკვირვების დრო 7-დან 152 წუთამდე მერყეობდა; ექსპოზიციის ხანგრძლივობა სხვადასხვა ექსპერიმენტში მერყეობდა 1-დან 105 წუთამდე; ღრუბლებში შეყვანილი სეტყვის სანინააღმდეგო რაკეტების რაოდენობა „ალაზანი“ – 6-დან 360-მდე.

ზემოქმედების დადებითი ეფექტი მიღწეული იყო შემთხვევების 53%-ში.

შემთხვევათა დაახლოებით 22%-ში ეფექტი უარყოფითი იყო – ელჭექის ხანგრძლივობა 60 წუთზე მეტი იყო. შემთხვევათა 25%-ში შედეგი გაურკვეველი იყო.

დადგინდა, რომ ღრუბლების ელჭექის აქტივობის მნიშვნელოვანი შესუსტებისთვის $10 < H < 12,8$ კმ დიაპაზონში, საშუალოდ, საჭიროა ღრუბელში შესვლა მინიმუმ 20 წუთის განმავლობაში. ალაზნის რაკეტები ინტენსივობით მინიმუმ 4 რაკეტა/წთ. ღრუბლების ელჭექის აქტივობის საგრძნობლად ჩასახშობად $8 < H < 10$ კმ სიგრძით, საკმარისია, საშუალოდ, ღრუბელში შევიტანოთ მინიმუმ 2 რაკეტა/წთ. მინიმუმ 13 წუთის განმავლობაში.

ღრუბლებში დაბალი ინტენსივობის რეაგენტის შეყვანა, სავარაუდოდ, იწვევს არაჰომოგენურობის ზონების გაჩენას ალაზნის რაკეტების ფრენის ბილიკებიდან ყინულის წარმოქმნელი ბირთვების გაფანტვის ხასიათის გამო, რაც იწვევს სიცოცხლის ხანგრძლივობის ზრდას. ჭექა-ქუხილი [59,60,232].

სამუშაოებში [228,229] შესწავლილი იყო ვახეთში სეტყვის პროცესების ზოგიერთი პარამეტრის ცვალებადობა ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების გავლენის ქვეშ სეტყვის სანინააღმდეგო სამსახურის მუშაობის წლებში 1967 წლიდან 1984 წლამდე პერიოდში.

კერძოდ, დადგინდა, რომ ბეტა-რადიოაქტიური დანალექის დაბალ დონეზე და ატმოსფეროს აეროზოლის ოპტიკური სიღრმის მაღალი მნიშვნელობებით ($B < 3$ Bq/m² დღე, AOD = 0.179), ბეტა-რადიოაქტიურის მაღალ დონესთან შედარებით. ატმოსფეროს აეროზოლური ოპტიკური სიღრმის ფონი და დაბალი მნიშვნელობები ($B > 3$ Bq/m² დღე, AOD = 0,129) დაფიქსირდა ვახეთში სეტყვის აქტიურობის მითითებული მახასიათებლების შემდეგი ცვალებადობა: დაზიანებული ღრუბლების რაოდენობის ზრდა. 25%-ით, სეტყვის შემთხვევების მოსალოდნელი რაოდენობის ზრდა 16%-ით, სეტყვის ფაქტობრივი რაოდენობის ზრდა 58%-ით, ზემოქმედების ქვეშ მყოფი დაცული ტერიტორიის წილის 100%-ით 25%-ით, კლება. ზემოქმედების ეფექტურობა 5%-ით. ამრიგად, როგორც ელჭექის აქტივობის შემთხვევაში, ასევე შეიძლება გამოიკვეთოს ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების გავლენა ღრუბლების სეტყვის აქტივობის პარამეტრებზე

მნიშვნელოვანია, რომ ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების მოქმედების მექანიზმი ლოკალურია (ვახეთი) და იგივე სხვა რეგიონშიც შეინიშნება (ჩრდილოეთ ვავკასია) [227,228]. ასე რომ, 1968-1988 წლების მონაცემებით საშუალოდ ვახეთში, AOD-ის 0.075-დან 0.225-მდე მატებასთან ერთად, ეფექტურობა 86-68%-მდე შემცირდა. ჩრდილოეთ ვავკასიაში ატმოსფერული სიმღვრივის ფაქტორის (ასევე ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების მაჩვენებელი) 2.2-დან 3.26- უფრო მაღალი იყო სამუშაოების ეფექტიანობის 88-დან 49%-მდე ზომასთან ერთად. ამავდროულად, ასევე არსებობს განსხვავება ატმოსფეროს აეროზოლურ ეფექტებში [227].

მაგალითად, ცხრილი 4.5.2 გვიჩვენებს საშუალო ზომებს სეტყვის დაცული ტერიტორიის გარეთ 1964-1966 რამდენიმე დღეში და შაბათ-კვირას დაცულ ტერიტორიებზე [228,229]. ცხრილი 4.5.2. კახეთის რეგიონში დაცული ტერიტორიის მიღმა ჩამოსული მყარი ნალექების სტატისტიკური მახასიათებლები სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას 1964-1966 წლების თბილი ნახევარი წლის განმავლობაში.

ცხრილი 4.5.2. კახეთის რეგიონში დაცული ტერიტორიის მიღმა ჩამოსული მყარი ნალექების სტატისტიკური მახასიათებლები სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას 1964-1966 წლების თბილი ნახევარი წლის განმავლობაში.

Table 4.5.2. Statistical characteristics of solid precipitation falling outside the protected area in the Kakheti region on weekdays and weekends during the warm half-year of 1964-1966.

პარამეტრი	Mean	Min	Max	St Dev	Count
ყველა შემთხვევა	2	0.05	18.4	2.86	216
სამუშაო დღეები	2.28	0.05	18.4	3.14	166
შაბათ-კვირა	1.04	0.05	6	1.24	50

ცხრილი 4.5.3 წარმოადგენს მონაცემებს კახეთის რეგიონში სეტყვის მარალის ინტენსივობის შესახებ დაცულ ტერიტორიაზე სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას 1984-1989 წლის თბილ ნახევარში [228,229].

ცხრილი 4.5.3. კახეთის რეგიონში სეტყვის ინტენსივობის სტატისტიკური მახასიათებლები დაცულ ტერიტორიაზე სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას 1984-1989 წლის თბილ ნახევარში.

Table 4.5.3. Statistical characteristics of hail intensity in the Kakheti region in the protected area on weekdays and weekends in the warm half of 1984-1989.

პარამეტრი	Mean	Min	Max	St Dev	Count
სამუშაო დღეებში სეტყვის მიერ 100% დაზიანებული ფართობი (ჰა)	160.6	2.5	817	199.4	30
შაბათ-კვირას სეტყვის მიერ 100% დაზიანებული ტერიტორია (ჰა)	136.5	1.2	1039	250	15
სამუშაო დღეებში სეტყვით დაზარალებული სერთო ფართობი (ჰა)	566.9	50	2382	595.7	30
შაბათ-კვირის განმავლობაში სეტყვით დაზარალებული მთლიანი ტერიტორია (ჰა)	533.1	25	4876	1174	15

ამ ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მან-უიტნის ორმხრივი კრიტერიუმის შესაბამისად [246], სანდლობის არაუმეტეს 90%, სამუშაო დღეებში, სეტყვის ინტენსივობა უფრო მაღალია, ვიდრე შაბათ-კვირას. ამრიგად, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ 1980-იანი წლების მეორე ნახევარში შენარჩუნდა სეტყვის ინტენსივობის გაზრდის ეფექტი სამუშაო დღეებში შაბათ-კვირასთან შედარებით.

ცხრილში 4.5.4 წარმოდგენილია 1983-1990 წლებში ჩრდილო კავკასიაში სეტყვის ქარბუქების კინეტიკური მახასიათებლები სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას. [264, 228,229].

ცხრილი 4.5.4. სეტყვის დაზიანების კინეტიკური მახასიათებლები ჩრდილოეთ კავკასიაში სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას 1983-1990 წლებში.

Table 4.5.4. Kinetic characteristics of hail damage in the North Caucasus during weekdays and weekends in 1983-1990.

პარამეტრი	Mean	Min	Max	St Dev	Count
მაქს. დიამ. სეტყვა, მმ (კვირის დღეებში)	21.27	4	64	9.47	45
მაქს. დიამ. სეტყვა, მმ (შაბათ-კვირა)	22.36	6	44	8.3	22
საშ. დიამ. სეტყვა, მმ (კვირის დღეებში)	5.9	2.3	17.5	3.095	45
საშ. დიამ. სეტყვა (შაბათ-კვირა)	5.46	2.6	9.1	1.51	22
სეტყვის მასა, კგ/მ ² (კვირის დღეებში)	1.01	0.1	3.3	0.842	45
სეტყვის მასა, კგ/მ ² (შაბათ-კვირა)	0.72	0.01	1.8	0.52	22
მოსული სეტყვის ენერგია, ჯ/მ ² (კვირის დღეებში)	98.7	0.3	413	107.9	45
მოსული სეტყვის ენერგია, ჯ/მ ² (შაბათ-კვირა)	85.6	0.3	361.6	84.45	22
სეტყვის რაოდენობა მ ² -ზე (კვირის დღეებში)	5715.5	140	26072	5351.5	45
სეტყვის რაოდენობა მ ² -ზე (შაბათ-კვირა)	3696.8	200	8613	2330.8	22

4.5.4 ცხრილში მოცემული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ სანდლობის მინიმუმ 90% მენ-უიტნის ორმხრივი ტესტის მიხედვით, სამუშაო დღეებში სეტყვის მასა, ენერგია და რაოდენობა უფრო მაღალია, ვიდრე შაბათ-კვირას. სეტყვის მასა და რაოდენობა, სხვაობა საშუალოებში ასევე მოცემულია

სტიუდენტის t-ტესტით). სეტყვის ზომაში განსხვავება უმნიშვნელოა. ამრიგად, ჩრდილოეთ კავკასიაში, ისევე როგორც კახეთში, სამუშაო დღეებში სეტყვის ზარალის ინტენსივობა უფრო მაღალია, ვიდრე შაბათ-კვირას. ანუ, როგორც ზემოთ აღინიშნა, დროის მითითებულ პერიოდში ატმოსფეროს ანთროპოგენური დაბინძურების გავლენა სეტყვის პროცესების ინტენსივობის ცვალებადობაში რეგიონულ ხასიათს ატარებდა. აქვე აღვნიშნავთ, რომ [109] სამხრეთ-აღმოსავლეთის პირობებისთვის მოცემულია პირდაპირ საპირისპირო შედეგები – შაბათ-კვირას სეტყვის ინტენსივობის ზრდა სამუშაო დღეებთან შედარებით. ეს კიდევ ერთხელ მონშობს ზემოაღნიშნული ბმულების არაწრფივობას და მათ რეგიონალურ ხასიათს.

დაბოლოს, ცხრილში 4.5.5 წარმოდგენილია მონაცემები ჩრდილოეთ კავკასიაში სეტყვის ბირთვების სტრუქტურის შესახებ 1982-1989 წლებში სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას [264, 228,229].

ცხრილი 4.5.5. სეტყვის ბირთვების სტრუქტურის მახასიათებლები ჩრდილო კავკასიაში სამუშაო დღეებში და შაბათ-კვირას 1982-1989 წლებში.

Table 4.5.5. Characteristics of the structure of hail nuclei in the North Caucasus during weekdays and weekends in 1982-1989.

პარამეტრი	Mean	Min	Max	St Dev	Count
წვეთოვანი ჩანასახების წილი, % (კვირის დღეებში)	40.6	0	83	30.3	22
წვეთოვანი ბირთვების წილი, % (შაბათ-კვირა)	33.6	0	70	21.7	10
ხორხოშელის ჩანასახების წილი, % (კვირის დღეებში)	58.3	17	100	29.5	22
ხორხოშელის ჩანასახების წილი, % (შაბათ-კვირა)	65.4	30	100	22	10

როგორც ამ ცხრილიდან ირკვევა, სამუშაო დღეებში, შაბათ-კვირასთან შედარებით, იმატებს წვეთოვანი სეტყვის ჩანასახები და მცირდება ხორხოშელას ჩანასახების წილი. სამუშაო დღეებში წვეთების პროპორციის ზრდა შესაძლოა გამოწვეული იყოს ამ დღეებში ატმოსფეროში უხეში აეროზოლური ფრაქციის შემცველობის ზრდით [228], რაც ხელს უწყობს სეტყვის წვეთების წარმოქმნას [266]. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, სამუშაო დღეებში, შაბათ-კვირასთან შედარებით, იზრდება სეტყვის გაზრდის ალბათობა თბილი წვიმის მექანიზმით, რაც იწვევს ამ დღეებში სეტყვის მაღალი სიმკვრივის გამო სეტყვის დაზიანების უფრო ინტენსივობას. ეს ეფექტი კარგად ემთხვევა იმ ფაქტს, რომ სამუშაო დღეებში ნალექი უფრო მეტია, ვიდრე შაბათ-კვირას [228,229].

ამრიგად, ბუნებრივი და ხელოვნური აეროზოლების ურთიერთქმედების პროცესები ატმოსფერულ პროცესებთან და, კერძოდ, ღრუბლებთან ძალიან რთულია. ჭექა-ქუხილის და სეტყვის აქტივობის, ნალექის და ატმოსფეროს აეროზოლ-გაზით დაბინძურების ურთიერთობა ხასიათდება რეგიონული თავისებურებებით. ეს მახასიათებლები განპირობებულია როგორც ღრუბლე-ბისა და ნალექების წარმოქმნის ფიზიკური პირობებით, ასევე აეროზოლ-გაზით ჰაერის დაბინძურების რაოდენობით და ტიპებით. ბუნებრივი და ანთრო-პოგენური აეროზოლების ზომა, ქიმიური შემადგენლობა, კონდენსაცია და ყინულის წარმომქმნელი აქტივობა შეიძლება მნიშვნელოვნად მოქმედებდეს ღრუბლებში დიდი წვეთებისა და სეტყვის ბირთვების წარმოქმნაზე. ამჟამად, გასულ საუკუნესთან შედარებით, მნიშვნელოვნად შეიცვალა ატმოსფეროს ანთროპოგენური დაბინძურების ბუნება. შესაბამისად, ღრუბლოვანი პროცე-სების ამ დაბინძურებაზე დამოკიდებულებაც უნდა შეიცვალოს. ზემოაღნიშნულ-თან დაკავშირებით მიზანშეწონილად მიგვაჩნია გაგრძელდეს ზემოაღნიშნული კვლევები, რომელთა შედეგები, კერძოდ, სასარგებლო იქნება საქართველოში ამინდის რეგულირების სამუშაოების განვითარებისთვის.

4.6.1 გვალვა

გვალვა აგრეთვე საშიშ და ხშირად სტიქიურ მოვლენას წარმოადგენს. მას დიდი ზარალი მოაქვს ქვეყნის ეკონომიკისათვის და მოსახლეობისათვის. კახეთის ტერიტორიაზე მკაცრი გვალვები ყველაზე ხშირია მდინარე იორის ქვემო წელში და ივრის ზეგანის უკიდურეს სამხრეთში, სადაც მისი განმეორადობა 30-40%-ია და ზოგ ადგილებში უფრო მეტიც. ეს იმას ნიშნავს, რომ აღნიშნულ რაიონებში მკაცრი გვალვები საშუალოდ 2 წელიწადში ერთხელაა. ივრის ზეგანის დანარჩენ ტერიტორიაზე, აგრეთვე საგარეჯოს და გურჯაანის რაიონების მნიშვნელოვან ტერიტორიებზე მკაცრი გვალვების განმეორადობა 20-30%-ს, ხოლო დანარჩენ ტერიტორიაზე 10-20%-ს შეადგენს.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე გვალვიან თვეთა საშუალო რიცხვი სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში მერყეობს 0-დან 5-მდე ფარგლებში [13]. მისი უმცირესი მნიშვნელობები შეესაბამება კავკასიონის მაღალმთიან ზონას, ხოლო თვეთა უდიდესი რაოდენობა ფიქსირდება ქვემო ქართლის მნიშვნელოვან ნაწილზე [210]. კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში გვალვიან თვეთა რიცხვი სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში არსად არ აღემატება 1-ს. მდინარე ალაზნის აუზის ქვემო წელში და გომბორის ქედზე ეს მაჩვენებელი აღემატება 2-ს და არ აღწევს 3-ს. მდინარე ივრის აუზის ქვედა წელში გვალვიან თვეთა საშუალო ხანგრძლივობა სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში შეადგენს 3-4-ს. გვალვიანობის განმეორადობის შიდასეზონურ სვლაში მაქსიმუმები ყველგან სავეგეტაციო პერიოდის მეორე ნახევარში

აღინიშნება. ამავე დროს, აბსოლუტური მაქსიმუმი, სხვადასხვა პუნქტსა და სხვადასხვა გეოგრაფიულ რაიონში განსხვავებულ თვეებზე მოდის. გვალვის მაქსიმუმი სხვადასხვა გეოგრაფიულ პუნქტში სხვადასხვა თვეზე მოდის: საგარეჯოსა და ახმეტაში ეს თვეები ივლისი-აგვისტოა, ხოლო ლაგოდეხში, შირაქში, ყვარელსა და თელავში – აგვისტო-სექტემბერია. გვალვის განმეორადობის მინიმუმი სავეგეტაციო პერიოდის პირველ ნახევარზე მოდის, უმთავრესად ეს აპრილი და მაისია.

უამრავი კლიმატოლოგიური, მეტეოროლოგიური ან ჰიდროლოგიური ინდექსები გამოიყენება გვალვის დასადგენად, რაც საკმაოდ რთული პროცესია. გვალვის ინდექსებს შეუძლია ნათლად განსაზღვროს გვალვის გაჩენა და მშრალი პირობების განვითარება. გვალვის მაჩვენებლები მნიშვნელოვანია გვალვის პირობების დაწყების გამოვლენის თვალსაზრისით, გვალვის ინციდენტების გაზომვისა და მონიტორინგის და გვალვის სტიქიის მასშტაბების განსაზღვრისთვის.

რეგიონისთვის შესაფერისი გვალვის ინდექსი შეიძლება შეირჩეს გეომორფოლოგიური, კლიმატოლოგიური, ჰიდროლოგიური, ეკოლოგიური და რეგიონის ნიადაგის მახასიათებლების და გვალვის ტიპების (მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, სოფლის მეურნეობა, სოციალურ-ეკონომიკური) მიხედვით. ზოგიერთი ინდექსი უფრო შესაფერისია მონიტორინგისთვის და ზოგი უფრო შესაფერისია გვალვის ისტორიული მოვლენების გასაანალიზებლად. ამ მიზეზით, რამდენიმე ინდექსის ან ინდიკატორის გამოყენება უფრო სასარგებლოა გვალვის კვალიფიკაციისა და შედარებისთვის. წარმოდგენილ ნაშრომში, SPI standardized precipitation index და SPEI standardized precipitation evapotranspiration index გვალვის ინდექსებია გამოყენებული, რომლებიც მიღებულია ეროვნულ და საერთაშორისო დონეზე სამეცნიერო კვლევებში. SPI ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული მეტეოროლოგიური გვალვის მაჩვენებელია, რომელში გვალვის იდენტიფიცირება და მონიტორინგი ხდება ყოველთვიური ნალექების მონაცემების გრძელვადიანი პერიოდის გამოყენებით. SPEI გამოთვლა ემყარება ტემპერატურის რყევებით გამოწვეული აორთქლების ცვლილებებს და იყენებს აკუმულირებული წყლის ბალანსს და SPI-ის ჯერადი პერიოდის მახასიათებლების ერთობლიობას.

სტანდარტიზებული ინდექსები SPI და SPEI ახდენს ნალექების და წყლის ბალანსის ანომალიების კლასიფიკაციას გრძელვადიან ჩანაწერებთან მიმართებაში. ინდექსის მნიშვნელობები პირდაპირ მიუთითებს, თუ რამდენად ხშირია არსებული ვითარება მოსალოდნელ ადგილას და სეზონზე გრძელვადიანი დაკვირვების გათვალისწინებით.

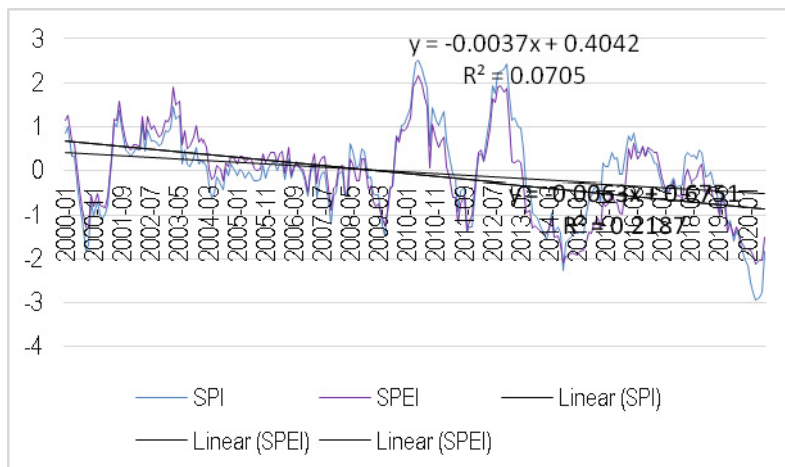
ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში მოემულია ამ ინდექსების მნიშვნელობების აღწერა და განმეორადობა.

ცხრ. 4.6.1 გვალვის ინდექსების აღწერა

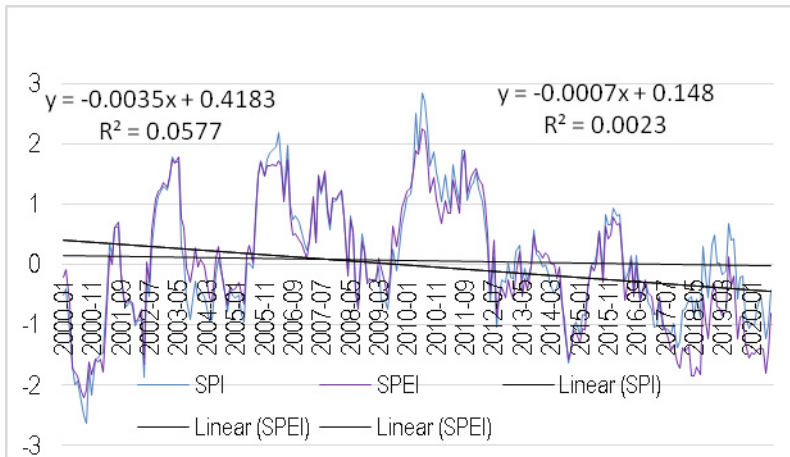
Table 4.6.1 Description of drought indices

ინდექსის სიდიდე	აღწერა	სიხშირე (წწ.)
> 2	გამორჩეულად ნოტიო	1 ყოველ 50წ. ან ნაკლებ
1.6 bis 1.99	ესტრემალურად ნოტიო	1-2 – 40წ.
1.3 bis 1.59	ძლიერ ნოტიო	1-2 -x 20წ.
0.8 bis 1.29	ზომიერად ნოტიო	1-2- 10წ.
0.5 bis 0.79	მცირედ ნოტიო	1-2 -5 წ.
0.49 bis -0.49	ნორმალური	
-0.5 bis -0.79	მცირედ მშრალი	1-2- 5 წ.
-0.8 bis -1.29	ზომიერი გვალვა	1-2 – 10წ.
-1.3 bis -1.59	ძლიერი გვალვა	1-2 – 20წ.
-1.6 bis -1.99	ესტრემალური გვალვა	1-2- 40 წ.
< -2	გამორჩეული გვალვა	1 – 50წ. ან ნაკლებში

კვლევა ჩატარდა დედოფლისწყაროს, ხაშურის, თბილისის, საჩხერის, ზესტაფონის, წალკის, გორის და თელავის მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემების გამოყენებით 2000-2020წ. პერიოდისთვის (ნახ 4.6.1 და 4.6.2)



ნახ. 4.6.1 გვალვის 12-თვიანი ინდექსები SPI, SPEI დედოფლისწყაროსთვის 2000-2020წ. პერიოდისთვის
 Fig. 4.6.1 12 month drought indices SPI, SPEI for Dedoplistskaro for the 2000-2020 period



ნახ. 4.6.2 გვალვის 12-თვიანი ინდექსები SPI, SPEI თელავისთვის 2000-2020 წ. პერიოდისთვის.

Fig. 4.6.2 12 month drought indices SPI, SPEI for Telavi for the 2000-2020 period.

სტატისტიკაში კორელაციის ყველაზე გავრცელებული საზომია პირსონის კორელაციის კოეფიციენტი (PCC). იგი აჩვენებს, რომ SPI-SPEI-ს შორის წრფივი კავშირი საკმაოდ მაღალია, RMSE (SPI-SPEI) დაბალია განსაკუთრებით ხაშური და თელავისთვის;

PCC SPI-SPEI-სთვის მაღალია. R^2 დაბალია ყველა სადგურისთვის. RMSE (SPI-SPEI) დაბალია, რაც ნიშნავს სრულყოფილ თანხვედრას, (ცხრ.4.6.2).

ცხრილი 4.6.2. არჩეული სადგურების სტატისტიკური პარამეტრები (SPI-SPEI)-ს მიხედვით

Table 4.6.2. Statistical parameters of selected stations according to (SPI-SPEI).

სადგური	correll	covar	kurt	pearson	r2-spi	r2-spei	rmse
გესტაფონი	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0027	0.0188	0.025909
ნალკა	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0695	0.0695	0.009268
თელავი	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0013	0.0263	0.015006
თბილისი	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0058	0.0347	0.017471
საჩხერე	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0241	0.0016	0.021206
ხაშური	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0064	0.0918	0.009364
გორი	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0034	0.0315	0.000938
დედოფლისწყარო	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0233	0.0785	0.016065
ბოლნისი	0.942305	0.857534	-0.49676	0.942305	0.0006	0.0102	0.010778

მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰიდრომეტეოროლო-
გიური კატასტროფების მოდელირებაში პროგნოზირების სისტემის განვითა-
რებისათვის საქართველოში.

თავი 5.

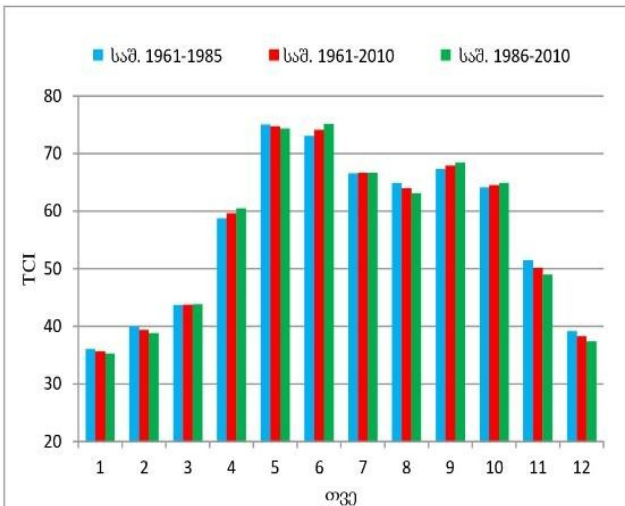
კლიმატის გათვალისწინება ეკონომიკის ზოგიერთი საქტორის (ტურიზმი, მშენებლობა, ჯანმრთელობა) დაპროექტებისას

5.1. ტურიზმი და კლიმატის ცვლილება

ტურიზმის სექტორზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების დადგენის მიზნით განსაზღვრულ იქნა ტურიზმის კლიმატური ინდექსი საქართველოს სხვადასხვა ტურისტულ რეგიონში მესამე თავში მოცემული მეთოდის მიხედვით [18,82,99,162,168].

განსაზღვრულ იქნა სხვადასხვა სიმაღლეზე მდებარე მეტეოროლოგიური სადგურებისათვის (ბათუმი, ქობულეთი, ხულო, გოდერძი) ტურიზმის კლიმატური ინდექსი. იმისათვის, რომ დაგვედგინა ტურიზმის კლიმატური ინდექსის ცვლილების კანონზომიერებანი კლიმატის ცვლილების ფონზე, საანგარიშო პერიოდი გავყავით ორ ნაწილად (1961-1985წწ.) და (1986-2010წწ.).

ბათუმში მხოლოდ ზამთრის პერიოდში არის ტურიზმის კლიმატური ინდექსი „არახელსაყრელი“ და ნაკლებია 39-ზე, გაზაფხულსა და ზაფხულში არის „ძალიან კარგი“ და ტურისტული კლიმატური ინდექსი აღემატება 70-ს, ხოლო შემოდგომაზე სექტემბერსა და ოქტომბერში ტურიზმის კლიმატური ინდექსი ნაკლებია 70-ზე და შეესაბამება TCI-ის კატეგორიას „კარგი“. ნოემბერში ტურიზმის კლიმატური ინდექსი ბათუმში აღემატება 50-ს და შეესაბამება TCI-ის კატეგორიას – „სასიამოვნო“. აქედან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტურიზმის კლიმატური ინდექსი საკმაოდ მაღალია ბათუმში.

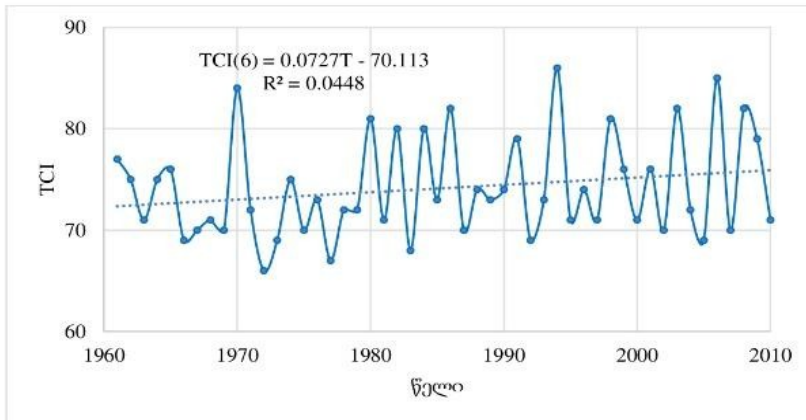


ნახ. 5.1. ტურიზმის კლიმატური ინდექსის საშუალო თვიური, მახასიათებლები ბათუმში.

Fig. 5.1. Average monthly characteristics of tourism climate index in Batumi.

სტიუდენტის კრიტერიუმის საშუალებით დადგენილ იქნა ქ. ბათუმში დაკვირვებათა სამი პერიოდის მიხედვით ტურიზმის კლიმატურ ინდექსს

სებს შორის სხვაობა [50,168]. იმ შემთხვევაში, როდესაც $\alpha \leq 0.15$ -ს სხვაობა ითვლება არსებითად (ე.ი. საიმედოა არ არის 85%-ზე ნაკლები). ტურიზმის კლიმატური ინდექსის თვიური მნიშვნელობების ტრენდი მოცემულია ნახაზზე 5.2.



ნახ.5.2. ტურიზმის კლიმატური ინდექსის თვიური მნიშვნელობების ტრენდი ბათუმში

Fig.5.2. Trend of monthly values of tourism climatic index in Batumi

ტურიზმის კლიმატურ ინდექსში შემავალი ყველა ძირითადი კომპონენტები, როგორცაა დღიური კომფორტულობის ინდექსი, დღეღამური კომფორტულობის ინდექსი, არ განიცდის მნიშვნელოვან ცვლილებას. სუსტად გამოხატული დადებითი ტრენდი მხოლოდ ივნისის თვეში აღინიშნება, ხოლო აგვისტოში ტრენდი არის აგრეთვე სუსტი, მაგრამ უარყოფითი. მაგრამ ეს ზრდა, როგორც მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს არ მოქმედებს ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კატეგორიაზე „ძალიან კარგი“, რომელიც იგივე რჩება.

მიღებული მონაცემების საფუძველზე პრაქტიკული თვალსაზრისით ტურიზმის კლიმატური ინდექსის გამოყენების მიზნით შედგენილია ცხრილი 5.1, რომელშიც მოცემულია ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კატეგორიების (თვიური, მაქსიმალური, მინიმალური და მრავალწლიური) მნიშვნელობები.

ტურისტული პროდუქტის სწორი დაპროექტების მიზნით აუცილებელია განისაზღვროს დღეთა რიცხვი TCI-ის სხვადასხვა კატეგორიით დაკვირვების სამ სხვადასხვა პერიოდში. როგორც მიღებული მონაცემების ანალიზიდან ჩანს (იხ. ცხ.5.4), ბათუმში დღეთა რიცხვი კატეგორიით „მისაღები“-„იდეალური“, მცირედ შემცირდა მხოლოდ 2-3%-ით [10].

ცხრილი 5.1. სხვადასხვა სეზონში TCI – ს კატეგორია ბათუმში

Table 5.1. TCI category for different seasons in Batumi

თვე (ზამთარი)	12	1	2
კატეგორია (საშ.)	არახელს.	არახელს.	არახელს.
კატეგორია (მინ.)	ძალ. არახელს.	ძალ. არახელს.	ძალ. არახელს.
კატეგორია მაქს.)	კარგი	სასიამ.	კარგი
თვე (გაზაფხული)	3	4	5
კატეგორია (საშ.)	მისაღ.	კარგი	ძალ. კარგი
კატეგორია (მინ.)	არახელს.	მისაღ.	სასიამ.
კატეგორია მაქს.)	ძალ. კარგი	შესანიშ.	შესანიშ.
თვე (ზაფხული)	6	7	8
კატეგორია (საშ.)	ძალ. კარგი	კარგი	კარგი
კატეგორია (მინ.)	კარგი	სასიამ.	სასიამ.
კატეგორია მაქს.)	შესანიშ.	შესანიშ.	შესანიშ.
თვე (შემოდგომა)	9	10	11
კატეგორია (საშ.)	კარგი	კარგი	სასიამ.
კატეგორია (მინ.)	კარგი	მისაღ.	არახელს.
კატეგორია მაქს.)	ძალ. კარგი	შესანიშ.	შესანიშ.

შავი ზღვის სანაპიროზე ბათუმთან 30 კმ-ს მანძილზე მდებარეობს ქობულეთი, რომელიც თავისი მიკროკლიმატური პირობების გამო განსხვავდება სანაპირო ზოლის კურორტებისაგან.

ადგილობრივი ქარებით და ბრიზებით განპირობებული საერთო ვენტილაცია ქობულეთში ბევრად უკეთესია და შედეგად იონიზაციაც უფრო ძლიერია. ამდენად ქობულეთში სიცხე თითქმის არც იგრძნობა მთელი ზაფხულის განმავლობაში. როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალი საკმაოდ მაღალია. განსაზღვრულ იქნა TCI-ის მნიშვნელობები სამ სხვადასხვა პერიოდში და მისი ცვლილება (ცხრილი 5.3.)[5,18].

ცხრილი 5.2. დღეთა საშუალო რიცხვი TCI-ის სხვადასხვა კატეგორიებით ბათუმში დაკვირვების სამ (1961-1985) (1986-2010) და (1961-2010) წ.წ. სხვადასხვა პერიოდში

Table 5.2. The average number of days with different categories of TCI in Batumi during the three observation periods (1961-1985) (1986- 2010) and (1961-2010)

წლები	1958-1987	1988-2017	1958-2017
მოუღებ.	0	0	0
უკიდ. არახელს.	0	0	0
ძალ. არახელს.	8	9	7
არახელს.	68	63	72
მისალ.	62	65	60
სასიამ.	44	46	41
კარგი	101	103	99
ძალიან კარგი	60	56	63
შესანიშ.	23	23	23
იდეალ.	0	0	0
მისალ.-იდეალ.	290	293	286
% წელიწადიდან	79.3	80.3	78.3
თვე წელიწადში	9.5	9.6	9.4

ცხრ. 5.3. TCI-ის მნიშვნელობები სამ სხვადასხვა პერიოდში (1961-2010, 1961-1985 (I) 1986-2010 (II) წწ და მისი ცვლილება

Table 5.5. Values of TCI in three different periods (1961-2010, 1961-1985 (I) 1986-2010 (II) year and its change

თვე	1	2	3	4	5	6
საშ.	34.1	36.9	42.6	59.0	74.4	73.5
მინ.	25.0	24.0	34.0	42.0	48.0	62.0
მაქს.	52.0	56.0	67.0	81.0	87.0	83.0
საშ. (II)	33.9	36.9	43.5	61.5	74.0	72.9
საშ. (I)	34.4	36.9	41.8	56.6	74.8	74.1
(II) – (I)	არა	არა	არა	4.9	არა	არა
თვე	7	8	9	10	11	12
საშ.	64.1	60.6	67.8	64.5	49.8	36.7
მინ.	46.0	41.0	58.0	52.0	35.0	29.0
მაქს.	80.0	78.0	86.0	88.0	83.0	61.0
საშ. (II)	61.5	56.3	66.8	65.7	50.3	36.6
საშ. (I)	66.7	65.0	68.8	63.4	49.2	36.8
(II) – (I)	-5.2	-8.8	-2.0	არა	არა	არა

ორ საკვლევ პერიოდს შორის ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მახასიათებლების განსხვავება დადგენილ იქნა ასევე 'სტიუდენტის' კრიტერიუმის მიხედვით.

როგორც მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, საკვლევ პერიოდში ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მახასიათებლები მნიშვნელოვნად შეიცვალა ბოლო 25 წლის მანძილზე მხოლოდ აპრილის თვეში და იგი გაუმჯობესდა.

ქობულეთში კატეგორია “სასიამოვნო” გადავიდა უფრო მაღალ რეიტინგში “კარგი”. აქედან გამომდინარე, კლიმატური პირობები გაუმჯობესდა ქობულეთში ტურიზმის თვალსაზრისით.

განგარიშებულია აგრეთვე ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კომპონენტების ცვლილებათა კანონზომიერებანი ქობულეთში დაკვირვების სხვადასხვა პერიოდს შორის (იხ. ცხრილი 5.4).

ცხრილი 5.4. ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კომპონენტები და მათი ცვლილება 1961-1985 (I) წწ და 1986-2010 (II) წწ.

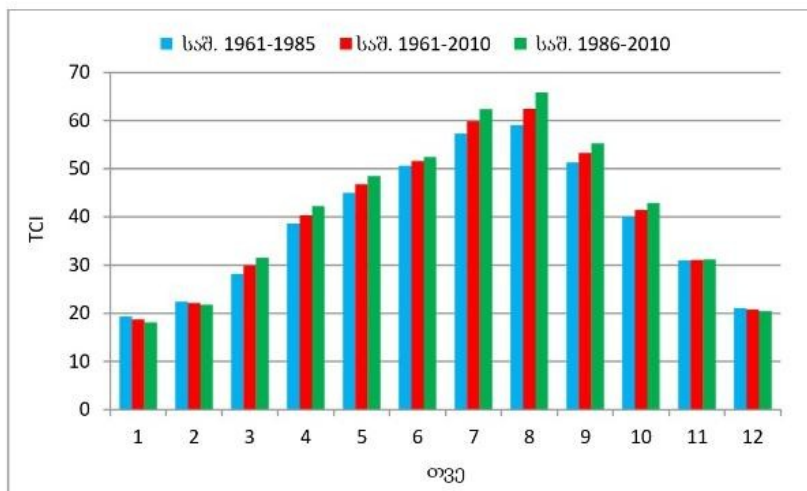
Table 5.4. The components of the tourism climate index and their changes in 1961-1985 (I) and 1986-2010 (II).

	1	2	3	4	5	6
Cld, საშ.	2.3	2.4	2.7	3.7	4.8	4.8
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	-0.2
Cl _a , საშ.	1.8	1.8		2.5	3.1	4.9
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	0.1
, საშ.	0.4	0.6	0.8	2.0	2.4	0.7
(II) – (I)	არა	არა	არა	0.8	არა	არა
S, საშ.	1.3	1.6	1.9	2.4	3.2	3.7
(II) – (I)	არა	არა	0.2	0.2	არა	არა
W, საშ.	2.6	2.6	3.0	3.5	3.5	3.8
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	არა
თვე	7	8	9	10	11	12
Cld, საშ.	4.0	3.7	4.7	4.9	3.5	2.6
(II) – (I)	-0.9	-1.0	-0.4	0.1	არა	არა
Cl _a , საშ.	5.0	4.9	4.8	3.1	2.4	2.0
(II) – (I)	-0.1	-0.3	0.2	0.3	არა	არა
R, საშ.	0.9	0.5	0.2	0.4	0.7	0.2
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	არა
S, საშ.	2.8	2.9	3.0	2.6	1.8	1.3
(II) – (I)	0.3	არა	0.3	არა	არა	-0.2
W, საშ.	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.1
(II) – (I)	-0.4	-0.5	არა	0.3	არა	არა

როგორც მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს აჭარის სანაპირო ზოლის კურორტებზე (ბათუმი, ქობულეთი) ტურისტული რეკრეაციული რესურსების ბიოკლიმატური პირობები არის ხელსაყრელი მარტიდან ოქტომბრის ჩათვლით ტურიზმის გეგმაზომიერი განვითარებისათვის.

საინტერესოა აგრეთვე სამთო-სათბილამურო ტურიზმის განვითარების მიზნით შესწავლილ იქნეს აჭარის მაღალმთიან რეგიონში ტურიზმის კლიმატური ინდექსის განაწილებათა კანონზომიერებანი ზემოთ აღნიშნული საკვლევი პერიოდის მიხედვით.

მიღებული მეთოდის თანახმად განსაღვრულ იქნა აგრეთვე ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მახასიათებლები გოდერძის უღელტეხილზე (შემდგომში გოდერძი) 1961-2010 წლებისათვის. როგორც მიღებული მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, გოდერძის გადასასვლელზე წელიწადში რამდენიმე თვე (დეკემბერი, იანვარი თებერვალი, მარტი) ტურიზმის კლიმატური ინდექსი ნაკლებია 30-ზე. მინიმალური მნიშვნელობები (28-29) დაკვირვების მთელ პერიოდში აღინიშნება დეკემბერსა და იანვარში, ხოლო მაქსიმალური (84-87) ივლისსა და აგვისტოში. ტურიზმის კლიმატური ინდექსის შიდაწლიური განაწილება მოცემულია ნახაზზე 5.3. მნიშვნელოვანი ცვლილება ტურიზმის კლიმატური ინდექსისა გოდერძის უღელტეხილზე დაიკვირვება მარტიდან მაისამდე და ივლისიდან სექტემბრამდე. ტურისტული ბიზნესის მოთხოვნილებათა დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია განისაზღვროს ტურიზმის კლიმატურ ინდექსში შემავალი კომპონენტების განაწილებათა კანონზომიერებანი.



ნახ. 5. 3 ტურიზმის კლიმატური ინდექსის შიდაწლიური განაწილება გოდერძის გადასასვლელზე

Fig. 5. 3 Intra-annual distribution of tourism climate index at Goderdzi Crossing

გოდერძის გადასასვლელზე მიღებული მონაცემების თანახმად, ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მნიშვნელოვანი ზრდა დაიკვირვება მარტიდან მაისამდე და ასევე ივლისიდან სექტემბრამდე.

განსაზღვრულ იქნა აგრეთვე გოდერძის გადასასვლელზე ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კომპონენტების საშუალო თვიური მონაცემები და ცვლილება დაკვირვების ორ პერიოდს 1986-2010 (II) და 1961-1985(I) შორის სეზონების მიხედვით.

ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მინიმალური მნიშვნელობა გოდერძიზე შეესაბამება კატეგორიას “მიუღებელი”, ხოლო მაქსიმალური – “შესანიშნავი” მხოლოდ შვიდი თვის განმავლობაში დაიკვირვება გოდერძის გადასასვლელზე ტურიზმისათვის ხელსაყრელი პირობები.

განსაზღვრულ იქნა TCI-ის სხვადასხვა კატეგორიის მიხედვით საშუალო დღეთა რიცხვი დაკვირვებათა სამი პერიოდისათვის. გოდერძის გადასასვლელზე კლიმატის ცვლილებამ მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით განაპირობა ტურიზმის კლიმატური ინდექსის ცვლილება [10].

ცხრილი 5.5. TCI-ის სხვადასხვა კატეგორიების მიხედვით საშუალო დღეთა რიცხვი დაკვირვებათა სამი პერიოდისთვის გოდერძის გადასასვლელზე

Table 5.5. According to different TCI categories, the average number of days of observations for the three periods at the Goderdze crossing

წლები	1961-2010	1961-1985	1986-2010
მიუღებ.	9	5	13
უკიდ. არახელს.	37	37	37
ძალ. არახელს.	64	79	49
არახელს.	67	67	67
მისაღ.	78	78	78
სასიამ.	64	68	60
კარგი	32	22	43
ძალ. კარგი	11	7	15
შესანიშ.	4	2	5
იდეალ.	0	0	0
მისაღ.-იდეალ.	189	178	200
% წელიწადიდან	51.7	48.7	54.7
თვე წელიწადში (საშ.)	6.2	5.8	6.6

კახეთი ასევე ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ტურისტულ რეგიონს წარმოადგენს. მისი მრავალფეროვანი კლიმატური პირობები და ზონები და ლანდშაფტები, ასევე მდიდარი ისტორიული მემკვიდრეობა განაპირობებს კახეთის

მაღალ ტურისტულ-რეკრეაციულ პოტენციალს. კახეთში ბევრი ცნობილი ისტორიული ძეგლია, ამიტომ იგი შემეცნებითი ტურიზმის ზონასაც წარმოადგენს. ასევე მდიდარია კახეთი ეკლესიებითა და მონასტრებით, რაც ამ რეგიონში განაპირობებს რელიგიური ტურიზმის განვითარებას. კახეთის რეგიონს ასევე უდიდესი პოტენციალი გააჩნია ღვინის ტურიზმის განვითარებისათვის. ჯერ კიდევ ჩვ. წ. აღ.-მდე III-II საუკუნეში იწყება მეღვინეობის ისტორია კახეთში და დღემდე გრძელდება. ტურისტების ყურადღებას დღესაც მნიშვნელოვნად იპყრობს წინანდლის ენოთეკა.

კახეთის მაღალ ტურისტულ პოტენციალს არსებითად განაპირობებს აგრეთვე დაცული ტერიტორიები. კახეთის ტერიტორიაზე ექვსი დაცული ტერიტორიაა: ბანარას, ბაბანეულის, მარიამჯვრის, ვაშლოვანის ნაკრძალები, თუშეთისა და ლაგოდეხის ეროვნული პარკები, რაც მის ტურისტულ პოტენციალს ამაღლებს.

საკურორტო ზონებიდან კახეთის ტერიტორიაზე გამოირჩევა მთათუშეთი, რომლის მაღალი ტურისტულ-რეკრეაციული პოტენციალი რჩებოდა წლების მანძილზე აუთვისებელი. უჯარმა და ახტალა ცნობილია სამკურნალო ტალახებით, მაღალმთიანი ზონა კი ალპინიზმისა და მთიანი სპორტული ტურიზმის განვითარების ფართო შესაძლებლობებს მოიცავს.

მთელი რიგი გამოკვლევების შედეგად დადგინდა, რომ კახეთის კლიმატმა განიცადა მნიშვნელოვანი ცვლილება გლობალური დათბობის ფონზე. ამიტომ აუცილებლად მიგვაჩნია შეფასებულ იქნეს ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალი კახეთის რეგიონში.

ტურიზმის კლიმატური ინდექსის ცვლილების შესაფასებლად ზემოთ ნახსენები დროის ორი პერიოდისთვის (1958-1987) და (1988-2017) გამოთვლილ იქნა TCI-ის საშუალო მნიშვნელობები კახეთის მეტეოსადგურების მიხედვით.

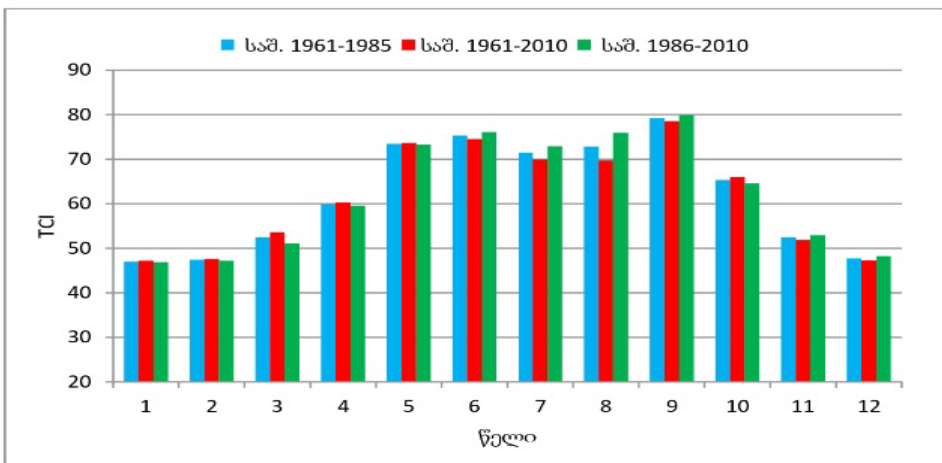
ცხრილში 5.6 და ნახ. 5.4. წარმოდგენილია TCI ინდექსის და მისი კომპონენტების სტატისტიკური მახასიათებლები ქ. თელავში.

მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თელავში TCI მერყეობს 47.0 (იანვარი) 79.2-მდე (სექტემბერი), მინიმალური 31.0 (დეკემბერი) 90.0-მდე (ივნისი-სექტემბერი). TCI მნიშვნელობების წლიურ განაწილებას აქვს ბიმოდალური ფორმა, უკიდურესობებით მაის-ივნისში და სექტემბერში (ნახ. 5.4.). TCI მნიშვნელობების მნიშვნელოვანი ცვალებადობა შეინიშნება ივლისსა და აგვისტოში (ორივე შემთხვევაში – შემცირება, კატეგორიაში ერთი ნაბიჯით შემცირებით). TCI ხაზოვანი ტენდენციის გრაფიკი მითითებული თვეებისთვის ნაჩვენებია ნახ. 5.5.

ცხრილი 5.6. ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მნიშვნელობები 1961-2010, 1961-1985 (I) 1986-2010 (II).

Table 5.6. Tourism climate index values in 1961-2010, 1961-1985 (I) 1986-2010 (II).

თვე	1	2	3	4	5	6
საშ.	47.0	47.4	52.4	59.9	73.4	75.3
მინ.	37.0	37.0	37.0	40.0	54.0	55.0
მაქს.	55.0	60.0	71.0	89.0	87.0	90.0
საშ. (II)	47.2	47.6	53.6	60.3	73.6	74.5
საშ. (I)	46.9	47.2	51.1	59.6	73.3	76.1
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	არა
თვე	7	8	9	10	11	12
საშ.	71.4	72.8	79.2	65.3	52.4	47.7
მინ.	56.0	57.0	62.0	42.0	37.0	31.0
მაქს.	88.0	84.0	90.0	89.0	67.0	60.0
საშ. (II)	69.9	69.7	78.5	66.0	51.9	47.3
საშ. (I)	72.9	75.9	79.9	64.6	52.9	48.2
(II) – (I)	-3.0	-6.2	არა	არა	არა	არა



ნახ. 5.4. TCI საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში დაკვირვების სამ პერიოდში
 Fig. 5.4. Average monthly TCI values in Telavi in three observation periods

ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კომპონენტების მთელი დაკვირვების პერიოდის საშუალო მნიშვნელობების დიაპაზონი და მათი ცვალებადობა დროის მეორე მონაკვეთში პირველთან შედარებით მითითებული პუნქტისთვის არის შემდეგი (ცხრილი 5.10.):

CId: 2.0÷4.9 (იანვარი, თებერვალი, დეკემბერი და სექტემბერი შესაბამისად). ცვალებადობა შეინიშნება ივნისიდან აგვისტომდე (კლება) და ოქტომბერში (ზრდა);

CIa: 1.4÷5.0 (იანვარი და ივლისი, აგვისტო, შესაბამისად); ცვალებადობა შეინიშნება მხოლოდ სექტემბერში (ზრდა);

R: 1.7÷4.4 (მაისი და იანვარი, შესაბამისად). ცვალებადობა შეინიშნება ივნისსა და ივლისში (ზრდა), ასევე ოქტომბერში (კლება);

S: 1.6÷4.0 (დეკემბერი, იანვარი და ივლისი, აგვისტო, შესაბამისად). ცვალებადობა შეინიშნება მარტში (ზრდა) და ივნისში, ივლისში (კლება);

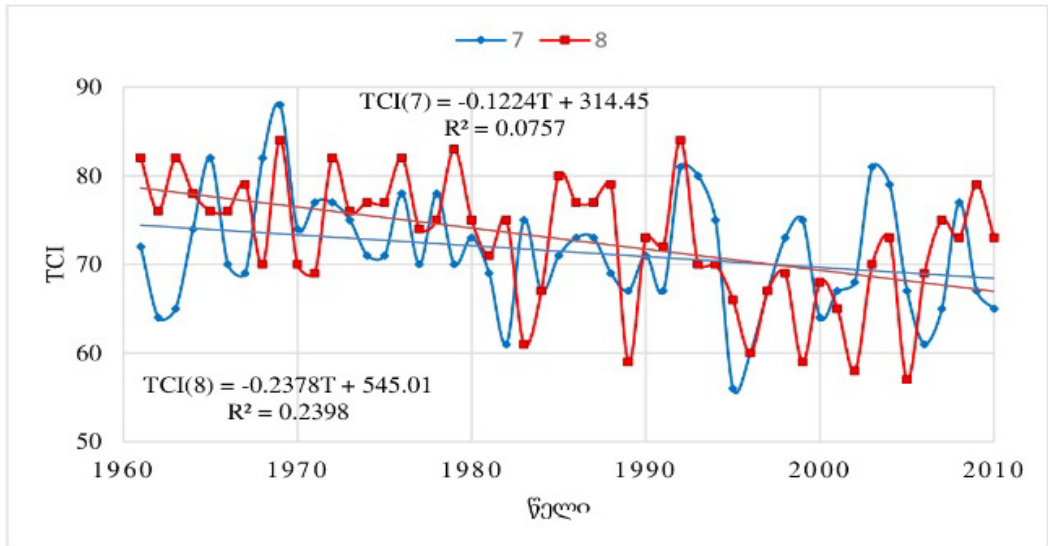
W: 2.2÷4.4 (იანვარი და ოქტომბერი შესაბამისად). ცვალებადობა შეინიშნება იანვარ-მაისში და ოქტომბერში (ზრდა), ასევე ივნის-სექტემბერში (კლება).

ცხრილი 5.7. ტურისტული კლიმატის ინდექსის კომპონენტების საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში 1988-2017 წლებში და მისი ცვალებადობა 1988-2017 წლებში (II) 1958-1987 წლებთან შედარებით (I)

Table 5.7. Average monthly values of tourist climate index components in Telavi in 1986-2010 and its variation in 1986-2010 (II) compared to 1961-1986 (I)

თვე	1	2	3	4	5	6
CId, საშ.	2.0	2.0	2.4	3.4	4.8	4.7
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	-0.2
Cl _a , საშ.	1.4	1.5	1.9	2.5	3.4	4.8
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	არა
R, საშ.	4.4	4.1	3.6	2.5	1.7	1.8
(II) – (I)	არა	არა	არა	არა	არა	0.6
S, საშ.	1.6	1.7	2.1	2.4	3.2	3.9
(II) – (I)	არა	არა	0.4	არა	არა	-0.4
W, საშ.	2.2	2.5	3.4	4.2	4.1	2.7
(II) – (I)	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	-0.5
თვე	7	8	9	10	11	12
CId, საშ.	3.5	3.8	4.9	3.6	2.5	2.0
(II) – (I)	-0.4	-0.8	არა	0.4	არა	არა
Cl _a , საშ.	5.0	5.0	4.3	2.6	2.0	1.6
(II) – (I)	არა	არა	0.3	არა	არა	არა
R, საშ.	3.0	2.8	3.1	3.2	3.7	4.2
(II) – (I)	0.6	არა	არა	-0.5	არა	არა
S, საშ.	4.0	4.0	3.1	2.5	1.7	1.6
(II) – (I)	-0.3	არა	არა	არა	არა	არა
W, საშ.	2.6	2.6	3.3	4.4	3.6	2.6
(II) – (I)	-0.4	-0.5	-0.5	0.4	არა	არა

ტურიზმის კლიმატური ინდექსის TCI ხაზოვანი ტენდენციის გრაფიკი მითითებული თვეებისთვის ნაჩვენებია ნახ.5.5.



ნახ. 5. 5. TCI-ის ტრენდი თელავში 1961-2010 წ.წ.

Fig. 5. 5. Trend of TCI in Telavi 1961-2010

საკურორტო და ტურისტული ინდუსტრიის სფეროში პრაქტიკული გამოყენების მიზნით შედგენილია ცხრილი 5.11, სადაც მოცემულია ინფორმაცია თელავში კლიმატის ტურიზმის ინდექსის საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობების კატეგორიების შესახებ წლის სხვადასხვა თვეს. როგორც ამ ცხრილიდან ირკვევა, თელავში, ზოგადად, მინიმალური TCI მნიშვნელობები შეესაბამება კატეგორიას „არახელსაყრელი“, ხოლო მაქსიმალური – „იდეალური“-ს. საშუალოდ, თელავში TCI მნიშვნელობების წლიური ცვალებადობა შეესაბამება კატეგორიებს „მისაღები“, „ძალიან კარგი“. ამრიგად, ე.წ. საშუალო ტურისტისთვის“ თელავში ბიოკლიმატური პირობები მთელი წლის განმავლობაში ხელსაყრელია.

კახეთის ყველა განხილულ მეტეოსადგურზე ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მნიშვნელობები არ შეცვლილა. აქედან გამომდინარე არსებითი გავლენა კახეთის რეგიონში არ მოუხდენია ტურიზმის ხელშემწყობ პირობებზე გასული საუკუნის ოთხმოციანი წლებიდან დაწყებულ გლობალურ დათბობას. კახეთისაგან განსხვავებით აჭარის რეგიონში იმავე პერიოდებს შორის ზღვისპირა და მაღალმთიან სადგურებზე დაფიქსირდა TCI კატეგორიების შეცვლა წლის სამივე სეზონზე (ზამთრის გარდა). დეტალურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ საკვლევ პერიოდებს შორის ინდექსში შემავალი პარამეტრები ((დღიური და დღეღამური კომფორტულობის ინდექსები, ნალექთა ჯამი, მზის ნათების ხანგრძლივობა და ქარის სიჩქარე) არ განიცდიან ცვლილებას.

ცხრილი 5.8. სხვადასხვა სეზონში TCI – ს კატეგორია თელავში
 TABLE 5.8. TCI CATEGORY IN TELAVI IN DIFFERENT SEASONS

თვე (ზამთარი)	12	1	2
კატეგორია (საშ.)	მისაღები	მისაღები	მისაღები
კატეგორია (მინ.)	არახელს.	არახელს.	არახელს.
კატეგორია მაქს.)	კარგი	სასიამ.	კარგი
თვე (გაზაფხული)	3	4	5
კატეგორია (საშ.)	სასიამ.	სასიამ.	ძალ. კარგი
კატეგორია (მინ.)	არახელს.	მისაღ.	სასიამ.
კატეგორია მაქს.)	ძალ. კარგი	შესანიშ.	შესანიშ.
თვე (ზაფხული)	6	7	8
კატეგორია (საშ.)	ძალ. კარგი	ძალ. კარგი	ძალ. კარგი
კატეგორია (მინ.)	სასიამ.	სასიამ.	სასიამ.
კატეგორია მაქს.)	იდეალ.	შესანიშ.	შესანიშ.
თვე (შემოდგომა)	9	10	11
კატეგორია (საშ.)	ძალ. კარგი	კარგი	სასიამ.
კატეგორია (მინ.)	კარგი	მისაღ.	არახელს.
კატეგორია მაქს.)	იდეალ.	შესანიშ.	კარგი

კახეთის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე ზამთრის სეზონშიაც საკმაოდ კომფორტული კლიმატური პირობების არსებობს, ამიტომ ტურიზმის კლიმატური ინდექსი არ ჩამოდის კატეგორია „მისაღებზე“ დაბლა. ეს კი ძირითადად განპირობებულია იმით, რომ საშუალო მინიმალური ტემპერატურა არ არის 3 გრადუსზე დაბალი. არ მოდის უხვი ნალექები, მზის ნათების ხანგრძლივობა შეადგენს 100-150 სთ თვეში, ფარდობითი სინოტივე არ აღემატება 70-80%, ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება შუალედში 2-3 მ/წმ. ყოველივე ეს კი განაპირობებს ზამთრის პირობებშიც კახეთის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე ზამთრის სეზონშიაც საკმაოდ კომფორტული კლიმატური პირობების არსებობას.

კლიმატის ცვლილების საპროგნოზო მოდელის გამოყენებით გამოთვლილ იქნა აგრეთვე TCI კატეგორიების პროგნოზირებული მნიშვნელობები კახეთის მეტეოსადგურების მიხედვით.

კლიმატის ცვლილების ინდექსების გაანგარიშებამ აღნიშნულ რაიონში ყოველი განხილული სადგურისათვის გამოავლინა დათბობის მდგრადი ტენდენცია, რაც ძირითადად გამოიხატება საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურების დადებითი ტრენდებით. წლის საშუალო და ექსტრემალური ტემპერატურების მატება განპირობებულია წლის თბილ პერიოდში დათბობისათვის დამახიათებელი ყველა ინდიკატორის (25 გრადუსზე მაღალი ტემპერატურის მქონე დღეთა რიცხვი, წლის აბსოლუტური მაქსიმუმის მნიშვნელობა, მაქსიმუმების ზედა საზღვარი, თბილი პერიოდის ხანგრძლივობა) აღმავალი ხასიათით. დათბობის ყველაზე მკვეთრი ტენდენცია დაიკვირვება დედოფლისწყაროს

რაიონისათვის. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ეს უკანასკნელი მიეკუთვნება ნახევრად-უდაბნოს კლიმატურ ზონას და უკვე სახეზეა ადგილობრივი ნიადაგისა და ლანდშაფტის დეგრადაცია. ასევე, ნაკრძალებში მიკროკლიმატის შეცვლა, რაც იწვევს ფლორისა და ფაუნის გაღარიბებას, შეიძლება ითქვას, რომ რაიონი გაუდაბნოების საფრთხის წინაშე დგას და აუცილებელია გარკვეული პრევენციული ღონისძიებების გატარება. აღნიშნულ სიტუაციას ამძიმებს ქარის მაქსიმალური სიჩქარეების გამოხატული ზრდა, რაც მიმდინარეობს მომატებული ფარდობითი ტენიანობის ფონზე. რაც შეეხება ნალექების რეჟიმს, რაიმე ნიშნავი ტენდენცია თელავისა და დედოფლისწყაროს რაიონებში არ ფიქსირდება. აღსანიშნავია ნალექების ყველა მაჩვენებლის შემცირება ყვარლის რაიონში, რაც შეიძლება ჩაითვალოს დადებით ფაქტორად როგორც სასოფლო-სამეურნეო, ასევე ტურისტულ-რეკრეაციული თვალსაზრისით.

კახეთის ყველა განხილულ მეტეოსადგურზე ტურიზმის კლიმატური ინდექსის მნიშვნელობები არ შეცვლილა. აქედან გამომდინარე, არსებითი გავლენა კახეთის რეგიონში არ მოუხდენია ტურიზმის ხელშემწყობ პირობებზე გასული საუკუნის ოთხმოციანი წლებიდან დაწყებულ გლობალურ დათბობას.

კახეთისაგან განსხვავებით აჭარის რეგიონში იგივე პერიოდებს შორის ზღვისპირა და მაღალმთიან სადგურებზე დაფიქსირდა TCI კატეგორიების შეცვლა წლის სამივე სეზონზე (ზამთრის გარდა).

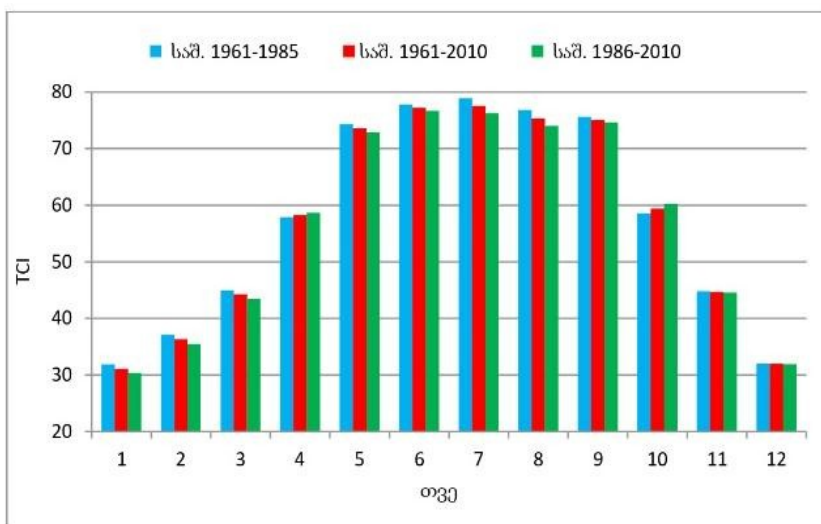
კახეთის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე ზამთრის სეზონშიაც საკმაოდ კომფორტული კლიმატური პირობები არსებობს, ამიტომ ტურიზმის კლიმატური ინდექსი არ ჩამოდის კატეგორია „მისაღებზე“ დაბლა. ეს კი ძირითადად განპირობებულია იმით, რომ საშუალო მინიმალური ტემპერატურა არ არის 3 გრადუსზე დაბალი. არ მოდის უხვი ნალექები, მზის ნათების ხანგრძლივობა შეადგენს 100-150 სთ თვეში, ფარდობითი სინოტივე არ აღემატება 70-80%, ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება შუალედში 2-3 მ/წმ. ყოველივე ეს კი განაპირობებს ზამთრის პირობებშიც კახეთის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე საკმაოდ კომფორტული კლიმატური პირობების არსებობას.

იმისათვის, რომ დადგინდეს, თუ რა გავლენას ახდენს კლიმატის ცვლილება ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შეფასებაზე, ჩვენ მიერ განსაზღვრულია ტურიზმის კომპლექსური კლიმატური ინდექსები არა მარტო ისეთი დიამეტრულად განსხვავებული რეგიონების მიხედვით, (როგორცაა აჭარა და კახეთის რეგიონი), ასევე ტურისტულ სამთო-სათხიმალო რეგიონებშიც (ბორჯომ-ბაკურიანის რეგიონი, მცხეთა-თიანეთის რეგიონი, სვანეთი) [10].

ზამთრის ტურიზმის განვითარებაზე კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შესწავლის მიზნით განსაზღვრულ იქნა ტურიზმის კლიმატური ინდექსი და მისი ცვლილებათა კანონზომიერებანი მესტიაში.

1961-2010 წლებში ტურიზმის კომპლექსური ინდექსის მნიშვნელობები მესტიაში მერყეობს 34-დან (კატეგორია „არახელსაყრელი“, იანვარი) 95-მდე (კატეგორია „იდეალური“ სექტემბერი-ოქტომბერი). მესტიაში დაკვირვების მთელ პერიოდში TCI-ის მნიშვნელობები შეიცვალა 56.2-დან (კატეგორია „სასიამოვნო“, იანვარი) 83.5-მდე (კატეგორია „შესანიშნავი“, აგვისტო) იხ. ნახ. 5.6.

მესტიაში ტურიზმის კომპლექსური კლიმატური ინდექსის საშუალო თვიური მნიშვნელობების ტრენდს ზოგადად აქვს უარყოფითი ტენდენცია. TCI-ის მნიშვნელობების ნიშნადი წრფივი უარყოფითი ტრენდი დაიკვირვება იანვარში, ივლისში, აგვისტოში, დეკემბერში, წლის ცივ და თბილ პერიოდში და აგრეთვე მთელი წლის მანძილზე. საშუალო თვიური და სეზონური მნიშვნელობების შესამჩნევი შემცირება მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით აღინიშნა იანვარში, ივლისში და აგვისტოში.



ნახ. 5.6. ტურიზმის კლიმატური ინდექსი მესტიაში დაკვირვების სამ პერიოდში
 Fig. 5.6. Tourism Climatic index in Mestia in three observation periods

დადგენილ იქნა აგრეთვე ტურიზმის კლიმატური ინდექსის კატეგორიების განმეორადობა დაკვირვებათა სამ პერიოდში. ყველაზე უდიდესი განმეორებადობაა კატეგორიით „შესანიშნავი“ (29%), უმცირესი კატეგორია კი „არახელსაყრელი“ (0.1%).

მესტიაში დაკვირვების სამივე პერიოდში აღინიშნება ხელსაყრელი ბიოკლიმატური პირობები. კლიმატის ცვლილებამ განაპირობა ტურიზმის კლიმატური ინდექსის (TCI-ის) კატეგორიების უმნიშვნელო ცვლილება.

TCI-ის ფართო გამოყენების მიუხედავად, მთელი რიგი მეცნიერების მიერ აღნიშნულია კრიტიკული შენიშვნები. ავტორების აზრით, TCI მოიცავს ოთხ ძირითად ნაკლს: (1) კლიმატის ცვლადების შეფასებისა და შეწონვის სუბიექ-

ტური სისტემა; (2) კლიმატური პარამეტრების (მაგ. წვიმა, ქარი) გავლენის გადალახვის შესაძლებლობის იგნორირება; (3) კლიმატის მონაცემების დაბალი დროითი გარჩევადობა და (4) ძირითადი ტურისტული სეგმენტებისა და მიმართულებებისათვის კლიმატის ცვალებადი მოთხოვნების უგულებელყოფა (მაგ. სანაპირო, ურბანული, ზამთრის სპორტული ტურიზმი და ა.შ.).

TCI-ის ზემოთ აღნიშნული შეზღუდვების დასაძლევად შემუშავდა დასვენების კლიმატური ინდექსი HCI, რომელიც, ავტორების აზრით, უფრო წარმომადგენლობით აფასებს ტერიტორიის კლიმატურ ვარგისიანობას ტურისტებისთვის. სიტყვა „დასვენება“ შეირჩა იმისთვის, რომ უკეთ ასახავდეს, რისთვის იყო შექმნილი ეს ინდექსი (ანუ დასასვენებელი ტურიზმი), იმის გათვალისწინებით, რომ ტურიზმს აქვს საკმაოდ ფართო განმარტება: „ტურიზმი არის სოციალური, კულტურული და ეკონომიკური ფენომენი, რომელიც გულისხმობს ადამიანების მოძრაობას სხვადასხვა ქვეყანასა და ადგილებში მათი ჩვეულებრივი გარემოს მიღმა პირადი ან საქმიანი/პროფესიული მიზნებისთვის“. HCI-ს მთავარი მიღწევა არის ის, რომ მისი სარეიტინგო სკალის ცვლადები და კომპონენტების შენონვის სისტემა ეფუძნება არსებულ ლიტერატურაში ტურისტებისთვის მოხსენებული კლიმატური პირობების მზარდ რაოდენობას.

გასული ათწლეულის უპირატესობა TCI-ზე ასევე შეესაბამება დე ფრეიტასის და სხვების მიერ რეკომენდებულ კონცეპტუალურ დიზაინს და ამით ხსნის ფიზიკური ცვლადების (ქარი და წვიმა) უმთავრეს გავლენას ინდექსის რეიტინგების შესაფასებლად ყოველდღიური მონაცემების გამოყენებისას (მიუღებელი პირობების ალბათობის ჩათვლით). HCI ასევე ითვალისწინებს, რომ სხვადასხვა ტიპის მიმართულებებს აქვს ცვალებადი კლიმატური მოთხოვნები, სპეციფიკაციები შემუშავებული ორი ძირითადი ტურისტული სეგმენტისთვის – ურბანული და სანაპირო.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ბოლო დროს გამოჩნდა მთელი რიგი შრომები, სადაც მოცემულია TCI-ის მნიშვნელობები სხვადასხვა რეგიონის მიხედვით, ასევე მისი შედარება HCI-თან სხვადასხვა ქვეყანაში [5,10], მათ შორის საქართველოში [5,10]. კერძოდ, თბილისისა და კახეთის რეგიონის მაგალითზე. ჩვენ მიერ ასევე განიხილება -HCI-ის მნიშვნელობების, მისი კომპონენტებისა და ამ კომპონენტების რეიტინგების ურთიერთობა ადამიანის ჯანმრთელობასთან.

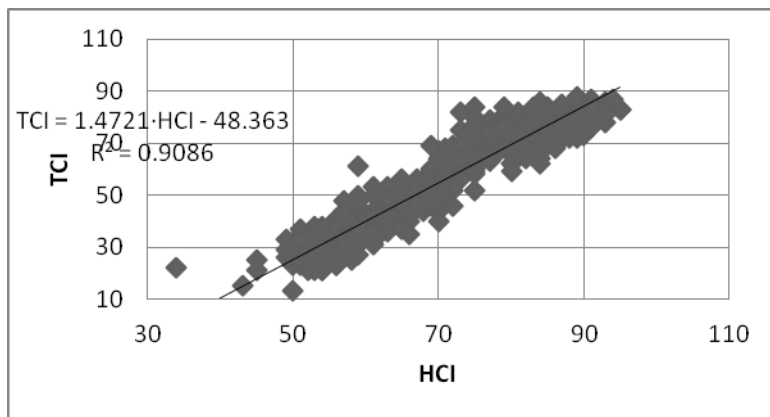
HCI [66,67,70,71,198,199] მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$HCI = 4 \cdot T + 2 \cdot A + 3 \cdot R + 1 \cdot W \quad (5.1.)$$

TCI-ისგან განსხვავებით, საშუალოდ, HCI ქვეინდექსების წვლილი მის მნიშვნელობაში თანაბრად მცირდება, 10% საფეხურით: ჰაერის ეფექტური ტემპერატურა – 40%, ნალექი - 30%, ღრუბლის საფარი – 20%, ქარი – 10%.

როგორც TCI-ის შემთხვევაში, ისე HCI-ს განსაზღვრისას უდიდესი როლი ენიჭება თერმულ რეჟიმს (თუმცა რამდენადმე დაბალია, ვიდრე TCI-ისთვის). ნალექების როლი HCI-ს განსაზღვრაში უფრო მაღალია, ვიდრე TCI-ის შემთხვევაში. დანარჩენი ქვეინდექსები იგივეა მათი საშუალო წვლილისთვის (TCI) და (HCI) მნიშვნელობებში.

"კლიმატური მიმზიდველობის" რეიტინგები, რაც დამოკიდებულია TCI და HCI_ის მნიშვნელობებზე (TCI და HCI კატეგორიები) პრაქტიკულად ემთხვევა [198].



ნახ.5.7. ხაზოვანი კორელაცია და რეგრესია HCI-სა და TCI-ს შორის მესტიაში.

Fig. 5.7. Linear correlation and regression between HCI and TCI in Mestia

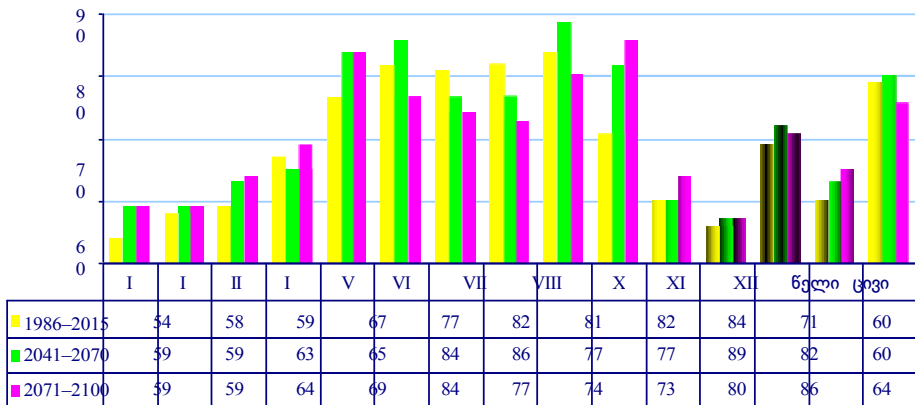
იმისათვის, რომ დავადგინოთ, ტურისტულ ბიზნესზე როგორ გავლენას მოახდენს კლიმატის ცვლილება, განსაზღვრულ იქნა სამი ოცდაათწლიანი პერიოდით საბაზისო პერიოდი (1986-2015 წლები): პირველი საპროგნოზო პერიოდი (2041-2070 წ.) და მეორე საპროგნოზო პერიოდი (2071-2100 წ.) დასვენების კლიმატური ინდექსის საშუალო თვიური, საშუალო წლიური და საშუალო სეზონური მნიშვნელობები; მესტიაში მოსალოდნელია HCI კატეგორიების უმნიშვნელო ცვლილება. პირველ საპროგნოზო პერიოდში საბაზისო პერიოდთან შედარებით მარტში, მაისსა და ოქტომბერში, ასევე თბილ პერიოდში აღინიშნება კატეგორიის გაუმჯობესება (მწვანე უჯრები) ერთი საფეხურით.

მეორე საპროგნოზო პერიოდში, ივლისსა და აგვისტოში (იასამნისფერი უჯრები) აღინიშნება კატეგორიის გაუარესება ერთი საფეხურით. მეორე საპროგნოზო პერიოდში, კატეგორიის ერთი საფეხურით გაუმჯობესებაა მარტში, მაისსა და ოქტომბერში, ერთი საფეხურით გაუარესება კი ივნის-აგვისტოში. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილება ვერ მოახდენს მნიშვნელოვან გავლენას მესტიის ტურისტულ პოტენციალზე [10].

ცხრილი 5.9. მესტიაში HCI-ის საშ. წლიური, სეზონური და თვიური მნიშვნელობები (1986-2015, 2041-2070 და 2071-2100 წლებში)

Table 5.9. Average annual, seasonal and monthly values of HCI in Mestia (1986-2015, 2041-2070 and 2071-2100)

თვე / პერიოდი	1986-2015	2041-2070	2071-2100
იანვარი	სასიამოვნო	სასიამოვნო	სასიამოვნო
თებერვალი	სასიამოვნო	სასიამოვნო	სასიამოვნო
მარტი	სასიამოვნო	კარგი	კარგი
აპრილი	კარგი	კარგი	კარგი
მაისი	ძალიან კარგი	შესანიშნავი	შესანიშნავი
ივნისი	შესანიშნავი	შესანიშნავი	ძალიან კარგი
ივლისი	შესანიშნავი	ძალიან კარგი	ძალიან კარგი
აგვისტო	შესანიშნავი	ძალიან კარგი	ძალიან კარგი
სექტემბერი	შესანიშნავი	შესანიშნავი	შესანიშნავი
ოქტომბერი	ძალიან კარგი	შესანიშნავი	შესანიშნავი
ნოემბერი	კარგი	კარგი	კარგი
დეკემბერი	სასიამოვნო	სასიამოვნო	სასიამოვნო
წელი	კარგი	ძალიან კარგი	ძალიან კარგი
ცივი სეზონი	კარგი	კარგი	კარგი



ნახაზი 5.8 დასვენების კლიმატური ინდექსის საშუალო თვიური, საშუალო წლიური და საშუალო სეზონური მნიშვნელობები 1986-2015, 2041-2070 და 2071-2100 წლებში.

Figure 5.8 Monthly average, annual average and seasonal average values of the climate index of recreation for the years 1986-2015, 2041-2070 and 2071-2100.

ჩვენ მიერ კლიმატის ცვლილებების შესახებ საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინების მიხედვით [10,67], საქართველოს სხვა რეგიონებისთვის ჩატარდა ანალოგიური შეფასებები სამთო ტურიზმის განვითარების კუთხით 11 ტურისტული დანიშნულების ობიექტისათვის. კატეგორიის გაუმჯობესება საბაზისო პერიოდის მიმართ აღნიშულია მწვანე, გაუარესება კი იასამნის ფერით.

ცხრილი 5.10: HCI-ის კატეგორიები სამი პერიოდისთვის
 Table 5.10. HCI categories for three period

პუნქტი	მესტია			ხაიში			ლენტეხი			ხულო			ბახმარო			ბაკურიანი		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
იანვარი	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
თებერვალი	5	5	5	4	4	3	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5
მარტი	5	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4
რილი	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
მაისი	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3	3
ივნისი	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	4	3	3	2	2	2
ივლისი	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2	2
აგვისტო	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
სექტემბერი	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	2
ოქტომბერი	3	2	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	3	3
ნოემბერი	4	4	4	4	4	3	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4
დეკემბერი	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
წელი	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3
ცივი	4	4	4	4	4	3	5	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4
თბილი	3	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2

პუნქტი	გუდაური			ფასანაური			შოვი			სტეფანწმინდა			თბილისი			ბორჯომი		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
იანვარი	5	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5
თებერვალი	5	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
მარტი	5	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
აპრილი	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	2	2	3	2	3
მაისი	5	4	4	3	2	2	3	3	3	4	3	3	2	2	3	2	2	2
ივნისი	4	3	3	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2	3
ივლისი	3	2	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3
აგვისტო	3	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	3	4	3	3	3
სექტემბერი	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
ოქტომბერი	4	4	4	3	2	2	3	4	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2
ნოემბერი	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
დეკემბერი	5	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
წელი	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ცივი	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
თბილი	4	3	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3

როგორც მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, ტურიზმის ბიოკლიმატური რესურსები არ განიცდის ცვლილებას კლიმატის ცვლილების ფონზე. მხოლოდ შესაძლებელია ამ ცვლილებამ განაპირობოს ტურიზმის კლიმატური ინდექსის ერთი საფეხურით გაზრდა ან შემცირება. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ საქართველოში ბიოკლიმატური რესურსები შეიცვალა უმნიშვნელოდ და მომავალშიც არ არის მოსალოდნელი არსებითი ცვლილებები.

სხვადასხვა ტიპის საკურორტო და ტურიზმის ინდუსტრიის ხარისხისა და მიმზიდველობის გაუმჯობესების მიზნით უფრო დეტალური შესწავლაა აუცილებელი.

კლიმატის ცვლილების მიმართ განსაკუთრებით მგრძობიარეა და ასევე მნიშვნელოვანია კლიმატის ცვლილების ასპექტების გათვალისწინება სამთო-სათხილამურო ტურიზმის განვითარებისათვის. ამიტომ ორი ოცაათწლიანი პერიოდისათვის (I პერიოდი 1961-1985 წლები და II პერიოდი 1986-2010 წლები) შეფასდა თოვლის საფარის ხანგრძლივობის ცვლილების კანონზომიერებანი საქართველოს რამდენიმე სამთო-სათხილამურო კურორტისთვის (მესტია, გოდერძი, გუდაური, ბაკურიანი).

თოვლის რაოდენობა და თოვლის საფარის სიმაღლე ახასიათებს ტერიტორიის თოვლიანობას. ზემოთ ჩამოთვლილი ზამთრის კურორტებისათვის ქვეყნის ტერიტორიაზე განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურებისა და საგუშაგოების მრავალწლიური მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა თოვლის საფარის მახასიათებლები. აღნიშნული მონაცემების გარდა, აგრეთვე ანგარიშის დროს გამოვიყენეთ თოვლის მარშრუტული აგეგმვის მასალები.

კლიმატური ფაქტორების გარდა სამთო-სათხილამურო სეზონის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ფიზიკურ-გეოგრაფიულ ფაქტორებზე, როგორცაა სიმაღლე ზღვის დონიდან, ტურისტული ობიექტის ადგილმდებარეობა.

სათხილამურო სეზონის ხანგრძლივობაზე მომავალში შესაძლებელია კლიმატის ცვლილებამ მნიშვნელოვნად იმოქმედოს, კლიმატის ცვლილების სცენარის მიხედვით(60-65) მოსალოდნელია საშუალო ტემპერატურების მატება ყველა თვეში (ცხრილი 5.13) პირველ საპროგნოზო 30-წლიან პერიოდში (2041-2070 წლები) საბაზისო 30-წლიან პერიოდთან (1971-200 წლები) შედარებით. როგორც ვლევები უჩვენებს, რამდენიმე დაბლობ ადგილას მდებარე სადგურის გამოკლებით საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე იკლებს ნალექების რაოდენობა. მომავალში, ტემპერატურების ზრდისა და ნალექების შემცირების შედეგად, დიდი ალბათობით შემცირდება თოვლის საფარის ხანგრძლივობაც.

ცხრილი 5.11. პირველ საპროგნოზო პერიოდში საბაზისო საშუალო ტემპერატურების ცვლილება ცალკეულ თვეებში

Table 5.11. Changes in basic average temperatures in individual months in the first forecast period

სადგური	თვე						სეზონი			წელი
	იანვარი	თებერვალი	მარტი	აპრილი	მაისი	ივნისი	გაზაფხული	შემოდგომა	ზამთარი	
მესტია	4.4	2.1	2.8	2.4	5.9	1.6	3.5	3.3	2.5	2.9
გუდაური	3.4	3.1	2.9	2.7	2.8	2.1	2.9	3.0	2.9	3.0

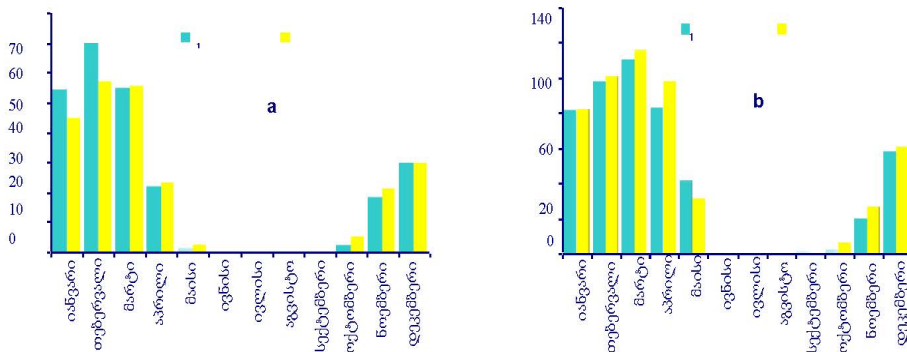
მიღებულია, რომ სათხილამურო ზონა თოვლიანობის თვალსაზრისით ითვლება საიმედოდ, როდესაც თოვლის საფარის სიმაღლე (ხელოვნური, ან ბუნებრივი) აღემატება 30 სმ-ს 100 დღის მანძილზე. ცხრილ 5.15–ში მოცემულია თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლის სტატისტიკური მახასიათებლები ბაკურიანსა და გუდაურში 1956-2015 წლებში. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, ბაკურიანში თოვლის საფარის საშუალო სიმაღლეებს შორის მაქსიმალურია თებერვალში (61.3 სმ), მინიმალური კი – ივნისსა და სექტემბერში (0.1 სმ). მთელი სადამკვირვებლო პერიოდის განმავლობაში, თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლე, 130 სმ ბაკურიანში დაფიქსირდა 1956 წლის მარტში, როდესაც ხელოვნური ან ბუნებრივი თოვლის საფარის სიმაღლე აღემატება 30 სმ-ს 100 დღის მანძილზე სათხილამურო ზონა ითვლება საიმედოდ თოვლიანობის თვალსაზრისით. ბაკურიანსა და გუდაურში 1956-2015 წლებში არსებული თოვლის საფარის სტატისტიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 5.12. თოვლის საფარის საშუალო სიმაღლეებს შორის უდიდესია მარტში (115.1 სმ), მინიმალური – ოქტომბერში (0.7 სმ). თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლე, 330 სმ გუდაურში დაფიქსირდა 2008 წლის თებერვალში.

5.12. თოვლის საფარის სტატისტიკური მახასიათებლები გუდაურსა და ბაკურიანში
 5.12. Statistical characteristics of snow cover in Gudauri and Bakuriani

თვე	Mean		Min		Max	
	ბაკურიანი	გუდაური	ბაკურიანი	გუდაური	ბაკურიანი	გუდაური
იანვარი	49.0	81.2	0	0	83	300
თებერვალი	61.3	99.8	0	0	112	330
მარტი	54.2	115.1	0	0	130	294
აპრილი	23.9	91.9	0	0	109	260
მაისი	2.3	37.6	0	0	23	312
ივნისი	0.1	0.0	0	0	3	0
ივლისი	0.0	0.0	0	0	0	0
აგვისტო	0.0	0.0	0	0	0	0
სექტემბერი	0.1	0.7	0	0	2	35
ოქტომბერი	4.9	6.8	0	0	28	50
ნოემბერი	20.2	26.1	0	0	80	121
დეკემბერი	35.2	55.8	0	0	70	244

ნახ. 5.9-ზე მოცემულია თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლის სტატისტიკური მახასიათებლები ბაკურიანსა და გუდაურში. ბაკურიანში, 1958-1987 წლებთან შედარებით 1988-2017 წლებში თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლის საშუალო მნიშვნელობების შესამჩნევი ცვლილება აღინიშნა იანვარში (შემცირება 17 %-ით), თებერვალში (შემცირება 19%-ით) და ნოემბერში (ზრდა

17%-ით). გუდაურში თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლის საშუალო მნიშვნელობა გაზრდილია აპრილში (18%-ით) და ნოემბერში (30%-ით).



ნახაზი 5.9. თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლე ბაკურიანსა (a) და გუდაურში (b)
Figure 5.9. Maximum height of snow cover in Bakuriani (a) and Gudauri (b)

ტურიზმის გეგმაზომიერი განვითარებისათვის აუცილებელია ჩატარდეს ცალკეული ტერიტორიების ბიოკლიმატური რესურსების უფრო დეტალური შესწავლა სხვადასხვა ტიპის საკურორტო და ტურიზმის ინდუსტრიის ხარისხისა და მიმზიდველობის გაუმჯობესების მიზნით.

უნდა იქნეს შემუშავებული ტურიზმის კომპლექსური განვითარების გრძელვადიანი სტრატეგია რეგიონებში არსებული ბუნებრივი და სხვა რესურსების მონაცემთა შესაბამისი ბაზის გამოყენების საფუძველზე. საქართველოს სამივე (სანაპირო, მთიანი და ალპური) კლიმატურ ზონაში ამჟამად ხელსაყრელი კლიმატური პირობები არსებობს ზაფხულის ტურიზმის განსავითარებლად, თუმცა ტურიზმის კლიმატური ინდექსის პროგნოზირებულ მაჩვენებლებზე დაყრდნობით შეიძლება ითქვას, რომ მიმდინარე საუკუნის შუა პერიოდისათვის ზღვისპირა ზონაში კლიმატის დათბობის პირობებში მოსალოდნელი იქნება კომფორტულობის გარკვეული შემცირება. გარდა ამისა, ტურისტული სეზონის დროს ტემპერატურის მატებამ შესაძლოა გამოიწვიოს დიარეით მიმდინარე ინფექციურ დაავადებათა რიცხვის ზრდა და თბური ტალღების გახშირება, რაც აუცილებელს გახდის წინასწარი შეტყობინების სამსახურის ჩამოყალიბებას. მოსალოდნელია აგრეთვე კლიმატის ექსტრემალურ მოვლენებთან დაკავშირებული ჯანმრთელობის პრობლემების გამწვავება. ტურიზმის განვითარების ხელშეწყობისათვის შემდეგი ღონისძიებების ჩატარებაა აუცილებელი:

რეგიონების მიხედვით ტურიზმის განვითარებისათვის სრულყოფილი მონაცემთა ბაზის შექმნის მიზნით აუცილებელია შესწავლილ იქნეს ქვეყანაში არსებული ბუნებრივი და სხვა სახის რესურსები. ასევე საჭიროა ტურიზმის ცალკეული დარგების განვითარებისათვის დეტალურად აღინუსხოს არსებული ინფრასტრუქტურის ობიექტები. ტურიზმის დარგის კომპლექსური განვითარების

სათვის გრძელვადიანი სტრატეგია უნდა შემუშავდეს რეგიონებში არსებული რესურსების შესახებ საინფორმაციო ბაზის გამოყენებით. უნდა შემუშავდეს ასევე ტურიზმის სექტორის დივერსიფიცირებისა და შიდა ტურიზმის განვითარების მიზნით შესაბამისი მექანიზმები, რაც განაპირობებს ტურიზმის სხვადასხვა სახეობის განვითარებას, როგორცაა ეკოტურიზმი, სამედიცინო ტურიზმი (ბალნეოლოგიური კურორტები მინერალური წყლებით, გოგირდის აბანოები, სამკურნალო ტალახი ახტალაში და ა.შ.), სპორტული ტურიზმი (ალპინიზმი და სხვ.).

ტურისტული ნაკადის ზრდის უზრუნველსაყოფად უნდა მოხდეს საგზაო ტურისტული ნიშნებისა და საინფორმაციო დაფების განთავსება. უნდა გაიზარდოს, როგორც ეს აღნიშნულია ტურიზმის სტრატეგიის მიმართვაში [10], დაცული ტერიტორიების როლი რეგიონის მდგრადი განვითარების პროცესში და შესაბამისად უნდა იქნეს გათვალისწინებული ადგილობრივი მოსახლეობის როგორც სოციალური, ისე ეკონომიკური და კულტურული უფლებები. ასევე უნდა იქნეს შექმნილი ალტერნატიული წყაროები ადგილობრივი მოსახლეობის სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესების მიზნით, როგორცაა ოჯახური სასტუმროებისა და საზოგადოებრივი კვების ობიექტების მოწყობა, გიდების დაქირავება და ა.შ.).

ეკონომიკური, სოციალური და გარემოს ინტერესების დასაბალანსებლად აუცილებელი ინსტრუმენტია გარემოს დაცვითი პოლიტიკის ინტეგრაცია. უნდა აღინიშნოს, რომ ჯანმრთელი გარემო აუცილებელი წინაპირობაა სოციალური კეთილდღეობისათვის, ხოლო გარემოს განვითარების და სოციალური საკითხები კი არის ურთიერთდამოკიდებული. ეს კი განაპირობებს იმას, რომ მრავალი ქვეყნისათვის ერთ-ერთი ძირითადი გამოწვევაა მმართველობის სფეროში გარემოსდაცვითი პოლიტიკის ინტეგრაცია.

5.2. ქარის და ნვიმის ერთობლივი ზემოქმედება ვერტიკალურ ზედაპირებზე კლიმატის ცვლილების დინამიკის გათვალისწინებით

ქარისა და ნვიმის ერთობლივი ზემოქმედების შეფასება აქტუალური გახდა სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ინტენსიფიკაციასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებით მიმდინარე საუკუნის 60-იანი წლებიდან. ასეთი ზემოქმედების შედეგად უარესდება შენობათა კედლების სტრუქტურა, ირღვევა ნაგებობათა ფასადები, ჩქარდება არმატურის კოროზია და ა.შ.

საქართველოს რთული ოროგრაფიული და კლიმატური პირობები განსაზღვრავენ ირიბი ნვიმების ზემოქმედების დიდ მრავალფეროვნებას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მათი გავლენა კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ, შიდა და სამხრეთ რაიონებში, აგრეთვე აჭარის სანაპირო ზოლში, სადაც ნალექების დიდი რაოდენობა მოდის. აღნიშნულ რაიონებში ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების რაოდენობა შეიძლება აღემატებოდეს

მათი საერთო რაოდენობის 70-80%-ს. ირიბი წვიმების შემოქმედების ზომიერ ზონას მიეკუთვნება დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დანარჩენი ნაწილი, ხოლო ირიბი წვიმების შემოქმედება თითქმის უმნიშვნელოა აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკე რაიონებში.

კლიმატის გლობალური ცვლილების თანამედროვე პირობებში გარკვეული ცვლილება განიცადა რეგიონალურმა კლიმატმაც, მათ შორის საქართველოს კლიმატმაც. ყოველივე ეს კარგად აისახა „კლიმატის ცვლილების კვლევის ეროვნული პროგრამის“ შესაბამისად შესრულებულ ანგარიშებში, რომლებიც ეხება ტემპერატურისა და ნალექების ველების ცვლილებას.

კლიმატის ძირითადი პარამეტრებისათვის შესწავლილ იქნა მათი ცვლილების ტენდენცია. საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის სადგურების დაკვირვების მონაცემებზე დაყრდნობით 1958-2017 წწ. პერიოდში საშუალო წლიური მნიშვნელობისა და წლის სეზონების მიხედვით ტემპერატურის, ნალექებისა და ქარის ექსტრემალურ მნიშვნელობათა ალბათობების დასადგენად გამოყენებულ იქნა R დაფუძნებული პროგრამული პაკეტი ExtRemes Toolkit, რომელიც შექმნილია ამერიკის ატმოსფეროს კვლევის ცენტრის (NCAR) მიერ.

მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო მნიშვნელობებისთვის, ასევე, სპეციალიზებული სამშენებლო-კლიმატური მახასიათებლებისთვის წრფივი ტრენდების სტატისტიკური საიმედოობა შეფასებულ იქნა მენ-კენდელის მეთოდით [17,19] გამოვლენილ იქნა ცვლილების ტენდენციები. მიმდინარე 50 წლის განმავლობაში საშუალო წლიური ტემპერატურა საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მხოლოდ მატების ტენდენციას ავლენდა. ორ პერიოდს შორის (1958-1987; 1988-2017 წ.წ.). ჰაერის ტემპერატურა მომატებულია ყველგან დაახლოებით 0.2-0.7 გრადუსით და მიმდინარეობს ზაფხულ-შემოდგომის ხარჯზე. დასავლეთ საქართველოში ძირითადად დათბობა განპირობებულია ღამის, ხოლო აღმოსავლეთში დღის ტემპერატურის აწევის ხარჯზე. ყველაზე მეტად ამ პარამეტრმა დედოფლისწყაროში მოიმატა საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურისთვის, შესაბამისად). დასავლეთ საქართველოში კი ამ პერიოდში მაქსიმალურმა ნაზრდმა 0.6 გრადუსი (ფოთი) შეადგინა. დათბობის შედარებით ნაკლები, მაგრამ მნიშვნელოვანი ტენდენცია გამოვლინდა მცხეთა-მთიანეთსა და კახეთში.

ატმოსფერული ნალექების წლიურმა ჯამებმა 1958-1987 პერიოდში დაიკლო 20%-ით და 1988-2017 წლებში გაიზარდა 15%-ის ფარგლებში. მათი ზრდის ყველაზე დიდი მნიშვნელობები აღინიშნა აჭარის სამხრეთ მთიან რაიონებში და შირაქის ვაკეზე. ნალექები გაიზარდა აგრეთვე კოლხეთის ბარის სანაპირო ზოლსა და აჭარაში. ნალექების მნიშვნელოვანი კლება აღინიშნება კავკასიონის მაღალმთიან ზონასა და გურია-აჭარის მთებში.

თბილი პერიოდის ნალექები აგრეთვე იცვლებოდა საქართველოს ტერიტორიაზე. მათი ზრდის უდიდესი მნიშვნელობები 10-15% აღინიშნა

კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ ნაწილში. ჯავახეთის ზეგანზე და შირაქის ველზე ნალექები გაიზარდა 5-10%-ით.

ნალექების მკვეთრი შემცირება 25%-მდე აღინიშნება მაღალმთიან ყაზბეგში. აღმოსავლეთ კავკასიონის უმეტეს ტერიტორიაზე, ვაგრის ქედზე, ვგრისის ქედზე, მესხეთის ქედზე, აჭარა-გურიის მთებში და ქვემო ქართლში ნალექებმა დაიკლო 5-დან 15%-მდე.

ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ნალექები (ე.წ. ირიბი წვიმები) 1958-1987 და 1988-2017 წლებში ძირითადად შემცირდა 5-დან 30%-მდე, გამონაკლის წარმოადგენს აბასთუმანი, სადაც აღინიშნება ნალექების ზრდა 16%-ით. ნალექების საერთო ჯამი ამ რაიონში აგრეთვე შემცირდა, ოღონდ შედარებით ნაკლები სიდიდით (-5%). ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების ასეთი მნიშვნელოვანი შემცირება შეიძლება აიხსნას ქარის სიჩქარის შესუსტებით.

ირიბი წვიმების რაოდენობის შემცირება აღინიშნება აგრეთვე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზეც, რაც, ვფიქრობთ, იმავე მიზეზით აიხსნება. ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების რაოდენობა თბილისში შემცირდა 32%-ით, რაც 87მმ-ს შეადგენს, საგარეჯოში – 24%-ით (56მმ), თელავში – 5%-ით (14მმ), გურჯაანში – 36%-ით (64მმ), დუშეთში – 16%-ით (22მმ) და სხვ.

აჭარის სანაპირო ზოლსა და გუდაუთის რაიონში ნალექების ცვლილება უმნიშვნელოა, ვაგრასა და ვალში შემცირდა 16-30%-ით, რაც 70-75მმ-ს შეადგენს, ხოლო ფოთსა და სოხუმში გაიზარდა შესაბამისად 5%-ით (46მმ) და 22%-ით (78მმ). ფოთში საერთო ნალექების ჯამიც გაიზარდა 8%-ით, სოხუმში კი შემცირდა 5%-ით. ამრიგად, ირიბი წვიმების გაზრდა სოხუმში უნდა აიხსნას აქ ქარის რეჟიმის ცვლილებით, კერძოდ დიდი სიჩქარის ქარების განმეორებადობის ზრდით. ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები გაიზარდა აგრეთვე კოლხეთის ბარის ცენტრალურ რაიონში, მაგალითად, სამტრედიის მონაცემებით ზრდამ შეადგინა 10% (55 მმ).

საერთოდ, დამოკიდებულება ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების ცვლილებასა და ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსულ ნალექების ცვლილებას შორის არ არის ცალსახა. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები შემცირდა, შემცირდა აგრეთვე ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექებიც. ამდენად, სადგურთა ამ ჯგუფისათვის ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების შემცირება განპირობებულია ნალექების საერთო რეჟიმით – მათი შემცირებით ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ასეთ სადგურებს მიეკუთვნება დუშეთი, ყვარელი, ლაგოდეხი, საგარეჯო, თელავი, წყალტუბო და სხვა იმ პუნქტებს, რომლებზეც ნალექების საერთო რაოდენობა უმნიშვნელოდ შემცირდა ან გაიზარდა, მაგრამ ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები შემცირდა მნიშვნელოვნად, მიეკუთვნება ურბანიზებული სადგურები (თბილისი, გორი) და აგრეთვე მთიანი რაიონები, სადაც ქარის სიჩქარე ბოლო 30 წლის განმავლობაში, მწვანე ნარგავების განაშენიანების გამო შემცირდა (მთა-საბუეთი, ხულო).

პუნქტებში, სადაც ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები საერთოდ შემცირდა, მაგრამ ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსულმა ნალექებმა იმატა ან შემცირდა უმნიშვნელოდ, ე.ი. ამ პუნქტებში მოხდა ქარის რეჟიმის ან ნალექების მოსვლის ხასიათის მნიშვნელოვანი ცვლილებები. მათ უპირველეს ყოვლისა მიეკუთვნება ფასანაური, სოხუმი, ხაშური, გარდაბანი, სამტრედია, აბასთუმანი და სხვ.

ირიბი წვიმების დაკვირვებათა ორი პერიოდისათვის (1958-1987 და 1988-2017წწ). განსაზღვრულია განაწილება მიმართულებების მიხედვით (განაწილებები ორიენტაციის მიხედვით) თითოეული ვარდული თავისი ინდივიდუალურობით ხასიათდება, თუმცა კონკრეტულ პუნქტში ვარდულს თავისი დამახასიათებელი კონფიგურაცია გააჩნია და მნიშვნელოვნად არ არის შეცვლილი მეორე პერიოდის (1988-2017 წწ.) განმავლობაში.

ირიბი წვიმების გადანაწილების თითქმის იგივე ხასიათი, როგორც ხარისხობრივად, ისე რაოდენობრივად, შენარჩუნებულია აბასთუმანში, ახალქალაქში, ამბროლაურში, ბათუმში, ბახმაროში, ბაკურიანში, სოხუმში, ხულოში, ჩაქვში, ტყიბულში, ხაშურში, ფოთსა და სამტრედიაში. მაქსიმალური სხვაობა ერთსა და იმავე ორიენტაციის ზედაპირზე მოსულ ნალექებს შორის 1957-1987 და 1988-2017 წლების განმავლობაში არ აღემატება 5%-ს, ძირითადად კი ისინი ერთხვევა ერთმანეთს. თითქმის პროპორციულად არის შემცირებული ირიბი წვიმები ახალციხეში, ბაკურიანში, გალში, გურჯაანში, საგარეჯოში, საჩხერეში, წყალტუბოში, დუშეთში, ყვარელსა და ლაგოდეხში. ცვლილება შეადგენს რამდენიმე მმ-დან 15-20 მმ-მდე. ყველაზე დიდი განსხვავებები კი ამ ორ განხილულ პერიოდს შორის ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსულ ნალექებში აღინიშნება თბილისში, თელავში.

თბილისში ნალექები შემცირდა აღმოსავლეთით, სამხრეთ-აღმოსავლეთით, დასავლეთით და ჩრდილო-დასავლეთით ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირებზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კლება დასავლეთის და ჩრდილო-დასავლეთის ზედაპირზე. ეს შეიძლება აიხსნას როგორც ნალექების რაოდენობის საერთო შემცირებით თბილისში, ისე ურბანიზაციასთან დაკავშირებული ამ მიმართულების ქარების განმეორებადობის შემცირებით. სამაგიეროდ ირიბი წვიმები 6-დან 43 მმ-მდე გაიზარდა ჩრდილოეთით ორიენტირებულ ზედაპირზე, რაც ამავე მიმართულების ქარების განმეორებადობის გაზრდით უნდა აიხსნას. თელავში 15 მმ-ით შემცირდა სამხრეთ-დასავლეთის ზედაპირებზე მოსული ნალექების რაოდენობა (57-დან 42 მმ-მდე), სამაგიეროდ, უმნიშვნელოდ (3-7 მმ-ით) გაიზარდა აღმოსავლეთით და დასავლეთით ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირებზე ისე, რომ ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ნალექების საერთო ჯამი შემცირდა 14 მმ-ით, რაც მხოლოდ 5%-ს შეადგენს.

ფარავანში ნალექები გაიზარდა ჩრდილოეთის, ჩრდილო-აღმოსავლეთის, სამხრეთ-აღმოსავლეთის და ჩრდილო-დასავლეთის ზედაპირებზე, სამაგიეროდ, შემცირდა აღმოსავლეთის, სამხრეთის, სამხრეთ-დასავლეთის

და დასავლეთის ზედაპირებზე. საერთო ჯამში ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ნალექები გაიზარდა 68 მმ-ით, რაც 23%-ს შეადგენს.

როგორც მშენებლობის პრაქტიკამ უჩვენა, შენობის კედლები ნესტიანდება ირიბი წვიმების ინტენსიური ზემოქმედების შედეგად და მთელ რიგ შემთხვევებში აუცილებელია მიღებულ იქნეს სპეციალური წვიმისგან დამცავი ღონისძიებები. შენობების ირიბი წვიმების ზემოქმედებისაგან დაცვის მიზანია კონსტრუქციების, შენობების და სათავსოების ნაადრევი დანგრევის უგულებელყოფა და აგრეთვე შენობების შიგნით უფრო ხელსაყრელი ტენიანობის რეჟიმის შექმნა.

შენობების ირიბი წვიმების ზემოქმედებისაგან დამცავი ღონისძიებები განისაზღვრება მოცემული სამშენებლო რაიონის კლიმატური თავისებურებებით და დამოკიდებულია ირიბი წვიმების რაოდენობაზე, შენობების სართულიანობაზე, კედლების ორიენტაციაზე ირიბი წვიმების ზემოქმედების არახელსაყრელი მიმართულებების მიმართ, სათავსოს მიკროკლიმატის და არქიტექტურულ-გეგმარებითი გადაწყვეტების მოთხოვნებზე.

ირიბი წვიმების ზემოქმედების ინტენსივობა მიზანშეწონილია შეფასდეს ძირითადად თვის მანძილზე მოსული მაქსიმალური ირიბი წვიმების რაოდენობების მიხედვით. ირიბი წვიმების ზემოქმედების გრადაციების განსაზღვრისას და რუკის შედგენისას მხედველობაში იქნა მიღებული ყველა სამუშაო, საზღვარგარეთელი და ჩვენი ქვეყნის მეცნიერთა გამოკვლევები, აგრეთვე საქართველოს სხვადასხვა რაიონში შენობების მასიური გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც ჩატარებულ იქნა ჩვენ მიერ.

ირიბი წვიმების უმნიშვნელო ზემოქმედებისას ($H_v < 50$ მმ) შეიძლება საკმარისი აღმოჩნდეს ჩვეულებრივი წვიმისაგან დამცავი ღონისძიებები. იმ შემთხვევაში, როდესაც ირიბი წვიმების საშუალო თვიური რაოდენობები მერყობს 50-80 მმ ფარგლებში, მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს სპეციალური წვიმისგან დამცავი მოწყობილობები პირაპირებს შორის, ჰერმეტიკული და პიდროიზოლაციური მასალები და ა.შ. როდესაც $80 < H_v < 100$ მმ-ზე მიზანშეწონილია ისეთი წყალსარინი მოწყობილობების მოწყობა, როგორცაა წინაფრები, აივნები, ღია პირაპირები და სხვა. ირიბი წვიმების განსაკუთრებით ინტენსიური ზემოქმედებისას (როდესაც $H_v > 100$ მმ-ზე), აუცილებელია მიღებულ იქნეს ღონისძიებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის გამოშრობას, მაგ. კედლები ვენტილირებული საჰაერო შუა შრით.

ირიბი წვიმების შენობებზე ზემოქმედების ინტენსიურობის დამუშავებული გრადაციები კარგად ემთხვევა ნაგებობათა კედლებისა და მათ შორის პირაპირების მასიურ გამოკვლევებს საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში. ე. თბილისში პირაპირების გამოკვლევისას დაფიქსირებული იყო გაჟონვების ყველა შემთხვევა, რომლებიც აღნიშნულია შუა პანელების პირაპირებს შორის.

გამოკვლევულ იქნა 3900 პირაპირი, მათ შორის გაჟონვები აღინიშნა 86-ში, რაც წარმოადგენს საერთო შემთხვევათა 2%-ს. ყველა გაჟონვა დაიკვირვე-

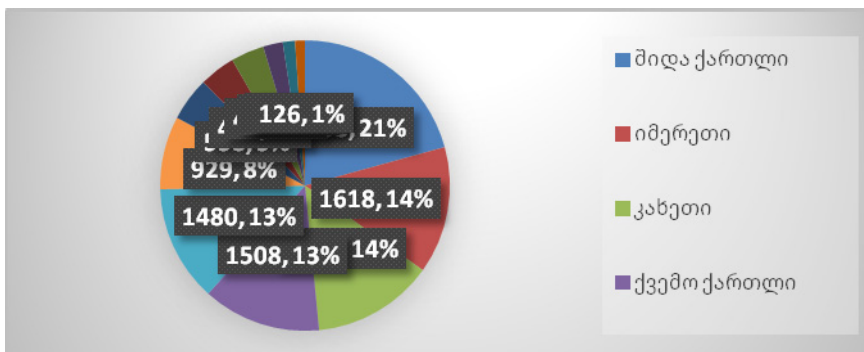
ბოდა ჩრდილო-დასავლეთ მიმართულებიდან, რაც სავსებით შეესაბამება ქ. თბილისის ირიბ წვიმების ვარდულს. ყველა გამოკვლეული პირაპირები შესრულებული იყო ჰერმეტიზებული მასალების გარეშე.

ნატურალური გამოკვლევებით დამტკიცდა, რომ ქ.თბილისი იმყოფება ირიბი წვიმების უმნიშვნელო ზემოქმედების ზონაში, რითაც აიხსნება ის გარემოება, რომ პირაპირები ჰერმეტიზებული მასალების გარეშე არ ჟონავს ამ პირობებში (98%). უმნიშვნელო გაჟონვები აღინიშნება მხოლოდ ჩრდილო-დასავლეთი მიმართულებით, რაც მთლიანად შეესაბამება გამოთვლის შედეგებს. თეორიული მეთოდით გაანგარიშებული ირიბი წვიმების მახასიათებლების და ნატურალური გამოკვლევების შედეგად რეკომენდებულია გამოყენებულ არ იქნეს ჰერმეტიზებული მასალები კედლების პირაპირებს შორის. საკითხის ასეთი მიდგომა იძლევა დიდი ეკონომიურ ეფექტს.

ამავე დროს საქართველოს მთელ რიგ პუნქტებში შენობები განიცდის მზის რადიაციის გადაჭარბებულ ზემოქმედებას და საჭიროა მათი დაცვა გადახურებისაგან, ზოგიერთ შემთხვევაში კი შესაძლოა ირიბი წვიმების და მზის რადიაციის არახელსაყრელი ორიენტაციები დაემთხვეს ერთმანეთს. ამიტომ ამ პერიოდში მზისგან დამცავი მოწყობილობები შეიძლება მუშაობდეს, როგორც წვიმისგან დამცავი. ამ დროს შესაძლოა მათი კომპლექსური დაპროექტება.

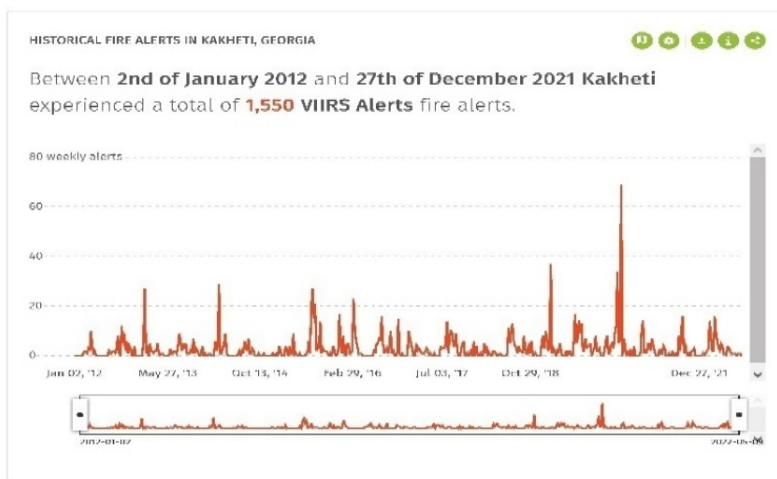
5.3. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე

საქართველოს ხანძარსაშიში რეგიონებიდან ერთ-ერთს კახეთი წარმოადგენს (იხ. ნახ.5. 11). კახეთში 2012 წლის 2 იანვრიდან 2021 წლის 27 დეკემბრამდე, თანახმად GLOBAL FOREST WATCH-ის მონაცემებისა, დარეგისტრირებულ იქნა 1550 სახანძრო განგაში (ნახ.5.10. და 5.11). აღნიშნულ პერიოდში კახეთი იყო მესამე ადგილზე სახანძრო განგაშის რაოდენობის მიხედვით საქართველოს დანარჩენ რეგიონებს შორის შიდა ქართლისა და იმერეთის შემდეგ (ნახ.5.11.).



ნახ.5.10. საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში 2012-2021 წლებში სახანძრო განგაშის ჯამური რაოდენობა

Fig. 5.10. The total number of fire alarms in different regions of Georgia in 2012-2021



ნახ.5. 11. სახანძრო განგაშის 7-დღიანი რაოდენობის სვლა ვახეთში 2012-2021 წლებში. Fig. 5. 11. Progress of the 7-day number of fire alarms in Kakheti in 2012-2021.

ადგილის მეტეოროლოგიურ პირობებზე (ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა, ელჭექები, ატმოსფერული ნალექები და სხვა) უშუალოდაა დამოკიდებული ხანძრების წარმოშობის და გავრცელების პრობლემა, მათ შორის ტყის ხანძრების. კერძოდ, ცნობილია, რომ ხაძარსაშიშროების მატებას ხელს უწყობს ჰაერის მაღალი ტემპერატურა და დაბალი ტენიანობა. კლიმატის გლობალური [1,92,93] და ლოკალური დათბობის ფონზე ბოლო პერიოდში ეს პრობლემა ღრმავდება და განაპირობებს ხანძრების რაოდენობის მატებას.

ტყის სახანძრო საშიშროების სხვადასხვა (მათ შორის საკუთარი) მაჩვენებელი გამოიყენება მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში [157]. ეს მაჩვენებლები წარმოადგენენ მათემატიკურ ფორმულებს, რომლებიც ფორმალიზებას უკეთებენ ტემპერატურისა და ტენიანობის, ატმოსფერული ნალექების, სატყეო საწვავის ტენიანობის, ელჭექის აქტივობის და სხვათა გავლენას. შესაბამისი სკალის მეშვეობით ამ მაჩვენებლების რიცხვითი მნიშვნელობების გარდა აგრეთვე სიტყვიერად განისაზღვრება სახანძრო საშიშროების ხარისხი. ტყეების ხანძარსაშიშროების დონეების შესახებ, კლიმატოლოგიური ოპერატიული ინფორმაციის გარდა განისაზღვრება აგრეთვე მათი მოკლევადიანი და გრძელვადიანი პროგნოზი.

საქართველოში კვლევები ტყეების სახანძრო საშიშროების ინდექსის შესახებ დაიწყო 2019 წელს თბილისის მაგალითზე [93] შემდგომში გაგრძელდა კვლევები სხვადასხვა რეგიონში. ყველა ამ შემთხვევისთვის გამოიყენებოდა ანგსტრომის მარტივი შვედური ინდექსი [157] ოთხ და ხუთდიაპაზონიანი სკალით.

ვახეთის მაგალითზე წარმოდგენილია ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის გამოყენების რეპრეზენტატულობის გამოკვლევის შედეგები ხანძრის წარმოშობის პირობების შეფასებისათვის და აგრეთვე კლიმატის დათბობის ზეგავლენა ხანძრის საშიშროების ხარისხის ცვლილებაზე.

ანგსტრომის შვედური ინდექსი AFI გამოითვლება ფორმულით:

$$AFI = (F/20) + (27-T) \quad (5.2.)$$

ცხრილი 5.13. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის (AFI) მნიშვნელობები და ხანძრის გაჩენის შესაბამისი დონეები.

Table 5.13. Angstrom Fire Index (AFI) values and corresponding flammability levels.

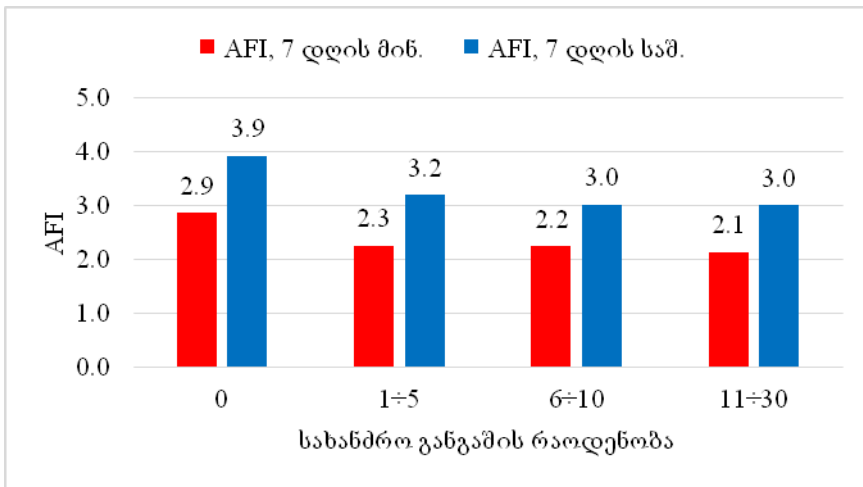
AFI	≥ 4.1	4.0 – 3.0	2.9 – 2.5	2.4 – 2.0	< 2.0
Level	Low	Moderate	High	Very High	Extreme
დონე	დაბალი	ზომიერი	მაღალი	ძალიან მაღალი	ექსტრემალური

მონაცემების ანალიზისათვის გამოყენებულია სტანდარტული სტატისტიკური მეთოდები. საშუალო მნიშვნელობებს შორის სხვაობის შეფასება ხდებოდა სტიუდენტის კრიტერიუმის გამოყენებით ნიშნადობის α დონით.

ანგსტრომის ინდექსის გამოყენების რეკრეგენტატულობის შეფასება ვახეთში ხანძრების გაჩენის პირობების განსაზღვრისათვის ხდებოდა 7 დღის განმავლობაში სახანძრო განგაშების რაოდენობის შედარებით თელავში AFI-ის 7 დღის განმავლობაში საშუალო და მინიმალურ მნიშვნელობებთან 2012-დან 2016 წლამდე პერიოდში (260 კვირა) [1].

გამოსაკვლევ პერიოდში სახანძრო განგაშის რაოდენობის განმეორადობა იყო შემდეგი (ნახ. 3): ხანძრის გარეშე (36.5 %, 95 კვირა), 1 დან 5-მდე სახანძრო განგაში (51.2 %, 133 კვირა), 6-დან 10-მდე სახანძრო განგაში (7.3 %, 19 კვირა) და 11-დან 30-მდე სახანძრო განგაში (5.0 %, 13 კვირა).

ნახ. 5.12 წარმოდგენილია მონაცემები თელავში AFI-ის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობებისა 7-დღიან ინტერვალში სახანძრო განგაშის რაოდენობების სხვადასხვა დიაპაზონში ვახეთში.

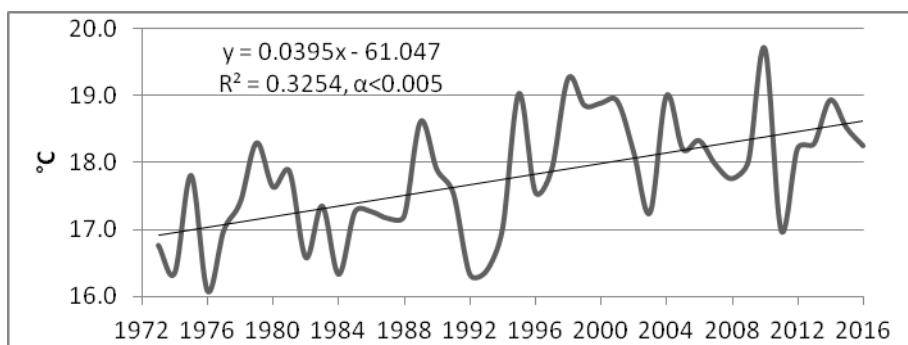


ნახ.5.12. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7-დღის საშუალო და მინიმალური გასაშუალოებული მნიშვნელობები სხვადასხვა დიაპაზონში ვახეთში 2012-2016 წლებში.

Fig. 5.12. 7-day average and minimum averaged values of Angstrom fire index in different ranges in Kakheti in 2012-2016.

როგორც ჩანს ნახ. 5.12-დან სახანძრო განგაშის რაოდენობის ზრდა ხდება AFI-ის მნიშვნელობების შემცირების ფონზე. ამრიგად, თელავისთვის ანგსტრემის სახანძრო ინდექსი ადეკვატურად შეესაბამება ვახეთში ხანძრების წარმოქმნის საშიშროების მეტეოროლოგიურ პირობებს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, AFI-ის გამოსათვლელად გამოიყენება მონაცემები ჰაერის ტემპერატურის T მაქსიმალური მნიშვნელობებისა და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის F შესახებ. ნაშრომის მოცემულ ნაწილში წარმოდგენილია მითითებული მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის ანალიზი თელავში 1973-დან 2016 წლამდე. ამავე დროს დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში (1973-2016 წლები) გამოყენებულია მონაცემები ჰაერის ტემპერატურის საშუალოთვიური მნიშვნელობებისთვის. ამ მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის შესასწავლად გამოიყენებოდა T და F-ის ყოველდღიური მონაცემები 1973-1977 და 2012-2016 წლებისთვის.



ნახ.5.13. ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობების ცვლილება თელავში 1973-2016 წლებში.

Fig. 5.13. Change of average annual values of maximum air temperature in Telavi in 1973-2016.

ნახ. 5.13. წარმოდგენილია თელავში ჰაერის საშუალო წლიური მაქსიმალური ტემპერატურის ცვალებადობის გრაფიკი 1973-2016 წლებში, რომელიც ნათლად აჩვენებს კლიმატის დათბობას ვახეთში აღნიშნულ პერიოდში. მაქსიმალური ტემპერატურის ტრენდი დადებითია და წრფივი. საშუალოდ რეგრესიის განტოლების შესაბამისად (ნახ.5. 13.), T-ს მნიშვნელობა თელავში გაიზარდა 16,9°C დან 1973 წელს 18,6°C-მდე 2016 წელს (1.7°C-ით მატება).

ცხრილებში 5.14 და 5.15 წარმოდგენილია მონაცემები ჰაერის ტემპერატურის T მაქსიმალური მნიშვნელობებისა და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის F სტატისტიკური მახასიათებლების შესახებ 1973-1977 და 2012-2016 წლების სხვადასხვა თვეებში. ნახ. 8 და 9-ზე თვალსაჩინოებისთვის წარმოდგენილია T და F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობების შიდაწლიური სვლის გრაფიკი 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

ცხრილი 5.14. ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურის (T, °C) სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.
 $\Delta T = T$ (II პერიოდი) საშუალო – T (I პერიოდი) საშუალო.

Table 5.14. Statistical characteristics of maximum air temperature (T, °C) in Telavi in 1973-1977 (I period) and 2012-2016 (II period).

$\Delta T = T$ (II period) average – T (I period) average.

I პერ.	1973-1977											
თვე	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Min	-6.0	-6.0	-2.0	3.0	12.0	15.0	19.0	14.0	11.0	6.0	1.0	-2.0
Max	15.0	19.0	21.0	28.0	30.0	35.0	36.0	36.0	37.0	28.0	25.0	20.0
Average	3.4	5.9	10.2	17.8	22.2	25.7	28.1	28.3	23.3	17.6	12.1	7.0
St Dev	4.5	6.1	4.7	4.8	3.4	3.7	3.8	4.3	4.4	4.9	4.4	4.3
Cv,%	133.0	102.8	45.9	26.9	15.1	14.6	13.7	15.4	18.9	28.0	36.6	61.3
σ_m	0.36	0.52	0.38	0.39	0.27	0.31	0.31	0.35	0.36	0.40	0.36	0.35
99%	0.92	1.32	0.97	1.00	0.69	0.79	0.79	0.90	0.93	1.02	0.93	0.89
II პერ.	2012-2016											
Min	-3.0	-5.2	1.7	6.5	13.1	18.3	18.2	18.3	15.6	1.9	-1.8	-2.2
Max	16.7	19.5	23.2	28.3	30.8	34.5	37.2	41.6	33.3	28.9	23.2	18.1
Average	6.9	7.8	12.3	18.7	23.4	27.9	29.3	31.8	25.7	18.0	12.3	7.2
St Dev	4.6	5.6	4.3	4.6	3.5	3.3	3.4	3.9	3.8	5.0	4.7	4.2
Cv,%	67.2	71.7	35.3	24.7	15.1	11.9	11.5	12.2	14.7	28.1	38.3	58.4
σ_m	0.37	0.47	0.35	0.38	0.28	0.27	0.27	0.31	0.31	0.41	0.38	0.34
99%	0.95	1.20	0.90	0.97	0.73	0.69	0.70	0.80	0.79	1.04	0.99	0.86
ΔT	3.5	1.8	2.1	1.0	1.2	2.2	1.2	3.5	2.4	0.4	0.2	0.1
$\alpha(t)$	<0.01	0.01	<0.01	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	არაჩიზნ.	არაჩიზნ.	არაჩიზნ.

ვერძოდ, როგორც ცხრ.5.14-დან ჩანს, 1973-1977 წლებში ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა -6.0 °C-დან (იანვარი, თებერვალი) 37.0°C-მდე (სექტემბერი). T-ს საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 3.4°C-დან (იანვარი) 28.3°C -მდე (აგვისტო).

2012-2016 წლებში (ცხრილი5.11) ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა -5.2 °C-დან (თებერვალი) 41.6°C-მდე (აგვისტო). T-ს საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 6.9°C-დან (იანვარი) 31.8°C-მდე (აგვისტო).

ამგვარად, ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური საშუალო თვიური ნიშნადი ზრდა 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით დაიკვირვება იანვრიდან სექტემბრამდე. უმეტესი ზრდა ხდება იანვარსა და აგვისტოში (3.5 °C), უმცირესი – აპრილში (1.0 °C).

ცხრილი 5.15. ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის (F, %) სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.

$\Delta F = F$ (II პერიოდი) საშუალო – F (I პერიოდი) საშუალო.

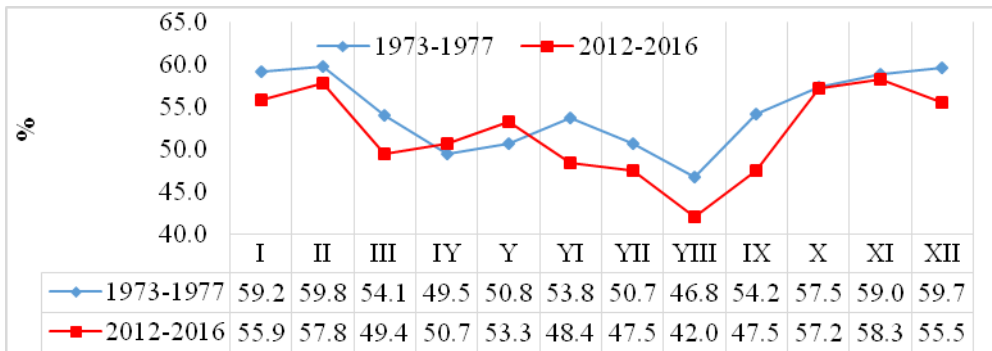
Table 5.15. Statistical characteristics of minimum relative air humidity (F, %) in Telavi in 1973-1977 (I period) and 2012-2016 (II period).

$\Delta F = F$ (period II) average – F (period I) average.

I პერ.	1973-1977											
თვე	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Min	14	22	15	18	23	26	25	15	20	20	28	9
Max	93	93	93	93	88	94	94	100	94	100	93	100
Average	59.2	59.8	54.1	49.5	50.8	53.8	50.7	46.8	54.2	57.5	59.0	59.7
St Dev	17.6	18.7	17.1	16.4	12.9	12.8	14.2	16.5	15.8	17.9	16.7	18.4
Cv,%	29.7	31.2	31.6	33.1	25.5	23.8	27.9	35.3	29.2	31.2	28.3	30.7
σ_m	1.4	1.6	1.4	1.3	1.0	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
99% (+/-)	3.62	4.0	3.5	3.4	2.7	2.7	2.9	3.4	3.3	3.7	3.5	3.8
II პერ.	2012-2016											
Min	20	27	25	25	31	23	23	25	20	24	21	22
Max	96	94	90	86	89	82	81	87	82	95	97	92
Average	55.9	57.8	49.4	50.7	53.3	48.4	47.5	42.0	47.5	57.2	58.3	55.5
St Dev	16.6	15.4	14.3	13.0	10.4	9.9	10.0	8.8	11.2	15.3	17.3	16.4
Cv,%	29.7	26.6	28.9	25.7	19.5	20.4	21.1	21.0	23.5	26.8	29.7	29.5
σ_m	1.3	1.3	1.2	1.1	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	1.2	1.4	1.3
99% (+/-)	3.4	3.3	2.9	2.7	2.1	2.1	2.1	1.8	2.3	3.2	3.6	3.4
ΔF	-3.3	-2.0	-4.7	1.2	2.5	-5.4	-3.2	-4.8	-6.7	-0.2	-0.7	-4.2
$\alpha(t)$	0.07	0.3	0.01	არა ნიშნ	0.06	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	არა ნიშნ.	არა ნიშნ.	0.05

ცხრილი 5.15 და ნახ. 5.12 -დან გამოდის, რომ 1973-1977 წლებში ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 9%-დან (დეკემბერი) 100 %-მდე (აგვისტო, ოქტომბერი, დეკემბერი). F-ის საშუალო თვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 46.8 %-დან (აგვისტო) 59.8 %-მდე (თებერვალი).

2012-2016 წლებში (ცხრილი 5.13. და ნახ.5.14.) ჰაერის მინიმალური სადღეღამისო ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობები იცვლებოდა 20 %-დან (იანვარი, სექტემბერი) 97 %-მდე (ნოემბერი). F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 42.0 %-დან (აგვისტო) 58.3 %-მდე (ნოემბერი).



ნახ. 5. 14. ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

Fig. 5. 14. Average monthly values of minimum relative air humidity in Telavi in 1973-1977 and 2012-2016.

ნიშნადი ზრდა ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის საშუალო-თვიური მნიშვნელობებისა 2012-2016-წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით დაიკვირვებოდა მხოლოდ მაისში (2.5 %). იანვრიდან მარტამდე და ივნისიდან სექტემბრამდე შეიმჩნეოდა F-ის მნიშვნელობების შემცირება დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით (მაქსიმალური შემცირება სექტემბერში 6.7 %-ით, მინიმალური-თებერვალში 2.0 %-ით).

კახეთში ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის სხვადასხვა მასშტაბის საშუალოების (საშუალო თვიური, ერთკვირიანი, დღიური) ცვალებადობაზე გავლენა იქონია კლიმატის დათბობამ.

ცხრილში 5.16. წარმოდგენილია მონაცემები ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლების შესახებ 1973-1977 და 2012-2016 წლების სხვადასხვა თვეს. ნახ. 5.16 კი წარმოდგენილია AFI-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობების შიდაწლიური სვლის გრაფიკი 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

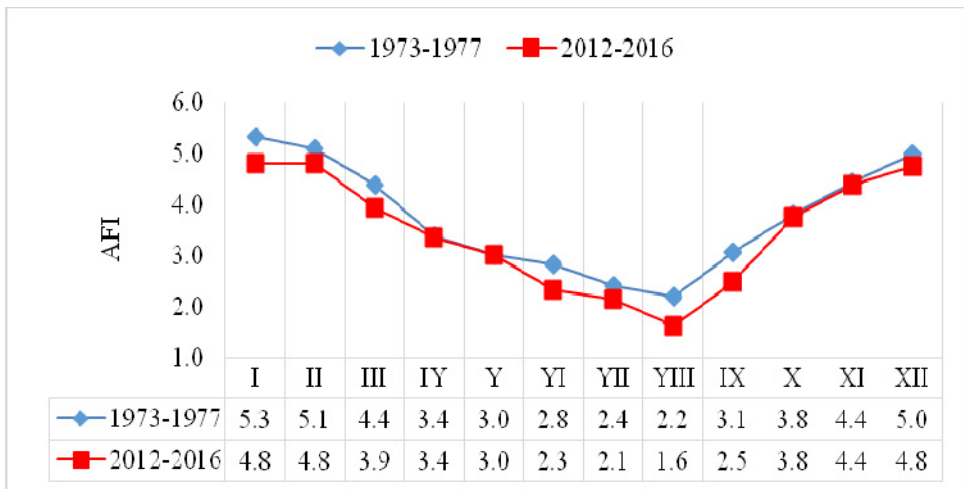
მიღებული შედეგების ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ 1973-1977 წლებში AFI -ის დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.2-დან (აგვისტო) 7.7-მდე (იანვარი, დეკემბერი). AFI-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 2.2-დან (აგვისტო) 5.3-მდე (იანვარი). 2012-2016 წლებში AFI -ის დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.3-დან (აგვისტო) 7.5-მდე (ნოემბერი). AFI -ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 1.6-დან (აგვისტო) 4.8-მდე (დეკემბერი, იანვარი, თებერვალი).

AFI-ის საშუალო თვიური მნიშვნელობების ნიშნადი შემცირება 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით (ცხრილი 5.14. და ნახ. 5.14) დაიკვირვება იანვრიდან მარტამდე და ივნისიდან სექტემბრამდე (ყველაზე დიდი შემცირება აგვისტოში და სექტემბერში, 0.6-ით; უმცირესი – თებერვალში და ივლისში 0.3-ით).

ცხრილი 5.16. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის (AFI) სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.
 $\Delta AFI = AFI$ (II პერიოდი) საშუალო – AFI (I პერიოდი) საშუალო.

Table 5.16. Statistical characteristics of Angstrom fire index (AFI) in Telavi in 1973-1977 (period I) and 2012-2016 (period II). $\Delta AFI = AFI$ (II period) average – AFI (I period) average.

I პერ.	1973-1977											
	I	II	III	IY	Y	YI	YII	YIII	IX	X	XI	XII
თვე												
Min	2.4	2.0	1.9	1.3	1.1	0.9	0.5	0.2	0.7	1.5	1.6	2.1
Max	7.7	7.6	7.3	6.8	5.7	5.9	5.5	6.3	6.0	6.7	7.3	7.7
Average	5.3	5.1	4.4	3.4	3.0	2.8	2.4	2.2	3.1	3.8	4.4	5.0
St Dev	1.2	1.4	1.2	1.2	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Cv,%	22.9	27.5	26.5	34.6	29.1	33.1	42.3	54.1	37.9	31.5	26.2	23.7
σ_m	0.10	0.12	0.09	0.10	0.07	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
99% (+/-)	0.25	0.30	0.24	0.25	0.18	0.20	0.21	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24
II პერ.	2012-2016											
Min	2.4	2.3	1.9	1.3	1.4	0.8	0.6	0.3	0.9	1.4	2.0	2.8
Max	7.3	7.2	6.4	6.0	5.8	4.8	4.9	5.2	5.2	7.2	7.5	7.4
Average	4.8	4.8	3.9	3.4	3.0	2.3	2.1	1.6	2.5	3.8	4.4	4.8
St Dev	1.2	1.2	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1
Cv,%	24.7	24.5	24.0	29.7	26.7	31.2	35.1	43.6	31.9	30.5	28.2	22.4
σ_m	0.10	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.09	0.10	0.09
99% (+/-)	0.25	0.25	0.19	0.21	0.17	0.15	0.16	0.15	0.17	0.24	0.26	0.22
ΔAFI	-0.5	-0.3	-0.4	0.0	0.0	-0.5	-0.3	-0.6	-0.6	0.0	-0.1	-0.2
$\alpha(t)$	<0.01	0.08	<0.01	არა-ნიშნ.	არა-ნიშნ.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	არა-ნიშნ.	არა-ნიშნ.	არა-ნიშნ.



ნახ.5.1 5. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

Fig. 5.1 5. Average monthly values of Angstrom fire index in Telavi in 1973-1977 and 2012-2016

ცხრილში 5.15 წარმოდგენილია უფრო ზუსტი შეფასება ვახეთში კლიმატის ცვლილების ზეგავლენისა AFI-ის 7-დღიან მასშტაბის საშუალოებზე. კერძოდ, როგორც ჩანს ამ ცხრილიდან, 7 დღის საშუალოების გასაშუალებით წლის განმავლობაში AFI-ის მნიშვნელობები 1973-1977 და 2012-2016 წლებში შესაბამისად შეადგენს 3.7 და 3.4 (მეორე პერიოდში შემცირება 0.3-ით პირველთან შედარებით). AFI-ის 7 დღის მინიმალური მნიშვნელობების გასაშუალოებით წლის განმავლობაში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში შესაბამისად შეადგენენ 2.6 და 2.5 (მეორე პერიოდში შემცირება 0.1-ით პირველთან შედარებით).

ცხრილი 5.17. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.

$\Delta AFI = AFI$ (II პერიოდი) საშუალო – AFI (I პერიოდი) საშუალო.

Table 5.17. Statistical characteristics of 7-day average and minimum values of Angstrom fire index in Telavi in 1973-1977 (period I) and 2012-2016 (period II).

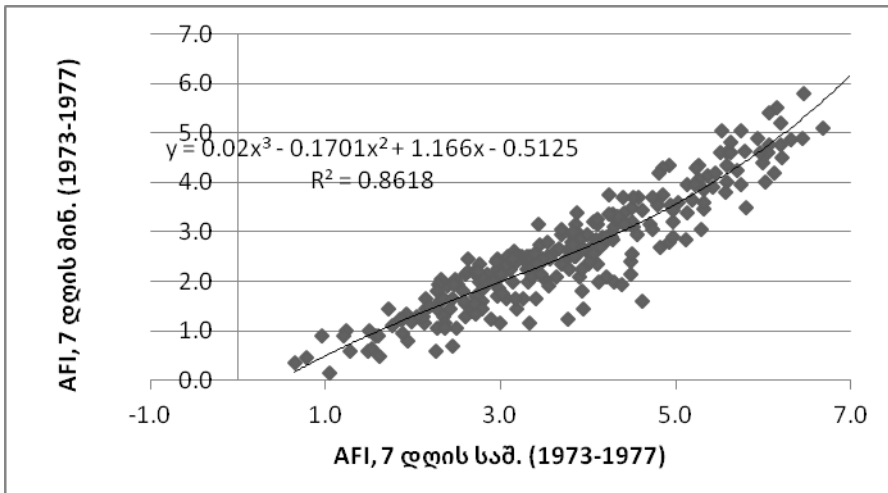
$\Delta AFI = AFI$ (period II) average – AFI (period I) average

პარამეტრი	AFI, 7 დღის საშ.	AFI, 7 დღის საშ.	AFI, 7 დღის მინ.	AFI, 7 დღის მინ.
პერიოდი	1973-1977	2012-2016	1973-1977	2012-2016
Min	0.6	1.0	0.2	0.3
Max	7.0	6.4	6.8	5.7
Average	3.7	3.4	2.6	2.5
St Dev	1.3	1.3	1.1	1.0
Cv,%	34.3	36.5	44.1	41.2
σ_m	0.08	0.08	0.07	0.06
99%(+/-)	0.20	0.20	0.18	0.16
ΔAFI	-0.3		-0.1	
$\alpha(t)$	<0.01		0.2	

ნახ. 5.16 და 5.17 წარმოდგენილია AFI-ის 7 დღის საშუალოებსა და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის არსებული რეგრესიული დამოკიდებულება 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

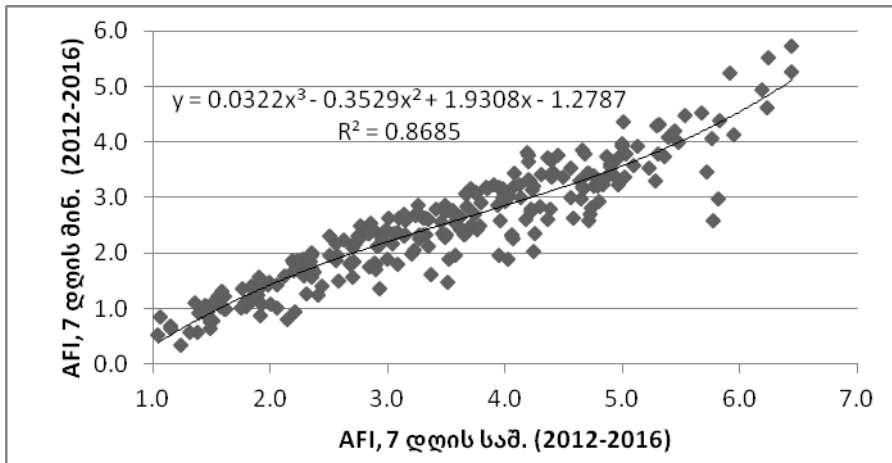
დროის ორივე პერიოდისათვის რეგრესიის სახეს AFI-ის აღნიშნულ მნიშვნელობებს შორის ერთი და იგივე სახე აქვთ – მესამე ხარისხის პოლინომის (დეტერმინაციის კოეფიციენტის ნიშნადობის დონე $\alpha < 0.005$). ესე იგი დაკვირვების ორივე პერიოდში აღნიშნული რეგრესიული დამოკიდებულება ინარჩუნებს მდგრადობას.

იმისათვის, რომ დადგენილ იქნეს ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის დღიური ცვალებადობა თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით, გაანგარიშებულ იქნა ინდექსის დღიური მნიშვნელობების განმეორადობა.



ნახ.5.16. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობების ურთიერთკავშირი თელავში 1973-1977 წლებში.

Fig. 5.16. Relationship between 7-day average and minimum values of Angstrom fire index in Telavi in 1973-1977.

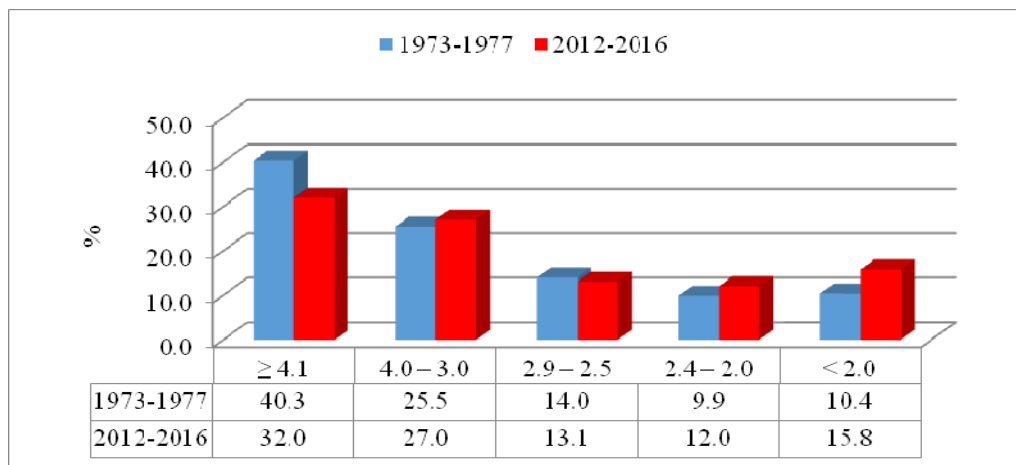


ნახ. 5. 17. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობების ურთიერთკავშირი თელავში 2012-2016 წლებში.

Fig. 5. 17. Relationship between 7-day average and minimum values of Angstrom fire index in Telavi in 2012-2016.

ნახ. 5.17 წარმოდგენილია AFI-ის დღეღამური მნიშვნელობების განმეორადობის მონაცემები 1973-1977 და 2012-2016 წლებში, ცხრილში 5.15 წარმოდგენილია ინფორმაცია თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში თვეებისა და წლის სეზონების მიხედვით დღეების საშუალო რაოდენობის შესახებ $AFI \leq 2.9$ და ≤ 2.4 . მნიშვნელობებით. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ეს მონაცემები, რომლებიც ახასიათებენ კახეთში კლიმატის ცვლილების ზეგავლენას რეგიონის სახან-

ძრო საშიშროების დონეზე, სამეცნიერო ინტერესის გარდა გააჩნია პრაქტიკული მნიშვნელობაც.



ნახ. 5.18. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის დღიური მნიშვნელობების განმეორადობა თელავში 1973-1977 და 2012-2016.

Fig. 5.18. Recurrence of daily values of Angstrom fire index in Telavi 1973-1977 and 2012-2016.

ნახ. 5.18-დან ჩანს, რომ AFI-ის განმეორადობა მისი მნიშვნელობების სხვადასხვა დიაპაზონში 2012-2016 წლებში 2012-2016 წლებთან შედარებით შეიცვალა შემდეგნაირად:

- $AFI \geq 4.1$ (ხანძრების გაჩენის დაბალი დონე), შემცირება 40.3 %-დან 32.0 %-მდე (შესაბამისად-147 და 117 დღე წელიწადში);
- $3.0 \leq AFI \leq 4.0$ (ხანძრების გაჩენის ზომიერი დონე), გაზრდილია 25.5 %-დან 27.0 %-მდე (შესაბამისად-93 და 99 დღე წელიწადში);
- $2.5 \leq AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი დონე), შემცირება 14.0 %-დან 13.1 %-მდე (შესაბამისად 51 და 48 დღე წელიწადში);
- $2.0 \leq AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი დონე), გაზრდა 9.9 %-დან 12.0%-მდე(შესაბამისად 36 და 44 დღე წელიწადში);
- $AFI < 2.0$ (ხანძრების გაჩენის ექსტრემალური დონე), გაზრდა 10.4 %-დან 15.8 %-მდე-მდე (შესაბამისად 38 და 58 დღე წელიწადში);

ზოგადად, დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით დღეების რიცხვი ხანძრების საფრთხის დიაპაზონში – ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე გაიზარდა 125-დან 150 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 20 %), ხოლო დიაპაზონში – ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე გაიზარდა 74-დან 102 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 38 %).

ცხრილი 5.18. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის საშუალო დღეთა რაოდენობა თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში თვეების და სეზონების მიხედვით როცა $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე) და ≤ 2.4 (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე).

Table 5.1 8. Average number of days of Angstrom Fire Index in Telavi in 1973-1977 and 2012-2016 by months and seasons when $AFI \leq 2.9$ (high-extreme level of fire occurrence) and ≤ 2.4 (very high-extreme level of fire occurrence)

AFI თვე/პერიოდი	≤ 2.9		≤ 2.4	
	1973-1977	2012-2016	1973-1977	2012-2016
I	1	1	0	0
II	2	2	1	0
III	4	3	1	1
IV	12	12	6	5
V	15	16	9	8
VI	16	25	9	19
VII	24	27	15	22
VIII	25	29	21	27
IX	14	23	8	15
X	8	9	3	2
XI	3	3	0	1
XII	1	1	1	0
XII-II	4	3	2	1
III-Y	31	31	15	14
VI-VIII	65	81	45	69
IX-XI	25	35	12	19

ივნისიდან სექტემბრამდე (ნახ.5. 18, ცხრილი 5.16) AFI-ის განმეორადობა და დღეთა რიცხვი მისი მნიშვნელობის იმ დიაპაზონში, რომელიც ნაკლებია 2.9-ზე (ხანძრების გაჩენის დონე მაღალი და მეტი) 2012-2016 წლებში, 1973-1977-თან შედარებით, შეიცვალა შემდეგნაირად:

- ივნისი: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 54.7 % -დან 82.7 %-მდე (შესაბამისად 16 დ ა25 დღე თვეში, მატება 51 %). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 30.7 % -დან 64.0 %-მდე (შესაბამისად – 9 ი 19 დღე თვეში, მატება 109 %-ით).
- ივლისი: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 76.1 % -დან 86.5 %-მდე (შესაბამისად-24 და 27 დღე თვეში, მატება 14 %). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე),

მატება 49.0 % – დან 71.6 %-მდე (შესაბამისად-15 და 22 დღე თვეში, მატება 46 % -ით).

- აგვისტო: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 81.3 % -დან 94.8 %-მდე შესაბამისად – (25 და 29 დღე თვეში, მატება 17 % -ით). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 67.1 %-დან 88.4%-მდე (შესაბამისად-21 და 27 დღე თვეში, მატება 32 %).
- სექტემბერი: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 46.0 %-დან 76.0 %-მდე (შესაბამისად-14 და 23 დღე თვეში, მატება 65 %). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე), მატება 26.7 %-დან 50.7 %-მდე (შესაბამისად – 8 და 15 დღე თვეში, მატება 90 %).

ზოგადად, დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით დღეების რიცხვი სახანძრო საშიშროებით მაღალი – ექსტრემალური დონე ივნისიდან სექტემბრამდე გაიზარდა 79-დან 104-მდე წელიწადში(მატება თითქმის 32%-ით) ხოლო დიაპაზონში ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე გაიზარდა 53-დან 84-დღემდე წელიწადში(მატება 58%-ით). წლის დანარჩენ თვეებში (იანვარი-მაისი, ოქტომბერი-დეკემბერი) დროის ორივე პერიოდში დღეების რიცხვი ხანძრის საშიშროების დიაპაზონში ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე არ შეცვლილა (46 ორივეში), ხოლო სახანძრო საშიშროების დიაპაზონში ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე დროის მეორე პერიოდში შემცირდა პირველთან შედარებით 21-დან 18-მდე.

ამრიგად, კახეთში კლიმატის დათბობამ მნიშვნელოვნად იმოქმედა რეგიონში სახანძრო საშიშროების დონის ზრდაზე, რაც ყველაზე აშკარად გამოვლინდა ივნისიდან სექტემბრამდე პერიოდში.

ამრიგად, 1973-1976 და 2012-2016 წლებში კახეთის რეგიონში ჩატარებული კვლევების გაანალიზების შედეგად დადგინდა, რომ ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორებით გამოწვეულმა კლიმატის ცვლილებამ, კერძოდ, დათბობამ მნიშვნელოვნად იმოქმედა რეგიონში სახანძრო საშიშროების დონის ზრდაზე, რაც ყველაზე აშკარად გამოვლინდა ივნისიდან სექტემბრამდე პერიოდში. შესაბამისად იმატებს ხანძრების რაოდენობა და მისი უარყოფითი შედეგები. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის (AFI) გამოყენების რეპრეზენტატიულობის შეფასება კახეთში, კერძოდ თელავში, ხანძრების გაჩენის პირობების განსაზღვრისათვის მიმდინარეობდა 7 დღის განმავლობაში 2012-დან 2016 წლამდე (260 კვირა) სახანძრო განგაშების AFI-ის რაოდენობის შედარებით საშუალო და მინიმალურ მნიშვნელობებთან, შედეგად აღინიშნებოდა სახანძრო განგაშის რაოდენობის ზრდა, ხდება AFI-ის მნიშვნელობების შემცირების ფონზე. ასევე დადგინდა, რომ აღნიშნული კვლევის შედეგები ადეკვატურად შეესაბამება არა მხოლოდ თელავს, არამედ მთლიან კახეთს.

მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობა თელავში ასოცირებულია ანგსტრომის სახანძრო ინდექსთან 1973-2016 წლებში, აღნიშნული

მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის შესასწავლად გამოიყენებოდა T (ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა) და F-ის (ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობა) ყოველდღიური მნიშვნელობები. საშუალო წლიური მაქსიმალური ტემპერატურის ტრენდი 1973-2016 წწ. დადებითია და წრფივი. რეგრესიის განტოლების შესაბამისად, თელავში 2016 წელს 2013 წლის შედარებით T-ს მნიშვნელობა საშუალოდ გაიზარდა 16.9°C-დან 18,6°C-მდე (1.7°C-ით მატება). ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური საშუალოთვიური ნიშნადი ზრდა 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით აღინიშნება იანვრიდან სექტემბრამდე. 1973-1977 წლებში ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 9%-დან (დეკემბერი) 100%-მდე (აგვისტო, ოქტომბერი, დეკემბერი). F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 46.8 %-დან (აგვისტო) 59.8 %-მდე (თებერვალი). 2012-2016 წლებში ჰაერის მინიმალური სადღეღამისო ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობები იცვლებოდა 20 %-დან (იანვარი, სექტემბერი) 97%-მდე (ნოემბერი). F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 42.0 %-დან (აგვისტო) 58.3 %-მდე (ნოემბერი).

ანგსტრომის სახანძრო ინდექსი თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით შეიცვალა შემდეგნაირად: 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე გაიზარდა 125-დან 150 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 20%), ხოლო დიაპაზონში – ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე გაიზარდა 74-დან 102 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 38%). ხოლო თვეების მიხედვით 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით სახანძრო საშიშროებით, მაღალი – ექსტრემალური დონე ივნისიდან სექტემბრამდე გაიზარდა 79-დან 104-მდე წელიწადში (მატება თითქმის 32%-ით), ხოლო დიაპაზონში ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე გაიზარდა 53-დან 84-დღემდე წელიწადში (მატება 58%-ით). წლის დანარჩენ თვეებში (იანვარი-მაისი, ოქტომბერი-დეკემბერი), დროის ორივე პერიოდში დღეების რიცხვი ხანძრის საშიშროების დიაპაზონში – ხანძრების გაჩენის მაღალი – ექსტრემალური დონე არ შეცვლილა (46 ორივეში), ხოლო სახანძრო საშიშროების დიაპაზონში – ძალიან მაღალი – ექსტრემალური დონე დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით, შემცირდა 21-დან 18-მდე.

5.4. კლიმატი და ჯანმრთელობა

როგორც ცნობილია, ადამიანის ჯანმრთელობა უშუალოდ და დამოკიდებული მისი ცხოვრების წესზე, გარემომცველი სამყაროს პირობებზე (25-30%) და, ბოლოს, სამედიცინო მომსახურებაზე. სხვადასხვა ანთროპოგენული დატვირთვა ადამიანების ყოველდღიურ საქმიანობაზე ამაღლებს მის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების რისკებს. ამინდის პირობების, კლიმატის ცვლილების,

ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის, აგრეთვე ადამიანის ორგანიზმისთვის სხვადასხვა ჰელიოგეოფიზიკური და კოსმოსური ფაქტორების კვლევები ტარდება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. სამუშაოების მნიშვნელოვანი რაოდენობა ეძღვნება ცალკეული მეტეოროლოგიური და ჰელიოგეოფიზიკური ელემენტების ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების შესწავლას. ვერძოდ, ეს ელემენტებია: ჰაერის ტემპერატურა, ქარის სიჩქარე, ტენიანობა, ატმოსფერული წნევა, მზის აქტივობა (ვოლფის რიცხვი), გეომაგნიტური ველები, მზის გამოსხივება, კოსმოსური სხივები, აეროზოლები, ოზონი, ჰაერის სხვა ტოქსიკური ნაერთები და ა.შ. საყოველთაოდ ცნობილია, რომ მოსახლეობის სიკვდილიანობის მნიშვნელოვანი მატება ძლიერი სიცივითა და უკიდურესი სიციხით არის განპირობებული [45] მისი ჯანმრთელობისთვის ადამიანის საცხოვრებელი გარემოს კომფორტის ან დისკომფორტის ხარისხის დასადგენად (ე.წ. „საშუალო ადამიანი“) ხშირად გამოიყენება სხვადასხვა მარტივი და რთული თერმული ინდექსები [39,41,63,81]. მარტივი თერმული ინდექსები მოიცავს ერთზე მეტ მეტეოროლოგიურ პარამეტრს და ითვალისწინებს კომბინირებულ ეფექტს ადამიანის ორგანიზმზე. ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედებული ფაქტორების მოქმედებას განსხვავებული მასშტაბები აქვს – ნუთიდან, საათიდან, დღიდან, ათწლეულიდან და თვიდან სეზონურამდე და წლიურამდე.

გამოკვლევების შედეგად დადგინდა იქნა, რომ ქუთაისსა და კახეთში ჰაერის საშუალო თვიურ ტემპერატურასა და მოსახლეობის ჯანმრთელობის ისეთ მაჩვენებლებს, როგორცაა სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახება, ჰოსპიტალიზაციისა და გარდაცვალების შემთხვევების საერთო რაოდენობას შორის დამოკიდებულებას აქვს მესამე რიგის პოლინომის ფორმა. ზოგადად, თბილ თვეებში კლებულობს სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახებების, ჰოსპიტალიზაციის და გარდაცვალების შემთხვევების საერთო რაოდენობა. ცხელ თვეებში შეიმჩნევა ჯანმრთელობის ამ მაჩვენებლების გაუარესება წლის ცივ თვეებთან შედარებით (გადაუდებელი დახმარების გამოძახებების, ჰოსპიტალიზაციის და გარდაცვალების შემთხვევების ზრდა).

ტერიტორიების ბიოკლიმატური ზონირებისთვის (მათ შორის გამაჯანსაღებელი საკურორტო-ტურისტული ინდუსტრიის ბიოკლიმატური პოტენციალის შესაფასებლად) ხშირად გამოიყენება მარტივი თერმული ინდექსების საშუალო თვიური მნიშვნელობები. ამ ინდექსების უმრავლესობის სტანდარტული მასშტაბი და კატეგორიები ჩვეულებრივ გამოიყენება ამ შემთხვევაში რეალური (საათის ან დღის) ბიოკლიმატური სიტუაციის აღსაწერად. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში, როგორც წესი, მეტეოროლოგიური მონაცემების ყოველთვიური საშუალო შეფასებისას ხდება თერმული ინდექსების მასშტაბის დიაპაზონის შემცირება და მისი მგრძობელობის დაქვეითება ადამიანებისთვის გარემოს ბიოკლიმატური კომფორტის ხარისხის შესაფასებლად. ამიტომ, თერმული ინდექსების სტანდარტული სკალის რიცხვითი მნიშვნელობები ყოველთვის არ შეიძლება ემთხვეოდეს ამ ინდექსების კატეგორიების სიტყვიერ აღწერას.

დადგენილია რვა მარტივი თერმული ინდექსისა და ტურიზმის კლიმატური ინდექსის (TCI) [81] კავშირის შედარებითი ანალიზი თბილისის მოსახლეობის ყოველთვიურ სიკვდილიანობასთან გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამო. მარტივი თერმული ინდექსების მნიშვნელობები გამოითვალა მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო თვიური და საშუალო თვიური 13 საათის მონაცემების გამოყენებით. ყველა შესწავლილ მარტივ თერმულ ინდექსს შორის შეინიშნება პრაქტიკულად პირდაპირი ფუნქციონალური კავშირი წრფივი კორელაციის კოეფიციენტთან არანაკლებ 0,86. მარტივი თერმული ინდექსების კავშირი TCI-თან არის არანრფივი.

შესწავლილია მითითებული ინდექსების სტანდარტული სკალებისა და კატეგორიების ბიოკლიმატურ ინდიკატორად გამოყენების შესაძლებლობა. მთლიანობაში, ყველა მაჩვენებელი ადეკვატურად შეესაბამება ადამიანებისთვის გარემოს ბიოკლიმატური კომფორტის ხარისხს – კომფორტის დონის მატებასთან ერთად სიკვდილიანობა მცირდება. ამ მიზნისთვის ყველაზე მეტად წარმომადგენლობითი არის Missenard-ის 13-საათიანი ჰაერის ეფექტური ტემპერატურა [69].

კვლევისას გამოყენებულია HCI-ის მონაცემები თბილისისთვის [70,71,81]. კახეთისთვის ეს მონაცემები საშუალოდ შეფასდა ამ რეგიონის ექვს ლოკაციაზე (დედოფლისწყარო, გურჯაანი, ყვარელი, ლაგოდეხი, საგარეჯო და თელავი).

მოსახლეობის ჯანმრთელობის მაჩვენებლები შემდეგია: საშუალო თვიური ათწლეულის სიკვდილიანობა გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებით – M; სასწრაფო დახმარების მანქანების საშუალო ათწლეულის მნიშვნელობები – AC, ჰოსპიტალიზაცია – H; საერთო სიკვდილიანობა – TM. მონაცემთა ანალიზი ხორციელდება სტანდარტული სტატისტიკური ანალიზის მეთოდების გამოყენებით.

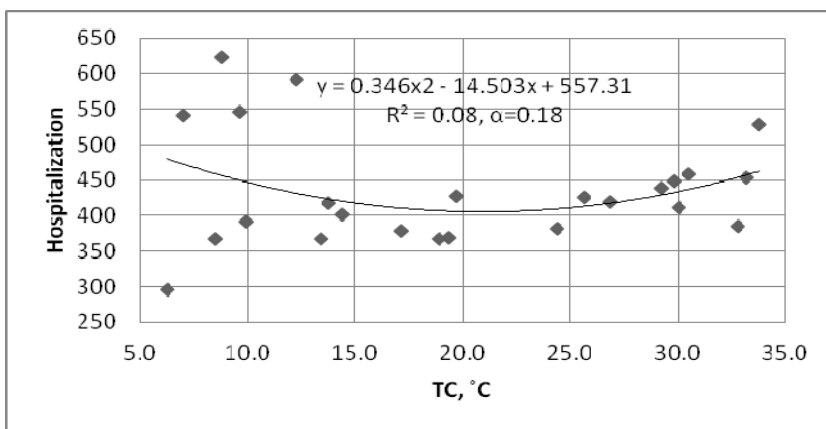
კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.19.

ცხრილი 5.19. HCI-ის საშუალო თვიური მნიშვნელობებისა და საშუალო თვიური ათწლეულის სიკვდილიანობის სტატისტიკური მახასიათებლები გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებით თბილისში 1980-1990 წლებში.

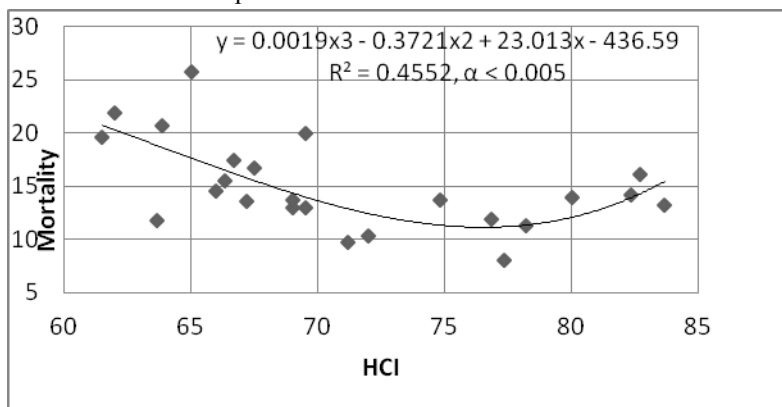
Table 5.19. Statistical characteristics of average monthly HCI values and average monthly decade mortality from cardiovascular diseases in Tbilisi in 1980-1990.

Variable	HCI	HCI Category	Mortality
Mean	73	Very Good	105
Min	53	Acceptable	70
Max	89	Excellent	168
Range	36		98
St Dev	8.7		17.3
Cv, %	11.9		24.7

ცხრილში 5.19 წარმოდგენილია HCI-ის საშუალო თვიური მნიშვნელობებისა და საშუალო თვიური ათწლეულის სიკვდილიანობის სტატისტიკური მახასიათებლები გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებით თბილისში 2000-1990 წლებში. ამ ცხრილიდან გამომდინარე, HCI-ის მნიშვნელობები იცვლება 53-დან (კატეგორია – მისაღები) 89-მდე (კატეგორია – შესანიშნავი). M-ის მნიშვნელობები იცვლება 70-დან 168-მდე. კავშირი HCI-ის საშუალო თვიურ მნიშვნელობებთან გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებით საშუალო თვიურ ათწლეულში სიკვდილიანობასთან აქვს მეორე ხარისხის პოლინომის ფორმა. უნდა აღინიშნოს, რომ HCI მნიშვნელობების მატებასთან ერთად, ზოგადად, სიკვდილიანობის შემცირება შეინიშნება. ამავდროულად, HCI-ის ძალიან მაღალი მნიშვნელობებისას სიკვდილიანობა იზრდება.



ნახ. 5.19. კავშირი TC-ის საშუალო თვიურ მნიშვნელობებს შორის ჰოსპიტალიზაციის საშუალო ყოველთვიურ ათწლეულ ღირებულებასთან კახეთში 2013 და 2015 წლებში.
 Fig. 5.19. Relationship between average monthly values of TC and average monthly decennial cost of hospitalization in Kakheti in 2013 and 2015.



ნახ 5.20. კავშირი HCI-ის საშუალო თვიურ მნიშვნელობებს შორის საშუალო სიკვდილიანობასთან
 Fig. 5.20. Relationship between mean monthly HCI values and mean mortality

ნახ. 5.20.-ზე ნაჩვენებია კავშირი HCI-ის საშუალო თვიურ მნიშვნელობებთან სასწრაფო დახმარების გამოძახების საშუალო თვიურ ათწლეულთან, ჰოსპიტალიზაციასა და საერთო სიკვდილიანობასთან კახეთში. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, ყველა მითითებულ კავშირს აქვს მეორე ხარისხის პოლინომის ფორმა (როგორც თბილისის შემთხვევაში). ანუ ზოგადად HCI მნიშვნელობების მატებასთან ერთად ხდება AC, H და TM მნიშვნელობების კლება, ხოლო HCI კატეგორიის Excellent) მათი უმნიშვნელო მატება [81].

ცხრილი 5.20. HCI კომპონენტების სტატისტიკური მახასიათებლები და ამ კომპონენტების რეიტინგები კახეთში 2013 და 2015 წლებში.

Table 5.20. Statistical characteristics of HCI components and ratings of these components in Kakheti in 2013 and 2015

Variable	TC	T	CC	A	DP	R _d	WS	W
Mean	19.8	6.0	5.8	5.8	73.6	8.5	1.0	10
Min	6.3	3.3	3.8	3.8	17.0	6.5	0.8	10
Max	33.8	9.8	8.0	8.0	202.1	9.0	1.3	10
Range	27.5	6.5	4.2	4.2	185.1	2.5	0.5	0
St Dev	9.4	1.8	1.2	1.2	48.8	0.6	0.1	0
Cv, %	47.3	30.3	20.7	20.7	66.3	7.6	11.7	0.0

ცხრილში 5.20 წარმოდგენილია HCI კომპონენტების სტატისტიკური მახასიათებლები და ამ კომპონენტების რეიტინგები კახეთში 2013 და 2015 წლებში. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, გამოკვლეული პარამეტრების ცვალებადობა შემდეგია. TC: – საშუალო – 19,8, ცვლილების დიაპაზონი – 6,3÷33,8; T: საშუალო – 6,0, ცვლილების დიაპაზონი – 3,3÷9,8; CC: საშუალო – 5,8, ცვლილების დიაპაზონი – 3,8÷8,0; A: საშუალო – 5,8, ცვლილების დიაპაზონი – 3,8÷8,0; DP: საშუალო – 73,6, ცვლილების დიაპაზონი – 17,0÷202,1; R_d: საშუალო – 8,5, ცვლილების დიაპაზონი – 6,5÷9,0; WS: საშუალო – 1,0, ცვლილების დიაპაზონი – 0,8÷1,3; W: საშუალო – 10, ცვლილების დიაპაზონი – 10÷10.

ცხრილში 5.19. წარმოდგენილია მონაცემები HCI კომპონენტებს შორის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტისა და ამ კომპონენტების რეიტინგების შესახებ სასწრაფო დახმარების მანქანების, ჰოსპიტალიზაციისა და საერთო სიკვდილიანობის საშუალო თვიური ათწლეულის მნიშვნელობებთან კახეთში.

ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა AC და HCI კომპონენტებს შორის არის -0.37 (TC-ით), ყველაზე პატარა არის -0.05 (WS-ით). ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტის უდიდესი მნიშვნელობა AC მნიშვნელობებსა და HCI კომპონენტების რეიტინგებს შორის არის -0.30 (A-სთან ერთად), ყველაზე პატარა არის 0.0 (W-ით).

ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა H-სა და HCI კომპონენტებს შორის არის -0.24 (CC-ით), ყველაზე პატარა არის -0.06

(TC-ით). ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტის უდიდესი მნიშვნელობა H მნიშვნელობებსა და HCI კომპონენტების რეიტინგებს შორის არის -0.29 (T-ით), ყველაზე პატარა არის 0.0 (W-ით).

ცხრილი 5.21. ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტი HCI კომპონენტებსა და ამ კომპონენტების რეიტინგებს შორის სასწრაფო დახმარების მანქანების გადაცემის, ჰოსპიტალიზაციისა და მთლიანი სიკვდილიანობის საშუალო თვიური ათწლეულის მნიშვნელობებთან კახეთში 2013 და 2015 წლებში.

Table 5.21. Linear correlation coefficient between HCI components and the ratings of these components with average monthly decade values of ambulance transfers, hospitalizations and total mortality in Kakheti in 2013 and 2015

Variable	TC	T	CC	A	DP	R _d	WS	W
R(AC)	-0.37	-0.20	-0.30	-0.30	-0.28	0.28	0.05	0.00
α (R(AC))	0.075	0.35	0.15	0.15	0.2	0.2	no sigh	no sigh
R(H)	-0.06	-0.29	-0.24	-0.24	-0.17	0.22	-0.22	0.00
α (R(H))	no sign	0.15	0.26	0.26	no sign	0.30	0.30	no sign
R(TM)	-0.57	-0.46	-0.22	-0.22	-0.25	0.26	0.35	0.00
α (R(TM))	0.005	0.02	0.30	0.30	0.24	0.22	0.1	no sigh

ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტის უდიდესი მნიშვნელობა TM და HCI კომპონენტების მნიშვნელობებს შორის არის -0.57 (TC-ით), ყველაზე მცირე არის -0.22 (CC-ით). ხაზოვანი კორელაციის კოეფიციენტის უდიდესი მნიშვნელობა TM მნიშვნელობებსა და HCI კომპონენტების რეიტინგებს შორის არის -0.46 (T-ით), ყველაზე პატარა არის 0.0 (W-ით)

მაშასადამე, TC და AC მნიშვნელობებს შორის კავშირი არის შებრუნებული წრფივი, ხოლო T-სა და AC-ს შორის – მეორე ხარისხის პოლინომის ფორმა აქვს; TC და H სიდიდეებს შორის კავშირს მეორე ხარისხის პოლინომის ფორმა აქვს, ხოლო T-სა და H-ს შორის – შებრუნებული წრფივი; კავშირი TC და TM მნიშვნელობებს შორის და T და TM-ს შორის არის მეორე ხარისხის პოლინომის .

ამდენად, კავშირი HCI-სა და მოსახლეობის ჯანმრთელობის მაჩვენებლებს შორის თბილისსა და კახეთში, ზოგადად, მსგავსია სიკვდილიანობის განაწილების კლასიკური ფორმის თერმული ინდექსების სკალის მიხედვით (სიკვდილიანობის შემცირება გრადაციებიდან სკალის დაბალი არასასიამოვნო მნიშვნელობებით). შემდეგ კი აღინიშნება სიკვდილიანობის მატება გრადაციებით მაღალი არასასიამოვნო მნიშვნელობების მასშტაბით.

ასე რომ, ურთიერთობა TC და AC მნიშვნელობებს შორის არის შებრუნებული წრფივი, ხოლო T და AC შორის – აქვს მეორე ხარისხის პოლინომის ფორმა (ნახ. 5.18 და 5.1 9); TS და H მნიშვნელობებს შორის ურთიერთობა არის მეორე ხარისხის პოლინომი, ხოლო T და H შორის – ინვერსიული წრფივი (ნახ.

5.20 და 5.21); ურთიერთობა TC და TM და T და TM მნიშვნელობებს შორის არის მეორე ხარისხის პოლინომი (ნახ. 5.22. და 5.23).

ამგვარად, დასვენების კლიმატურ ინდექსს HCI და თბილისისა და კახეთის მოსახლეობის ჯანმრთელობის მაჩვენებლებს შორის კავშირი ზოგადად მსგავსია თერმული ინდექსის სკალის მიხედვით განაწილების კლასიკური ფორმისა. ამიტომ, ჩვენი აზრით, სასურველია შევიტანოთ კორექტირება HCI სკალის კომფორტის ხარისხის (ისევე, როგორც სხვა ბიოკლიმატური მაჩვენებლების) მასშტაბის განსაზღვრაში, ადგილობრივი სოციალურ-კლიმატური პირობების გათვალისწინებით.

ნაშრომ [63]-ში წარმოდგენილია მარტივი თერმული ინდექსების ცალკეული კომპონენტების დღედამური მნიშვნელობების (ტემპერატურა და ფარდობითი ტენიანობა, ქარის სიჩქარე) თბილისის მოსახლეობის კორონავირუსით ინფიცირების დადებითობის მაჩვენებელზე COVID-19 (IR) გავლენის კვლევის შედეგები 2020 წლის 1 სექტემბრიდან 2021 წლის 31 მაისამდე. მიღებულია, რომ IR მნიშვნელობები საპირისპირო კორელაციაშია ჰაერის ტემპერატურასა და ქარის სიჩქარესთან და დადებითად არის დაკავშირებული ჰაერის ფარდობით ტენიანობასთან. კოვიდ-პანდემიასთან დაკავშირებით საქართველოში ჩატარდა სხვადასხვა კვლევები, რომლებიც დაკავშირებულია ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებასთან, ატმოსფეროს სტრატეფიკაციასა და კოვიდის გავრცელებასთან [69,75].

შესწავლილ იქნა ოთხი განსხვავებული თერმული ინდექსის (ჰაერის ეფექტური ტემპერატურა და Wet-Bulb-Globe-Temperature [69]) გავლენა IR მნიშვნელობებზე, რომლებიც გასაშუალებული არის მათი კატეგორიების მასშტაბის დიაპაზონში. აღმოჩნდა, რომ ჰაერის ეფექტური ტემპერატურის ზრდა იწვევს IR მნიშვნელობების შემცირებას. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში, თერმულ ინდექსებსა და IR მნიშვნელობებს შორის ურთიერთკავშირის ნიშნადობის დონე გაცილებით მაღალია, ვიდრე IR-სა და ამ ინდექსების ცალკეულ კომპონენტებს შორის ურთიერთკავშირის შემთხვევაში.

თავი 6.

ამინდისა და კლიმატის ცვლილების შესწავლის თანამედროვე მეთოდები

დიდი მონაცემი და მანქანური სწავლება ბუნებაზე დაფუძნებულ გადანაცვლებებში

2013 წელს, გაერთიანებული სამეფოს მთავრობამ გამოაცხადა ფართომასშტაბიანი ინვესტიცია პროექტში „დიდი მონაცემების გამოყენება მეცნიერებაში“, განსაკუთრებით გარემოსდაცვით სექტორში და დაიწყო პროგრამის დაფინანსება სახელწოდებით CEMS (კლიმატისა და გარემოს მონიტორინგი კოსმოსიდან). ამან შესაძლებელი გახადა უფრო დიდი მონაცემთა ბაზების შექმნა, რაც საშუალებას მისცემს კვლევით ორგანიზაციებს იმუშაონ მეტი მონაცემით და მიიღონ უკეთესი შედეგი. კლიმატის ცვლილებასა და პლანეტების მონიტორინგზე ფოკუსირებით, CEMS-მა აღმოფხვრა უზარმაზარი მონაცემთა ნაკრების ჩამოტვირთვის აუცილებლობა, ხოლო წვდომის ღირებულება შემცირა. ღრუბლის მონაცემებთან (Cloud data) ერთად, ის ახლა გლობალური სტანდარტია მსოფლიოს ზოგიერთი წამყვანი კვლევითი ინსტიტუტისთვის.

გარემოსდაცვითი მონაცემები გროვდება სხვადასხვა წყაროდან:

1. მონაცემთა დიდი რაოდენობა გროვდება დისტანციური მონიტორინგის, სატელიტური ან საჰაერო ხომალდის მონიტორინგის საშუალებით, მათ შორის უპილოტო საჰაერო ხომალდების მზარდი გამოყენების ჩათვლით. ეს მოიცავს პასიურ მონიტორინგს, როგორცაა ფოტოგრაფია ან ინფრარითელი გამოსახულება და აქტიური მონიტორინგი, როგორცაა RADAR/LIDAR [213]. ღია თანამგზავრული მონაცემების ხელმისაწვდომობის გაზრდა დედამიწისა და გარემოსდაცვითი მეცნიერებების მთავარი ტენდენციაა. მაგალითად, ევროკავშირის კოპერნიკის პროგრამა და მასთან დაკავშირებული Sentinel მისიები ან NASA Earth Observing System-ის თანამგზავრები, Landsat არქივი რეგულარულად ივსება სხვადასხვა აპლიკაციის მონაცემების მისაღებად [110,130].

2. სხვა მონაცემები გროვდება დედამიწის მონიტორინგის სისტემების მეშვეობით, რომლებიც შედგება სენსორული ტექნოლოგიების სპექტრისგან, რომლებიც ზომავენ სხვადასხვა ფიზიკურ ობიექტებს [14]. კერძოდ, ამინდის სადგურები და მონიტორინგის სისტემები.

3. მოდელის თვლის შედეგები ასევე არის გარემოსდაცვითი მონაცემების მნიშვნელოვანი გენერატორი და მოდელის წინა გაშვების შედეგები ხშირად ინახება შემდგომი ანალიზისთვის [212].

ტერმინი Big Data პოპულარული გახდა ახალი ტექნოლოგიებისა და ინოვაციების წყალობით, რომლებიც გაჩნდა გასული ათწლეულის განმავლობაში, დიდი მოცულობის და სწრაფად წარმოქმნილი ჰეტეროგენული მონაცემების ანალიზის საჭიროების გათვალისწინებით, ამიტომ შეგროვება და დამუშავება ხდება მაღალი სიჩქარით. ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიები შესაძლებელს ხდის დიდი მონაცემების ინტეგრირებას პროგნოზირებად და დანიშნულების მართვის ინსტრუმენტებში კლიმატის სისტემების მდგრადობის გასაუმჯობესებლად.

დიდი მონაცემები მიზნად ისახავს ხელი შეუწყოს კლიმატთან დაკავშირებულ რისკებზე მოქმედებებს მონაცემთა დიდი მოცულობის, მრავალფეროვნებისა და ხარისხის მიწოდებით შაბლონების იდენტიფიცირებისა და მონაცემების ხელმისაწვდომობის მიზნით. ამრიგად, დიდი მონაცემების მიდგომა შეიძლება გახდეს ძირითადი ინფორმაციის წყარო გადაწყვეტილების მიმღებთათვის შესაბამისი სტრატეგიების შექმნისა და ადაპტაციის, მიმდინარე და მომავალი პრობლემებისა და დროული მოქმედებისთვის აღდგენის ეტაპების იდენტიფიცირების თვალსაზრისით. დიდი მონაცემების მეთოდები მანქანურ სწავლებასთან დაკავშირებით საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ადამიანების დამოკიდებულება გარემოს ცვლილებებთან და აღიაროს ისინი (Park et al., 2020). დიდი მონაცემები და მანქანათმცოდნეობის მიდგომები სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ჰეტეროგენიული ჰიდრომეტეოროლოგიურ მონაცემთა ნაკრების ყოვლისმომცველი შერწყმისთვის.

კლიმატის ცვლილების შერბილება და წარმატებული ადაპტაცია მოითხოვს კლიმატის ცვლილების ეფექტურ სტრატეგიულ დაგეგმვას მსოფლიოს ქვეყნების მიერ, რომელთა გადაწყვეტილების მიღება მოითხოვს კომპლექსურ მოდელებსა და ინფორმაციის წყაროებს. Big Data ინსტრუმენტები საშუალებას გაძლევთ სისტემატიზაცია მოახდინოთ, დაამუშაოთ და შეაფასოთ ჰეტეროგენული მონაცემები და ინფორმაციის წყაროები, რაც შეუძლებელია ტრადიციული დისციპლინური ანალიზის ინსტრუმენტებით [205]. კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული მუდმივად მზარდი სამეცნიერო ცოდნისა და მონაცემთა მრავალფეროვანი წყაროების ჰარმონიზაცია შეიძლება იყოს ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური გამოწვევა მკვლევრებისთვის მომავალში.

მოსალოდნელია, რომ ჰიდრომეტეოროლოგიური საფრთხეები, როგორცაა ძლიერი წყალდიდობა, ქარიშხალი, მენყერი, ზვავი, სეტყვა, ქარიშხალი, გვალვა და ა. შ. უფრო ხშირი და მძიმე გახდება კლიმატის ცვლილების, ეკოსისტემის დეგრადაციის, მოსახლეობის ზრდისა და ურბანიზაციის გამო. მსოფლიოში ეკონომიკური და სხვა ბარალი სტიქიური უბედურებების შედეგად იზრდება. კატასტროფების საერთაშორისო მონაცემთა ბაზის (EM-DAT) მიხედვით, ბოლო 70 წლის განმავლობაში, ჰიდრომეტეოროლოგიურმა კატასტროფებმა აჩვენა ყველაზე მაღალი ზრდის ტემპი ნებისმიერი ტიპის სტიქიურ

უბედურებებთან შედარებით. პარალელურად, სწრაფად განვითარდა ტექნოლოგიური შესაძლებლობები მსგავს კატასტროფებთან გამკლავებისთვის. NBS-ის გამოყენება ჰიდრომეტეოროლოგიური რისკების შესარბილებლად და კლიმატისადმი მდგრადი ლანდშაფტების შესაქმნელად იძლევა შესაძლებლობას თავიდან ავიცილოთ ტრადიციული პრაქტიკები და ხელახლა დავუკავშიროთ ჩვენი მიწის მართვისა და განვითარების პრაქტიკა ბუნებას, რათა მივიღოთ მრავალი სარგებელი ეკოსისტემის სერვისებისა და ეკოსისტემის ფუნქციებისთვის.

გლობალური დათბობისა და ზოგადად კლიმატის ცვლილების გამო, პროგნოზირებულია კლიმატთან დაკავშირებული რისკების ხანგრძლივობა, სიდიდე და სიხშირე, რომელიც გაიზრდება და გაუარესდება [210]. კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული HMR მოიცავს ექსტრემალურ ტემპერატურას, ქარს, გვალვას, ძლიერ ნალექს, ჭექა-ქუხილს, სეტყვას, წყალდიდობას და მენყერს; მათი სიხშირე და მასშტაბები მომავალში მოსალოდნელია გაიზრდება. ბუნებრივი გადანყვებილებები (NBS), დადასტურდა, რომ ეფექტურია HMR-ის მართვაში (კალანტარი და სხვ., 2018). NBS არსებითად იყენებს ბუნებისგან მიღებულ გაკვეთილებს HMH-ით გამონვეული ზიანის შესამცირებლად (კალანტარი და სხვ., 2019). NBS შედარებით ახალი კონცეფციაა და გვთავაზობს მნიშვნელოვან ხარჯ-ეფექტურ მეთოდებს სტრუქტურული ჩარევების აცილებისთვის (მაგ. ბეტონის შენობები). თუმცა, გამონვევად რჩება NBS-ის ეფექტურობის შესახებ სანდო სამეცნიერო მონაცემების მოპოვება კონკრეტულ სივრცულ და დროულ მასშტაბებში. NBS-ის კონცეფცია მჭიდრო კავშირშია მდგრად, ჰარმონიულ და ეკოლოგიურად განვითარებასთან, რესურსების რაციონალურ გამოყენებასთან, ადამიანისა და გარემოს ერთობლიობასთან, ასევე გარემოს დაცვის პრიორიტეტთან.

თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსი

SABER ინსტრუმენტი NASA-ს TIMED-ის სატელიტზე აკონტროლებს ინფრანითელ ემისიებს ნახშირორჟანგიდან (CO₂) და აზოტის ოქსიდიდან (NO), ორი ნივთიერება, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ჰაერის ენერგეტიკულ ბალანსში ჩვენი პლანეტის ზედაპირიდან 100-დან 300 კილომეტრამდე სიმაღლეზე. ამ მოლექულების ინფრანითელი სიკაშკაშის გამოშვით, SABER-ს შეუძლია შეაფასოს გაზის თერმული მდგომარეობა ატმოსფეროს ზედა ნაწილში – ფენას მკვლევრები "თერმოსფეროს" უწოდებენ.

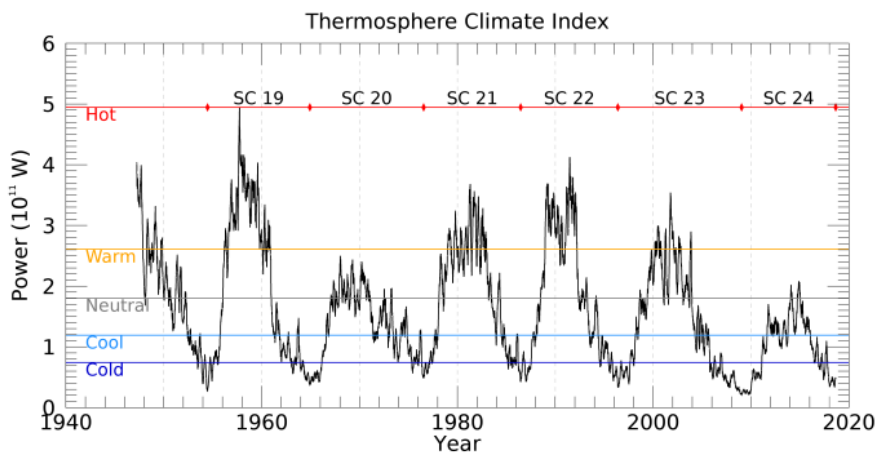
„თერმოსფერო ყოველთვის ცივდება მზის მინიმუმის დროს. ეს არის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი გზა, რომლითაც მზის ციკლი გავლენას ახდენს ჩვენს პლანეტაზე“, – განმარტავს Mlyneczak, რომელიც არის SABER-ის ასოცირებული მთავარი მკვლევარი.

როდესაც თერმოსფერო გაცივდება, ის იკუმშება, რითაც ფაქტობრივად მცირდება დედამიწის ატმოსფეროს რადიუსი. ეს შეკუმშვა ამცირებს აეროდინამიკურ წინააღმდეგობას თანამგზავრებზე დედამიწის დაბალ ორბიტაზე, ახანგრძლივებს მათ სიცოცხლეს. ეს არის დადებითი შედეგი. ცუდი კი ის არის, რომ ის ასევე აჭიანურებს კოსმოსური ნაგვის ბუნებრივ დაშლას, რის შედეგადაც ხდება უფრო დაბინძურებული გარემო დედამიწის გარშემო [114].

იმისთვის, რომ თვალყური ადევნოთ, რა ხდება თერმოსფეროში, Mlynchak და მისმა კოლეგებმა ახლახან შემოიღეს „თერმოსფეროს კლიმატის ინდექსი“ (TCI) – რიცხვი გამოხატული ვატებში, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენ სითბოს აფრქვევს NO მოლეკულები კოსმოსში. მზის მაქსიმუმის დროს TCI მაღალია („ცხელი“); მზის მინიმუმის დროს ის დაბალია („ცივი“) [172,173,174].

SABER ამჟამად ზომავს 33 მილიარდ ვატის ინფრანითელ სიმძლავრეს NO-დან. ეს 10-ჯერ უფრო მცირეა, ვიდრე ჩვენ ვხედავთ მზის ციკლის უფრო აქტიურ ფაზებში.

მიუხედავად იმისა, რომ SABER ორბიტაზე მხოლოდ 17 წელია იმყოფება, Mlynchak და მისმა კოლეგებმა ცოტა ხნის წინ გამოთვალეს TCI, რომელიც გასული საუკუნის 40-იან წლებში იყო. SABER-ის მონაცემებით, დადგინდა, თუ როგორ არის დამოკიდებული TCI სხვა ცვლადებზე, როგორიცაა გეომაგნიტური აქტივობა და მზის ულტრაიისფერი რადიაცია, რაც იზომება ათწლეულების განმავლობაში.



ნახ. 6.1. თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსის (TCI) ისტორიული ჩანაწერი [173]

Fig.6.1.An historical record of the Thermosphere Climate Index.

როგორც კი 2018 წელი დასასრულს მიუახლოვდება, თერმოსფეროს კლიმატის ინდექსი სიცივის კოსმოსური ხანის რეკორდის დამყარების ზღვარზეა. „ჩვენ ჯერ არ ვართ იქ, – ამბობს მლინჩაკი, – მაგრამ ეს შეიძლება რამდენიმე თვეში მოხდეს. „განსაკუთრებით მოხარული ვართ, რომ SABER

აგროვებს მნიშვნელოვან ინფორმაციას ჩვენს ატმოსფეროზე მზის გემოქმედების თვალყურის დევნებისთვის“, – ამბობს ჯეიმს რასელი, SABER-ის მთავარი მეცნიერი ჰემპტონის უნივერსიტეტში. „ატმოსფეროს თერმული მდგომარეობის გრძელვადიანი ცვლილებების 16 წელზე მეტი ხნის ჩანაწერი ზედაპირიდან 70 მილზე მეტი სიმაღლეზე არის ის, რასაც არ ველოდით ორბიტაზე მხოლოდ 3 წლის განმავლობაში შექმნილი ინსტრუმენტისთვის“ [175].

მაღე თერმოსფერული კლიმატის ინდექსი დაემატება Spaceweather.com-ს, როგორც რეგულარული მონაცემთა წყარო. თერმოსფეროს კლიმატის ინდექსები (TCI) წარმოადგენს გლობალური ინფრანითელი გაგრილების სიმძლავრის 60-დღიანი დაკვირვების საშუალოს, რომელიც გამოსხივებულია თერმოსფეროდან აზოტის ოქსიდით და ნახშირორჟანგით. TCI ზუსტად არის გამოხატული, როგორც F10.7, Ap და Dst ინდექსების 60-დღიანი დაკვირვების საშუალოების ხაზოვანი კომბინაციები, რაც უზრუნველყოფს მზის და გეომაგნიტური ინდექსების გრძელ ჩანაწერს [178]. TCI-ის პროცენტული განაწილება განიხილება კვინტილებში, რომლებიც წარმოიქმნება მზის და გეომაგნიტური ინდექსების გამოყენებით, რომლებიც მოიცავს ხუთ სრულ მზის ციკლს. ამ კვინტილებს შემდეგ ენიჭება ზედსართავი სახელები (ცივი, გრილი, ნეიტრალური, თბილი ან ცხელი), რადგან TCI დიდწილად მიუთითებს თერმოსფეროს გლობალურ თერმო მდგომარეობაზე. TCI არის ღირებული ახალი მზე – დედამიწის ინდექსი გლობალური თერმოსფეროს შესახებ ინფორმაციისა და სტანდარტული ინდექსებიდან მისი მარტივი გამოთვლის გამო. NO TCI მონაცემები აჩვენებს, რომ თერმოსფერო იყო „თბილი“ მხოლოდ დროის ხანმოკლე პერიოდის განმავლობაში 24-ე მზის ციკლის მაქსიმუმზე და, ამრიგად, განიცადა მზის ყველაზე ცივი მაქსიმუმი ბოლო შვიდი მზის ციკლიდან. 2018 წლის თებერვლის მდგომარეობით, თერმოსფეროს სიმძლავრე არის მნიშვნელობების ყველაზე დაბალ კვინტილში, რომელსაც მიენიჭა "ცივის" კატეგორია [172].

ვეგეტაციის ინდექსები

საქართველოს ტყეები კავკასიის ეკორეგიონის ნაწილს წარმოადგენს, რომელიც გლობალურ დონეზე იდენტიფიცირებული 200 მნიშვნელოვანი ეკორეგიონის რიცხვში შედის. ტყეების 90%-ზე მეტი განლაგებულია მთების (დიდი და მცირე კავკასიონი) კალთებზე, რის გამოც მათი სამეურნეო გამოყენება შეზღუდულია. საქართველოს ტყეების ძირითადი დანიშნულებაა ნიადაგდაცვითი, წყალდაცვითი, წყალმარეგულირებელი, ზვავსაწინააღმდეგო და სხვ [213].

საქართველოს მიერ დამოუკიდებლობის მოპოვების შემდეგ ტყეების მდგომარეობა არსებითად გაუარესდა: დიდი მოცულობით ხდებოდა ხეტყის

უკანონო ჭრა, ტყეების მართვა არ იყო ეფექტური, საძოვრები ინტენსიურად გამოიყენებოდა, რის გამოც არ იყო უზრუნველყოფილი ტყის რესურსების მდგრადობა, ტყეების გარემოსდაცვითი, ეკონომიკური და სოციალური ღირებულებები მნიშვნელოვნად გაუარესდა. გაიზარდა ეროზია, დაირღვა ეკოლოგიური მთლიანობა და ლანდშაფტები სერიოზული საფრთხის ქვეშ აღმოჩნდნენ. საქართველოს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტრო უარყოფითი ფაქტორების აღმოსაფხვრელად ატარებს სხვადასხვა ღონისძიებებს, აფორმებს ხელშეკრულებებს სხვადასხვა საერთაშორისო ორგანიზაციებთან, რომლითაც დაგეგმილია თანამედროვე სტანდარტების სატყეო მეურნეობის მონაცემები. მაგრამ ეს მცდელობები არასაკმარისია ტყეების შენარჩუნებისთვის. მეორე ეროვნული შეტყობინების (2009) მიხედვით 2000 წ. საქართველოში ნახშირბადის ნეტოს შთანთქმა იყო 1097,9გგ.-C, ანუ 4025,5გგ- CO₂, რა 1990 წელთან შედარებით გაზრდილია 286,7გგ- CO₂-ით. ტყეების საძოვრებად გადაქცევაზე ზუსტი მონაცემი არ არსებობს. თანამედროვე ტექნოლოგიები, როგორცაა თანამგზავული ინფორმაცია, GIS ტექნოლოგიები, აერული გამოძვეები სართოდ არ გამოიყენება.

ტყე ნახშირბადის საკუჭნაოა და ის ნახშირორჟანგს ამცირებს, როდესაც იზრდება ტყის სიხშირე ან გავრცელების ტერიტორია. კანადის ჩრდილოეთ ტყეების სრული ნახშირბადის 80% ინახება ნიადაგში, როგორც მკვდარი ორგანული მატერია. აფრიკის, აზიის და სამხრეთ ამერიკის ტროპიკული ტყეები, როგორც ლიდსის უნივერსიტეტის 40-წლიანი კვლევა გვიჩვენებს, შთანთქავს ყველა წიაღისეული სანვავის. დაახლოებით 18% ნახშირორჟანგს. ტროპიკულ ტყეებს შეუძლია გლობალური დათბობის შესუსტება მანამდე, სანამ ყველა არსებული მიწის გატყვანება არ მოხდება. მიუხედავად ამისა, გლობალური გაგრილების ეფექტი ნახშირბადის სეკვესტრით ნაწილობრივ წონასწორდება გატყვანებით, რადგან მას შეუძლია შეამციროს მზის არეკვლადობა (ალბედო). საშუალოდ მალალი გრძედის ტყეებს აქვს გაცილებით დაბალი ალბედო თოვლი სეზონის დროს, ვიდრე მიწას, რაც ხელს შეუწყობს დათბობას [14].

ტყის მოსალოდნელი სიცოცხლის ხანგრძლივობა სხვადასხვაა დედამიწაზე და იცვლება ხეთა სახეობების, ადგილის პირობების და ბუნების მიხედვით. ზოგიერთ ტყეში ნახშირბადი საუკუნეები ინახება, ზოგში კი გამოთავისუფლდება ხშირი ხანძრების გამო.

მიწის საზღვრების და ფორმის დადგენის მრავალი მეთოდი და ინსტრუმენტი არსებობს. მათ შორის დისტანციური მონიტორინგის, მაგალითად, სატელიტური სურათები, ოპტიკური ან რადარული კონტროლის სისტემები, საჰაერო ფოტოგადაღება, GPS, ტოპოგრაფიული რუკები და მიწის ჩანაწერები. დიდი ტერიტორიების მასშტაბის ლანდშაფტისთვის შეიძლება განისაზღვროს კონკრეტული საზღვრის აღწერილობები GPS-ზე დაფუძნებული კოორდინატებით, წლის ტოპოგრაფიული რუკებით ან სხვა შესაფერისი საშუალებებით [15].

სივრცული საზღვრები კონკრეტული ტერიტორიისთვის მკაფიოდ უნდა იყოს განსაზღვრული, რაც ხელს შეუწყობს ზუსტ გამომწვებს, მონიტორინგს, აღრიცხვას, და გადამონმებას. სივრცული საზღვრები განისაზღვრება გლობალური პოზიციონირების სისტემის [GPS] აპარატის და/ან სხვა მეთოდებით. ისეთი პროგრამები, როგორცაა გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემები (GIS), ARC GIS (ESRI პროგრამული უზრუნველყოფის) ARC ჰიდროგრაფიული სისტემის, ARC GIS (ESRI პროგრამული უზრუნველყოფის) [136].

სატყეო მეურნეობაში თანამედროვე ტექნოლოგიებიდან წარმატებით გამოიყენება დისტანციური ზონდირება, რომელიც ასევე აქტუალურია ნახშირბადის სეკვესტრის ხშირი მონიტორინგისთვის აგრომეტყვეობაში [15]. დისტანციურად გადმოცემული ინფორმაცია უზრუნველყოფს ალტერნატიული სახის მონაცემებს. ყველაზე ხშირად გამოიყენება ხილულ-ახლო ინფრანითელი (VIS-NIR) დეტექტორები მცენარეული საფარისთვის. ხილულ-ახლო ინფრანითელი წყაროების ყველაზე გავრცელებული პროდუქტია ვეგეტაციის ინდექსის ნორმალიზებული სხვაობა (NDVI), რომლის საშუალებითაც ხდება დაკვირვება ვეგეტაციაზე. პანქრომატული (PAN) მონაცემები ყველაზე ხშირად გამოიყენება საზღვრის დელიმიტაციის ან ტყის ტიპების არეალის გამოვლენისთვის აერული გადაღებების მსგავსად. მიწისპირა მონაცემები ყოველთვის საჭიროებს ნებისმიერი დისტანციური ზონდირების ტექნიკის მონაცემს. დისტანციური ზონდირების საშუალებით შეიძლება შეგროვდეს შემდეგი მონაცემები: ტყის ხემცენარეთა ჯიშის, ვარჯის გვირგვინი, მიწის ზედა ბიომასა, დაცემული რადიაცია, ფენოლოგია, დომინანტური ხემცენარეების ფოთლის ორიენტაცია და დაკვირვების სხვა მონაცემები.

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ გარკვეული რაღარული მონაცემები შეიძლება იყოს სასარგებლო ტყის საფარის ტექსტურისა და არაერთგვაროვნების შეფასებისას. მცენარეული ანალიზის დროს ვეგეტაციის ინდექსი D(VI) ყველაზე ხშირად გამოყენებადი პროდუქტია დისტანციურად ზონდირებული მონაცემების გამოყენებისას [14,15]. ამ მაჩვენებლის (და ყველა სხვა მცენარეული მაჩვენებლების) საფუძველია ის, რომ ყველა მცენარეულ საფარს აქვს დამახასიათებელი ზოგადი სპექტრები. ეს ტიპური ამრეკვლადობა მცენარეული სპექტრის მხრიდან ძირითადად არის მცენარეული ქლოროფილის შემცველობის, მცენარის უჯრედოვანი სტრუქტურის და მცენარეში წყლის შემცველობის ფუნქცია. ქლოროფილი შთანთქმავს სინათლის ენერგიას 680 ნმ-ზე, რომელიც მიეთითება სპექტრის არხით. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფოთლის სტრუქტურის უჯრედშიდა სივრცე აირეკლავს ახლო ინფრანითელ ენერგიას 790 ნმ-ზე. ყველაზე ხშირად იყენებენ მცენარეული შეფასების მონაცემებს წყაროებიდან: AVHRR, LANDSAT (MSS და TM), SPOT, AVIRIS, CASI, RADARSAT. თითოეულ მათგანს შეუძლია გადმოსცეს მონაცემები ჰიქსელის სხვადასხვა ზომით, დროითი სიხშირითა და დონის ტექნიკური სირთულის მიხედვით [15].

მას შემდეგ, რაც დისტანციურად ზონდირებული გამოსახულება იქნება მიღებული, ისინი საბოლოოდ გამოყენებულ უნდა იქნეს ნიადაგის მცენარეული საფარის კლასიფიცირებისათვის. ყველა ხილულ ინფრანითელ გამოსხივებაზე დაფუძნებული გამოსახულება მოითხოვს გარკვეულ ატმოსფერულ კალიბრებას. ეს აუცილებელია თითოეული მონაცემთა ბაზისთვის, რადგან სენსორი ზომავს სივრცის ყველა კომპონენტის არეკვლადობას ადგილსა და ატმოსფეროს შორის. აქედან გამომდინარე, გამოვლენილი გაუსწორებელი სიგნალი არის ფუნქცია იმისა, თუ რა არის დედამიწის ზედაპირზე და ასევე ატმოსფეროს შემადგენლობისა, როგორცაა აეროზოლები, წყლის ორთქლი ან სმოგი. ატმოსფერული კალიბრების შემდეგ, გამოსახულება უნდა იყოს კლასიფიცირებული სხვადასხვა ტყის ტიპების მიხედვით, რომლის პიქსელის ტიპის სტრატეფიცირება განისაზღვრება მომხმარებელის მიერ (სახეობის, ასაკის, კლასის და ა.შ.). ჰიპერსპექტრული სურათების კლასიფიკაციისთვის ხელმისაწვდომია სხვადასხვა მეთოდი. ცხრილი 1-ში მოყვანილია სატყეო მონიტორინგის დისტანციური ზონდირების პლატფორმების ზოგიერთი მაგალითი.

ცხრ. 6.1. სატყეო მონიტორინგის დისტანციური ზონდირების პლატფორმების ზოგიერთი მაგალითი მულტი-მულტისპექტრული მონაცემი; ჰიპერ-ჰიპერსპექტრული მონაცემი; ჰან – ჰანქრომატული მონაცემი (შავ-თეთრი)

სენსორი	წვდომის ფორმატი	სპექტრული დაფარვა	პიქსელის ზომა (მ)	არხის №	დაფარვის ზონა (კმ)
AVHRR	თანამგზავრი	58-12.5	1100-მულტი; 1100-თერმული	4	2700X2700
LANDSAT (TM)	თანამგზავრი	45-2.35; 2-2.35	30-მულტი 120-თერმული	6	185X185
SPOT	თანამგზავრი	5-8.9	20-მულტი 10-pan.	3+ჰან.	60X60
LEWIS	თანამგზავრი	4-2.5	30-მულტი 5-ჰან	384+ჰან.	13X13
AVIRIS	საჰაერო	41-2.45	20-hiper	224	10X10
CASI	საჰაერო	41-9.25	სიმაღლეზე დამოკიდებული	288 an 15	სიმაღლეზე დამოკიდებული
RADARSAT	თანამგზავრი	რადარი	28-განივი	-	100X250X500 (რეზოლუციაზე დამოკიდებული)

ჰანადის სატელიტური RADARSAT მოქმედება დაიწყო 1995 წლის ნოემბერში. იგი უზრუნველყოფს რეგიონალური მასშტაბის ხშირ გამოსახულებებს კომერციული მიზნებისთვის. არსებობს მრავალი წყარო, საიდანაც შეიძლება დისტანციურად ზონდირებული მონაცემების მოძიება. ყველაზე

ხშირად იყენებენ მცენარეული შეფასების მონაცემებს შემდეგი წყაროებიდან: AVHRR, LND SAT (MSS და TM) და SPOT, ასევე წყაროებს, რომლებიც უფრო მნიშვნელოვანია, როგორცაა AAVIRIS, CASI, RADARSAT. თითოეულ მათგანს შეუძლია მონაცემები პიქსელის სხვადასხვა ზომით, დროითი სიხშირით და დონის ტექნიკური სირთულის მიხედვით გადმოსცეს [213].

AVHRR (გაუმჯობესებული, ძალიან მაღალი რეზოლუციის რადიომეტრი). ამერიკის შეერთებული შტატების თანამგზავრი AVHRR მონაცემებს წარმოადგენს 2399 კმ ფართო ხედვის ზოლით. სატელიტი ორბიტაზე დედამიწას დღეში 14-ჯერ 833 კმ სიმაღლის ზედაპირიდან შემოუფრენს. მონაცემთა ეს წყარო ღიაა NASA საიტზე და ხელმისაწვდომია ყოველდღიურად. ამ სენსორის გამოყენების ერთი ნაკლოვანებაა მისი მცირე მონიტორინგი, მიღებული სურათი არის 1.1 კმ×1.1 კმ რეზოლუციის, რომელიც უფრო დიდია, ვიდრე ყველაზე მცირე გამწვანების ოპერაციების მასშტაბი. დედამიწაზე მონაცემებს გადმოსცემს ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილულ ახლო ინფრანითელ, ინფრანითელ და თერმულ უბანში. გავრცელებული ღრუბლის საფარი შეიძლება იყოს პრობლემატური კარგი მონაცემების მიღებაში წვიმების სეზონში. ეს არის ყველაზე ხშირად გამოყენებული მონაცემების წყარო კონტინენტური მცენარეული საფარის შეფასებაში. LANDSAT – თანამედროვე სატელიტური თემატური კარტოგრაფია (TM) და მართავს NASA. დაფარვა ხორციელდება ყოველ 16 დღეში. პიქსელის სივრცითი რეზოლუცია 25×25 მეტრია. გადმოსცემული მონაცემები არის არეკლილი მონაცემები დედამიწის ზედაპირიდან, რომელიც ჩანს, ელექტრომაგნიტური სპექტრის უახლოეს ინფრანითელ და ინფრანითელ უბნებში. ამ მონაცემთა წყაროს აქვს ინფორმაციის შვიდი არხი, რომელიც ხელმისაწვდომია მომხმარებლისთვის: 2,3 და 4 არხები პირველ რიგში გამოიყენება ვეგეტაციის დადგენისთვის; 1 არხი გამოიყენება bathymetric რუკებისთვის, 5 და 7 NIR არხები და 6 არხი უზრუნველყოფს მონაცემებს სპექტრის თერმულ უბანში. VIS-NIRN მონაცემების ტიპის გამო, ღრუბლის გავრცელებული საფარი შეიძლება გახდეს ხელისშემშლელი ხარისხიანი მონაცემების მიღებაში

AVIRIS. NASA მისიით ამჟამად დაფრინავს საჰაერო ხილული ინფრანითელი გამოსახულების მიმღები სპექტრომეტრი (AVIRIS), რომელიც არის ხილული ინფრანითელი დეტექტორი 20×20 მ პიქსელის რეზოლუციით. AVIRIS მონაცემები უნიკალურია, რადგან თითოეული პიქსელი იძლევა ინფორმაციას სამიზნეზე 228 არხის საშუალებით, რომელიც ზრდის მომხმარებლის შესაძლებლობას, ადგილზე დაადგინოს მცენარეთა ტიპები – ეს არის ეგრეთ წოდებული ჰიპერსპექტრული (Hyperspectral) მონაცემები.

მას შემდეგ, რაც დისტანციურად ზონდირებული გამოსახულება იქნება მიღებული, ისინი საბოლოოდ გამოყენებულ უნდა იქნეს იმისათვის, რომ მოხდეს მინის მცენარეული საფარის კლასიფიცირება.

დისტანციური ზონდირების მონაცემების კლასიფიკაციისთვის გამოიყენება სპექტრული შერევის ანალიზი (SMA). (SMA) იყენებს საყრდენ სპექტრს, რომელსაც ბოლო მამრავლი ეწოდება კომპონენტურ ანალიზში. მისი გამოყენება ტყის გამოსახულების კლასიფიკაციისას უჩვენებს, რომ სხვადასხვა ტიპის ტყეების პიქსელები ამ ბოლო მამრავლებში სხვადასხვა პროპორციით შედის. დამატებით ორი სხვა მეთოდის გამოყენებაც განიხილება: ტექსტურული გაზომვა და ნახევარ-ვარიოგრამები, რომლებიც ანალიზებენ ნიმუშის მონაცემებს მემობელი პიქსელის კონტექსტში. დისტანციურად ზონდირებული გამოსახულებით შესაძლებელია მცენარეული საფარის კლასიფიცირება. ყველა ხილულ ინფრანითელ გამოსხივებაზე დაფუძნებული გამოსახულება მოითხოვს გარკვეულ ატმოსფერულ კალიბრებას. ეს აუცილებელია თითოეული მონაცემთა ბაზისთვის, რადგან სენსორი ზომავს სივრცის ყველა კომპონენტის არეკვლადობას ადგილსა და ატმოსფეროს შორის. აქედან გამომდინარე, გამოვლენილი გაუსწორებელი სიგნალი არის ფუნქცია იმისა, თუ რა არის დედამიწის ზედაპირზე და ასევე ატმოსფეროს შემადგენლობისა, როგორცაა აეროზოლები, წყლის ორთქლი ან სმოგი. ატმოსფერული კალიბრების შემდეგ, გამოსახულება უნდა იყოს კლასიფიცირებული სხვადასხვა ტყის ტიპების მიხედვით, რომლის პიქსელის ტიპის სტრატეფიცირება განისაზღვრება მომხმარებელის მიერ (სახეობის, ასაკის, კლასის და ა.შ.). ჰიპერსპექტრული სურათების კლასიფიკაციისთვის გამოიყენება სხვადასხვა ხელმისაწვდომი მეთოდები. IDRISI არის რასტრული პროგრამა, რომელიც გამოიყენება გლობალურად და შემუშავდა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის გარემოს დაცვის პროგრამის ნაწილობრივი დაფინანსებით, რათა აწარმოოს ხელმისაწვდომი, მოქნილი, გამოსახულების კლასიფიკაცია და GIS პაკეტი. IDRISI შეიძლება გამოყენებულ იქნეს AVHRR, Landsat და SPoT გამოსახულებების ანალიზისთვის [136].

ვეგეტაციური ინდექსი (VI) მნიშვნელოვანი ეკოსისტემური ცვლადია, რომელიც აგრო და ბიომეცნიერებებში ხშირად გამოიყენება. VI არის ვეგეტაციური სიმწვანის ოპტიკური დისტანციური ზონდირებით მიღებული მონაცემი და წარმოადგენს წითელი და ახლო-ინფრანითელი არხების სპექტრული არეკვლადობის ფარდობას და ზუსტად ასახავს ვარჯის მახასიათებლებს და ბიოფიზიკურ პროცესებს. ვეგეტაციის ინდექსი NDVI [213] ყველაზე ხშირად გამოყენებადი პროდუქტია მცენარეული ანალიზის დროს, დისტანციურად ზონდირებული მონაცემების გამოყენებისას. ამ მაჩვენებლის (ასევე ყველა სხვა მცენარეული მაჩვენებლების) საფუძველი არის ის, რომ ყველა მცენარეულ საფარს აქვს დამახასიათებელი ზოგადი სპექტრები. ეს ტიპური ამრეკვლადობა მცენარეული სპექტრის მხრიდან არის ფუნქცია ძირითადად მცენარეული ქლოროფილის შემცველობის, მცენარეული უჯრედოვანი სტრუქტურის და მცენარეული წყლის შემცველობის. ქლოროფილი შთანთქმავს

სინათლის ენერგიას 680 ნმ-ზე, რომელიც მიეთითება სპექტრის არხით. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფოთლის სტრუქტურის უჭრედშიგა სივრცე აირეკლავს ახლო ინფრარითელ ენერგიას 790 ნმ-ზე. ეს ორი მახასიათებელი ყველაზე ხშირად ხასიათდება 3 და 4 არხებით LANDSAT მონაცემთა მასივებში, 1 და 2 არხით AVHRR მონაცემთა მასივში და 2 და 3 არხით SPOT მონაცემებში. ყველა ეს და დისტანციური ზონდირების მონაცემების ბევრი სხვა წყაროებიც არსებობს, რომელთა მიზანია აწარმოოს NDVI მსგავსი პროდუქტი. NDVI არის მცენარეული ინდექსი, რომელიც გამოითვლება თითოეული სპექტრის ქლოროფილის შთანთქმის თვისებიდან და თითოეული სპექტრის ახლო ინფრარითელი არეკვლადობის თვისებიდან. მაგალითად LANDSAT მონაცემებით, ეს სპექტრული მახასიათებლები გამოითვლება 3 და 4 არხის საშუალებით:

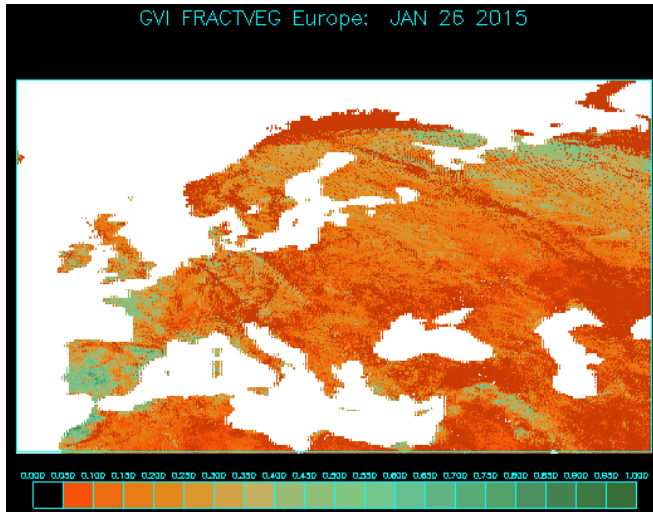
$$NDVI = (| \text{არხი 3} - \text{არხი 4} |) / (\text{არხი 3} + \text{არხი 4}).$$

TERRA და **Aqua** MODIS თანამგზავრების **Advanced Very High Resolution Radiometer**, (**AVHRR**) და **Suomi National Polar-orbiting Partnership's Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)** მიერ მიღებული ინდექსი არის გრძელი გამოთვლების შედეგის ერთ-ერთი გამოყენებადი ნაწილი.

დედამიწის სადამკვირვებლო სისტემის Earth Observing System (EOS) პროგრამის ნაწილს წარმოადგენს დედამიწის ვეგეტაციის გავლენის შესწავლა ფართომასშტაბიან გლობალურ პროცესებში, დედამიწის როგორც სისტემის ფუნქციონალურობის დასადგენად. ეს მოითხოვს ვეგეტაციის გლობალური გავრცელების, ასევე მისი ბიოფიზიკურ და სტრუქტურულ თვისებებების და სივრცულ-დროით ვარიაციების შესწავლას. ვეგეტაციის ორი ინდექსის ალგორითმი დამუშავდა: ერთ-ერთი არის სტანდარტული ნორმალიზებული სხვაობიანი ვეგეტაციური ინდექსი (NDVI), რომელიც მიიღება NOAA-AVHRR-დან და “უნყვეტობის ინდექსად” მოიხსენიება. მეორე არის ეგრეთ წოდებული “გაუმჯობესებული ვეგეტაციური ინდექსი” (EVI) რომელსაც გაუმჯობესებული სენსიტიურობა გააჩნია დიდი ბიომასის რეგიონებისათვის და ვეგეტაციის მონიტორინგისთვის [213].

უნდა აღინიშნოს, რომ დისტანციური ზონდირება წარმოადგენს ზოგიერთი მონაცემის სწრაფი და ხარჯეფექტური გზით მოპოვების საშუალებას. ასეთი გაუმჯობესებული მონაცემთა ბაზა გაცილებით უფრო საიმედო შეფასებისა და ტყის სანჯავის მინოდების დაგეგმვის საშუალებას იძლევა, რომელიც დღემდე ენერჯის ძირითადი წყაროა მესამე მსოფლიო მოსახლეობის უმრავლესობისთვის. თუმცა, მხოლოდ დისტანციური ზონდირების მონაცემები ვერ უზრუნველყოფენ მინის საკუთრების და ტყის სანჯავის ხელმისაწვდომობას და ამიტომ უნდა მოხდეს მათი ადგილზე გაზომვებთან კომბინირება.

ქვემოთ მოყვანილია თანამგზავრული გაზომვების შედეგები საქართველოსთვის:



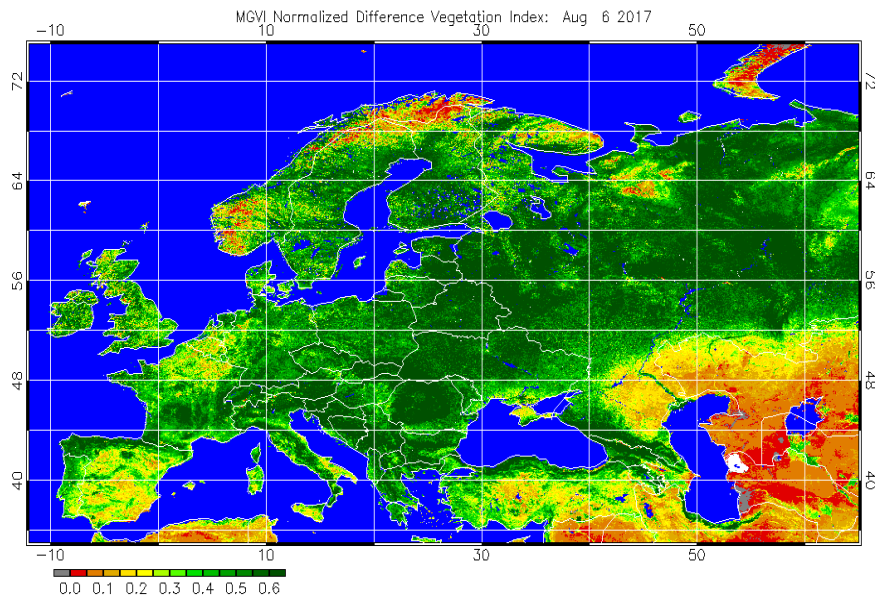
ნახ.6.2. ფრაქციული ვეგეტაცია.2017წ. ივნისი (NASA, MODIS) [110]
 Fig.6.2. Fractional vegetation. June, 2017 NASA, MODIS)

ფრაქციული ვეგეტაცია არის NDVI წარმოდგენა, როგორც ფრაქცია ან პროცენტული შემცველობა თუ გამრავლდება 100%. თუ NDVI მნიშვნელობა ნაკლებია ან ტოლია 0.07 უტოლდება 0.0 და თუ მეტია ან ტოლია 0.57 უტოლდება 1.0.

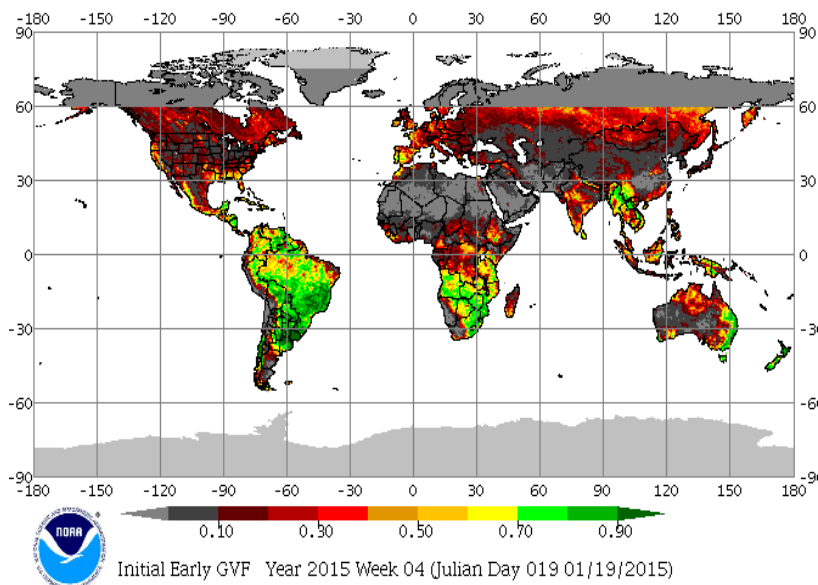
ვეგეტაციის ჯანმრთელობის ინდექსს ასევე ეწოდება ვეგეტაცია-ტემპერატურის ინდექსი დამოკიდებულია ვეგეტაციის მდგომარეობასა (VCI) და ტემპერატურის (TCI) კომბინაციაზე. გამოიყენება ვეგეტაციის მდგომარეობის, გვალვის მონიტორინგის, სინოტივის, სითბური რეჟიმის და ა.შ [213].

ვეგეტაციის სიმწვანის ფრაქცია (GVF) არის ვეგეტაციის გლობალური პროცესული სისტემის (GVPS) პირდაპირი პროდუქტი, რომელიც მნიშვნელოვანია ნიადაგის ზედაპირის სითბური ნაკადების გამოთვლისას ნიადაგ-ატმოსფეროს მოდელურებში. GVF გამოითვლება ყოველკვირეულად NDVI 6 წლიანი მონაცემის გამოყენებით. საქართველოს ტერიტორიისთვის იგი მერყეობს 0.1-0.3-ს შორის.

ვეგეტაციის ჯანმრთელობის ინდექსი, ასევე ეწოდება ვეგეტაცია-ტემპერატურის ინდექსი, დამოკიდებულია, ვეგეტაციის მდგომარეობასა (VCI) და ტემპერატურის (TCI) კომბინაციაზე. გამოიყენება ვეგეტაციის მდგომარეობის, გვალვის მონიტორინგის, სინოტივის, სითბური რეჟიმის და ა.შ.



ნახ.6.3. NDVI . 6 აგვისტო 2017 (NOAA. Office of Satellite and Product Information. National Environmental Satellite, Data and Information Service)



ნახ.6.4 ვეგეტაციის სიმწვანის ფრაქცია (GVF), 2015 [111].
Fig.6.4. GreenVegetation Fraction (GVF), 215

ვეგეტაციის სიმწვანის ფრაქცია (GVF) არის ვეგეტაციის გლობალური პროცესული სისტემის (GVPS) პირდაპირი პროდუქტი, რომელიც მნიშვნელოვანია ნიადაგის ზედაპირის სითბური ნაკადების გამოთვლისას ნიადაგ-ატმოსფეროს მოდელებში. GVF გამოითვლება ყოველკვირეულად NDVI 6-წლიანი მონაცემის გამოყენებით.

ვეგეტაციის ნორმალიზებული ინდექსი (NDVI) საქართველოს ტერიტორიისათვის მერყეობს 0,5-0,2-ის ფარგლებში. ამ ინდექსის გარდა დამატებით შემოღებულია რამდენიმე მცენარეული ინდექსი, რომლებიც გამოიყენება მწვანე საფარის დაკვირვებისთვის: ფრაქციული ვეგეტაციის ინდექსი (GVIF)-0,7-0,25; მწვანე ვეგეტაციის ფრაქციის ინდექსი (GVF) -84,0-60,0.

ხოლო ნახშირბადის მარაგის გაზომვის და შეფასებისთვის გამოიყენება: მინისზედა ხის ბიომასა, მინისქვეშა ხის ბიომასა და ნიადაგის ორგანული ნახშირბადი. აუზის შერჩევა, რომელზეც მარაგის გაზომვა და მონიტორინგია დამოკიდებული განისაზღვრება რამდენიმე ფაქტორით, მათ შორის ცვლილების მოალოდნელი სიხშირე, სიძლიერე და ცვლილების მიმართულება, მეთოდების სიზუსტე და ხელმისაწვდომობა

ნახშირბადის შემდეგი მარაგები იქნება გაზომილი ტყის ნახშირბადის შეფასებაში.

- ა) მინისზედა ხის ბიომასა (AGTB)
- ბ) მინისზედა სარგავი ბიომასა (AGSB)
- გ) მინისქვეშა ბიომასა (BB)
- დ) ნიადაგის ორგანული ნახშირბადი (SOC)
- ე) ფოთოლის ნარჩენები და ბალახი (LHG)
- ვ) მკვდარი ხე და მოტეხილი ხის ღერო (DW)

ადგილზე გაზომვის მიზანია, ზუსტად შეაფასოს ნახშირბადის ცვლილება სიზუსტის ცნობილ დონეზე. გაზომვების და მონიტორინგისთვის საჭიროა ხარისხის კონროლი და ხარისხის უზრუნველყოფა. შესაბამისი სავსე გაზომვების მოგროვება არის ხარისხის უზრუნველყოფის მნიშვნელოვანი ეტაპი. ეს ეტაპი არის დოკუმენტაციის ნაწილი და მოიცავს შემდეგ პროცედურებს:

(1) ადგილის საიმედო გაზომვების მოგროვება (2) ლაბორატორიული პროცედურების ვერიფიკაცია; (3) მონაცემთა შეყვანის და ანალიზის მეთოდების ვერიფიკაცია და (4) მონაცემთა შენახვა და არქივირება [14].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასვნათ, რომ თანამედროვე დისტანციური ზონდირების ტექნოლოგიის გამოყენებით ჩატარებული ეკოლოგიური მონიტორინგი საშუალებას იძლევა შეფასდეს და გაანალიზდეს [14,15]:

– საქართველოს აგრარული სექტორის არსებული მდგომარეობისა და განვითარების პერსპექტივები ტყის ლანდშაფტის შენარჩუნების მიზნით (გაუტყეურების და ტყის დეგრადაციის თავიდან აცილება);

- რამდენადაა ეკოლოგიურად მიზანშეწონილი ახალი სახნავ-სათესი ფართობებისათვის მიწის გამოთავისუფლება ტყეების გაჩეხის ხარჯზე;
- მესაქონლეობის დარგის განვითარების შესაძლებლობები საძოვრების არა ტყეების, არამედ მდელოების უფრო ინტენსიური გამოყენების ხარჯზე;
- დიდი რაოდენობის მცირე ჰესების მშენებლობის პერსპექტივა, რამაც შესაძლებელია ზიანი მიაყენოს ტყეების საფარს, გამოიწვიოს მათი მნიშვნელოვანი ნაწილის გაჩეხა და დატბორვა;
- ტყის საფარის შენარჩუნება და მდგრადი მიწათსარგებლობის რეალიზება კლიმატის ცვლილებების შერბილების (მითიგაცია) მიზნით.

ელექტრონების ვერტიკალური სრული შემცველობა

მას შემდეგ, რაც გაფართოვდა დედამიწის შესწავლა თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემებით, NASA, NOAA და EUMETSAT პროგრამების ფარგლებში განხორციელდა თანამგზავრების გაშვება, აღჭურვილებს სხვადასხვა ტიპის სენსორებით, აქტუალური გახდა იონოსფეროს ამინდის ამოცანა, რომლის მიხედვით დედამიწაზე ამინდის ჩამოყალიბება იწყება ატმოსფეროს მაღალ ფენებში [111,179,180,181].

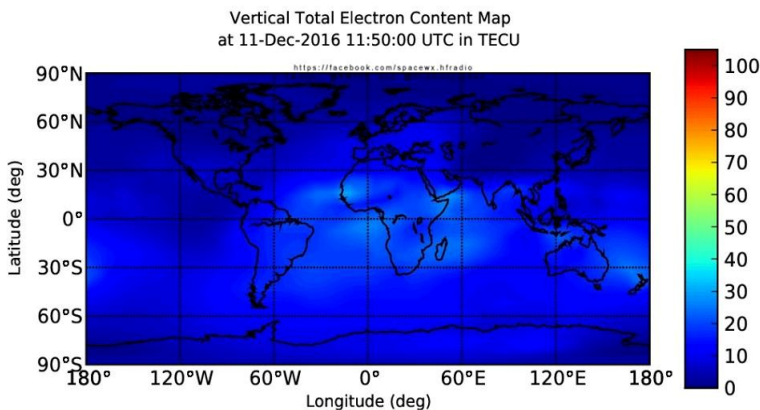
NASA-ს მაგნიტური ველის სადამკვირვებლო თანამგზავრი MMS, THEMIS და მზეზე დაკვირვების თანამგზავრები SOHO, SDO, SOLAR PROBE, და სხვ. გაშვების შემდეგ განუწყვეტლად გადმოსცემენ ინფორმაციას მზის პარამეტრების ცვალებადობაზე, კოსმოსური სხივების მახასიათებლებზე და დედამიწის მაგნიტური ველის რეაქციაზე ამ ცვლილებებზე. მას შემდეგ რაც განხორციელდა ვან ალენის რადიაციული სარტყლების ზონდების გაშვება, დედამიწის გარშემო დაფიქსირდა მაღალი ენერგიების ელექტრონების რკალი, რომელიც რამდენიმე საათში დაიშალა. თუმცა მათ დიდი გავლენა იქონიეს დედამიწის ელექტრომაგნიტურ მახასიათებლებზე.

დედამიწის მაგნიტური ველი წარმოადგენს ფარს, რომელიც იცავს კოსმოსური მოკლელტალიანი გამოსხივებისგან და მუდმივად იმყოფება დიდი ზემოქმედების ქვეშ. იგი განსაკუთრებით ზიანდება მზის კორონალური ამოფრქვევების, მზის ლაქების, მზის მაგნიტური ველის და კოსმოსური სხივებისგან. დამუხტული ნაწილაკები: პროტონები, ელექტრონები, მეზონები, დადებითი და უარყოფითი იონები და ნეიტრონები ინვევენ მაგნიტური ველის ძალწირების წყვეტას და შემოიჭრებიან ატმოსფეროში. პოლუსებზე ისინი ინვევენ ციალს, ეგრეთ წოდებულ Aurora Borealis, დედამიწაზე კი გეომაგნიტურ ქარიშხლებს, რომლებიც დიდ როლს თამაშობენ გლობალური და რეგიონული ამინდის ჩამოყალიბებაში [209].

მზის ქარი, მზის კორონალური ამოფრქვევები და კოსმოსური გამოსხივება დედამიწის მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედებისას გაარღვევს და

ატმოსფეროში იჭრებიან სხვადასხვა დამუხტული ნაწილაკები. ისინი მოქმედებენ როგორც ღრუბლის კონდენსაციის ბირთვები და ინვევენ ღრუბლის საფარის გაზრდას, ასევე მოქმედებენ, როგორც წვიმის და ყინულის კრისტალების წარმომქმნელი დამატებითი ბირთვები, რაც ინვევს ნალექის გაზრდას კონკრეტულ ადგილებში. [12]. ასევე დამუხტული ნაწილაკები ატმოსფეროში აძლიერებენ ელექტრულ ველს, რაც გამოიხატება ელჭექების ინტენსივობის ზრდაში.

იონოსფეროს ამინდის პროგნოზისთვის გამოიყენება ელექტრონების ვერტიკალური სრული შემცველობის (Total Electron Content) ახალმა რუკებმა, რომლებსაც NASA უწყვეტად გადმოსცემს. ელექტრონების სრული შემცველობა არის მნიშვნელოვანი რაოდენობრივი პარამეტრი და წარმოადგენს თავისუფალი ელექტრონების სრულ რაოდენობას 1m^2 განიკვეთის ცილინდრში, დაკვირვების ადგილიდან (თანამგზავრი) მიმდებამდე (დედამინა). ეს რუკები გამოიყენება იონოსფეროს ამინდის მონიტორინგისა და იონოსფეროს შტორმების პროგნოზირებისათვის, რომლებიც წარმოიქმნება მზის აქტივობის და დედამინის მაგნიტოსფეროს შეშფოთების შედეგად (SOLAR PHYSICS AND TERRESTRIAL EFFECTS. Space Environment Center. 2012) [190].



ნახ.6.5. ელექტრონების ვერტიკალური სრული შემცველობის (Total Electron Content) რუკა, NASA, 11/11/2016. (www.spaceweather.gov)

Fig.6.5. Total Electron Content NASA, 11/11/2016

6.2. სინათლის და საღრუბლო ნაწილაკების ურთიერთქმედება

წყალი არის ნაერთი და პოლარული მოლეკულა, რომელიც თხევადია სტანდარტულ ტემპერატურასა და წნევაზე. მას აქვს ქიმიური ფორმულა H_2O , რაც იმას ნიშნავს, რომ წყლის ერთი მოლეკულა შედგება ორი წყალბადის ატომისა და ერთი ჟანგბადის ატომისგან. წყალი თითქმის ყველგან გვხვდება

დედამინაზე და მას სჭირდება ყველა ცნობილი სიცოცხლე. დედამინის ზედაპირის დაახლოებით 70% დაფარულია წყლით. წყლის მოლეკულის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მისი პოლარული ბუნება. წყლის მოლეკულა ქმნის კუთხეს წყალბადის ატომებით ბოლოებზე და უანგბადით წვეროზე. ვინაიდან უანგბადს უფრო მეტი ელექტრონეგატიურობა აქვს ვიდრე წყალბადს, მოლეკულის მხარეს უანგბადის ატომთან აქვს ნაწილობრივი უარყოფითი მუხტი. ჩვეულებრივ, ასეთი მუხტის სხვაობის მექონე მოლეკულას დიპოლს უწოდებენ. მუხტის განსხვავებები იწვევს წყლის მოლეკულების მოზიდვას ერთმანეთისკენ და სხვა პოლარული მოლეკულების მიმართ. ეს მიზიდულობა ცნობილია როგორც წყალბადის კავშირი. ეს კავშირი წყალს უჩვეულო თვისებებს ანიჭებს. მრავალი კვლევა და ექსპერიმენტი HT მონაცემილობებთან არის გაკეთებული წყლის თვისებების გასაგებად [184,205].

სინათლის (ფოტონის) და ღრუბლის ნაწილაკების ურთიერთქმედება ძირითადი კვანტური ვარაუდის მიხედვით, რომ სისტემის შიდა ენერგია შედგება შეკრული მიკრონაწილაკებისგან (კლასტერი) გარკვეულ პირობებში შეიძლება დაშვებული დისკრეტული მნიშვნელობების მიღება, განხილულია სტატიაში. მიზანია გამოვთვალოთ ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის ალბათობა, რომელიც გამოწვეულია შინაგანი ძალებით ან რაიმე შინაგანი პროცესებით. კლასტერი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მრავალპოლუსიანი სისტემის სახით. მრავალპოლუსი არის სისტემა, რომელიც შედგება რამდენიმე საპირისპირო მუხტით, რომლებსაც აქვთ გარკვეული სიმეტრიის ტიპი. უმარტივესი დიპოლია, თუ დიპოლურ მიახლოებაში გადასვლა აკრძალულია, ეს შეიძლება მოხდეს უფრო მაღალ მიახლოებაში – კვადროპოლურში (ელექტრო) ან მაგნიტურ დიპოლში. მათი ალბათობა დიპოლურზე დაახლოებით 10^6 -ჯერ ნაკლებია. კლასტერის გადასვლის ალბათობის დასადგენად ძირითადი მდგომარეობიდან მაღალ ენერგეტიკულ ან ვირტუალურში ელექტრომაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედებისას, საჭიროა აინშტაინის კოეფიციენტების იდენტიფიცირება [207].

ღრუბლის წარმონაქმნების მიკროსტრუქტურის ზოგიერთი თავისებურება განხილულია წყლის ნაწილაკებისთვის დამახასიათებელი კვანტური დისპერსიული ძალების ან ვან-დერ-ვაალსის ძალების გამოყენებით. ურთიერთქმედების პოტენციალის გამოხატვის მისაღებად შემოდებულ იქნა კლასტერების ძირითადი და გამომავალი მდგომარეობების ტალღური ფუნქციები და დისპერსიული მატრიცა, რომელიც აღწერს ვირტუალურ ფოტონს. გაირკვა, რომ ვირტუალური ფოტონის ურთიერთქმედება იწვევს პოტენციურ ხვრელებს და ბარიერებს, რომლებიც მცირდება სიმალლითა და სიგანით. იზოლირებული გრძელი ტალღის რაოდენობა შეიძლება იყოს გამოსხივება, რომელიც წარმოიქმნება დაკვირვებული მიკროფიზიკური პროცესების განმავლობაში.

წყალი H₂O არის მოლეკულა, რომელიც ყველამ იცის და მის გარეშე სიცოცხლე შეუძლებელია. მაგრამ, მიუხედავად იმისა, რომ იგი ცნობილია და მნიშვნელოვანია სიცოცხლისთვის, წყლის გარდაქმნის ასპექტები რთული გასაგები იყო, მათ შორის მისი ტრანსფორმაცია ღრუბელში.

მეტეოროლოგია არის არაჩვეულებრივად ინტერდისციპლინარული დარგი, რაოდენობრივი კავშირებით ბევრ გამოყენებით მეცნიერებასთან და წარმოდგენილ კვლევაში საღრუბლო გარემო განიხილება კვანტური თეორიის გამოყენებით.

მიკრონაწილაკები აღინერება ტალღური ფუნქციის გამოყენებით კვანტურ მექანიკაში. კვანტური სისტემის მდგომარეობა განიხილება განსაზღვრულად, თუ მოცემულია მისი ტალღური ფუნქცია (შრედინგერი) ან კეტ-ვექტორი (დირაკი).

სისტემის ენერჯიის ცვლილება ხდება კვანტური გადასვლით ერთი ენერგეტიკული დონიდან მეორეში. თუ E₁>E₂ სისტემა ასხივებს ენერჯიას E₁-E₂-ის ტოლფასი და თუ E₁<E₂, მაშინ შთანთქმავს. ასეთი ტრანსპორტირება ხდება ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებასთან ურთიერთობისას. გამოსხივებული ან აბსორბირებული ფოტონის ენერჯია განისაზღვრება ბორის სიხშირის კანონით:

$$hw_{12} = |E_2 - E_1|$$

მოლეკულების სრული ენერჯია შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მასის ცენტრთან დაკავშირებული კინეტიკური ენერჯიის ჯამით და შიდა ენერჯიის ჯამით. მოლეკულების ენერჯია შეიძლება ჩაითვალოს ნაერთად სამი ნაწილისგან:

1. ელექტრონის ენერჯია დაკავშირებულია მათ ბრუნვასთან ბირთვების გარშემო

2. E_{os} – რხევის ენერჯია, რომელიც დაკავშირებულია ბირთვულ ვიბრაციასთან მასის ცენტრისკენ

3. E_{rot} – ბრუნვის ენერჯია, რომელიც დაკავშირებულია მოლეკულების ბრუნვასთან მასის ცენტრისკენ

დიატომური მოლეკულა ბრუნავს მასის ცენტრის გარშემო, რომელიც მდებარეობს მოლეკულის სიმეტრიის ღერძზე. ბრუნვის ენერჯია განისაზღვრება როგორც:

$$E_{rot} = \hbar^2 \frac{K(K+1)}{2I} = BK(K+1)$$

სადაც I=MR_o² ინერციული მომენტი;

B- ბრუნვის მუდმივი;

K=0, 1, 2, 3 ბრუნვის კვანტური რიცხვი

$|M_{rot}| = \sqrt{K(K+1)}\hbar$ – ბრუნვის იმპულსური იმპულსი

ვიბრაციის ენერგია შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად,

$$\text{სადაც } \kappa = \frac{\hbar \omega_0}{4D} \ll 1 - \text{ არაჰარმონიული მუდმივია}$$

ელექტრული ტერმის დახასიათება არ განსხვავდება დიატომური მოლეკულის ტერმისგან. მოლეკულის ბირთვში ელექტრულ ველს არ აქვს ცენტრალური სიმეტრია, ამიტომ სრული ორბიტალური მომენტი არ ინახება. დიატომურ მოლეკულაში ელექტრულ ველს აქვს ღერძული სიმეტრია და ამ შემთხვევაში შენარჩუნებულია კომპონენტი ღერძზე, რომელიც გადის ორბიტალური იმპულსის ბირთვში. მას ეწოდება მოლეკულის ორბიტალური კვანტური რიცხვი და იღებს დისკრეტულ მნიშვნელობებს $0, 1, 2, \dots$ მოლეკულის მდგომარეობა ასევე ხასიათდება სრული ელექტრონის სპინით S და მას აქვს შიდა კვანტური რიცხვი $\Omega = \Lambda + S$.

სინათლე განიხილება, როგორც ფოტონების კომბინაცია ka მდგომარეობასთან $\hbar \omega$ და $\hbar k$, იმპულსებთან [151]. ფოტონის ან მოლეკულური სისტემის ურთიერთქმედება ხდება სინათლის რაოდენობების წარმოქმნით ან გაქრობით. ამ პროცესში ენერგია და იმპულსი ინახება. კვანტური ტრანსფორმაცია არის სისტემის გადატანა ერთი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორეში. ამოცანაა განსაზღვროს ტრანსფორმაციის ალბათობა ერთი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორეში. კლასტერები შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მრავალპოლუსიანი სისტემებით. მრავალპოლუსი არის სისტემური ნაერთი რამდენიმე საპირისპირო მუხტიდან, რომელიც იღებს გარკვეულ სიმეტრიას. უმარტივესი დიპოლურია. თუ ტრანსპოსტაცია აკრძალულია დიპოლური მიდგომით, ეს შეიძლება მოხდეს უფრო მაღალ მიდგომაში – კვადროპოლური (ელექტრული) ან მაგნიტურ-დიპოლური [206,207].

მათი ალბათობა დიპოლზე 10^6 -ჯერ ნაკლებია. ტრანსპორტირების ალბათობის დასადგენად აინშტაინის კოეფიციენტები უნდა განისაზღვროს კლასტერების თვისებების მიხედვით. შესაძლებელია სპონტანური და იძულებითი მოძრაობის წევრების იდენტიფიცირება.

კვანტური გადასვლის კომბინაცია ხასიათდება D_{mn} რიცხვებით ორგანზომილებიანი ერთობით და არის უსასრულო მატრიცა:

$$\begin{pmatrix} D_{11}, D_{12}, \dots, D_{1n}, \dots \\ D_{21}, D_{22}, \dots, D_{2n}, \dots \\ \dots \\ D_{n1}, D_{n2}, \dots, D_{nn}, \dots \\ \dots \end{pmatrix}$$

სადაც $D_{mn}^0 = e \int \psi_m^* \vec{r} \psi_n dv$ არის დიპოლური გადასვლის მატრიცის ელემენტი

არადიაგონალური მატრიცის ელემენტები არის დროის ფუნქციები და შეესაბამება სინათლის შთანთქმას ან გამოსხივებას იმ სიხშირეებით, რომლებიც განსაზღვრულია ბორის დაბალი სიხშირის შერჩევით. და აინშტაინის კოეფიციენტები შეიძლება განისაზღვროს როგორც სპონტანური და იძულებითი გადასვლის ალბათობა.

$$A_{mn} = \frac{w_{mn}^3}{3q_0\pi\hbar c^3} (D_{mn})^2 \text{ სპონტანური გადასვლის ალბათობა}$$

$$B_{mn} = \frac{\pi}{12q_0\hbar^2} (D_{mn})^2 \text{ იძულებითი გადასვლის ალბათობა}$$

A_{mn} არის დაახლოებით 10^8 წამი⁻¹

თუ მატრიცის რომელიმე ელემენტი უდრის 0-ს, მას უწოდებენ აკრძალულს, მაშინ ეს გადასვლა არ ხდება დიპოლურ მიახლოებაში და ხდება მაგნიტურში. თუ გადასვლები აკრძალულია ან აკრძალულია მაღალი ენერგეტიკული დონის კლასტერებისთვის, ქვედა ენერგეტიკულ დონეს ეწოდება მეტასტაბილური და კლასტერის სიცოცხლის ხანგრძლივობაა 10^{-3} წამი ან მეტი.

თუ დიპოლურ მიახლოებაში დაშვებულია გადასვლა, მაშინ სისტემის სიცოცხლის ხანგრძლივობა არის სპონტანური გადასვლის ალბათობის რიგი. თუ გადასვლა აკრძალულია დიპოლურ მიახლოებაში ან $D_{mn}=0$, ეს არ ნიშნავს, რომ ეს საერთოდ არ მომხდარა, რადგან კლასტერს აქვს ელექტრული ოთხმაგი ან მაგნიტური დიპოლური მომენტი. თუ კლასტერებისთვის გადასვლა აკრძალულია, ენერგეტიკული მაღალი დონე, ვიდრე დაბალი დონე ელექტრო-დიპოლების ურთიერთქმედებებში, ეწოდება მეტასტაბილურ დონეს. ამ კლასტერებში სიცოცხლის ხანგრძლივობაა 10^{-3} წამი ან მეტი. პირველი კვანტური გადასვლის მიდგომით მოქმედებს ბორის აკრძალვის პრინციპი. თუ ასეთი გადასვლა მაინც მოხდება, ეს იქნება მეორე ან უფრო მაღალი მიახლოების თანმიმდევრობით და ალბათობაც ნაკლები იქნება. ასეთია ბლანტ გარემოში სინათლის გაფანტვა, ნისლში, აეროზოლებზე და ა.შ. მოლეკულურ დონეზე ეს პროცესი შემდეგნაირად ხდება: თუ გარე გამოსხივების სიხშირე განსხვავდება შთანთქმის სიხშირისგან, ენერჯიის რაოდენობა მაინც გადაეცემა კლასტერს, რომელიც გარდაიქმნება ვირტუალურ მდგომარეობაში ხანმოკლე სიცოცხლის ხანგრძლივობით და განისაზღვრება გაურკვევლობის პრინციპით. შემდეგ ის ასხივებს იმავე სიხშირის ფოტონს და ბრუნდება საწყის მდგომარეობაში. გარკვეული პირობების კლასტერი შეიძლება გადაიზარდოს საბოლოო მდგომარეობად ვირტუალურიდან. უბრალო შემთხვევაში, დაცემის ტალღა ბრტყელია და გამოსხივებულია სფერული ენერჯია და იმპულსი ინახება როგორც ყოველთვის, გარდა ვირტუალური მდგომარეობისა, როდესაც ენერჯია არ ინახება. ამ გადასვლებისთვის აუცილებელია, რომ ელექტრონ-ფოტონთა ურთიერთქმედების მატრიცის ელემენტი განსხვავდებოდეს 0-დან. განსაზღვრულ პირობებში კლასტერი შეიძლება გარდაიქმნას ვირტუალურიდან საბო-

ლომ მდგომარეობად, რომელიც განსხვავდება სანყისისგან. ასევე გამოსხივებულ ფოტონს ექნება განსხვავებული პოლარიზაცია და სიხშირე. მეორე მიახლოებაში შესაძლებელია ორი ფოტონის შთანთქმის პროცესის არსებობა. ფოტონის შთანთქმის შემდეგ სისტემა გადადის ვირტუალურ მდგომარეობაში, სადაც ის შთანთქავს სხვა ფოტონს და შემდეგ გადადის სტაციონარულ მდგომარეობაში.

კლასიკურ მექანიკაში S სისტემის შესაძლო მდგომარეობები არის დადებითი ნორმალიზებული ფუნქციები (განაწილების ფუნქცია) ფაზის სივრცეზე P და შესაძლო დაკვირვებადი ყველა რეალური ფუნქციაა P . P დაფიქსირდა და ცალსახად ასოცირდება მხოლოდ სისტემასთან და წარმოადგენს ამის საფუძველს. კინემატიკური აღწერა. მაშასადამე, გადასვლები დაკვირვებადობის სხვადასხვა კომპლექტს შორის, რომლებიც ზემოთ აღწერილი იყო, შეუძლებელი იქნება კლასიკურ მექანიკაში. ისინი ჩართულია კვანტურ მექანიკაში მხოლოდ დაკვირვებადი ობიექტების არაობიექტური ხასიათის გამო: არა მხოლოდ მათი მნიშვნელობები არ შეიძლება მიენეროს მხოლოდ მიკროსისტემა S -ს, არამედ ზოგიერთი მათგანი პრინციპში არც კი არის რეგისტრირებული გარე პირობების გამო, რომელშიც S არის. ვარაუდობენ, რომ მიკროსისტემის კვანტური კინემატიკა განისაზღვრება მათემატიკურად შესაძლო მდგომარეობებით, რომლებიც წარმოადგენილია ყველა პოზიტიური ნორმალიზებული (კვალის ერთი) ოპერატორით და შესაძლო დაკვირვებებით, რომლებიც წარმოადგენილია ზოგიერთი თვითდაკავშირებული ოპერატორის მიერ, სისტემასთან ასოცირებულ ჰილბერტის სივრცეში. შემდეგ მდგომარეობებისა და დაკვირვებადობის გადასვლები, რომლებიც თან ახლავს განცალკევების სტატუსის ცვლილებას, არ შეიძლება განიხილებოდეს როგორც დინამიური ტრანსფორმის ნაწილი S -ის დინამიკის ახალი ვერსიის გამო, არამედ როგორც მისი კინემატიკური აღწერილობის ცვლილება. ამრიგად, მიუხედავად იმისა, რომ განცალკევების სტატუსის ცვლილება ტალღის ფუნქციის დაშლის მსგავსია (არალოკალური ხასიათის ჩათვლით), ის უფრო რადიკალურიც არის და უკეთ გასაგებიც.

დედამინაზე ყველაზე შეუსწავლელი და გავრცელებულია წყლის მოლეკულა, რომელსაც არსებითი მნიშვნელობა აქვს ორგანული და არაორგანული სიცოცხლის არსებობაში. მისი თვისებების უმეტესი ნაწილი განპირობებულია იმით, რომ სამი კომპონენტის ატომები არ არის განთავსებული ერთ ხაზზე, უარყოფითი მუხტის ჭარბობა ჟანგბადის ატომების ნაწილზე და დადებითი წყალბადზე. ამრიგად, წყლის მოლეკულა ელექტრულად პოლარიზებულია. ღრუბლის თვისებები და მათი სტაბილურობა შეიძლება აიხსნას წყლის მოლეკულების თვისებებით და დამახასიათებელი ძალებით, რომლებიც მაქსიმუმს აღწევს 1-მიკრომეტრიანი ნაწილაკებისთვის და ერთმანეთისგან 50 კმ მანძილზეა დაშორებული.

ექსპერიმენტულ და გამოთვლილ მოლეკულურ დიპოლურ მომენტებს შორის შედარება რთულია, რადგან ექსპერიმენტები ზომავს დიპოლურ მომენტს ვიბრაციულ ბაზურ მდგომარეობაში μ_0 , ხოლო გამოთვლები ტარდება წონასწორობის დიპოლური მომენტისთვის μ_e და, შესაბამისად, ჩვენ უნდა განვახორციელოთ ვიბრაციული საშუალო, რათა ვისაუბროთ იმავე რაოდენობაზე. თუმცა, არსებობს რამდენიმე ექსპერიმენტული მნიშვნელობა μ -სთვის. იგი შეფასებულია როგორც $H_2O = 1.8473(10)$ [206,207].

მთლიანი მოლეკულური ენერგიისთვის, შრედიგერის განტოლებაში E , არ არსებობს ექსპერიმენტული ანალოგი და ჩვენ განვიხილავთ მას, რათა დავამყაროთ განცდა გამოთვლაში ჩართული მიახლოებების სიმძიმის შესახებ. უნდა გავიხსენოთ, რომ ერთი და N -ელექტრონული სივრცის შეკვეცის გარდა არსებობდა მიახლოებების მესამე კლასი: მიახლოებები მოლეკულურ ჰამილტონიანში \hat{H} . არარელატივისტური ჰამილტონის გამოყენების მართებულობის გამოსაკვლევადა, ჩვენ ჩავრთავთ წამყვანი რიგის ერთელექტრონულ რელატივისტურ შესწორებებს, რომლებიც მოიცავს სპინ-ორბიტალურ ურთიერთქმედებას (SO), მასის სიჩქარის (MV) და დარვინის შესწორებებს. წამყვანი რიგის ორი ელექტრონის წვლილი, როგორცაა ორელექტრონული დარვინის წვლილი და სპინ-სპინის კონტაქტის ურთიერთქმედება, უფრო მცირეა სიდიდის მინიმუმ ერთი რიგით. MV და Dar შესწორებები ყოველთვის საპირისპირო ნიშნისაა. გაანგარიშება ხორციელდება CCSDT მოდელის გამოყენებით წყლის მოლეკულისთვის cc-pCVXZ ფუნქციებში, CCSD(T)/cc-pCVQZ გეომეტრიით [184,201,208].

სრული ენერგია [Eh]

CCSDT HF

DZ -76.24121 -76.02680

TZ -76.33228 -76.05716

QZ -76.35981 -76.06482

5Z -76.36899 -76.06708

ატომებსა და მოლეკულებს შორის მოქმედებს ძალა, რომელსაც ყოველთვის აქვს მიმზიდველი ხასიათი. ეს არის ინტერმოლეკულური დისპერსიული ან ვან-დერ-ვალსის ძალა. ეს არის ელექტრომაგნიტური ძალის მხოლოდ ერთ-ერთი გამოხატულება. ის მოქმედებს ელექტრულად ნეიტრალურ სისტემებს შორის, როგორცაა დიპოლური ან ოთხმაგი. დიპოლებში ძალა მცირდება r^{-4} -ით უკუპროპორციულად, ხოლო ოთხპოლუსში r^{-6} -ით. ის არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე და მისი ბუნება კვანტურია [8,9]. დიპოლების რიცხვის გაზრდით მათი ურთიერთქმედების ძალა იზრდება. მაგრამ მისი ურთიერთქმედება შეზღუდულია იმით, რომ სინათლის სიჩქარე სასრულია.

კლასტერის სტაბილური და აღგზნებული მდგომარეობებისთვის გამოყენებულია ტალღური ფუნქცია $\Psi = \Psi(x, y, z, t)$. მისი ფიზიკური არსი არის ის,

რომ ეს არის ნაწილაკების გამოვლენის ალბათობა dv მოცულობაში t დროის მომენტში.

ალბათობა განისაზღვრება როგორც

$$W = |\Psi(x, y, z, t)|^2 = \Psi^* \Psi$$

Ψ^* არის Ψ -ს შეუღლებული ფუნქცია.

$\int |\Psi(x, y, z, t)|^2 dv = 1$ არის ნორმირების პირობა და Ψ ფუნქცია, რომელიც

უზრუნველყოფს ამ მდგომარეობის სტანდარტიზებას.

ზოგადად იგი შემდეგნაირად გამოისახება

$$\Psi(x, y, z, t) = \iiint \varphi(P_x, P_y, P_z, t) \exp(i \frac{px+py+pz}{h}) \frac{dp_x dp_y dp_z}{(2\pi\hbar)^{3/2}},$$

დავუშვათ φ_1, φ_2 არის კლასტერების ძირითადი და აღგზნებული მდგომარეობის ტალღის ფუნქციები. მათი ურთიერთქმედება ქვედა მიდგომაში აღინერება ე.წ. გაფანტვის მატრიცით

$$\varphi(x, t) = \hat{S}(t, t_0) \varphi(x, t_0),$$

სადაც $\hat{S}(t, t_0) = \exp(-\frac{i}{\hbar} \hat{H}(t - t_0))$.

\hat{H} არის სისტემის ჰამილტონიანი. გაფანტვის ოპერატორის მატრიცის ელემენტები განსაზღვრავენ გადასვლის ალბათობას სანყისი კვანტური მდგომარეობიდან მეორეში.

$$S_{if} = -i \int d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 dt \varphi_1^* \varphi_2 U(r) \varphi_2 \varphi_1 \exp(-i(E_{1i} + E_{2i} - E_{1f} - E_{2f})t),$$

სადაც $E_i E_f$ არის სისტემის სანყისი და საბოლოო მდგომარეობების კინეტიკური ენერგია

ურთიერთქმედების პოტენციალი შეიძლება დაკავშირებული იყოს გაფანტვის გასაშუალოებულ მატრიცასთან, რომელიც აღინერება ერთფოტონიანი რეზონანსული გაცვლითი ჰამილტონიანით.

$$H = -\vec{d}_1 \vec{E}_1(r) - \vec{d}_2 \vec{E}_2(r)$$

სადაც \vec{d}, \vec{E} არის დიპოლური მომენტისა და ველის დაძაბულობის ოპერატორები. შემდეგ პოტენციალისთვის მიიღება შემდეგი:

$$U(\vec{r}) = \frac{i}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \omega^2 \alpha_{ik}(\omega) D_{ik}(\omega, \vec{r}),$$

სადაც D_{ik} არის ფოტონის გრინის ფუნქცია და

$$\alpha_{ik} = \frac{1}{3} \delta_{ik} \sum_n |d_n|^2 [(\omega_n - \omega - i\Gamma_n)^{-1} + (\omega_n + \omega - i\Gamma_n)^{-1}]$$

არის პოლარიზაციის ტენზორი.

ინტეგრირების შემდეგ პოტენციალისთვის მიიღება

$$U(r) = -\frac{2}{3c^2} \sum_n r_n^{-1} |d_n|^2 \omega_n^2 \exp\left(\frac{\Gamma_n r}{c}\right) \cos \frac{\omega_n r}{c}$$

განტოლებაში აჯამვა ხდება ყველა დონის მიხედვით.

მრავალსაუკუნოვანმა თეორიულმა კვლევამ და კომპიუტერულ ტექნოლოგიაში მიმდინარე რევოლუციამ კვანტური მექანიკა გამოიყენა მცირე მოლეკულებზე, სადაც კვანტურ-მექანიკურმა გამოთვლებმა მიაღწია იმ სიზუსტეს, რომელიც ეჭვქვეშ აყენებს ექსპერიმენტულ შედეგებს. თუმცა, არსებული კვანტური მექანიკური მეთოდების შეზღუდვები დიდი მოლეკულური სისტემების აღსაწერად, რომლებსაც თანამედროვე მოლეკულური მეცნიერება ხშირად ეხება, რეალური დაბრკოლებაა წინსვლისთვის. უკიდურესად განსხვავებული მიდგომები უნდა იქნეს გამოყენებული ასეთი სისტემების აღსაწერად [208].

ამრიგად, ერთფოტონიანი რეზონანსული გაცვლა ქმნის პოტენციურ ხვრელებს სიმაღლისა და სიღრმის მიხედვით. მისი გამოსახულებიდან შეიძლება მივიღოთ ფორმულა იზოლირებული გრძელტალღოვანი გამოსხივების პოტენციალისათვის. იზოლირებული გრძელტალღოვანი რაოდენობები შეიძლება იყოს გამოსხივება, რომელიც ხდება კლასტერის ზედაპირზე ან კრისტალურ მესერზე დამატებითი მოლეკულის ჩაჭერისას ან ვარდნისას მოლეკულების დიფუზიის დროს [205].

კრისტალიზაციისა და კონდენსაციის დროს ლატენტური სითბოს გარკვეული ნაწილი შეიძლება გარდაიქმნას დამახასიათებელ რადიაციაში. ტრანსფორმაციის ენერგია ნაწილდება არსებულ და ახალ ენერგეტიკულ დონეებს შორის. მათ უწოდებენ ფაზურ გამოსხივებას და დამოკიდებულია საშუალო ოპტიკურ თვისებებზე. საღრუბლო გარემო შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც კლასტერთა ერთიანობა, რომლებიც სხვადასხვა ენერგეტიკულ დონეზე არიან და ურთიერთქმედებენ ენერგიის გამოყოფა-შთანთქმის გზით. ამის მიხედვით,

დედამიწის გარემომცველი გარემო არის ერთ-ერთი შესაძლო განახლებადი ენერჯის წყარო [208], რომლის გამოყენებაც იძლევა ახალ ენერჯეტიკულ სატრანსპორტო საშუალებებზე გადასვლის შესაძლებლობას.

6.2. რიცხვითი მოდელების როლი ამინდის პროგნოზირებაში

ატმოსფეროს მათემატიკური მოდელების გამოყენებით, მთელი დედამიწის სფეროსათვის ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირება მოითხოვს მონაცემთა უზარმაზარი მასივების გარდაქმნასა და ურთულეს გაანგარიშებებს, რაც შეუძლებელია განხორციელდეს მძლავრი კომპიუტერული ტექნიკის გარეშე [115].

ასეთი სიმრავლის ინფორმაციის გამოყენება განაპირობებს შესასწავლი ატმოსფერული პროცესების შესაბამისი (დასაშვები) გარჩევის უნარის მქონე, რთული მოდელების საფუძველზე მისაღების შედეგების მართვას. ამინდის პროგნოზის დასმული ამოცანის აღნიშნული სპეციფიკა მოითხოვს ძვირადღირებულ (რამდენიმე მილიონი აშშ დოლარი და უფრო მეტი) მაღალტექნოლოგიურ უზრუნველყოფას, რაც დღევანდელ პირობებში მხოლოდ განვითარებული ქვეყნებისთვისაა შესაძლებელი. ამინდის გლობალური მოდელები, რომლებიც ამინდის ფართომასშტაბიან (1000კმ და მეტი) პროცესებს აღწერენ, იძლევიან პროგნოზს ერთი კვირის წინასწარობით. ანუ, იძლევიან ინფორმაციას ამინდის ფონური მდგომარეობის შესახებ, მაგრამ ვერ იჭერენ შედარებით მცირემასშტაბიან პროცესებს, მით უფრო, როდესაც ადგილობრივი ამინდი ყალიბდება ისეთი პროცესებით, როგორიცაა, მაგ. კონვექცია [141]. ასეთი ატმოსფერული პროცესები ვერ აღიწერება გლობალური მოდელებით, რომელთა სათვლელი ბადის ზომა საკმაოდ დიდია და შესაბამისად, კონკრეტული ვადისათვის ამინდის ადგილობრივი თავისებურებების გარჩევის უნარი დაბალია. დღეისათვის არსებული მძლავრი კომპიუტერული სისტემების გამოყენების შესაძლებლობის მიუხედავად, ამინდის ადგილობრივი გამოვლენის გარჩევის მისაღები სიზუსტის მიღწევა დედამიწის მთელი სფეროსათვის, მხოლოდ გლობალური მოდელების საშუალებით, პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამგვარად, ადგილობრივი რეალური ამინდის წინასწარმეტყველებისათვის დღის წესრიგში დგება რეგიონული (შემოსაზღვრული ტერიტორიის მქონე არის) მოდელების დამუშავების აუცილებლობა [206].

აღნიშნული აუცილებლობის რეალურ პირობებში მიღწევისა და დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად დამუშავებული მოდელების რეალიზაციისათვის მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება პროგრამულ-ტექნიკურ (ტექნოლოგიურ) უზრუნველყოფას. ამ მიმართულებით მონაცემთა პარალელური დამუშავების ტექნოლოგიების განვითარებამ და ფართომასშტაბური პარალელური პროცესირე-

ბისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნამ, გამოთვლითი ტექნიკის (მათ შორის: პერსონალური კომპიუტერის) შესაძლებლობები ბევრად გაზარდა და ეკონომიკური დანახარჯები მნიშვნელოვნად შეამცირა. ბევრი ქვეყნის ეროვნულ მეტეოროლოგიურ სამსახურებში ოპერატიული მოკლევადიანი პროგნოზირებისათვის ხელმისაწვდომი გახდა შემოსაზღვრული არის მქონე მოდელების გამოყენება [148]. ამ მოდელების სპექტრი საკმაოდ მრავალფეროვანია, რომელთაგან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებენ მეზომასშტაბური მოდელები, აგრეთვე ატმოსფეროს დინამიკური მოდელები, რომელთაც აქვთ ხელოვნური საზღვრები, სადაც მოდელის ცვლადების მნიშვნელობები განისაზღვრება უფრო უხემ ბადებზე გლობალური მოდელების გაშვების შედეგებიდან. ეს მოდელები აღწერენ გლობალური მოდელებისათვის შეუმჩნეველ ამინდის რეალურ პირობებს, რომლებიც ხშირად ყალიბდებიან ატმოსფეროში მიმდინარე მცირემასშტაბიანი პროცესებით. WRF-EMS (გარემოს მოდელირების სისტემა) და WRF-ARW (ამინდის გაუმჯობესებული ვლევა). აღნიშნული მეთოდოლოგიის გამოყენება საშუალებას იძლევა, რომ რეალურ დროში განხორციელდეს წამყვანი ქვეყნების ერთ-ერთი საპროგნოზო ცენტრის მიერ უკვე დანერგილი გლობალური მოდელის (GFS) ამოხსნის შედეგების გადათვლა შემოსაზღვრული არისათვის ადგილობრივი ფიზიკურ-გეოგრაფიული პარამეტრებისა და რიგი მეზო და მიკრომასშტაბური ატმოსფერული, ბიოლოგიური და ქიმიური პროცესების გათვალისწინებით [13].

ლოკალური ტერიტორიის არის (სივრცის) მოდელის სტრუქტურა პირობითად შეიძლება გაყოფილ იქნეს დინამიკურ ნაწილად და „ფიზიკურ პაკეტად“. მისი კონფიგურაცია კავკასიის რეგიონისათვის ითვალისწინებს შესაბამისი ფიზიკური პაკეტის მორგებას, როგორცაა ადგილობრივი გეოგრაფიულ-ლანდშაფტური თავისებურებები (მათ შორის: რელიეფის პარამეტრები, მინათსარგებლობისა და ნიადაგის ტიპები, სიღრმეებზე ნიადაგის ტემპერატურა, მცენარეული საფარის სეზონური განაწილება, ადგილის არეკვლისუნარიანობა და სხვა). დინამიკური ნაწილი -კავკასიის რთული რელიეფის, შავი და კასპიის ზღვების სიახლოვის გავლენით ატმოსფეროში მიმდინარე იმ ზოგადციკლულაციური პროცესების ტრანსფორმაციას უზრუნველყოფს, რომლის შედეგადაც ყალიბდება ადგილობრივი ამინდი. ამ პროცესების დაზუსტება შესაძლებელი გახდა ფიზიკური პროცესების აღმწერი სქემების ოპტიმალური კონფიგურაციის შერჩევით. გარდა ამისა, ARW უზრუნველყოფს მოდელირებისას უფრო მაღალი სივრცულ-დროითი გარჩევის უნარის მქონე დამატებითი ჰორიზონტალური ბადის (ან ბადეების) შემოტანის საშუალებას საინტერესო ქვერეგიონზე ფოკუსირების მიზნით, რაც მოდელის გარჩევისუნარიანობას მნიშვნელოვნად (15 კმ-დან 5კმ-დე) გაზარდის. პარალელურად განაწილებული მესხიერების მქონე კომპიუტერული სისტემების გამოყენების ხარჯზე ARW-ში “ქვეარის ჩადგმის” ინფრასტრუქტურა უზრუნველყოფს, ასევე, ასეთი ქვეარის მოძრაობის უნარია-

ნობას. ამინდის კვლევისა და პროგნოზირების მოდელი (WRF) – ეს არის ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირებისა და ატმოსფეროს სიმულირების სისტემა, რომელიც შექმნილია როგორც კვლევითი, ასევე ოპერატიული გამოყენებისათვის. მოდელი დამუშავებულია აშშ ატმოსფეროს კვლევის ეროვნული ცენტრის (NCAR) მეზომასშტაბური და მიკრომასშტაბური მეტეოროლოგიის განყოფილებაში (MMM), ოკეანისა და ატმოსფეროს ადმინისტრირების (NOAA) ცენტრებში გარემოს პროგნოზირებისათვის (NCEP) და დედამიწის სიტემის კვლევის ლაბორატორიაში (ESRL), სამხედრო-საჰაერო თავდაცვის დეპარტამენტის ამინდის სააგენტოში (AFWA) და ნავალის კვლევით ლაბორატორიაში (NRL), შტორმების ანალიზისა და პროგნოზირების ცენტრში CAPS), ავიაციის ფედერალურ ადმინისტრაციაში (FAA) სხვადასხვა უნივერსიტეტის მეცნიერთა მონაწილეობით. გამოყენების სფეროებია: რიცხვითი პროგნოზირება რეალურ დროში, მონაცემთა ასიმილაცია, კვლევები ფიზიკურ პარამეტრიზაციაზე, რეგიონული კლიმატური სიმულაციები, ჰაერის ხარისხის მოდელირება, ატმოსფერო-ოკეანის წყვილური მოდელირება, იდეალიზებული სიმულაციები [6,13,206].

სერვერულ პროცესორებზე აწყობილ ვირტუალურ სერვერზე დაინერგა WRFEMS მოდელი, შერჩეულ იქნა რეგიონის ამინდის პროგნოზირებისათვის ოპტიმალური გეოგრაფიული არე და შესრულდა ყველა აუცილებელი სამუშაოს თვლაზე გასაშვებად. მიღებული და გაანალიზებულ იქნა შედეგები [211].

მოდელის ადაპტაცია ოროგრაფიულ

თავისებურებებთან

ოროგრაფიულ თავისებურებებთან მოდელის ადაპტირების მიზნით თავდაპირველად თეორიულად იქნა გამოკვლეული მეტეოროლოგიური სიდიდეების, “ნელა ცვალებადი“ ნაკადის პროგნოზური სქემების ინტეგრალური თვისებები რელიეფის გავლენის გათვალისწინებით. მიღებულია, რომ ამინდის პროგნოზირების საფუძველს წარმოადგენს ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა. ამ სისტემის ანალიზური ამოხსნა ჯერჯერობით ვერ ხერხდება და გამოიყენება მხოლოდ მიახლოებითი რიცხვითი ამოხსნები. ასეთ ამოხსნებს კი თან სდევს სხვადასხვა ხასიათის შეცდომები, რომელიც დროითი ბიჭებით ინტეგრირებისას იკრიბება და გვაძლევს არასასურველ შედეგს. აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება ყურადღება მიექცეს შენახვის კანონებზე დამყარებული რიცხვითი სქემების ინტეგრალური თვისებების შესრულებას. ასეთი მიდგომა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როდესაც განიხილება საძიებელი სიდიდის რეგიონალური პროგნოზული მოდელი ლოკალური ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინებით. ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე, ზონალური ნაკადის უპირატესობის

პირობებში, შემოვიტანეთ კვაზინვარიანტული ინტეგრალური მახასიათებლები “ნელა ცვალებადი” ტალღური შემფოთების შემთხვევაში [6]. ამასთანავე, დროითი გასაშუალების პერიოდი ავიღეთ დეკადური სიდიდის, რის საფუძველსაც იძლევა სინოპტიკური პრაქტიკა. მართლაც, ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე არაიშვიათად არის შემჩნეული ათი და მეტი დღეღამური პერიოდის ციკლონური ან ანტიციკლონური გრიგალური “ჩახვეულობები”, რომლებსაც ზონალური გავრცელების ტენდენცია აქვთ. აღნიშნული მიდგომა შემოწმებულ იქნა WRF ARW მოდელის მიერ სიმულირებული რამდენიმე შემთხვევისათვის. აღმოჩნდა, რომ ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე “ნელა ცვალებადი” ნაკადის შემთხვევაში, გლობალური პროცესების ანალოგიურად, სადაც მოდელი აღინერება ელისონ-პარმის ვექტორით, მასათა გადატანა ხდება მერიდიანული მიმართულებით. აღსანიშნავია, რომ რელიეფის გავლენით იზოხაზები გადაინაცვლებიან და წაგრძელებიან დიდი და მცირე კავკასიონის ქედის გასწვრივ, რაც ფიზიკურად გამართლებულია. რეგიონალურ და გლობალურ პროცესებს შორის ასეთი თანხვედრა შემჩნეულია პირველად. მიუხედავად იმისა, რომ გათვლები ჩატარებულია მცირე მასშალზე, მაინც შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა; ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე “ნელა ცვალებადი” ჰაერის ნაკადის გავრცელების დროს მოყვანილი კვაზინვარიანტები ინახება საკმარისი სიმუსტით. მათი გამოყენება მოგვცემს საშუალებას, არა მარტო დაზუსტდეს პროგნოზის ხარისხი, არამედ შესაბამისად შეფასდეს გამოთვლითი სქემების მდგრადობის კრიტერიუმები და რეგიონალური პროცესებისათვის მოვახდინოთ სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის პარამეტრიზაცია [13].

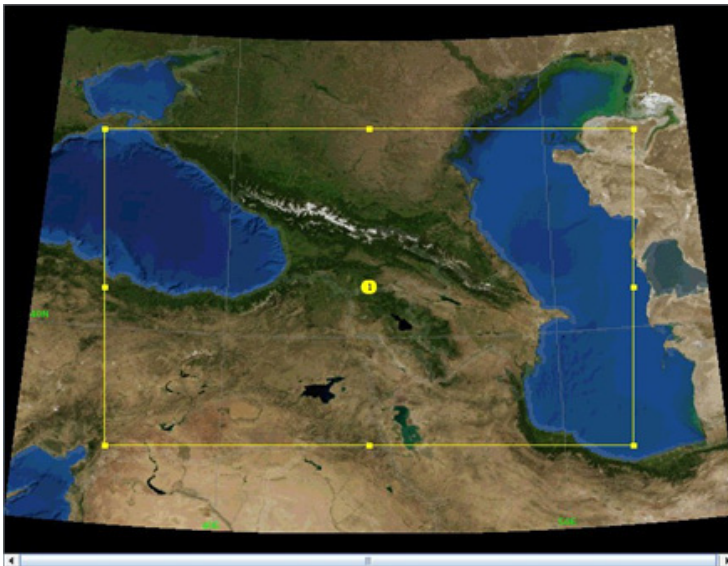
WRF ARW მოდელის ქვეარზე გადათვლა განხორციელდა გაზრდილი (3 კმ) გარჩევისუნარიანობით: მოდელის „ძირითად არეში“ ქვეარის ჩადგმის მიზნით განხორციელდა მოდელის პროგრამული უზრუნველყოფის კომპილირება და სათანადო ფაილების რედაქტირება და 5-კმ-იანი ამოხსნის მქონე „ქვეარის ჩადგმა“ სხვადასხვა მეთოდებით:

ა) მოდელის გაშვება ქვეარის ჩადგმის „მეორე გვარის“ მეთოდით ერთი შემავალი ფაილით: გაშვების სამუშაოები ხორციელდება ისე, როგორც „ძირითადი არისათვის“. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ აღმასრულებელი ფაილის გაშვებისას ხდება მეორე (ან მეტი) ქვეარის ინიციირება. ამავე დროს, ქვეარისათვის არ არის საჭირო დამატებითი ინფორმაცია. ყველა სტატიკური და მეტეოროლოგიური მონაცემი ინტერპოლირდება უხეში ბადიდან ქვეარის ბადეზე. უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ შესაძლებელია ქვეარის თვლაზე გაშვების საწყისი დროები იყოს სხვადასხვა, ARWpost-ის გამოყენებით შესაძლებელია მიღებულ იქნეს ცვლადთა 288 ველი. მათ შორის ძირითადია:

1. ტემპერატურა, სიმაღლე, ტენიანობა, 3-განზომილებიანი ქარი, ტურბულენტური კინეტიკური ენერჯია, გაცვლის კოეფიციენტი, ღრუბლის წყლიანობა, ღრუბლის ყინული, წვიმა და თოვლი იზობარულ დონეზე;

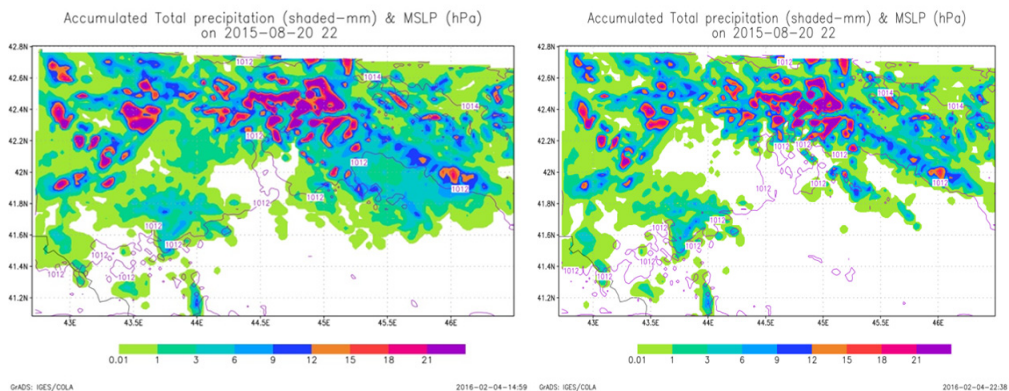
2. ზედაპირის ტემპერატურა, ტენიანობა და ქარი;
3. ჯამური, კონვექციური და ბადის მასშტაბის აკუმულირებული და მყისიერი ნალექი;
4. რადარის არეკვლადობა, ხილვადობა და ნალექების ტიპები;
5. გრიგალური და გეოსტროფიული ნაკადის ფუნქცია;
6. პლანეტარული სასაზღვრო ფენა; მიწისზედა 6 30 მბ-იან ფენაში გასაშუალებული ტემპერატურა, ტენიანობა და ქარი;
7. ზღვის დონეზე დაყვანილი წნევა (2 ტიპის: სტანდარტული და მემბრანული);
8. ზედაპირის ქარის დაძაბულობა, წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, არაერთგვაროვნების სიგრძე, დინამიკური სიჩქარე;
9. ხილული, ფარული, დედამიწის დაღმავალი და აღმავალი მოკლე და გრძელტალღიანი რადიაციის მყისიერი და დროში გასაშუალოებული ნაკადები;
10. ნიადაგის ტემპერატურა, ტენიანობა და ტიპები;
11. ღრუბლის წილობრივი საფარი, ასევე, სიმაღლე, წნევა, ტემპერატურა ღრუბლის ზედა და ქვედა საზღვარზე საერთო, კონვექციური და ბადის მასშტაბის ღრუბლებისთვის;
12. ავიაციის პროდუქტები: მოყინვა და სხვ.

მოდელის თვლის არე მოცემულია ნახ. 1-ზე. იგი შედგება 151X100 9 კმ-იანი ბადის უჯრისაგან, ხოლო ჩადგმული ქვეარის მასშტაბი 3 კმ-ია.



ნახ. 6.6. მოდელის თვლის არე
Fig.6.6. Model running area

WRFv4.2.1. (ARW) მოდელი ამინდის მოკლევადიანი პროგნოზისათვის ძირითადი სამუშაო ინსტრუმენტია საქართველოში. მოდელის შედეგების შემდგომი გაუმჯობესება დაკავშირებულია რამდენიმე ასპექტთან. კერძოდ, თავად WRF-ARW და გლობალური GFS მოდელების დამუშავება-განვითარებასთან აშშ-ში და ამ ახალი შესაძლებლობების გადმოტანასა და დანერგვასთან საქართველოს რეალობაში, სადაც კრიტიკული მნიშვნელობა ენიჭება თვლის რესურსებს და ადგილობრივი მეტეოროლოგიური სადამკვირვებლო ქსელის განვითარებას. პროგნოზის სანყისი დროისათვის დაკვირვების მონაცემთა გათვალისწინება პროგნოზის ხარისხის გაუმჯობესების წინაპირობაა, მაგრამ მონაცემთა ხარისხი, დროითი და სივრცული განაწილება, მათი ოპერატიულ რეჟიმში ხელმისაწვდომობა და ფორმატი ამ საკითხს მეტად ართულებს. საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიურ სამსახურში დაკვირვების მონაცემთა მიღება-გადაცემის ფორმატი არათავსებადია WRF მოდელის ვარიაციული ასიმილაციისა და მონაცემთა ობიექტური ანალიზის პროგრამებისათვის, გარდა ამისა, არ ხდება ოპერატიულ მონაცემთა ხარისხის კონტროლი და მათი დაფარვის არე მეტად უხეშია. მაღალი გარჩევისუნარიანი რადარებისა და თანამგზავრული მეტეოროლოგიური ინფორმაციის მიღება-დამუშავებაც მხოლოდ შემჭიდროებულ ფორმატში ხდება, რაც მონაცემთა ხარჯზე პროგნოზის გაუმჯობესების ჩვენეულ შესაძლებლობებს მეტად ამცირებს [10,106,107,108].



ნახ.6.7 პროგნოზირებული ნალექი 2015 წ. 20 აგვისტოსთვის 2.2 რეზოლუციის ბადეზე [108].

Fig.6.7. Forecasted 2.2km resolution gridded precipitation on August 20, 2015

დედამიწის მაგნიტური ველის მოდელი WMM5, რომლითაც მთელი დედამიწისთვის წარმოებს მაგნიტური ველის მდგენელების გამოთვლა და პროგნოზირება, მნიშვნელოვანია, რადგან ელექტრომონწყობილობების გამართული ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია დედამიწის შეუშფოთებელი მაგნიტური ველი და ამინდის ზუსტი პროგნოზისთვის საჭიროა მისი განყვილება ამინდის რიცხვით მოდელთან [206]. ეს ეტაპი საქართველოში ჯერ არ სრულდება. წარმოდგენილი მონოგრაფია დააჩქარებს ამ პროცესს.

ატმოსფეროში მიმდინარე შეზღოვებები

ორი საკითხი, რომელიც წარმოიქმნება კლიმატის ცვლილების შესწავლისას, არის შემდეგი:

1. როგორ იმოქმედა ადამიანის საქმიანობამ კლიმატზე?

2. როგორ შეიცვლება გლობალური კლიმატი ადამიანის გავლენის გარეშე?

პირველ კითხვაზე პასუხის გასაცემად მეცნიერებმა უნდა უპასუხონ მეორე კითხვას [126,127].

მზის მთლიანი ენერჯის გამომუშავება თითქმის მუდმივია. დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ნაწილში მზის მთლიანი გამოსხივება არის დაახლოებით 1366 ვ/მ². წარმოიდგინეთ, ცამეტი 100-ვატიანი ნათურა მთელ ენერჯიას ასხივებს კვადრატულ მეტრზე. 11-წლიანი მზის ციკლის განმავლობაში მზის საშუალო გამომუშავება იცვლება დაახლოებით 1-2 ვტ/მ²-ით ან დაახლოებით 0,1%-ით. ამრიგად, მზის მუდმივი მერყეობს 1365-დან 1367 ვტ/მ²-მდე და, შესაბამისად, მუდმივი ნამდვილად არ არის.

სხვა ტალღის სიგრძეებში, როგორცაა მზის სპექტრის ულტრაიისფერი და უკიდურესი ულტრაიისფერი ნაწილები, მზის ცვალებადობა შეიძლება იყოს საკმაოდ დიდი. რენტგენის ტალღის სიგრძეში მზეს შეუძლია შეცვალოს სიკაშკაშე 100-ით ან თუნდაც 1000-ით რამდენიმე წუთში, მაგრამ ეს ტალღების სიგრძე გავლენას ახდენს მხოლოდ ჩვენი ატმოსფეროს ზედა ნაწილებზე. სურათი 7.1 გვიჩვენებს მზის რენტგენის გამოსახულებების 5-წლიან თანმიმდევრობას მზის მაქსიმუმიდან მზის მინიმუმამდე. ითვლება, რომ მზის მთლიანი გამომუშავება უფრო დიდი რაოდენობით შეიცვალა დროის უფრო გრძელი მასშტაბებით. არსებობს მტკიცებულება, რომ მზის მთლიანი გამომუშავება შეიძლება იყოს 1360 ვტ/მ²-მდე მე-19 საუკუნეში და უფრო დაბალი, ვიდრე მე-17 საუკუნეში. ამრიგად, ასწლეულის განმავლობაში, მზის გამომუშავება შეიძლება შეიცვალოს 0,5% -ით [143].

NOAA კოსმოსური გარემოს ცენტრი (SEC) აერთიანებს სამეცნიერო კვლევას და ოპერატიულ კოსმოსურ ამინდის ცენტრს მზის აქტივობაზე ფხიზლად დაკვირვების შესანარჩუნებლად. SEC-ის ძირითადი მისია არის ცვლადი მზის ზემოქმედების შესწავლა ზედა ატმოსფეროზე და დედამიწის მახლობლად კოსმოსურ გარემოზე. შუა და ქვედა ატმოსფეროზე მზის ეფექტების მონიტორინგი და გაგება SEC-ის მისიის ახალი კომპონენტია. ამჟამინდელი NOAA/SEC საქმიანობა მოიცავს მზის მონიტორინგს რენტგენის და ულტრაიისფერი ტალღების სიგრძეზე, ასევე მზის ლაქებზე. NOAA აღიარებს ახალი ძალისხმევის აუცილებლობას ამ სფეროში და მოიცავს მზის

ექსტრემალურ ულტრაიისფერ გაზომვებს GOES კოსმოსური ხომალდის შემდეგი თაობის და მზის მთლიანი გამოსხივების და მზის სპექტრული დასხივების გაზომვებს, როგორც მისი მომავალი NPOESS კოსმოსური ხომალდის მისიის ნაწილს [209].

მზე თამაშობს როლს ჩვენს კლიმატში პირდაპირი და არაპირდაპირი გზებით. მზე იცვლის თავის აქტივობას დროის მასშტაბით, რომელიც მერყეობს 27 დღიდან 11, 22, 80, 180 და მეტ წლამდე. უფრო აქტიური მზე უფრო ვაშკაშაა ფაკულტეტების დომინირების გამო უფრო გრილ მზის ლაქებზე, რის შედეგადაც მზის მიერ გამოსხივებული და დედამიწის მიერ მიღებული გამოსხივება უფრო მაღალია აქტიური მზის პერიოდში, ვიდრე მშვიდი მზის პერიოდში. 1978 წლიდან 11-წლიანი ციკლის განმავლობაში სატელიტური გაზომვების საფუძველზე მზის გამოსხივების ცვლილება მხოლოდ 0,1%-ით შეიცვალა (Frohlich and Lean 1998). ულტრა ხანგრძლივ ციკლებზე (მაუნდერის მინიმალურიდან), დასხივების ცვლილებები შეფასებულია 0,4%-მდე (Hoyt and Schatten (1993), Lean et al. (1995), Lean (2000), Lockwood and Stamper (1999) [149,160].

თუმცა ეს არ ითვალისწინებს მზის ამოფრქვევის აქტივობას, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს ბევრად უფრო დიდი ეფექტი. ამას უფრო დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მას შემდეგ, რაც Lockwood et al., (1999) აჩვენეს, რომ მთლიანი მაგნიტური ნაკადი, რომელიც მზეს ტოვებს, 1901 წლიდან 2,3-ჯერ გაიზარდა. ამ ამოფრქვევის აქტივობამ შეიძლება გააძლიეროს დათბობა ულტრაიისფერი სხივებით გამოწვეული ოზონის ქიმიური რეაქციებით მაღალ ატმოსფეროში ან იონიზაცია მაღალ განედებში მზით გამოწვეული გეომაგნიტური ქარიშხლების დროს. გარდა ამისა, სვენსმარკის (1997), ბაგოს და ბატლერის (2000), ტინსლისა და იუს (2002) ნაშრომებმა დააფიქსირა მზის ციკლის შესაძლო გემოქმედება კოსმოსურ სხივებზე და მათი მეშვეობით დაბალი ღრუბლიანობის რაოდენობა. შესაძლოა, ამ და სხვა არაპირდაპირი ფაქტორების საშუალებით, მზის რადიაცია კლიმატის ცვლილებისთვის ბევრად უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე ამჟამად ვარაუდობენ.

როდესაც გლაისბერგმა (1958) პირველად გამოიკვლია მზის ციკლის სიგრძე, მან აღმოაჩინა, რომ მოკლე ციკლებს ჰქონდა მზის ლაქების მაღალი რაოდენობა და ძლიერი ამოფრქვევის აქტივობა, ხოლო გრძელი ციკლები ხასიათდებოდა დაბალი მაქსიმუმი და ნაკლები მზის ამოფრქვევები. ამით შეიძლება აიხსნას, თუ რატომ აღმოაჩინეს ფრის-კრისტენსენმა და ლასენმა (1991) მზის ციკლის სიგრძის კორელაცია ტემპერატურასთან. დიდი გეომაგნიტური შტორმების დროს ხდება იონიზაციის დათბობა პოლარულ აურორალურ ზონაში, მზის ქარის ზრდა უფრო ზოგადი დათბობით. Landscheidt-მა (2003) აჩვენა r^2 კორელაცია 0,92 წლიური გლობალური ტემპერატურის ანომალიებსა და გათვლილ გეომაგნიტურ ინდექსს (aa ინდექსს) შორის, ტენდენციით, რომ ტემპერატურა 4-დან 8 წლამდე ჩამორჩება მზეს [144,145,154].

ჰაერის იონიზაცია ხდება კოსმოსური სხივების (CR) გამო, რადიოაქტიური იზოტოპების კვალის დაშლის, მზის ულტრაიისფერი რადიაციის იონიზაციისა და ელექტრული ეფექტების გამო, როგორცაა ელვა. ღრუბლის ფორმირების სიმაღლეზე (> 1000 მ) ხმელეთზე და ზღვის ყველა სიმაღლეზე, ითვლება, რომ CR დომინირებს ტროპოსფეროში იონიზაციის წარმოებაში.

დიდი ხნის წინ ვარაუდობდნენ, რომ CR შეიძლება დაკავშირებული იყოს ამინდთან და კლიმატთან და შემოთავაზებული იყო სხვადასხვა მექანიზმები. განიხილებოდა დაკვირვება, რომ დაბალი ღრუბლის საფარის (LCC) შემცირება 22 მზის ციკლის დროს კარგად არის კორელაციაში კოსმოსური სხივების (CR) სიჩქარის შემცირებასთან, რომელიც იზომება ნეიტრონული მონიტორებით. წარმოიშვა ჰიპოთეზა, რომ შემცირება გამოწვეული იყო CR-ების იონიზაციის გავლენით ღრუბლის საფარზე. გარდა ამისა, ივარაუდეს, რომ ამას ჰქონდა მნიშვნელოვანი წვლილი გლობალურ დათბობაში. ვარაუდის საფუძველია ის, რომ კოსმოსური სხივების სიხშირე შემცირდა გასული საუკუნის განმავლობაში. ეს ინვესს ატმოსფეროში ნაკლებ იონიზაციას, ჰიპოთეზის მიხედვით, ღრუბლის საფარის შემცირებას, რაც საშუალებას აძლევს მზის რადიაციას მეტად გაათბოს დედამიწა [145,153,154]. ეს წინადადება ეჭვქვეშ დადგა ღრუბლის საფარის გაზომვის სხვადასხვა მეთოდს შორის შეუსაბამობისა და მონაცემთა არასრულყოფილი ანალიზის საფუძველზე. გაკეთდა მცდელობები, მოეძებნათ ადგილობრივი ან რეგიონული კორელაციები. ჰიპოთეზა ასევე ეჭვქვეშ დადგა CR გრძელვადიანი მაჩვენებლის კვლევაში, სადაც ნაჩვენებია იყო, რომ ამ მაჩვენებელმა 1985 წელს დაიწყო მატება, მაგრამ გლობალური დათბობა გაგრძელდა. მიუხედავად ამისა, შესაძლოა არსებობდეს გარკვეული კავშირი ღრუბლებსა და იონიზაციას შორის, რადგან ცნობილია, რომ დამუხტული წვეთები მცირე რადიუსებით უფრო სწრაფად იზრდება, ვიდრე დაუმუხტავი წვეთები, იმ პირობით, რომ ზეგაჭერება საკმარისად მაღალია [209].

კლიმატზე მზის ზემოქმედების ძირითადი ასპექტი არის არაპირდაპირი გავლენა ატმოსფეროში გალაქტიკური კოსმოსური სხივების (GCR) ნაკადზე. GCR არის მაიონიზებელი გამოსხივება, რომელიც აძლიერებს დაბალი იარუსის ღრუბლის წარმოქმნას. როცა მზის გამოსხივება იზრდება, წამოქმნილი მზის ქარი იცავს ატმოსფეროს GCR ნაკადისგან. შესაბამისად, მზის გაზრდილ გამოსხივებას თან ახლავს ღრუბლის დაბალი საფარის შემცირება, რაც აძლიერებს კლიმატურ ეფექტს. ანალოგიურად, როდესაც მზის გამოსხივება მცირდება, გაზრდილი GCR ნაკადი შემოდის ატმოსფეროში, იზრდება დაბალი ღრუბლიანობა და ემატება გაგრილების ეფექტს, რომელიც დაკავშირებულია მზის ენერჯის შემცირებასთან. სავარაუდო მექანიზმმა, რომელიც აკავშირებს GCR ნაკადს ღრუბლის წარმოქმნას, ექსპერიმენტული დადასტურება მიიღო Svensmark-ის ბოლო ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებში (Proceedings of the

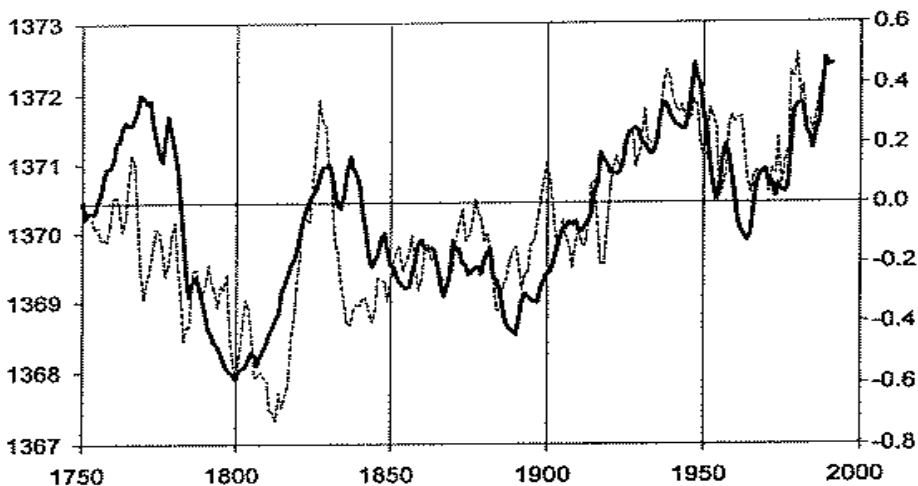
Royal Society, Series A, ოქტომბერი 2006), სადაც მან ზუსტად აჩვენა, თუ როგორ შეუძლია კოსმოსურ სხივებს წყლის წვეთოვანი ღრუბლების შექმნა [159,190].

დაბალ ღრუბლიანობაში 1-დან 2%-მდე ცვლილებამ შეიძლება მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინოს ტემპერატურაზე ალბედოს ცვლილებების გამო. კ.ლაბიჯკემ და კ. ვან ლოონმა აღმოაჩინეს სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი სტრატოსფეროში ტემპერატურაზე დამოკიდებულ 30hP სიმაღლეებსა და მზის ლაქების 11-წლიანი ციკლის ექსტრემას შორის, რომელიც მოიცავს ტროპოსფეროს და ყველაზე ძლიერია სპეციალურ გეოგრაფიულ რეგიონებში. უკუკავშირი ან რეზონანსული გაძლიერება მანიშნებელია, რომ 11-წლიანი ციკლის მინიმალურ და მაქსიმუმს შორის ტემპერატურული სხვაობა სტრატოსფეროში აღწევს $1,8^{\circ}\text{C}$ -ს, ხოლო ტროპოსფეროში ჯერ კიდევ $0,9^{\circ}\text{C}$ -ს. სუბტროპიკულ ტროპოსფეროში ეს განსხვავება კი აღწევს 2°C . ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროები აჩვენებენ მზის ლაქებთან დაკავშირებულ ტემპერატურულ შაბლონებს სარკულ-სიმეტრიულად. ტემპერატურის ეფექტის გეოგრაფიული განაწილება ადასტურებს ჰიპოთეზას, რომ ჩართულია ჰედლის უჭრედების ცირკულაციის მოდულაცია. მოდელებთან ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ ქვედა სტრატოსფეროში ქარებს შეუძლიათ გავლენა მოახდინონ ტროპოსფეროში ცირკულაციაზე. ტემპერატურის მკვეთრი ცვალებადობა მზის ლაქების 11-წლიანი ციკლის შემდეგ მხოლოდ ბოლო ათწლეულებში არ შეინიშნება. M. Stuiver, P. M. Grootes და T. F. Braziunas-ის თანახმად, GISP delta კლიმატის ჩანაწერი აჩვენებს მჭიდრო კორელაციას 11-წლიან მზის ლაქების ციკლთან ასი წლის განმავლობაში. ეს მონაცემები მიუთითებს რეგიონალური ტემპერატურის ცვალებადობაზე 2.6°C -ით მზის ლაქების რიტმის მიხედვით [191,197212].

მზის სრული დასხივების ცვალებადობით გამონვეული კლიმატური ეფექტი უფრო ეფექტური ხდება, როდესაც მისი ზემოქმედება უფრო დიდხანს გრძელდება. მილანკოვიჩის თეორია მისი თანამედროვე ფორმით გვიჩვენებს, რომ 0.1% ეფექტიან ცვლილებას ძალიან დიდი ინტერვალის განმავლობაში შეუძლია გამოიწვიოს ნამდვილი გამყინვარება. ასე რომ, შეიძლება მოსალოდნელი იყოს, რომ მზის ლაქების აქტივობის 90-წლიანი გლაისბერგის ციკლს, რომელიც არეგულირებს 11-წლიანი ციკლის ინტენსივობას, აქვს მნიშვნელოვანი პოტენციალი, დააგროვოს ეფექტური ჭარბი გამოსხივება ან გამოიწვიოს სხივური ნაკადის სიმკვრივის სტაბილური შემცირება. განსაკუთრებით მას შემდეგ, რაც გლეისბერგის ციკლმა შეიძლება 120 წელს მიაღწიოს.

როდესაც სატელიტურმა დაკვირვებებმა დაადგინა მზის მუდმივი ცვალებადობა, შეიქმნა ფენომენოლოგიური რეგრესიის მოდელები, რომლებიც აფასებენ გასული ათწლეულებისა და საუკუნეების გამოსხივების ცვალებადობას. D.V. Hoyt-ისა და K.H. Schatten-ის მიერ შემუშავებული მოდელი ეფუძნება ალტერნატიულ მონაცემებს, რომლებიც დაკავშირებულია კონვექციური ენერჯის ტრანსპორტირების სეკულარულ ცვლილებებთან ან მზებზე კონვექცი-

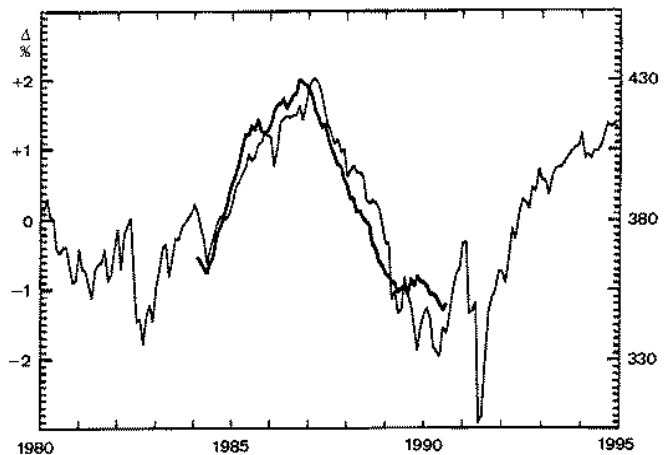
ციურ სიჩქარეებთან. მათ შორისაა მზის ციკლის სიგრძე, მზის ეკვატორული ბრუნვის სიჩქარე და მზის ლაქების სტრუქტურა. მზის გამოსხივების ამ მოდელს აქვს მხოლოდ ორი პარამეტრი: 11-წლიანი ციკლის ვარიაციების ამპლიტუდა და გლეისბერგის ციკლი. სქელი მრუდი ნახ.7.1-ზე გვიჩვენებს მოდელის შედეგს. შესაბამისი ვერტიკალური ღერძი მარცხნივ ზომავს დასხივებას W/m^2 -ში. წყვეტილი მრუდი წარმოადგენს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს საშუალო წლიური ტემპერატურის ვარიაციებს (მარჯვენა სკალა) 1700-1879 წლებში და 1880 წლიდან დღემდე. ეს ორი მრუდი აჩვენებს მჭიდრო კორელაციას, რომელიც მიუთითებს მძლავრ კავშირზე მზის აქტივობასა და კლიმატს შორის.



ნახ. 7.1. სქელი მრუდი გვიჩვენებს მოდელის შედეგს, წყვეტილი მრუდი წარმოადგენს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს საშუალო წლიური ტემპერატურის ვარიაციებს [197]
Fig.7.1. The bold curve shows the model output. The dashed curve represents the annual mean temperature variations of the Northern Hemisphere.

მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ცვლილება გაცილებით დიდია, ვიდრე ხილული გამოსხივების დიაპაზონში. სპექტრის ულტრაიისფერი დიაპაზონი 100 Å-დან 3800Å-მდეა. 1500 Å-ზე დაბლა ტალღის სიგრძეებს უწოდებენ უკიდურეს ულტრაიისფერს (EUV). 11-წლიანი მზის ლაქების ციკლის უკიდურესობებს შორის რადიაციის ცვალებადობა აღწევს 35%-ს EUV-ს დიაპაზონში, 20%-ს 1500 Å-ზე და 7%-ს დაახლოებით 2500 Å. 2500 Å ტალღის სიგრძეზე ცვალებადობა კვლავ 2%-ს აღწევს. მზის ენერგეტიკული ამოფრქვევის დროს ულტრაიისფერი გამოსხივება 16%-ით იზრდება. მზის ლაქების მაქსიმუმზე EUV-გამოსხივება ზრდის ტემპერატურას იონოსფეროში 300%-ით მინიმალურთან მიმართებაში. მაგრამ ყველაზე მნიშვნელოვანი ის არის, რომ 2900 Å ქვემოთ ულტრაიისფერი გამოსხივება მთლიანად შეინოვება ოზონის მიერ სტრატოსფეროში. ტემპერატურის მატება იზრდება, რადგან ულტრაიისფერი გამოსხივება ასევე წარმოქმნის

ახალ ოზონს. სატელიტური დაკვირვებები აჩვენებს, რომ ოზონის შემცველობა იზრდება 2%-ით მზის ლაქების მინიმალურიდან მაქსიმუმამდე ცვლილებისას. რადიაციის ცვალებადობა არ არის მზის ერთადერთი გზა კლიმატზე ზემოქმედებისთვის. მზის ენერგიულ ამოფრქვევებსა და გალაქტიკურ კოსმოსურ გამოსხივებას შორის, ერთი მხრივ, მზის ქართ მოდულირებულ, და მეორე მხრივ, ატმოსფეროს ელექტრულ პარამეტრებს შორის არსებობს შეერთებები, რომელთა სიძლიერე იცვლება 10%-ით დღეების, წლებისა და ათწლეულების განმავლობაშიც კი. ყველაზე მნიშვნელოვანი ცვლილება ჰაერი-დედამინის დენის სიმკვრივეშია, რომელიც მიედინება იონოსფეროსა და ზედაპირს შორის. რ. მარკსონმა და მ. მიურმა აჩვენეს, თუ როგორ მოქმედებს ეს ჭექა-ქუხილის აქტივობაზე, ხოლო ბ.ა. ტინსლი ვარაუდობს, რომ ელექტრული ინდუცირებული ცვლილებები ღრუბლების მიკროფიზიკაში (ელექტროგაყინვა) აძლიერებს ციხის ბირთვს და ღრუბლების წარმოქმნას. ამ მიდგომებს აქვს უპირატესობა, იყოს დამოუკიდებელი დინამიური შეერთებისგან ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენებს შორის, რადგან ეს ვარიაციები გავლენას ახდენს მთელ ატმოსფეროზე [190].



ნახ.7.2. კავშირი ღრუბლის საფარსა და კოსმოსურ სხივებს შორის
 Fig. 7.2. The connection between cloud coverage and cosmic rays

ყველაზე დამაჯერებელი არგუმენტი, რომელიც აკავშირებს მზის აქტივობის ძლიერ გავლენას კლიმატის ცვლილებაზე, არის პირდაპირი კავშირი ღრუბლის საფარსა და კოსმოსურ სხივებს შორის, რომელიც აღმოჩენილია ჰ. სვენსმარკის და ე. ფრის-კრისტენსენის მიერ 1996 წელს. ღრუბლები ასჯერ უფრო ძლიერად მოქმედებს ამინდსა და კლიმატზე, ვიდრე ნახშირორჟანგი ატმოსფეროში. მაშინაც კი, თუ ატმოსფეროში CO₂ შემცველობა გაორმაგდება, მისი ეფექტი უმნიშვნელოა, თუ ღრუბლის საფარი 1%-ით გაიზრდება, როგორც ეს აჩვენა H. E. Landsberg-მა. ამიტომ სვენსმარკის და ფრის-კრისტენსენის შედეგს დიდი მნიშვნელობა აქვს. წვრილი მრუდი ნახ.7.2-ზე წარმოგიდგინთ შემოჭრილი ნეიტრონების საშუალო დათვლის სიჩქარეს თვეში, რომელიც

იზომება მიწაზე დამონტაჟებული მონიტორის მიერ Climax, Colorado (მარჯვენა მასშტაბი). ეს გალაქტიკური და მზის კოსმოსური სხივების სიძლიერის არაპირდაპირი საზომია. სქელი მრუდი ასახავს გლობალური ღრუბლოვანი საფარის 12-თვიან გამვებულ საშუალოს, რომელიც გამოხატულია პროცენტებში (მარცხნივ სკალა). იგი ეფუძნება ოკეანეებზე გეოსტაციონარული თანამგზავრების მიერ განხორციელებულ ერთგვაროვან დაკვირვებებს. ეს ორი მრუდი აჩვენებს მჭიდრო კორელაციას, კორელაციის კოეფიციენტი არის $r = 0.95$.

მზის ენერგეტიკული ამოფრქვევებით გამოწვეული კოსმოსური სხივების ინტენსივობის მოკლე დიაპაზონის ცვალებადობას იგივე ეფექტი აქვს, თუმცა უფრო მოკლე. ნახაზი აჩვენებს, რომ ძლიერი კოსმოსური სხივები ემთხვევა უფრო დიდ ღრუბლის საფარს, ხოლო სუსტი კოსმოსური სხივები ამცირებენ ღრუბლის საფარს. გლობალური ღრუბლოვანი დაფარვა 1986 წლის ბოლოს მისი პიკიდან 1990 წლის შუა რიცხვებამდე შემცირდა 3%-ზე მეტით. V. Ramanathan-ის, B. R. Barkstrom-ისა და E.F. Harrison-ის დაკვირვებების თანახმად, ღრუბლებს აქვს გამაგრილებელი ეფექტი -17 W/m^2 . სვენსმარკი და ფრის-კრისტენსენი ასკვნიან ამ გაგრილების ეფექტის შემცირებიდან 1986-1990 წლებში, რომ მზის გამოსხივება გაიზარდა დაახლოებით 1,5 ვტ/მ²-ით ამ სამ-ნახევარი წლის განმავლობაში. ამ რიგის ცვლილება საკმაოდ შესამჩნევია, ვინაიდან 1750 წლიდან დაგროვილი ნახშირორჟანგის ჯამური რადიაციული ძალები IPCC-ის შეფასებით არ აღემატება 1,5 ვტ/მ²-ს. ეს ნიშნავს, რომ კოსმოსური სხივები, რომლებიც ძლიერ მოდულირებულია მზის აქტივობით, აღწევს ეფექტს სამწელიწად-ნახევრის განმავლობაში, რისთვისაც ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის დაგროვებას საუკუნეები სჭირდება. ეს ნათლად აჩვენებს, თუ რამდენად გადაჭარბებულია სათბურის ეფექტი კლიმატის ცვლილებაში მზის წვლილთან შედარებით, რაც ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორია [137,138].

ასევე არსებობს ეფექტის ფიზიკური ახსნა: კოსმოსური სხივების მიერ წარმოქმნილი მეორადი იონები მოქმედებენ როგორც კონდენსაციის ბირთვი ჰიგიროსკოპიული თვისებებით, რომლებიც აძლიერებენ ღრუბლების წარმოქმნას [40,42]. იმავედროულად, ჰ. სვენსმარკმა გაათავსოვა თავისი გამოკვლევა, რომელიც ახლა მოიცავს 1980-დან 1996 წლამდე ინტერვალს. როგორც ადრე, ღრუბლის საფარსა და კოსმოსურ სხივებს შორის კორელაცია ძალიან მჭიდროა. კოსმოსური სხივების ინტენსივობის არაპირდაპირი გამოძვები, რომლებიც არეგისტრირებენ მიონებს ნეიტრონების ნაცვლად, იწყება 1937 წელს. როდესაც სვენსმარკმა შეადარა ეს მონაცემები ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში გლობალურ ტემპერატურას, მან კვლავ აღმოაჩინა ძლიერი კორელაცია, რაც მიუთითებს, რომ კავშირი კოსმოსურ სხივებს, ღრუბელს შორის საფარსა და გლობალურ ტემპერატურას შორის რეალურია [112,117].

კოსმოსური სხივების მოდულაციის ძირითადი მიზეზი არის არა მზის ლაქების აქტივობის დონე, არამედ მზის ქარის ცვალებადი ძალა. პლაზმის ეს ზებგერითი გადინება წარმოიქმნება მზის ძალიან ცხელ გვირგვინში და გადააქვს იონიზებული

ნაწილაკები და მაგნიტური ველის ძალწირები მზისგან. სანამ ის მზის სისტემის საზღვრამდე ფართოვდება, კოსმოსური სხივების ნაწილაკები, რომლებიც ურთიერთობენ მასთან, კარგავენ ენერგიას. როდესაც მზის ქარი ძლიერად ვრცელდება, კოსმოსური სხივები სუსტია, ხოლო როდესაც მზის ქარი მშვიდია, კოსმოსური სხივები ძლიერდება. მზის ქარის ყველაზე მაღალი სიჩქარე გამოწვეულია მზის ენერგეტიული ამოფრქვევებითა და კორონალური ხვრელე-ბით. ძლიერი ამოფრქვევები არ ემთხვევა მზის ლაქების მაქსიმუმს და ხდება მზის ლაქების მინიმუმთან ახლოსაც კი. ასე რომ, მზის ლაქები არ არის მზის ქარის სიძლიერის კარგი მაჩვენებელი. ვინაიდან კოსმოსური სხივები, რომლებსაც ასეთი ძლიერი გავლენა აქვს ღრუბლის საფარზე, ძლიერად არის მოდულირებული მზის აქტივობის ამოფრქვევის მახასიათებლებით, მზის წვლილი კლიმატის ცვლილება-ში აღარ შეიძლება ჩაითვალოს უმნიშვნელოდ.

„დიდი თითების ციკლს“ აქვს საშუალო სიგრძე 35,8 წელი (178,8 წელი [დიდი ხელი] / 5 = 35,76 წელი [დიდი თითები]). ისინი მჭიდრო კავშირშია მზის აქტივობასთან. ისინი ემთხვევა გლეისბერგის ციკლის მაქსიმუმს და მინიმუმს და იძლევა ამ გადამწყვეტი ფაზების წინასწარმეტყველების შესაძლებლობას დიდი ხნით ადრე. ისინი ასევე განსაზღვრავენ მზის ლაქების აქტივობის 22,1-წლიანი მაგნიტური ციკლის ხანგრძლივობას (ჰეილის ციკლი). რაც შეეხება კლიმატის ცვლილებას, 36-წლიანი ციკლები ახალი არ არის. ფრენსის ბეკონმა უკვე აღნიშნა ციკლი, რომლის ხანგრძლივობაა 35-დან 40 წლამდეა გრილი და ნოტიო ფაზებით, რასაც მოჰყვება თბილი და მშრალი პერიოდები. ე. ბრუკნერ-მა ეს ციკლი კვლავ აღმოაჩინა 1887 წელს. მან აჩვენა, რომ სხვადასხვა კლი-მატური ფენომენები მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში აჩვენებენ სინქრონი-ზებულ ფაზებს 33-დან 37-წლიან ციკლში. H. W. Clough-მა აღმოაჩინა ბრუკ-ნერის ციკლი არა მხოლოდ 12 მეტეოროლოგიურ ცვლადში, არამედ მზის ლაქებში და განსაკუთრებით მზის ლაქების 11-წლიანი ციკლის ხანგრძლივობის ვარიაციებში. D. V. Hoyt და K. H. Schatten ფიქრობენ, რომ ციკლის რეალობა დასტურდება სკანდინავიური ხის რგოლების მონაცემებით, რომლებიც აჩვენებენ მის რიტმს ასობით წლის განმავლობაში.

რადიაციული სარტყლის აღმოჩენა იყო კოსმოსური ხანის პირველი აღმოჩენა, რომელიც დაფიქსირდა 1958 წელს კოსმოსური ხომალდის Explorer I-ის მიერ. რადიაციული სარტყლები არის დინამიური დონატის ფორმის რეგიონები ჩვენი პლანეტის ირგვლივ, რომლებიც ვრცელდება ატმოსფეროზე მაღლა, შედგება მაღალი ენერგიის ნაწილაკებისგან, როგორც ელექტრო-ნებისაგან, ასევე დამუხტული ნაწილაკებისგან, რომელსაც ეწოდება იონები, რომლებიც მოქცეულია დედამიწის მაგნიტური ველის მიერ. სარტყელში რადიაციის დონეებზე გავლენას ახდენს მზის აქტივობა, რაც იწვევს ენერგიისა და ნაწილაკების შემოდინებას დედამიწის მახლობლად სივრცეში. აქტიური პერიოდის განმავლობაში, რადიაციის დონე შეიძლება მკვეთრად გაიზარდოს,

რამაც შეიძლება შექმნას საშიში კოსმოსური ამინდის პირობები, რომელიც ზიანს აყენებს კოსმოსურ ხომალდს და საფრთხეს უქმნის ადამიანებს კოსმოსში. ვან ალენის ზონდების მისიის მიზანია იმის გაგება, თუ როგორ და რატომ იცვლება სარტყლებში რადიაციის დონე დროთა განმავლობაში. მეცნიერებმა მალევე გააცნობიერეს, რომ მათ შეუძლიათ შეცვალონ მზის ამოფრქვევების ფორმა, ზოგჯერ საკმაოდ მკვეთრად. 2013 წლის თებერვალში მკვლევრებმა წარმოადგინეს დაკვირვებები ნასას ვან ალენის ზონდებიდან, რომლებიც აჩვენებს ადრე გამოუვლენელ კონფიგურაციას. სარტყლებმა აჩვენეს მკაფიო უჩვეულოდ ვიწრო რგოლი შიდა სარტყლის მიღმა, რომელიც გაგრძელდა ერთი თვის განმავლობაში 2012 წლის სექტემბერში, ხოლო დამატებითი ნაწილაკები მოხვდნენ მესამე, უფრო დიდი, ყველაზე გარე სარტყლის შესაქმნელად. სამი ჯგუფის მანამდე უცნობმა კონფიგურაციამ შეცვალა ის, რაც ადრე ცნობილი იყო სარტყლების შესახებ. მეცნიერებმა აღმოაჩინეს ახალი, მდგრადი სტრუქტურა დედამიწის მიმდებარე ორი რადიაციული სარტყლიდან ერთ-ერთში. NASA-ს ტყუპმა კოსმოსურმა ხომალდმა Van Allen Probes-მა აჩვენა, რომ მაღალი ენერგიის ელექტრონები შიდა გამოსხივების სარტყელში აჩვენებენ მუდმივ ნიმუშს, რომელიც წააგავს ზებრის დახრილ ზოლებს. გასაკვირია, რომ ეს სტრუქტურა წარმოიქმნება დედამიწის ნელი ბრუნვის შედეგად, რომელსაც, ადრე ითვლებოდა, რომ არ შეუძლია გავლენა მოახდინოს რადიაციული სარტყლის ნაწილაკების მოძრაობაზე, რომლებსაც აქვთ სინათლის სიჩქარეს მიახლოებული სიჩქარე [91].

ვან ალენის ზონდებს შეუძლიათ გაზომონ ენერგიებისა და ნაწილაკების ტიპების ყველაზე ფართო დიაპაზონი, რაც კი ოდესმე დაფიქსირებულა. მაშასადამე, ამ ვიწრო რგოლში იყო ნაწილაკების ზუსტი გაზომვები – მოძრაობდნენ სინათლის სიჩქარის 99,9 პროცენტამდე – რამაც შეიძლება ნათელი მოჰქონოს აქამდე ნაწილ ფიზიკურ პროცესებს. სარტყლების კომპიუტერული სიმულაციების ვან ალენის ზონდების მონაცემებთან შედარებით, მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ერთი საყოველთაოდ გასაგები მეთოდი იმის შესახებ, თუ როგორ აჩქარებენ ნაწილაკებს მაღალ ენერგიამდე, არ მუშაობს ამ ულტრასწრაფ ნაწილაკებზე. მექანიზმი დამოკიდებულია ერთ-ერთ უნიკალურ და მრავალფეროვან ტალღებზე, რომელიც შეიძლება იყოს დამუხტული ნაწილაკების გარემოში, სხვაგვარად ცნობილია როგორც პლაზმა, როგორც არეობს რადიაციულ სარტყლებში.

ტალღები, რომლებიც ცნობილია როგორც ძალიან დაბალი სიხშირის ქორუსის ტალღები, მოძრაობენ ისე, რომ მათ შეუძლიათ ადვილად შეაგროვონ ნაწილაკები სარტყელში უფრო მაღალ სიჩქარემდე, ისევე როგორც სრულყოფილად დროული ბიძგი საქანელაზე ზრდის მის სიჩქარეს. ეს იგივე ტალღები შეიძლება იყოს პასუხისმგებელი სარტყლებიდან ატმოსფეროში ნაწილაკების ნალექის გამოწვევაზე. ეს VLF Chorus ტალღები გავლენას ახდენს სწრაფ ელექტრონებზე, მაგრამ არა ულტრასწრაფ ელექტრონებზე. მეორე მხრივ,

სარტყლებში სწრაფ ელექტრონებზე გავლენას არ ახდენს სხვა ტალღა, რომელსაც ეწოდება ელექტრომაგნიტური იონის ციკლოტრონი ანუ EMIC ტალღები, მაგრამ ამ კვლევამ აჩვენა, თუ რამდენად ძლიერია EMIC ტალღების გავლენა ყველაზე სწრაფად მოძრავ ნაწილაკებზე. მართლაც, EMIC ტალღების საშუალებით ყველაზე ენერგიული ნაწილაკები სწრაფად კარგავენ ენერგიას, დატოვებს რადიაციის მხოლოდ ვიწრო რგოლს, რომელიც დაცულია პლაზმაპაუზის სახელით ცნობილი საზღვრის შიგნით, როგორც ეს ჩანს 2012 წლის სექტემბრის მოვლენაში [105].

VLF ტალღის სხვა სახეობა, სახელად Hiss, გვხვდება ამ პლაზმაპაუზის საზღვრებში და ეს ტალღა არ ახდენს ძლიერ გავლენას ულტრასწრაფ ნაწილაკებზე, რომლებიც ვან ალენის ზონდებმა დააფიქსირეს მუდმივ ვიწრო რგოლში. ეს განმარტავს, თუ რატომ იყო ვიწრო რგოლი სტაბილური ამდენი ხნის განმავლობაში. VLF ტალღა ცნობილია როგორც პლაზმასფერული ჩურჩული. პროცესს შეიძლება მხოლოდ რამდენიმე დღე დასჭირდეს ნელი ნაწილაკებისთვის, მაგრამ გაცილებით მეტი დრო დასჭირდა უფრო მაღალი ენერგიის მქონე ნაწილაკებს.

მაგნიტოსფერო არის სივრცის დიდი ნაწილი, სადაც დედამიწის მაგნიტური ველი აკონტროლებს დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობას, კერძოდ ელექტრონებს, პროტონებს და სხვა იონურ ნაწილაკებს, რომლებიც ქმნიან კოსმოსურ პლაზმას. ენერგეტიკული ნაწილაკების პოპულაციები შეინიშნება მაგნიტოსფეროს სხვადასხვა ნაწილში [83]. ახლახან, 2012 წლის აგვისტოში გაშვებული ვან ალენის ზონდების გამოყენებით, მკვლევრებმა აჩვენეს, რომ 2,5 მევ-ზე მეტი ენერგიის მქონე ელექტრონები აჩქარებული იყო რადიაციული სარტყლების შიგნით, სანამ სხვაგან გაფაიტანებთან. მაგრამ რა არის ადგილობრივი აჩქარების მექანიზმი? STEREO კოსმოსური ხომალდის მიერ ძალიან ძლიერი „ჩურჩულის“ ტალღების აღმოჩენამ დედამიწის რადიაციულ სარტყლებში წარმოშვა ჰიპოთეზა, რომ ელექტრონებს შეუძლიათ ამ ტალღებზე „სერფინგი“ MeV ენერგეტიკამდე აჩქარებამდე. ჩურჩულები არის სპეციალური ელექტრომაგნიტური რეჟიმი, რომელიც ვრცელდება მაგნიტიზებულ პლაზმაში, რომელსაც შეუძლია რემონანსული ურთიერთქმედება სწრაფ ნაწილაკებთან. თუმცა, რადიაციულ სარტყლებში ეფექტური რომ იყოს, ეს პროცესი მოითხოვს ელექტრონების რაოდენობას, რომლებსაც უკვე აქვთ დაახლოებით ასი keV ენერგია, რაც ელექტრონის თერმულ ენერგიაზე გაცილებით დიდია [111].

ორმაგი ფენა არის შემფოთება, რომელიც ხდება დაუჯახებელ პლაზმაში, რომელიც მოძრაობს მაგნიტური ველის გასწვრივ და შედგება მუხტის ორი ფენისგან. როგორც პარალელური ფირფიტის კონდენსატორში, ფენებს შორის ელექტრული ველი წარმოშობს შესაბამისი პოტენციალის ვარდნას. კოსმოსურ პლაზმაში ორი დამუხტული ფენა იზრდება პლაზმის არასტაბილურობისგან და ისინი არ ერწყმის ერთმანეთს, რადგან მოძრაობს, ასე რომ, მაგალითად,

ელექტრონის სიმკვრივის გაძლიერება იწვევს იონის სიმკვრივის გაზრდას. ვან ალენის ზონდები აღჭურვილია 50 მეტრის სიგრძის კაბელებზე მიბმული საზომი სფეროებით, რომლებიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს სამგანზომილებიანი ელექტრული ველი წამში 512 ნიმუშით. ზოგჯერ მოკლე პერიოდებში მონაცემების აღება შეიძლება ბევრად უფრო სწრაფად, 16384 ნიმუში წამში. ასეთი მაღალი დროის გარჩევადობა საჭიროა ორმაგი ფენების დასახასიათებლად.

დიდი ამპლიტუდის ჩურჩულის ტალღები დაფიქსირდა 2012 წლის 8 და 9 ოქტომბერს, მაგრამ მხოლოდ ამ უკანასკნელ დღეს 2,5 მევ-იანი რელატივისტური ელექტრონების ნაკადები გაიზარდა თითქმის სამი რიგის სიდიდით. წინა დღეს, 8 ოქტომბერს, ტალღებთან ერთად ორშრიანი ნაკადები არ დაფიქსირებულა. პირიქით, 9 ოქტომბერს დაფიქსირდა ორმაგი შრეები, დიდი ამპლიტუდის სასტვენებთან ერთად და რელატივისტური ელექტრონების ნაკადების შესამჩნევი ზრდა. ამრიგად, MeV ელექტრონების აჩქარება არის ორსაფეხურიანი პროცესი: ჯერ ორშრიანი ნაკადები და შემდეგ სასტვენის რეზონანსული ურთიერთქმედება.

ამ შედეგებს აქვს რამდენიმე შორსმიმავალი გავლენა. პირველ რიგში გრძელვადიან მიზანი – გაიგონ ელექტრონების უკიდურესი აჩქარება დედამიწის რადიაციულ სარტყლებში, მეორე, დაკვირვებები აჩვენებს, რომ დედამიწის მაგნიტოსფერო შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც ლაბორატორია ენერგეტიკული ნაწილაკების აჩქარების შესასწავლად, ხოლო ექსპერიმენტული პირობების „შეცვლის“ დროს (ორმაგი შრეებით ან მის გარეშე, სასტვენებით ან მის გარეშე), ისევე როგორც ჩვენ გავაკეთებდით ჩვენს ლაბორატორიაში. მესამე, დედამიწის მაგნიტოსფეროში აჩქარების მექანიზმების დეტალური გაგება შეიძლება ექსპორტირებული იყოს სხვა ასტროფიზიკურ სისტემებში, როგორცაა მზის გვირგვინი, დაკვირვებული ნაწილაკების ენერგიით 1 GeV-მდე, და სხვა პლანეტარულ მაგნიტოსფეროებში, ისევე როგორც ბევრად უფრო შორეულ ობიექტებში, როგორცაა სუპერნოვას ნარჩენები, კოსმოსური სხივების ენერგიით 1015 eV და მეტი [91,105]. მართლაც, მაგნიტური ველის გასწვრივ მოძრავი ნაწილაკების სხივები, რომლებიც ორმაგი ფენების სავარაუდო წარმოშობაა, ასევე გათვალისწინებულია ამ ობიექტებისთვის. ეს იწვევს ახალ კითხვებს: რატომ წარმოიქმნება ელექტრონული აკუსტიკური ტალღები და მასთან დაკავშირებული ორმაგი შრეები? რატომ ჩნდება ორმაგი შრეები ათასობით ნაკადში? რა პირობები იძლევა ასეთი დიდი ელექტრული პოტენციალის განსხვავებების არსებობის საშუალებას? მაგნიტოსფერული დინამიკის რა მამოძრავებელი ძალა შეიძლება აღმოჩნდეს სხვა ასტროფიზიკურ სისტემებში?

ეს შედეგები უერთდება დედამიწის მახლობლად მდებარე ფენომენების სხვა დაკვირვებებსა და მოდელებს, რომლებსაც უფრო ფართო ასტროფიზიკური მნიშვნელობა აქვთ. მაგალითად, ზედა ატმოსფეროში მინის გამა-სხივებმა შეიძლება ნათელი მოჰფინოს გამა-სხივების აფეთქების წარმოშობას სამყაროს

ყველაზე შორეული ობიექტებიდან და მაგნიტური ველის ხელახალ შეკავშირებას დედამიწის მაგნიტოპაუზის მსგავსად, შეუძლია დააჩქაროს მაღალი ენერგიის კოსმოსური სხივები. ეს აღმოჩენები აჩვენებს, რომ გეოსივრცის პლაზმის შესწავლა არა მხოლოდ თავისთავად ღირებულია, არამედ დედამიწის გარშემო სივრცე არის ნამდვილი ლაბორატორია მაღალი ენერგიის ასტროფიზიკისთვის.

იონოსფეროს არსებობა 1902 წელს დამოუკიდებლად და თითქმის ერთდროულად იწინასწარმეტყველეს ამერიკელმა ელექტროინჟინერმა არტურ ედვინ კენელმა (1861–1939) და ბრიტანელმა ფიზიკოსმა ოლივერ ჰევისაიდმა (1850–1925). თუმცა, მხოლოდ 1924 წელს დაადასტურა მისი არსებობა ბრიტანელმა მეცნიერმა ედვარდ ვ. ეპლტონმა, რისთვისაც მან 1947 წელს მიიღო ნობელის პრემია ფიზიკაში. ფიზიკოსები ამრეკლავი ფენის იდეას ერთი ძალიან ვარგი მიზეზის გამო ეწინააღმდეგებოდნენ; მას დასჭირდება მთლიანი შიდა ასახვა, რაც, თავის მხრივ, მოითხოვს, რომ სინათლის სიჩქარე ("c") იონოსფეროში იყოს უფრო დიდი, ვიდრე მის ქვემოთ ატმოსფეროში. ვინაიდან ეს უკანასკნელი სიჩქარე არსებითად იგივეა, რაც სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში, მეცნიერებს არ სურდათ დაეჭვებინათ, რომ იონოსფეროში სიჩქარე უფრო მაღალი იქნებოდა. მიუხედავად ამისა, მარკონიმ მიიღო ნიუფაუნდლენდში სიგნალები, რომლებიც მაუნყებლობდა ინგლისში, ამიტომ აშკარად უნდა არსებობდეს მექანიზმი, რომელიც საშუალებას მისცემს გადაცემას იქამდე მიაღწიოს. პარადოქსი გადაწყდა იმ აღმოჩენით, რომ არსებობდა სინათლის ორი სიჩქარე: ფაზის სიჩქარე და ჯგუფური სიჩქარე. ფაზის სიჩქარე შეიძლება ფაქტობრივად იყოს c-ზე მეტი, მაგრამ ჯგუფური სიჩქარე, რომელსაც შეუძლია ინფორმაციის გადაცემა, არ შეიძლება, სპეციალური ფარდობითობით, იყოს c-ზე მეტი. იონოსფეროში რადიოტალღების ფაზის სიჩქარე მართლაც მეტია c-ზე და ეს შესაძლებელს ხდის მთლიან შიდა ასახვას და, შესაბამისად, იონოსფეროს შეუძლია რადიოტალღების ასახვა. ფაზის სიჩქარისა და ჯგუფური სიჩქარის გეომეტრიული საშუალო არ შეიძლება აღემატებოდეს c-ს, ასე რომ, როდესაც ფაზის სიჩქარე სცდება c-ზე მაღლა, ჯგუფური სიჩქარე მას ქვემოთ უნდა ავიდეს. 1925 წელს ამერიკელებმა გრიგორი ბრეიტმა და მერლ ა. ტუვემ პირველად შეადგინეს მისი ვარიაციები სიმაღლეში. ITU-ს სტანდარტული მოდელი რადიოტალღების შთანთქმისა და ასახვის Heaviside Layer-ით შეიმუშავა ბრიტანელმა იონოსფეროს ფიზიკოსმა ლუი მუგლტონმა 1970-იან წლებში.

თავი 8.

გეომაგნიტური ინდიქსები და მათი ურთიერთდამოკიდებულება კლიმატურ პარამეტრებზე

მზის ციკლები

მზის აქტივობა

დაახლოებით ყოველ 11 წელში მზის აქტივობა სრულად იცვლება აბსოლუტური სინყნარიდან უკიდურეს აქტივობამდე. მზის აქტივობის პიკი ცნობილია, როგორც მზის მაქსიმუმი, როცა მზის ლაქები დიდი რაოდენობითაა, საიდანაც ამოფრქვეული რადიაცია და მზის ნაწილაკები იფრქვევა სივრცეში.

ამასთან, მზის ციკლის პერიოდულობა ყოველთვის ზუსტი არ არის. მას შემდეგ რაც მზეზე დაკვირვებებმა რეგულარული ხასიათი მიიღო, აღმოჩნდა, რომ ციკლურობა 9-დან 14 წ-მდე მერყეობს. ახლა შემოღებულია ახალი მარკერი-მნათი წერტილები, პატარა მნათი წერტილები მზის ატმოსფეროში საშუალებას იძლევა მზის სიღრმეში მატერიის განუწყვეტელი ბრუნვის დაფიქსირებისა. ისინი საშუალებას იძლევა მაგნიტური ველის ევოლუციისა [83,170,192].

ისტორიულად, მზის ციკლებზე დაკვირვება მხოლოდ ერთი ტიპის პარამეტრს ეყრდნობა: მზის ლაქების რაოდენობას, რომლის ჩანაწერებიც საუკუნეებს მოიცავს. რამდენიმე დეკადა გავიდა მას შემდეგ, რაც დაადგინეს, რომ ლაქები ინტენსიური მაგნიტური ველის ადგილებია. ამან საშუალება მისცა მკვლევრებს მაგნიტური ველის გაზომვებიც ჩაერთოთ კვლევებში.

მზის ლაქები უტყუარი მარკერია იმ მექანიზმისთვის, რომელიც არეგულირებს მზის ზედაპირს. თუმცა, პროცესები, რომლებიც წარმოქმნიან მათ, არ არის კარგად შესწავლილი. მზის ციკლის დროს ლაქები მოძრაობენ ეკვატორისკენ. არსებობს თეორია, რომლითაც მატერიის ორი სიმეტრიული მარყუჟი მზის ჰემისფეროში ამოდის პოლუსებიდან და იძირება ღრმად ეკვატორზე და სიღრმეში, შემდეგ ისევ ბრუნდება ეკვატორზე. ამ მარყუჟებს გადააქვთ მაგნიტური ველი მზის ატმოსფეროში. ამ თეორიის მიხედვით, მზის ლაქები მოძრაობენ სინქრონულად ნაკადთან ერთად. თუმცა კვლავ რჩება ბევრი რამ ამოუხსნელი: რატომ წარმოიქმნება ლაქები მხოლოდ 30⁰ დაბალ განედებზე? რა აიძულებს მათ შეცვალონ მაგნიტური პოლარობა მომდევნო ციკლებში? რატომ არის ციკლების პერიოდულობა ცვალებადი? 2010 წ. დასაწყისში NASA's Solar Dynamics Observatory-ამ აღმოაჩინა გიგანტური მაგნიტური პაკეტები, ზომით იუპიტერის დიამეტრის ზომისა მზის ატმოსფეროში [111]. ამ პაკეტების გარშემო დაფიქსირდა ექსტრემალური ულტრაიისფერი და რენტგენის გამოსხივება, ცნობილი, როგორც მნათი წერტილები და გ-კვანძები.

მნათი წერტილები და გ-კვანძები მზის შიგნით მატერიის გადაადგილების ტრასირების საშუალებას იძლევა. European Space Agency, NASA Solar and Heliospheric Observatory და SDO-ს ერთობლივი მუშაობის შედეგად, მზის ციკლების განვითარების დაკვირვება უწყვეტად მომდინარეობს 20 წ.-ზე მეტხანს. მათ აღმოაჩინეს, რომ ეს სხივები თანხმლვებ მაგნიტურ ველთან ერთად ასევე მოძრაობს ეკვატორისკენ, იმავე ტრაექტორიით, რითაც ლაქები, ოღონდ უფრო დაბალ 55° განედიდან. ამასთან, ყოველ ჰემისფეროს აქვს ერთზე მეტი ასეთი ნაკრები. თანამედროვე დაკვირვებებით დგინდება, რომ მზეზე მრავლადაა განსხვავებულად პოლარიზებული მაგნიტური მატერია, რომელიც წარმოქმნის შემდეგ დამიზნულად მიემართება მაღალი განედებიდან ეკვატორისკენ. ამ ნაკრებებს აქვთ ან ჩრდ. ან სამხრ. მაგნიტური პოლარობა და მათი მიზანი ისეთნაირად ვარირებს, რომ სრული პოლარობა 0-ის ტოლია. მაგ. მზის ჩრდ. ჰემისფეროზე ნაკრებს სავარაუდოთ ექნება ჩრდ. პოლარობა, რომლის მაგნიტური ველის წირები უკავშირდება მეორე ჯგუფს სამხრ. პოლარობით. ეკვატორის გასწვრივ იგივე პროცესები მიმდინარეობს, მაგრამ ჯგუფები სარკულად არეკლილია, სამხრ. პოლარობა ეკვატორითან და ჩრდ. მაღალ განედებზე. მაგნიტური ველის წირები აკავშირებს 4 ჯგუფს: ყოველი ჰემისფეროს შიგნით და ეკვატორის გასწვრივ. მიგრაციის პროცესი მაღალი განედებიდან ეკვატორამდე გრძელდება საშუალოდ 19 წელი, თუმცა იცვლება 16-21 წლებს შორის [105].

როდესაც მზის მაგნიტური სისტემა წყნარია, წარმოიქმნება ცოტა მზის ლაქები და ამოფრქვევები: ეს არის მზის მინიმუმი. მზის ციკლების თეორიის ტესტირება მინ.-მაქს. პროგნოზირებით მონმდება. დაახლოებით 2017 წ. მეორე ნახევარში მზე შედის მინიმუმში, ხოლო 2019 წ. ბოლოსთვის ახალი ციკლის მზის ლაქები გაჩნდება.

ცხრილი 8.1. მზის ისტორიული ციკლები

მზის ციკლი	დაწყება (მინ)	გაგლუვებული მინ. ISN (ციკლის დაწყება)	Maximum	გაგლუვ. მაქს. ISN	დაწყება (წლები)	ხანგრძლ. (წლები)	ულაქო დღეები
Solar cycle 1	1755-02	14.0	1761-06	144	6.3	11.3	
Solar cycle 2	1766-06	18.6	1769-09	193	3.3	9.0	
Solar cycle 3	1775-06	12.0	1778-05	264	2.9	9.3	
Solar cycle 4	1784-09	15.9	1788-02	235	3.4	13.6	
Solar cycle 5	1798-04	5.3	1805-02	82	6.8	12.3	
Solar cycle 6	1810-08	0.0	1816-05	81	5.8	12.8	
Solar cycle 7	1823-05	0.2	1829-11	119	6.5	10.5	
Solar cycle 8	1833-11	12.2	1837-03	245	3.3	9.7	

Solar cycle 9	1843-07	17.6	1848-02	220	4.6	12.4	
Solar cycle 10	1855-12	6.0	1860-02	186	4.2	11.3	561
Solar cycle 11	1867-03	9.9	1870-08	234	3.4	11.8	942
Solar cycle 12	1878-12	3.7	1883-12	124	5.0	11.3	872
Solar cycle 13	1890-03	8.3	1894-01	147	3.8	11.8	782
Solar cycle 14	1902-01	4.5	1906-02	107	4.1	11.5	1007
Solar cycle 15	1913-07	2.5	1917-08	176	4.1	10.1	640
Solar cycle 16	1923-08	9.4	1928-04	130	4.7	10.1	514
Solar cycle 17	1933-09	5.8	1937-04	199	3.6	10.4	384
Solar cycle 18	1944-02	12.9	1947-05	219	3.3	10.2	382
Solar cycle 19	1954-04	5.1	1958-03	285	3.9	10.5	337
Solar cycle 20	1964-10	14.3	1968-11	157	4.1	11.4	285
Solar cycle 21	1976-03	17.8	1979-12	233	3.8	10.5	283
Solar cycle 22	1986-09	13.5	1989-11	214	3.2	9.9	257
Solar cycle 23	1996-08	11.2	2001-11	180	5.3	12.3	619
Solar cycle 24	2008-12	2.2	2014-04	116	5.3	<i>In progress</i>	959 (2 Feb 2020)
Solar cycle 25	2014-04	(3.53 as at July 2019)					622
საშ.		9.3		178.7	4.4	11.04	

20 და 23 ანომალური ციკლები

ყველაზე დიდი გადახრა კორელაციებში დაფიქსირდა 1970 წ. მე-20 ციკლის დასრულებისას. ეს იმდენად ცხადად ჩანს მონაცემებიდან, რომ არც კი საჭიროებს მათ დამუშავებას. მცირე კორელაციის შემდეგი პერიოდი ემთხვევა 23 ციკლის დასრულებას. 20 ციკლი იყო ყველაზე სუსტი 1930-დან დაწყებული. გოსლინგმა აღნიშნა გეომაგნიტური ვარიაციების უჩვეულო ასპექტები: გეომაგნიტური აქტივობის მაღალი პიკი 6 წელში მზის ლაქების მაქსიმუმიდან. მზის ლაქების მხრივ-ციკლი იყო ნორმალური, ხოლო aa ინდექსის მხრივ – ძლიერ ანომალური. დაფიქსირდა მეორადი მაქსიმუმი 1972-75 წწ. მზის ქარის სიჩქარე უდიდესი იყო მზის მინიმუმის დროს, ვიდრე მაქსიმუმისას. ასევე არსებობდა მარკოვის რადიუსსა და მზის ლაქებს, WN და aa ინდექსს, შორის კორელაციის ანომალია. ანომალური იყო მისი ხანგრძლივობა და უნტრაიისფერ/ახლო ულტრაიისფერი რადიაცია და მზის ალბედო. ამის ასახსნელად დაუშვეს ჰიპოთეზა მზის დინამოს პარამეტრებში ცვლილების შესახებ, რამაც განსაზღვრული გავლენა იქონია მომდევნო ციკლებზე, მაგ. ქვეშტორმების რაოდენობის ზრდა შეიძლება გამოწვეული იყოს მაღალი სიჩქარის ნაკადებით მზის ლაქების მინიმუმის დროს 20 ციკლის მსვლელობისას (1974-76) [139,140].

მზის ინდექსები

მზის ალები არის მზეზე ხანმოკლე აფეთქებები, რომლებიც წარმოიქმნება, როცა გადაგრეხილ მაგნიტურ ველში შენახული ენერგია (მზის ლაქებში) მოულოდნელად თავისუფლდება. ალების ენერგია მოიცავს მთელ ელექტრო-მაგნიტურ სპექტრს რადიოტალღებიდან რენტგენისა და გამა სხივებამდე.

მზის ქარების კლასიფიკაცია რენტგენის სხივების ტალღის სიგრძისა და სიკაშკაშის მიხედვით 3 კატეგორიისაა: **X** კლასი არის უდიდესი; ეს არის უძლიერესი მოვლენა, რომელიც ინვეს რადიოსიხშირეების ჩახშობას და ხანგრძლივ რადიაციულ შტორმებს. **M** ლასი არის საშუალო სიძლიერის. ისინი ინვევენ ხანმოკლე რადიოჩახშობებს დედამიწის პოლარულ რეგიონებში. მათ ხშირად მოჰყვება სუსტი რადიაციული შტორმები. ყველაზე სუსტი არის **C** კლასი, რომლებსაც არ აქვთ რაიმე მნიშვნელოვანი გავლენა დედამიწაზე. ყოველ კატეგორიას აქვს 9 ქვეკლასი, მაგ. C1 – C9, M1 – M9, და X1 – X9. მაგ. 2000 წ.14 ივლისს მზის 23 ციკლის მაქსიმალური პიკის დროს ამოიფრქვა **X5.7** კლასის მზის ალი მზის ლაქის აქტიური 9077 რეგიონიდან, რამაც გამოიწვია S3 რადიაციული შტორმი დედამიწაზე 15 ნო-ს შემდეგ, რადგანაც იონოსფეროში შემოიჭრა ენერგეტიკული პროტონები. ეს იყო მზის უდიდესი რადიაციული მოვლენა 1989 წლიდან. შემოჭრილი პროტონები 4-ჯერ უფრო მეტი ენერგიის მატარებელი იყო ვიდრე ადრე დაფიქსირებული 1995 წ. **SOHO**-ს და 1997 წ. **ACE**-ს მიერ. მზის ალს ასევე მოჰყვა მზის კორონალური ამოფრქვევა თანმდევი უძლიერესი გეომაგნიტური სუპერშტორმით 15-15 ივლისს. გეოშტორმმა 15 ივლისს მიაღწია უმაღლესი **G5** დონის პიკს. ამ მოვლენას **ბასტილიის დღის ამოფრქვევა** დაარქვეს [144]. ცხრილ 1-ში მოყვანილია ალების კლასიფიკაცია [180,181].

ცხრილ 8.2.. მზის ალების კლასიფიკაცია

Table 8.2. Classification of Solar flares

კლასი	პიკი (W/m^2) 1 და 8 ანგსტრომს შორის
B	$I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} < = I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} < = I < 10^{-4}$
X	$I > = 10^{-4}$

მზის ალების კლასიფიკაცია **X** -სხივების სიკაშკაშის მიხედვით ხდება გამოსხივების სპექტრში. გამოიყოფა 3 კატეგორია: **X**- **M**- **C**-კლასი. ქვემოთ მოყვანილია მათი შესაბამისი ენერგიები და ნაკადის ინტენსივობები დედამიწის ზედაპირზე.

M1- $0.1 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$	X1 $1.0 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$
M2 $0.2 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$	X2 $2.0 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$
M3 $0.3 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$	X3 $3.0 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$
M4 $0.4 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$	X4 $4.0 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$
M5 $0.5 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$	X5 $5.0 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$
M6 $0.6 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$	X6 $6.0 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$
M7 $0.7 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$	X7 $7.0 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$
M8 $0.8 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$	X8 $8.0 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$
M9 $0.9 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$	X9 $9.0 \times 10^{-4} \text{ W/ m}^2$

მზე ასევე ასხივებს მაღალენერგეტიკულ პროტონებს. მათი ენერგიები ძირითადად 10 MeV -დან 100 MeV -მდეა. დედამიწაზე მათი დაცემის დრო დამოკიდებულია პროტონების ენერგიაზე, ეს დრო სთ-დან წთ-მდე იცვლება. ქვემოთ მოყვანილია პროტონების ენერგიები, სიჩქარე და ჩამოსვლის დრო. c - სინათლის სიჩქარეა:

- 1 MeV- 0.046 c -2.9 სთ
- 10 MeV -0.145c -49 წთ
- 100 MeV- 0.429 c -11.1 წთ
- 1 GeV- 0.875 c -1.2წთ

მზის პროტონები ულტრაიისფერ ნათებას იწვევს ატმოსფეროში, რომელიც ადამიანის თვალისთვის უხილავია. ამ დროს წარმოიქმნება NO_x ნარჩენი პროდუქტები, რომლებიც დედამიწის ზედაპირზე ილექება. მძლავრი ამოფრქვევებიდან წარმოქმნილი ნიტრატების აღმოჩენა შესაძლებელია ყინულის საფარში. ნიტრატების კონცენტრაციების ანალიზი პოლარულ და გრენლანდიის ყინულებში აჩვენებს, რომ 154 დიდი ამოფრქვევა (>30 MeV; > $0.8 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$) მოხდა ბოლო 450 წ. (1561-1992) განმავლობაში [111,179].

მზის მინიმუმის დროს მაგნიტური ველი უსუსტესია, რის გამოც დამატებითი კოსმოსური სხივები შემოდის მზის სისტემაში. ოულოს სოდანკილას გეოფიზიკური ობსერვატორიის (ფინეთი) ნეიტრონული მონიტორები აჩვენებენ, რომ კოსმოსური სხივების კონცენტრაცია მაღალია მთელი დაკვირვების პერიოდთან შედარებით.

სოდანკილას გეოფიზიკურ ობსერვატორიაში კოსმოსურ სხივებს აკვირდებიან 1964 წ-დან. როცა სხივები ეჭახება დედამიწის ატმოსფეროს, წარმოიქმნება მეორადი ნაწილაკები, რომლებიც დედამიწის ზედაპირს აღწევენ, რომელთა შორის ნეიტრონებაცაა. ამ ნეიტრონებს ითვლიან ობსერვატორიაში. ნეიტრონების რაოდენობა მზის 11-წლიან ციკლს მიჰყვება. მზის მაქსიმუმის დროს კოსმოსური სხივები სუსტია, მინიმუმის დროს – ძლიერი. 2019 წ. ბოლოს ნეიტრონები აღწევენ მაქსიმუმს 2009-10 წლებში. ეს მნიშვნელოვანია, რადგან ზედმეტი ნაწილაკები იწვევენ ასტრონავტების ჯანმრთელობის გაუარესებას, პოლარული აერომიმოსვლის გაუარესებას,

დედამიწის ზედა ატმოსფეროს ელექტრო-ქიმიური შემადგენლობის ცვლილებას, რაც ელქეების ინტენსივობას ზრდის.

გეომაგნიტური ინდექსები

მზის აქტივობის შესაფასებლად შემოღებულია რამდენიმე მზის ინდექსი. ორი კლასიკური ინდექსი დაკავშირებულია მზის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებასთან: ვოლფის (მზის ლაქების) რიცხვი **WN** და რადიო ფლუქტუაციების სერია **F10.7**, რომელიც ყველაზე ხანგრძლივია მზის დაკვირვებებში. მზის ლაქების დღიური რიცხვი ხელმისაწვდომია 1850 წ-დან <ftp://ftp.ngdc.org>. წყაროზე. დეციმეტრული **F10.7** ინდექსი წარმოადგენს 10.7 სმ რადიოტალღის ფლუქტუაციის დღიურ გამოძვებს პენტინგტონის უნივერსიტეტში და ხელმისაწვდომია 1947 წლიდან (<ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>). ეს ინდექსი უკეთესად კორელირებს უკიდურეს ულტრაიისფერ რადიაციასთან, ვიდრე ვოლფის რიცხვი [Donnelly et al., 1983; Floyd et al., 2005; Dudok de Wit et al., 2009]. თუმცა ორივე ინდექსი ერთნაირი ინფორმაციის მატარებელია. უფრო თანამედროვე მონაცემი მზის ქარსა და საპლანეტათშორისო მაგნიტურ ველზე ხელმისაწვდომია მისამართზე: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>. ეს არის ველის მაგნიტუდა **|B|** და მზის პლაზმის სიჩქარე **v**. ამ პარამეტრების დღიური მონაცემი ხელმისაწვდომია 1965 წ-დან [190,191,197].

ინდექსების ზოგადი მსვლელობა

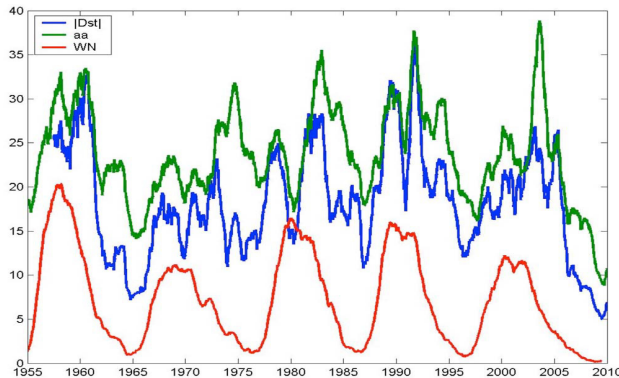
|B| and **B.v2** პარამეტრების საშუალებით დადგინდა, რომ მზის 20 ციკლი ანომალიური იყო. ყველა ინდექსს **aa**, **Ap**, **Dst**, **z** უმეტესად დროში ერთნაირი მსვლელობა აქვს, ეს მსგავსება წყვილებს შორის (**aa**, **Ap**), (**Dst**, **z**) იკარგება 1973-77 წლებში ანუ ციკლის შესუსტებისას. **Dst**, **z** უფრო გამოსახავს **|B|** ევოლუციას, ხოლო ასახავს **B.v2** ევოლუციას.

გეომაგნიტური ინდექსების ურთიერთობა

მზის ციკლურობა პირველად სამუელ ჰენრის შვაბემ აღმოაჩინა 1843 წ. მან 17 წლის დაკვირვებების შემდეგ შეამჩნია მზის ლაქების რაოდენობის პერიოდულობა. 1645-1715 წლებს შორის პერიოდი მზის მცირე რაოდენობის ლაქებით ცნობილია, როგორც მინიმუმი. მე-19 ს. მეორე ნახევარში რიჩარდ კარინგტონმა და სპიორერმა აღმოაჩინეს მოვლენა, რომ მზის ლაქები მზის სხვადასხვა განედზე ჩნდებოდნენ ციკლის სხვადასხვა დროს. მზის ციკლების ფიზიკური დასაბუთება გააკეთა გეორგ ჰელიმ, როცა 1908 წ. უჩვენა, რომ ლაქები ძლიერ დამაგნიტებელი იყო. ეს იყო პირველი შემთხვევა, როცა მაგნიტური ველი დაფიქსირდა დედამიწის გარეთა სივრცეში. 1919 წ. მან უჩვენა, რომ მზის ლაქების წყვილის მაგნიტური პოლარობა:

- ციკლის დროს მუდმივია;
- ურთიერთსაწინააღმდეგოა ეკვატორის კვეთაზე;
- ერთი ციკლიდან მეორეზე გადასვლისას რევერსს განიცდის.

ქვემოთ მოყვანილია გასაშუალოებული ინდექსების დროში ევოლუცია. ნახ-ზე ცხადად ჩანს შვებებს ციკლის დროითი ვარიაცია, რომელიც ციკლიდან ციკლზე მეორდება მეორადი, მესამედი მაქსიმუმებით და მცირე მეორადი მაქსიმუმით ორი ციკლის ტრანზიტის დროს.



ნახ 8.1.. გასაშუალოებული |Dst|, (ლურჯი), aa (მწვანე), ინდექსების და მზის აქტივობა WN/10 (წითელი) განვითარება.

Fig.8.1. Averaged Dst (blue), aa(green), Solar activity WN/10 (red)

1932წ. ბარტელმა აღმოაჩინა კორელაცია მზის ლაქებსა და გეომაგნიტურ ინდექსს შორის 1872-1930 წწ., რომელიც უტოლდებოდა 0.88. ასევე გამოთვლილია კორელაცია ინდექსების წყვილებს შორის და შესწავლილია მათი ევოლუცია მრავალწლიურ და მულტიდეკადურ მასშტაბში. კვლევის პერიოდი მოიცავდა 1955-2010 წწ. [218].

კლიმატის ცვლილება

სამთავრობათაშორისო პანელის Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013) ბოლო ანგარიშში ასახულია 1998 წ-დან კლიმატური სისტემის გადამეტებული შეფასება სათბურ გაზებზე კლიმატური მოდელის მიერ, ანუ ისინი პროგნოზირებენ მაღალ მოსალოდნელ ტემპერატურებს, ვიდრე იმას, რაც ფიქსირდება. ნახშირბადის დიოქსიდის გადამეტებული შეფასება იწვევს იმას, რომ მოდელის სიზუსტე 1950-97 წწ. პერიოდში, შეიძლება მოხდეს, თუ მოდელი სხვა ფაქტორების გავლენას უგულებელყოფს. ერთ-ერთი ასეთი უგულებელყოფილი ფაქტორი ღრუბლის საფარია. ღრუბლის საფარი აკონტროლებს დედამიწაზე მოსულ მზის რადიაციას დღისით და ღამით სითბოს კარგვას. ღრუბლის საფარის გავლენა ჯამურ რადიაციაზე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ტროპიკულ კონვექციაზე. ტროპიკული

კონვექციის ზონაში ღრუბლების გამო გაზრდილი ალბედოს გადაციების ეფექტი მცირდება არეკლილი გრძელტალღოვანი რადიაციის გამო [137].

ჰვეისაიდის ფენა

პირველად ოლივერ ჰვეისაიდმა ჩამოაყალიბა ჰიპოთეზა, რომ დედამიწის უკიდურესი ატმოსფერული შრის, ე.წ. იონოსფეროს ზოგიერთი ფენები სრულად იონიზირებულია, მან ასევე იწინასწარმეტყველა კენელი-ჰვეისაიდის ფენის არსებობა. 1947 წ. ედვარდ აპლეთონმა მიიღო ნობელის პრემია ფიზიკაში ამ ფენის არსებობის დამტკიცებისთვის. ეს ფენა მდებარეობს დაახლოებით 90-დან 150კმ-ს შორის და აირეკლავს საშუალო სიხშირის რადიოტალღებს. ეს ეფექტი გამოიყენება რადიოკავშირში გრძელ მანძილებზე, ტრანსკონტინენტალურ მანძილებზე. ამ გავრცელებაზე ძლიერად მოქმედებს დღე-ღამის ცვალეობა: დღის განმავლობაში მზის ქარი პრესავს დედამიწის ზედაპირისკენ, რითაც ზღუდავს პროპაგაციას. ღამით კი, პირიქით, გენოლა მცირდება და ეს ფენა განივრცობა, რაც ზრდის პროპაგაციის ზონას. ამ ფენისთვის ასევე მნიშვნელოვანია სეზონურობა და მზის ლაქების ციკლურობა.

ღრუბლის გლობალური საფარის თანმდევი ვარაიციები

ნარჩენი ტემპერატურული ანომალია არ თანხვდება ატმოსფეროში ნახშირბადის დიოქსიდის ცვლილებას, რომელიც წრფივად იზრდება 1958 წ-დან, როცა დაიწყო მისი მონიტორინგი და არც სტაბილიზდება 2000 წ-დან. შედეგი არც ემთხვევა სხვა სათბური გაზის ცვლილებას, მეთანის ჩათვლით. ნარჩენი ტემპერატურული ანომალია უკავშირდება ღრუბლის საფარის ორ ცვლილებას. პირველი არის სრული საფარის შემცირება, რომლის დროსაც მზის ნათების მკვეთრი მატებაა დედამიწაზე, კერძოდ ულტრაიისფერი რადიაციის შემოჭრა და მეორე: დაბალი დონის ღრუბლის საფარის შემცირება და საშუალო და ზედა ფენის საფარის ზრდა. ღრუბლის გლობალური საფარის მონაცემები ხელმისაწვდომია ISCCP International Satellite Cloud Climatology Project-დან მხოლოდ 1984-2009 პერიოდისთვის. ღრუბლის სრული საფარის შემცირების ანომალია 4.55%-ს შეადგენს, ხოლო გრძელვადიანი (1984-2009) პერიოდისთვის – 6.8%. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ღრუბლის საფარი, რომელიც რადიაციული და სითბური ბალანსისთვის უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია, აირეკლავს დაცემული რადიაციის 23%. 6.8%-იანი შემცირება ნიშნავს, რომ 5.4 Wm^{-2} აღარ აირეკლება, არამედ დარჩება ზედმეტი დატვირთვის სახით ატმოსფეროში.

შედარებისთვის, IPCC 5 ანგარიშის 8.5.2 ნაწილში ჩანერილია, რომ სრული ანთროპოგენული რადიაციული დატვირთვა 1750-2011-თვის შეადგენს $2.29 [1.13 - 3.33] \text{ Wm}^{-2}$ ყველა სათბური გაზისთვის და მხოლოდ ნახშირბადის დიოქსიდისთვის $1.68 [1.33 - 2.03] \text{ Wm}^{-2}$. ცხადია, რომ ღრუბლის საფარის

შემცირება 2-ჯერ მეტ რადიაციულ დატვირთვას იწვევს, ვიდრე ყველა სთბური აირი ერთად აღებული და 3-ჯერ მეტია ვიდრე ნახშირბადის დიოქსიდის გავლენა. Goode და Pallé [212] შეაფასეს დედამიწის ალბედო 1984-2000 პერიოდში და დაადგინეს, რომ ალბედოს შემცირებამ გამოიწვია დამატებითი 6.8 Wm^{-2} მიკროტალღოვანი დატვირთვა.

ღრუბლის საფარის ცვლილების მეორე ფორმა არის ღრუბლის სიმაღლე. ღრუბლის გაზრდილი სიმაღლე უკავშირდება ღრუბლის გამჭვირვალობას და მასში რადიაციული სითბოს გავლას. ცის გლობალური დაფარვის პროცენტული მაჩვენებლები დაბალი, საშუალო და მაღალი გავრცობის ღრუბლებისთვის შესაბამისად არის 27.3, 20.6 და 13.1. დაბალი გავრცობის ღრუბლების შემცირება -15%; საშუალოსი-10%.

ატმოსფერული ელექტრობა

იონების არსებობა ატმოსფეროში არის უმთავრესი პირობა ატმოსფერული ელექტრობის წარმოქმნისთვის. მათი გაქრობა ნიშნავს 0-ოვან ელექტრული ველს და, შესაბამისად, არანაირ ელქექს და ელვას. პირველად ჯ.ელსტერმა და ჰ.გეითელმა (1899) შემოიტანეს დადებითი და უარყოფითი იონების, როგორც მუხტის მატარებლების, კონცეფცია ჰაერის ელექტროგამტარობის ასახსნელად. მას შემდეგ მრავალი კვლევა ჩატარდა ატმოსფერული ელექტრობის მოვლენის შესახებ. დღეისათვის ცნობილია, რომ ძირითადად 3 ტიპის იონები არსებობს: მცირე იონები, საშუალო და დიდი იონები. ყველაზე მნიშვნელოვანი მცირე იონებია მათი დიდი მობილობის გამო, რაც საშუალებას აძლევს, ატმოსფეროში აქტიურად გადაიტანონ მუხტი. მობილობის განზომილება მ/წმ/volt /მ, რაც ნიშნავს იონის სიჩქარეს, რომელსაც იგი მიაღწევს, თუ მასზე იმოქმედებს 1 ვოლტის ძაბვის ელექტრული ველი 1 წამში. მცირე იონებისთვის მობილობა 0.0001 რიგისაა. ნეგატიურიდან პოზიტიურზე მობილობის შეფარდება მცირე იონებისთვის დაახლოებით 1.25-ია რაც პარადოქსია, რადგან ნეგატიური იონები უფრო მასიურია ვიდრე პოზიტიური. ეს პარადოქსი უკავშირდება იონების სტრუქტურას და მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობას [144,145].

ატმოსფეროს დაბალ ფენებში იონიზაცია გამოწვეულია ძირითადად კოსმოსური სხივების და ბუნებრივი რადიოაქტიუბის გამო. იონები ასევე წარმოიქმნება ელქექურ ღრუბლებში ან მათ სიახლოვეს. კოსმოსური სხივები წარმოიქმნება მზის ალების და გალაქტიკის სხვა ობიექტებიდან, როგორებიცაა ზეახალი და აფეთქებადი ვარსკვლავები. კოსმოსური სხივები ასევე კვებავს ელქექებს იონებით. ღრმა კოსმოსში წარმოქმნილი კოსმოსური სხივები ჩვეულებრივ შედგება ძალიან მაღალი სიჩქარის ნაწილაკებისგან. კოსმოსში არსებობს ელექტრონები, რომლებიც მოძრაობენ სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით, მაგრამ ასეთი ნაწილაკები ატმოსფეროს ზედა ფენებში შთაინთქმება. მძიმე კოსმოსური ნაწილაკები შემოიჭრებიან ატმოსფე-

როში და ხშირად დედამიწის ზედაპირამდე აღწევენ. ასეთი შემოჭრების დროს უამრავი მეორადი ელექტრონი წარმოიქმნება (ე.წ. ელექტრონების წვიმა), მთელი ტრეკის გასწვრივ ატმოსფეროს მოლეკულებთან მაიონიზირებელი დაჯახებით. მეორად ელექტრონებს შეუძლია თავის მხრივ სხვა მოლეკულების იონიზაცია, სანამ არ შენელებიან და არ ჩაიჭირება ატმოსფეროს მოლეკულის მიერ, რაც წარმოქმნის ნეგატიურ იონს. შედეგად კი ვლდებულობით მღრღლ იონურ წყვილს წარმოქმნილს ერთი კოსმოსური ნაწილაკისგან. ზღვის ზედაპირის სამაღლეზე იონების წარმოქმნის საშუალო სიჩქარე დაახლოებით 10 მლნ./მ³ მწ.-ში [154,155].

ნალექების ელექტრობას მნიშვნელოვანი როლი აქვს ატმოსფეროს შესწავლაში. ღრუბლის ფუძის და მიწისპირა მუხტი განსაზღვრავს წვეთის მუხტს, რომელიც ყოველთვის ღრუბლის ფუძის სანინააღმდეგო ნიშნისაა. ამ მოვლენას სარკული გამოსახულების ეფექტი ეწოდება: როდესაც ღრუბლის ფუძე უარყოფითადაა დამუხტული, ნალექის ნაკადი დადებითი ხდება და პირიქით. წვეთს სჭირდება რამდენიმე წუთი, სანამ დედამიწაზე დაეცემა და ამ დროის განმავლობაში ის ასწრებს მუხტის შეცვლას საბოლოო ნიშნამდე ღრუბლის ქვევით ან მიწისპირთან ახლოს. თოვლის მიერ გადატანილი მუხტი ყოველთვის უარყოფითია, ხოლო დაძაბულობის გრადიენტი მერყეობს ± 800 V/m (Chalmers 1956). სრული ნალექის მუხტი დედამიწაზე დაახლოებით უტოლდება +340 ამპერს.

ელჭექის მუხტი

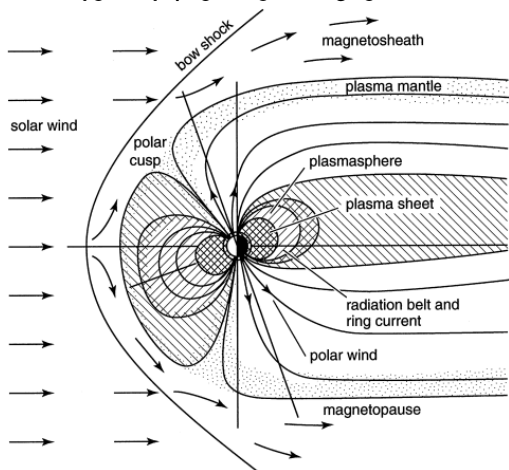
ელჭექის მიერ დედამიწის ზედაპირზე გადატანილი მუხტი საშუალოდ – 340 ამპერის ტოლია, რაც აქრობს ნალექების მუხტს. უნდა გვახსოვდეს, რომ - 340ა. საშუალო ამპერი წარმოადგენს ნეგატიური მუხტის ნარჩენს განეიტრალებული დადებითიდან და ნეგატიურის ფარდობა დადებითთან 10:1-აა. ნეგატიური ელჭექის მუხტი 25000 ამპერია, ხოლო სრული მუხტი – მხოლოდ 25 კულონი. დადებითი ელჭექის მუხტი 10-ჯერ უფრო ძლიერია.

ელექტრული ბალანსი

დედამიწა-იონოსფეროს სისტემის მუხტის ელჭექებით წარმოქმნის კონცეფცია პირველად ვილსონმა წამოაყენა 1920 წ. ელექტრული ველის ძალწირები ღრუბლის წვეროდან ატმოსფეროს ზედა გამტარ ფენებამდე (50კმ და მეტი) ვრცელდება და გადააქვს მუტი. იმავენაირად გადადის დადებითი მუხტი დედამიწის ზედაპირზე, უარყოფითი კი ძირითადად ელვის და წერტილოვანი განმუხტვების საშუალებით გადადის.

საინტერესოა, თუ როგორ მომედებს ადამიანებზე და ტექნოლოგიურ სისტემებზე ატმოსფეროს ელექტრობა. ცხადია, რომ თანამედროვე ტექნოლოგიები ძლიერადაა დამოკიდებული ატმოსფეროში ან კოსმოსში მიმდინარე ელექტრულ პროცესებზე. ცნობილია, რომ 60 კმ-ს ქვემოთ მუხტის

ძირითადი გადამტანები მცირე იონები არიან, რომლებსაც ძირითადად კოსმოსური სხივები წარმოქმნიან, ხოლო 60 კმ-ს ზემოთ თავისუფალი ელექტრონები არიან ძირითადად მუხტის გადამტანები. დაახლოებით 80 კმ-ზე გამტარობა ანიზოტროპული ხდება გეომაგნიტური ველის ზეგავლენით და მზის ფოტოიონიზაციის გამო ხდება დღიური ვარიაციები.



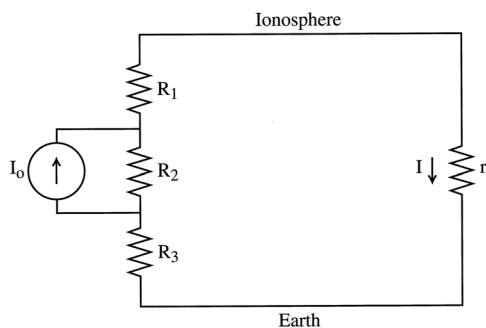
ნახ. 8.2. დედამიწა მისი გარემომცველი ატმოსფერო, ვან-ალენის რადიაციული ღვედები და მაგნიტოსფერო, დეფორმირებული მზის ქარის გავლენის გამო (Davies, 1990).

Fig.8.2. Earth atmosphere, Van-Allen radiation belt and magnetosphere deformed from solar wind

ორ საუკუნეზე მეტია, ცნობილია, რომ მყარი და თხევადი დედამიწა და მისი ატმოსფერო პერმანენტულად დაელექტროებულია. ზედაპირს აქვს უარყოფითი მუხტი, ხოლო ზედაპირის ზემოთ ატმოსფეროს – დადებითი. ატმოსფეროს სრული ველი 100-300 V/m, არსებობს ველის დღეღამური, სეზონური და სხვა დროითი ვარიაციები, გამონვეული მრავალი ფაქტორით. ატმოსფეროს ფინიტური გამტარობა იზრდება სიმაღლესთან ერთად კოსმოსური სხივების იონიზაციის გამო. პოტენციალთა სხვაობა წამოქმნის რამდენიმე ათასი ვოლტიანი ძაბვის ქვემოთ მიმართულ გამტარობის დენს. გამტარობის დენი იცვლება იონოსფეროს პოტენციალთა სხვაობისა და კულონის წინააღობის გამო იონოსფერო-ზედაპირს შორის. ნებისმიერ ადგილზე წარმოქმნილი ჰორიზონტალური დენები თავისუფლად გადაადგილდებიან ზედაპირსა და იონოსფეროს შორის. დენები მიმართულია ზევით და წარმოქმნილი ელჭეჭური ღრუბლის წვეროდან იონოსფეროსკენ და ასევე ზედაპირიდან ღრუბლისაკენ ვეტავენ წრედს. სრული გლობალური წრედი 100 A რიგისაა. ელჭეჭური ღრუბლიდან წარმოქმნილი ზევით მიმართული დენები 0.1-დან 6 A-მდე რანგისაა, ხოლო ყოველ ელჭეჭურ უჭრედზე დაახლოებით 0.5-1A-ის დენი წარმოიქმნება საშუალოდ (Blakeslee et al., 1989). მაღალ განედებზე ჰაერის

გამტარობა იზრდება იონიზებული რადიაციის (>1 GeV იონები) ან რელატივისტური დამუხტული ნაწილაკების შემოჭრის გამო მაგნიტოსფეროში (>1 GeV იონები და 1 MeV ელექტრონები) [158,159,197].

ძალიან ცოტა მათემატიკური მოდელია შექმნილი გლობალურ ატმოსფერულ ელექტრობაზე (Kasemir, 1963,1977; Hill, 1971; Hays and Roble, 1979; Volland, 1982; Ogawa, 1985), რადგან ძალიან რთულია გამოძვების ჩატარება გლობალურ წრედზე. ყველაზე ხელსაყრელი სეტყვა-ელქეჭური ღრუბლებია, როგორც გლობალური მოდელის გამარტივებული შემთხვევა. ჩვეულებრივ, ჩათვლილია, რომ ღრუბელი წარმოადგენს დიპოლს, წვეროზე დადებითი, ხოლო ფუძეზე უარყოფითი მუხტით. ტაშიო ოგავამ (1985) შეიმუშავა გამარტივებული ექვივალენტური სქემა ატმოსფეროსთვის. მის მოდელში R_1 წარმოადგენს დამუხტვის წინააღობას, R_2 – წინააღობა, რომელიც გააჩნია ღრუბელს წვეროსა და ფუძეს შორის, როცა არსებობს 100 MV პოტენციალთა სხვაობა, R_3 – ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის წინააღობა, სამივეს ჯამი მცირედ აღემატება სრული ატმოსფეროს წინააღობას.



ნახ. 8.3. გლობალური ელექტრული წრედის გამარტივებული სქემა, სადაც მოცემულია ელქეჭით გენერირებული დენი I_0 და სრული ატმოსფეროს დენი I . (Ogawa, 1985).

Fig.8.3. Simplified schem of global electric circuit, generated current I_0 and full atmosphere current I

მზის და კოსმოსის გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე

მზის ციკლების გავლენა

მზე გადის 22-წლიან ციკლს, რომლის დროსაც მისი მაგნიტური პოლუსი შეტრიალდება მზის ლაქების აქტივობის სიხშირის მიხედვით. ეს მოიცავს 11-წლიან ციკლურ ფაზებს. პირველ ფაზაზე მაგნიტური პოლუსები პოლარობას შეცვლიან (რევერსი). მეორე ფაზის დროს მაგნიტური პოლარობა უბრუნდება პირვანდელს. მზის შტორმული აქტივობა მკაცრად დამოკიდებულია ამ ფაზებზე.

მზის ლაქები ადგილებია, სადაც შტორმების უმეტესობა წარმოიქმნება. მზე ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო, დაახლოებით 27-დღიანი პერიოდით და

მზის ლაქების უმეტესობა აქტიური რჩება რამდენიმე ბრუნვის განმავლობაში და წარმოქმნის ცილურ 27-დღიან მზის შტორმს.

მზის ალები მზის ზედაპირზე მიმდინარე ამოფრქვევებია. ამოფრქვევიდან დაახლოებით 8 წთ-ის შემდეგ ელექტრომაგნიტური მძლავრი რადიაცია გამასხივების, უკიდურესი ულტრაიისფერი, რენტგენის სხივების და რადიოტალღების სახით აღწევს დედამიწაზე. ულტრაიისფერი ტალღები ათობოვენ ატმოსფეროს ზედა ფენებს. რენტგენის სხივები ამოყრიან ელექტრონებს ატომებიდან და ქმნიან დიდი რაოდენობით ელექტრონების ღრუბელს დამატებით რადიაციულ სარტყლებზე. მზის ალები ახშობენ თანამგზავრულ კავშირს, რადარულ კავშირს, ახშობენ მოკლევალდურ რადიოკავშირს, ხშირად ინვევენ თანამგზავრის ორბიტის პარამეტრების ცვლილებას და სხვა შემფოთებებს.

CME არის მალაღენერგეტიკული აირის ღრუბელი, დაბალი ან საშუალო ენერჯიების ნაწილაკების პლაზმა, გარშემორტყმული მაგნიტური ველით. როცა ის ეჭახება დედამიწას, ეს ველი და პლაზმა შეიჭრება დედამიწის მაგნიტურ ველში, რაც ქმნის დროებით შემფოთებას დედამიწის მაგნიტოსფეროში – მაგნიტური შტორმსა და დენების ეკვატორულ დინებებს, სხვადასხვა გრადიენტებს და ინვევს დამუხტული ნაწილაკების გადახრას დედამიწის მახლობლობაში. მათი წარმოქმნის ადგილი ხშირად მზის ალების სიახლოვესაა [155,177].

გეომაგნიტური შტორმების სიძლიერე დამოკიდებულია დედამიწის მაგნიტური ველის ორიენტაციაზე მზის ველთან დაკავშირებით. თუ სამხრეთ მიმართულია, მაშინ ძლიერია, თუ ჩრდილოეთ მიმართული – სუსტი.

მზის კორონალურ ამოფრქვევებს CME შეუძლიათ შემდეგი გავლენის მოხდენა: საფრენი აპარატების ელექტრობის შეცვლა, ვან-ალენის რადიაციული სარტყლის წანაცვლება, ყველა სახის კავშირგაბმულობის დარღვევა, კოსმოსური ფრენების პარამეტრების ცვლილება, გაზ და ნავთობსადენების კოროზია, კომუნიკაციების სისტემის მოშლა და აღჭურვილობის დაზიანება, ელექტრული განმუხტვების საშიშროება, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამწვავება, ენერგოსისტემის წყვეტა და სხვ. ეს მოვლენა 1-3 დღე გრძელდება და ვრცელდება მთელ მაგნიტოსფერულ რეგიონზე და ინვევს მაგნიტური ველის მკვეთრ შემცირებას. მაგნიტოსფეროს ქარიშხალი 1-დან 3-დღიანი მოვლენაა და ამ დროს მაგნიტური ველის მკვეთრი შემცირებაა. ქარიშხლისა და ქვექარიშხლების დროს იონოსფეროს მნიშვნელოვანი ჯოული სითბოს რაოდენობა გადაეცემა ენერგეტიკულ ნაწილაკთა მძლავრი ენერჯიით. დიდი ენერჯია ზრდის იონოსფეროს ტემპერატურას, ინვევს ფართომასშტაბიანი იონების დრეიფს და ნეიტრალურ ქარებს [214].

მზე განუწყვეტლივ ასხივებს დედამიწას და მის სპექტრულ სიმკვრივეში მნიშვნელოვანი ცვლილებებია. დაცემული რადიაცია განუწყვეტლივ იცვლება მაგნიტოსფეროში, თერმოსფეროსა და იონოსფეროში მიმდინარე მოვლენების გამო. მზის კვაზი-მდგრადი ნაკადებიც ასევე იცვლება მზის ამოფრქვევების გამო, რომლებიც აჩქარებენ დამუხტულ ნაწილაკებს და ინვევენ გეომაგნიტურ

შტორმებს, თანმდევნი ზემოქმედებით დედამიწაზე დიდი რაოდენობით დაცემული ენერგეტიკული ნაწილაკების საშუალებით.

მზის მოვლენები: მზის ალები, მასიური კორონალური ამოფრქვევები (CMEs), მზის ენერგეტიკული ნაწილები (SEPs) ფართომასშტაბიანი ამინდის წარმოქმნელებია გეოსივრცეში. როდესაც პლანეტური გიგანტური ღრუბელი იფრქვევა მზის ტრანზიტული მოვლენებიდან, ის ურთიერთქმედებს დედამიწის მაგნიტურ გარემოსთან. გეომაგნიტური შტორმები (Geomagnetic storms) შეიძლება დახასიათდეს გეომაგნიტური სფეროს H კომპონენტის დეპრესიით. დედამიწის მაგნიტური ველის H კომპონენტის ეს დეპრესია გამოწვეულია წრიული დენებით, რომელიც გარს უვლის დედამიწას დასავლეთის მიმართულებით. დედამიწის იონოსფერო პასუხობს მზისა და მაგნიტოსფეროს ამ მოვლენებს. იონოსფეროს ელექტრონების სიმკვრივის პიკები და მდებარეობა დამოკიდებულია მზის ულტრაიისფერი ნაკადის, რენტგენის სხივების ნაკადის და ნეიტრალური ქარების და ელექტრული ველის დინამიური ეფექტის ცვალებადობაზე. გეომაგნიტური შტორმის დროს, დედამიწის მაგნიტოსფეროს დაწნევის გამო მზის ქართ ელექტრული ველები წარმოიქმნება გეომაგნიტური ველის ძალისხერხების მთელი სიგრძის გასწვრივ იონოსფეროში. ზოგჯერ ეს ელექტრული ველი და მაღალი ენერჯის მქონე დამუხტული ნაწილაკები თერმოსფეროს ქვედა განედებზე აღწევენ, ზრდიან იონოსფეროს გამტარებლობას და წარმოქმნიან ავრორას (ციალის) ზონებს. ეს ინტენსიური ელექტრული დენები განაპირობებს მაღალი განედების იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროს შეკავშირებას და აძლიერებს მისთვის ენერჯის მიწოდებას, რაც მნიშვნელოვანად ათბობს იონიზებულ და ნეიტრალურ აირებს. დროის მასშტაბით, არსებობს ორი ტიპის ეფექტი, რომელსაც წარმოქმნის დედამიწაზე მზის ტრანზიენტები: **სწრაფი და დაგვიანებული**. გეომაგნიტური შტორმული ეფექტები დაგვიანებულია მზიდან ამოტყორცნილი ნაწილაკების გავლენის გამო.

დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ენერგეტიკული ნაწილაკი გავლენას ახდენს ტალღის გავრცელებაზე, ზონალურ ტემპერატურასა და **ზონალურ ქარებზე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ზამთრის პერიოდში**. თუმცა ის მექანიზმი, რომლითაც ეს ცვლილებები ხდება, ჯერ კიდევ უცნობია. დედამიწის ატმოსფეროში მომხდარი ცვლილებები გამოწვეულია მზის ცვლილებების ან გაზრდილი ანთროპოგენური აქტივობისა და გაზრდილი სათბურის გაზების (GHG) კონცენტრაციის ცვლილების გამო, შედეგად კი დედამიწის ატმოსფეროს ენერგეტიკული ბალანსი იცვლება და ეს გავლენას ახდენს მის დინამიკაზე. ცვლილებები შეიძლება მოხდეს ატმოსფერული გრავიტაციული ტალღების, პლანეტარული ტალღების პროპაგაციაში, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს შუა ატმოსფეროში ზოგად ცირკულაციაში. თერმოსფერო-იონოსფეროს სისტემის მექანიზმი მზის ციკლისა და გეომაგნიტური აქტივობის გამო არსებითად განსხვავდება სიმაღლის, გრძედის, უნივერსალური დროის, სეზონის მიხედვით, რაც შედეგად იძლევა კოსმოსურ ამინდს. პირველადი მართვის მექანიზმი მზის

რადიაცია (EUV და UV), მაგრამ ასევე იონოსფერო-თერმოსფეროს სისტემაზე მნიშვნელოვანია მაგნიტოსფერული ნაწილაკებისა და მაგნიტოსფეროს ელექტრულ ველზე გავლენა. მამოძრავებელი პროცესები განსაზღვრავს ზედა ატმოსფეროს იონიზებული და ნეიტრალური შემადგენლობის სიმჭიდროვეს, შემადგენლობასა და ტემპერატურას [215].

მზის ქარი ქმნის პირობებს, რომლებიც ხელსაყრელია გეომაგნიტური ქარიშხლების წარმოქმნისთვის (რამდენიმე საათის), მაღალი სიჩქარის მზის ქარის დროს, და, რაც მთავარია, სამხრეთისკენ მიმართული მზის ქარის მაგნიტური ველი (დედამიწის საპირისპირო მიმართულებით), მაგნიტოსფეროში ეს მდგომარეობა ეფექტურია მზის ქარიდან დედამიწის მაგნიტოსფეროში ენერჯის გადაცემისათვის.

ამ პირობებიდან გამომდინარე ყველაზე დიდი წვიმები დაკავშირებულია მზის კორონალური მასის ამოფრქვევასთან (CMEs), როცა მზისგან მილიარდი ტონა პლაზმა, მისი თანმხლები მაგნიტური ველით დედამიწაზე ჩამოდის. CMEs, როგორც წესი, რამდენიმე დღის განმავლობაში ჩამოდის დედამიწაზე, მაგრამ შეინიშნება ზოგიერთი ყველაზე ინტენსიური ამოფრქვევის ჩამოსვლა მცირე, დაახლოებით 18 საათის განმავლობაში. კიდევ ერთი მზის ქარის ზემოქმედება, რომელიც ქმნის პირობებს გეომაგნიტური შტორმის წარმოქმნისთვის, არის მაღალსიჩქარიანი მზის ქარის ნაკადი (HSS). HSS-ის ნაკადი შეერევა მზის ქარის შედარებით ნელ ნაკადს მისი მიმართულებით და ქმნის თანაბარი მბრუნავი ურთიერთქმედების რეგიონებს ან CIRs-ს. ეს რეგიონები ხშირად დაკავშირებულია გეომაგნიტურ ქარიშხლებთან, უფრო მცირე ინტენსიურობის, ვიდრე CME ქარიშხალი, მაგრამ მაინც შეუძლია უფრო მეტი ენერჯის დეპონირება დედამიწის მაგნიტოსფეროში დიდი ხნის განმავლობაში.

მნიშვნელოვანია ატმოსფეროში მეტეოროლოგიური პროცესების ევოლუციის ხასიათზე მაგნიტური ქარიშხლების შესაძლო გავლენის დადგენა, რათა შევისწავლოთ მაგნიტოსფეროს შემფოთებებისა და მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვლილებებს შორის კორელაცია [214,215]. მზე, დედამიწის მოძრაობასთან ერთად ორბიტაზე, დედამიწის გეოგარემოში სხვადასხვა დროითი მასშტაბის ცვლილებებს იწვევს, წლის მასშტაბით დაწყებული მცინვარების ციკლის დროითი მასშტაბით დამთავრებული. დედამიწის კლიმატის ცვლილების ბოლოდროინდელ კვლევებში განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ტროპოსფეროში (10-15 კმ სიმაღლეზე), შუა ატმოსფეროსა (10-100 კმ) და დედამიწის გეოსფეროში (მეზოსფერო, თერმოსფერო, იონოსფერო და მაგნიტოსფერო) და მზის აქტივობის ქმედების შესწავლას.

აღმოჩნდა, რომ გეოაქტივობის გაზრდამ გამოიწვია ჩრდილოეთით ჰემისფეროსა და შუა ატმოსფერული ცირკულაციის ზონალურ ზონის გააქტიურება (Bucha, 1988, 1991). ასევე აღინიშნა, რომ მოკლევადიანი და გრძელვადიანი ცვლილებები მზის აქტივობებში, გეომაგნიტური ველისა და ამინდის

მონაცემებში აჩვენებს ძალიან მსგავს პერიოდულ ვარიაციებს. ასევე მაგნიტური ველის დასაკვირვებლად მსოფლიო მაგნიტური ველის (WMM) მონაცემები გამოიყენება. მეტეოროლოგიური მონაცემები მოგვანოდა გარემოს ეროვნულ-მა სააგენტომ: nea.gov.ge. შექმნილი მონაცემთა ბაზა იძლევა კორელაციის ანალიზის ჩატარების საშუალებას და გამოავლენს მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის დამოკიდებულებას გეო-შტორმებზე. შედეგების ამინდის პროგნოზირების მოდელირებაში გათვალისწინება აუცილებელია, რაც ხელს შეუწყობს რეგიონალური ამინდის პროგნოზირების სისტემას, უფრო ზუსტი პროგნოზის შექმნას. პროექტი ასევე ფოკუსირებულია ამინდის ჰიდრო-თერმოდინამიკისა და მაგნიტოჰიდროდინამიკის გაერთიანებაზე, რისთვისაც ახალი მიდგომების შექმნა განიხილება.

Kp ინდექსი 1900 წლიდან მუდმივად გამოითვლება პოტსდამის GFZ- ის მიერ და ხელმისაწვდომია ვებ-გვერდზე www.gfz.potsdam.de. Kp ინდექსი ალბათ ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ყველა მაგნიტური მაჩვენებლით. იგი განკუთვნილია “geomagnetic activity”, ანუ მთელ დედამიწაზე შემფოთების ხარისხის საჩვენებლად, გამოითვლება სამი საათის ინტერვალებით უნივერსალურ დროში. Kp ინდექსები შემდეგ კონვერტირებულია კვაზი-ლოგარითმული მასშტაბიდან უხეშად ხაზოვან მასშტაბზე (nT), რითაც მიიღება ე.წ. 3-T AP ინდექსი. საბოლოოდ, ინდექსი Ap განისაზღვრება, როგორც საშუალოდ რვა 3-საათიანი ინდექსი.

გეოშტორმის შემფოთების დრო, (DST) ინდექსი, ისტორიულად გამოყენებულია გეომაგნიტური ქარიშხლის ზომის შეფასებისთვის. გეომაგნიტური ქარიშხლის ინტენსივობა საყოველთაოდ განისაზღვრება მინიმალური DST სიდიდით ან მაქსიმალური DST ბალანსით. მაგნიტური ველის დათრგუნვა ძირითადი ფაზის დროს იწვევს მაგნიტოსფეროში წრიული დენების წარმოქმნას. DST ინდექსი ქვემოთ ~ 50 nT მიუთითებს ზომიერ შემფოთებაზე, რომელსაც ინტენსიურად ინახავს ~ 100 nT ბარიერი (Gonzalez et al. 1994) და ზეინტენსიური ან უკიდურესი თუ DST აღწევს ~ 250 nT (Echer et al 2008). DST ინდექსი, რომელიც დედამიწის გარშემო არსებული ბირთვის (Dessler & Parker 1959, Sokopke 1966) გაზომვის სახითაა ცნობილი.

ქვედა ტროპოსფერო და სტრატოსფერო ცნობილია, რომ მზის რადიაციის ცვლილებებისადაში მგრძობიარეა. ქვედა ტროპოსფერო მზის ხილული რადიაციის აბსორბციის გამო თბება, ხოლო სტრატოსფეროს გათბობა გამოწვეულია ოზონის ულტრაიისფერი გამოსხივებისგან. მზის სპექტრული შემფოთების ვარიაციები გავლენას ახდენს ოზონის წარმოქმნასა და გაქრობაზე. კვლევებმა აჩვენა, რომ სპექტრულმა ცვლილებებმა შეიძლება გამოიწვიოს ოზონის გაზრდა ან შემცირება ატმოსფეროში. ოზონის წარმოქმნა სტრატოსფეროში იზრდება მზის მაქსიმალურ განმავლობაში და მცირდება მზის მინიმუმამდე (Rind et al 2008). 11-წლიანი ციკლის დროს მზის აბსორბციის ვარიაცია

დაახლოებით 0.1% შეადგენს. ულტრაიისფერი ტალღის სიგრძის (200-250 ნმ) მზის რადიაციის ვარიაციები მნიშვნელოვნად აღემატება 4,5%-დან, მზის მინიმალურიდან და მზის მაქსიმუმს.

მზე-დედამიწის გარემოში პარამეტრებია, რომლებიც რეგულარულად იცვლება; ეს ცვლადებია Kp, პროტონული ნაკადი და E- ნაკადები. ისინი დედამიწის მთელ გარემოზე ახდენს გავლენას, მათ შორის ოზონის ფენების განადგურებასა და კლიმატის ცვლილებაზე.

მზის ქარის მერყეობიდან გამომდინარე მეტეოროლოგიური მოვლენები ამჟამად ამინდსა და კლიმატურ მოდელურებში ცუდად არის წარმოდგენილი. მართლაც, მზის როლი კლიმატის სისტემაში ერთ-ერთი ყველაზე ამოუცნობია. საერთაშორისო სავალუტო ფონდის დახმარებით დაიწყო ამინდის სივრცითი ვარიაციის დაკავშირების კვლევა მზის აქტივობასთან, რაც არ ყოფილა შესწავლილი მთელ მსოფლიოში.

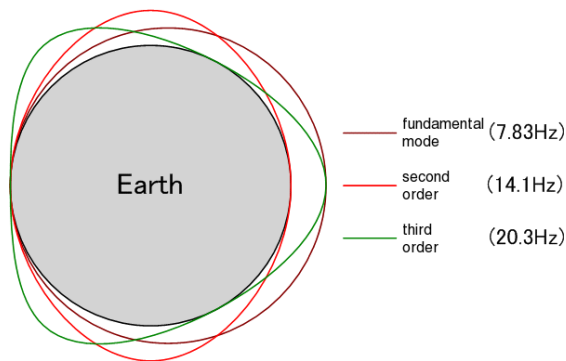
განედური ეფექტები

მზის გავლენა გეომაგნიტურ ველზე იცვლება პოლარულ რეგიონებსა და საშუალო განედებს შორის. მზის გაზრდილი აქტივობა ამცირებს გალაქტიკურ კოსმოსურ სხივებს საშუალო განედებზე, რითაც მცირდება ატმოსფეროს გამტარობა ამ რეგიონებში, ამავე დროს მზის პროტონული ნაკადები შეიძლება ჩაიჭიროს დედამიწის მაგნიტურმა ველმა და გადაიტანოს პოლარულ რეგიონებში (გვირაბული ეფექტი), ამის შედეგად კი გაიზრდება ატმოსფერული გამტარობა პოლუსებთან. მზის ქარისა და გეომაგნიტური ველის ურთიერთ-ქმედებით წარმოქმნილ პოტენციალთა სხვაობამ შეიძლება გადააჭარბოს 100 kV, მზის აქტივობის დროს.

შუმანის რეზონანსი

გლობალური ელექტრომაგნიტური რეზონანსული მოვლენა 1952 წ. მათე-მატიკურად იწინასწარმეტყველა ვინფრიდ ოტო შუმანმა. შუმანის რეზონანსი ხდება დედამიწის ზედაპირსა და გამტარ იონოსფეროს შორის სივრცეში, რომელიც ტალღის გამტარივით მოქმედებს. ის ვლინდება დაბალ სიხშირეებზე, სიხშირეებია – 7.83 Hz (ბაბური), 14.3, 20.8, 27.3 და 33.8 Hz. შუმანის რეზონანსი წარმოიქმნება ელქეფების ელექტრომაგნიტური რადიაციისგან, რომელიც მოხვდა დედამიწა-იონოსფეროს ტალღურ კვეთში (ტალღის გამტარში). ძალიან დაბალ სიხშირეებზე, რადიოტალღების მცირე მილევისას, ისინი რამდენიმეჯერ ასწრებენ გავრცელებას დედამიწის გარშემო, სანამ დაიშლებიან. ინტერფერენციის შედეგად წარმოიქმნება მდგარი რეზონანსული ტალღები 8; 14; 20; 26; : : : Hz სიხშირეებზე, ხოლო 8 Hz მდგომარეობა წარმოადგენს ტალღას, რომლის სიგრძე დედამიწის გარშემოწერილობის

ტოლია (40000კმ). ბაზური სიხშირე წარმოადგენს მდგარ ტალღას, რომლის სიგრძეც დედამიწის გარშემოწერილობის ტოლია. უდაბლეს სიხშირულ მდგომარეობას უდიდესი ინტენსივობა აქვს. ყველა მდგომარეობის სიხშირეები იცვლება მზით გამოწვეული შეშფოთებები გამო. უდიდესია რეზონანსი მნათ მოვლენებთან, როგორცაა სპრაიტები, ელვები და ჯეტები (transient luminous events—sprites, ELVES, jets) და ზედა ატმოსფერულ განმუხტვებთან. ასევე შუმანის რეზონანსი ხანმოკლე მიწისძვრების პროგნოზს უკავშირდება. მის მიმართ ინტერესი გაიზარდა 1993 წელს, როდესაც დადგინდა კორელაცია რეზონანსულ სიხშირეებსა და ტროპიკული ჰაერის ტემპერატურას შორის, საიდანაც დადგინდა, რომ შუმანის რეზონანსი შეიძლება გლობალური დათბობის მონიტორინგისთვის გამოვიყენოთ.



ნახ.8.4. შუმანის რეზონანსის გრაფიკული წარმოდგენა
 Fig.8.4. Graphical representation of Shuman resonance

კლიმატის ცვლილება და გლობალური ელექტრული წრედი

გლობალური ელექტროწრედი გახდა დედამიწის კლიმატისა და კლიმატის ცვლილების შესწავლაში მნიშვნელოვანი ატრიბუტი. დაკვირვებებით დგინდება, რომ კლიმატის ცვლილების შედეგად განმუხტვების რაოდენობა და ინტენსივობა გაიზარდა. 1992 წ. დაადგინეს, რომ არსებობს კავშირი ტროპიკულ ტემპერატურასა და შუმანის რეზონანსის ვარიაციებს შორის, ასევე 1993 წ. ჩატარდა კვლევა, რომლის მიხედვითაც, დღის საშუალო ზედაპირული ტემპერატურა და გლობალური ელექტრული წრედის დღიური ცვალებადობა (კარნეგის მრუდი) ერთმანეთთან კარგ თანხვედრაშია. 1999 წ. ჩატარდა კვლევა, რომელმაც დაადგინა, რომ იონოსფეროს პოტენციალს აქვს დადებითი კორელაცია გლობალურ და ტროპიკულ ტემპერატურებს შორის. ასევე, თანამგზავრებიდან ელჭეჭების აქტივობის მონაცემები კარგად თანხვედება გლობალურ ტემპერატურას. ასევე, განმუხტვებთან კარგი თანხვედრა აქვს ატმოსფერულ წყლის ოროქლს.

გეოშტორმი და იონოსფერო-ატმოსფეროს დაწყვილება

დედამიწის მაგნიტური ველი

დედამიწის მაგნიტური ველი, ანუ მაგნიტოსფერო, პლანეტის ბირთვიდან კოსმოსამდეა გაჭიმული, სადაც ის ეჭახება მზის ქარს, მზისგან გამოსხივებული დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს. უმეტესწილად, მაგნიტოსფერო ფარის როლს ასრულებს დედამიწის დასაცავად ამ ენერგიის მზის ნაწილაკებისგან.

როდესაც ეს ველი ხვდება მზის მაგნიტურ ველს – პროცესს სახელწოდებით "მაგნიტური ხელახლა შეერთება" – მზიდან მძლავრი ელექტრული დინებები დედამიწის ატმოსფეროში შეიძლება შემოვიდეს, გეომაგნიტური ქარიშხლები და კოსმოსური ამინდის მოვლენები, რომლებმაც შეიძლება გავლენა მოახდინონ საფრენ აპარატებზე, და ასევე სხვა აპარატებზე, რომლებისთვისაც მაგნიტური ველი მნიშვნელოვანია.

MIT-ისა და NASA-ს მეცნიერებმა დაადგინეს დედამიწის მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესი, რომელიც აძლიერებს მის დამცავ ეფექტს და მზის ენერგიას აკავებს დისტანციაზე.

მიწიდან და კოსმოსიდან დაკვირვებების კომბინაციით, გუნდმა დააფიქსირა დაბალი ენერგიის პლაზმის ნაწილაკები, რომლებიც ძლიერად აწვება მაგნიტური ველის ხაზებს – დედამიწის ქვედა ატმოსფეროდან წერტილამდე, ათობით ათასი კილომეტრის დაშორებით, სადაც პლანეტის მაგნიტური ველი უკავშირდება მზისას. ამ რეგიონში, რომელსაც მეცნიერები "შერწყმის წერტილს" უწოდებენ, ცივი, მკვრივი პლაზმის არსებობა ანელებს მაგნიტურ კავშირს, ასუსტებს მზის ზემოქმედებას დედამიწაზე.

"დედამიწის მაგნიტური ველი იცავს სიცოცხლეს ზედაპირზე ამ მზის აფეთქებების სრული ზემოქმედებისგან", – ამბობს ჯონ ფოსტერი, MIT-ის Haystack Observatory-ის ასოცირებული დირექტორი. "ხელახლა დაკავშირება გვაშორებს მაგნიტური ფარის რაღაც ნაწილს და ენერგიას შემოსვლის საშუალებას აძლევს, რაც დიდ, ძლიერ ქარიშხლებს იწვევს. ეს პლაზმები იფანტება კოსმოსში და ანელებს შეკავშირების პროცესს, შედეგად კი მზის ზემოქმედება დედამიწაზე არის შემცირებული". დედამიწის გარშემო მაგნიტური ველი წარმოიქმნება გარე ბირთვში მდნარი რკინის წრიული მოძრაობით. იგი გვიცავს ნაწილაკების ქარიშხლებისგან, კოსმოსური სხივებისგან, UV ტიპის B გამოსხივებისგან და ღრმა კოსმოსიდან წამოსული სუბატომური ნაწილაკებისგან. მის გარეშე ოზონის შრე დაიშლება და ჩვენ ყოველგარი დაცვის გარეშე ვიქნებით კოსმოსური მიკროტალღოვანი გამოსხივების წინაშე. ყოველ რამდენიმე ასეულ ათას წელიწადში მაგნიტური ველის ძალა მცირდება მანამ, სანამ ის თითქმის საერთოდ არ გაქრება და ამ ეტაპზე მაგნიტური პოლუსები რევერსს განიცდიან, პოლუსები ადგილებს იცვლიან. გეოლოგიური ჩანაწერი გვეუბნება, რომ ასეთი რევერსის მრავალი შემთხვევა ყოფილა. ფიქრობენ, რომ ეს უკანასკნელი დაახლოებით 780 000 წლის წინ მოხდა. ჩვენი

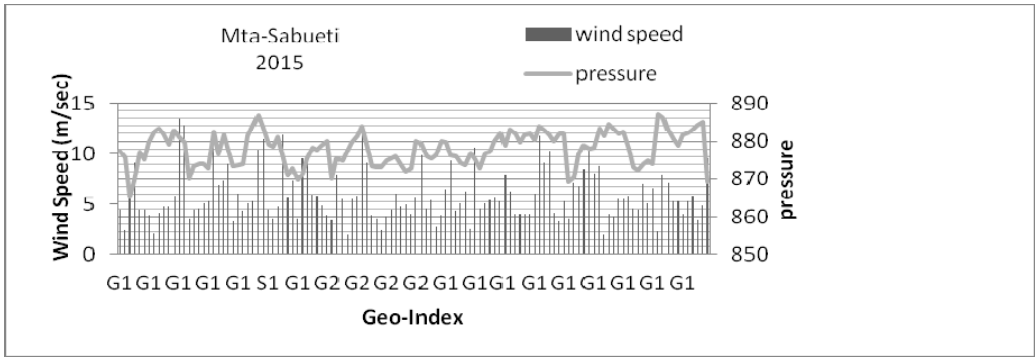
მაგნიტური ველი უკვე 150 წელია სუსტდება, მაგრამ შესუსტება არ არის ერთგვაროვანი. პოლუსების ცვლა არ არის სინქრონიზებული; გარკვეული პერიოდის განმავლობაში შეიძლება გვექნოდეს ორი ან მეტი სამხრეთ პოლუსი, ან ჩრდილოეთ პოლუსი, სანამ ველი მოერგება და ჩადგება თავის ახალ მდგომარეობაში. რამდენ ხანს არ ექნება პლანეტას ველის დამცავი მოქმედება, ჯერჯერობით უცნობია. არავის დაუდგენია, თუ რამდენი ხანი სჭირდება შეცვლის დასრულებას და ველის ნორმალურ სამუშაო დონეზე დაბრუნებას. **მაგნიტური ჩრდილო პოლუსი** უკვე გარკვეული ხანია მოძრაობს ჩრდილოეთ კანადიდან ციმბირისკენ (რუსეთი) და გადაადგილდება 25-40 მილის სიჩქარით წელიწადში. ბოლო ათწლეულის განმავლობაში მოძრაობის სიჩქარე გაიზარდა. ეს ზრდა ემთხვევა ველის შესუსტების სიჩქარეს.

გეოშტორმი და იონოსფერო-ატმოსფეროს დაწყვილება

კლასიკური ტერმინი "მაგნიტური შტორმები" გაცილებით ძველია, ვიდრე თანამედროვე ტერმინები "კოსმოსური ამინდი" (NSWC, 1995) და "კოსმოსური შტორმები" (დაგლისი, 1997). იგი შემოიღო ალექსანდრე ფონ ჰუმბოლდტმა, გერმანელმა ბუნებისმეტყველმა და მკვლევარმა, რომელმაც ყურადღება სამხრეთის ექსპედიციით მიიპყრო ამერიკაში 1799-1804 წლებში. კოსმოსურ შტორმს, კოსმოსური ამინდის მთავარ ფენომენს, აქვს მთელი რიგი ზემოქმედებები დედამიწის მახლობლად არსებულ გარემოში: დამუხტული ნაწილაკების შემოჭრა და მათი ზედმეტი კონცენტრაცია დედამიწის სივრცეში, ელექტრული დინების გაძლიერება, შთამბეჭდავი ჩრდ. და სამხრ. ციალი და გლობალური მაგნიტური დარღვევები.

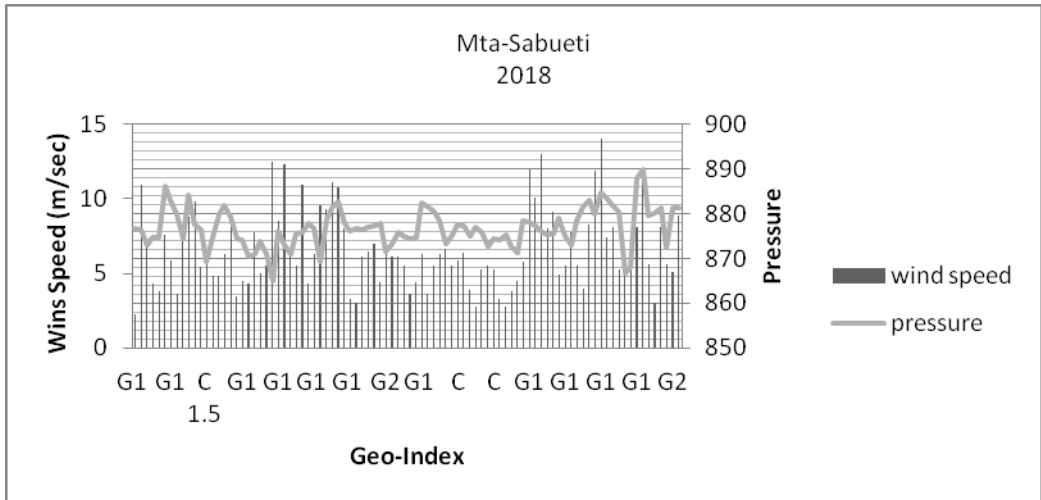
თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსი

2018 წ. სექტემბერში მზე შევიდა უკიდურეს ღრმა მინიმუმში, მზის ლაქები მთელი წლის განმავლობაში არ გაჩენილა და მისი ულტრაიისფერი გამოსხივება მკვეთრად შემცირდა. დაკვირვებებმა აჩვენა უკიდურესი ზედა ატმოსფეროს რეაქცია ამ ცვლილებაზე, როგორც მარტინ მლენზაკი აცხადებს NASA's Langley Research Center-დან, დაფიქსირდა აციების ტრენდი, ატმოსფერომ დაკარგა სითბური ენერჯია. თუ პროცესი გაგრძელდება, დამყარდება აციების პერიოდი. ეს შედეგები მიიღება SABER ინსტრუმენტიდან, რომელიც NASA's TIMED თანამგზავრზეა განთავსებული. SABER მონიტორინგს უტარებს CO₂ ნახშირბადის დიოქსიდის და NO აზოტის ოქსიდის ინფრანითელ ემისიებს, ორი ნივთიერება, რომლებსაც მნიშვნელოვანი როლი უჭირავთ პლანეტის ზედა-პირიდან 100-300 კმ ენერგობალანსის ცვლაში. ინფრანითელი გამოსხივების გაზომვით SABER ინსტრუმენტი აფასებს აირის თერმულ მდგომარეობას ატმოსფეროს ზედა ფენაში. თერმოსფერო მზის მინიმუმის დროს ყოველთვის



ნახ.8.11. ქარის სიჩქარის და წნევის ცვალებადობის kp გეომაგნიტურ ინდექსზე დამოკიდებულებით მთა-საბუეთისთვის. 2015 წ.

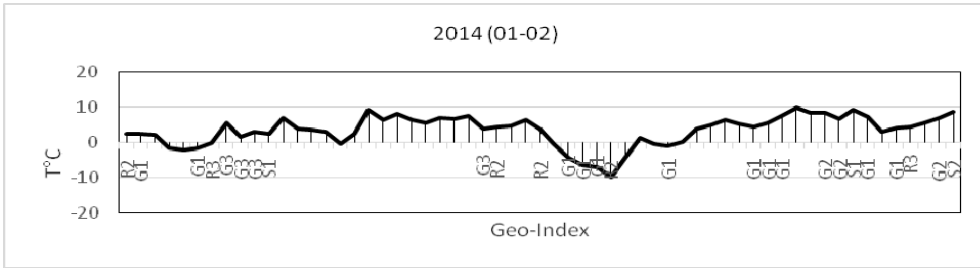
Fig. 8.11. Variation of wind speed and pressure depending on kp geo-magnetic index for Mta-Sabueti 2015.



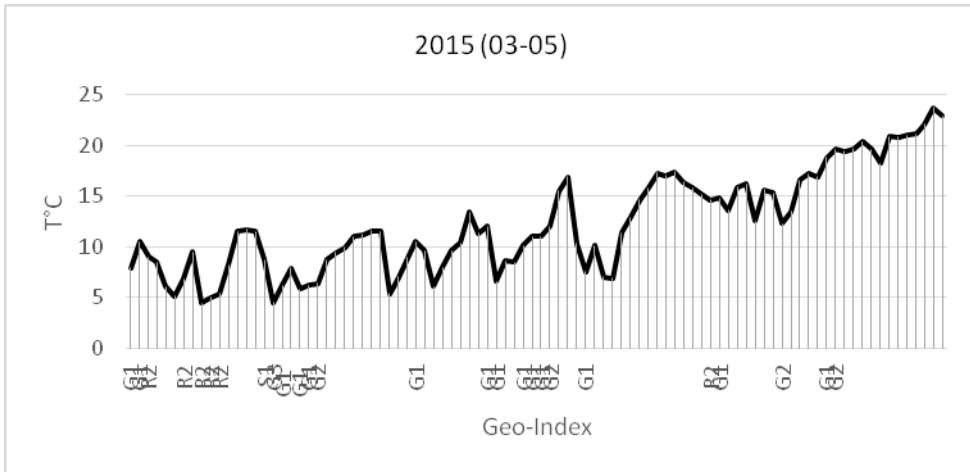
ნახ.8.12. ქარის სიჩქარის და წნევის ცვალებადობის kp გეომაგნიტურ ინდექსზე დამოკიდებულებით მთა-საბუეთისთვის. 2018 წ.

Fig. 8.12. Variation of wind speed and pressure depending on kp geo-magnetic index for Mta-Sabueti 2018.

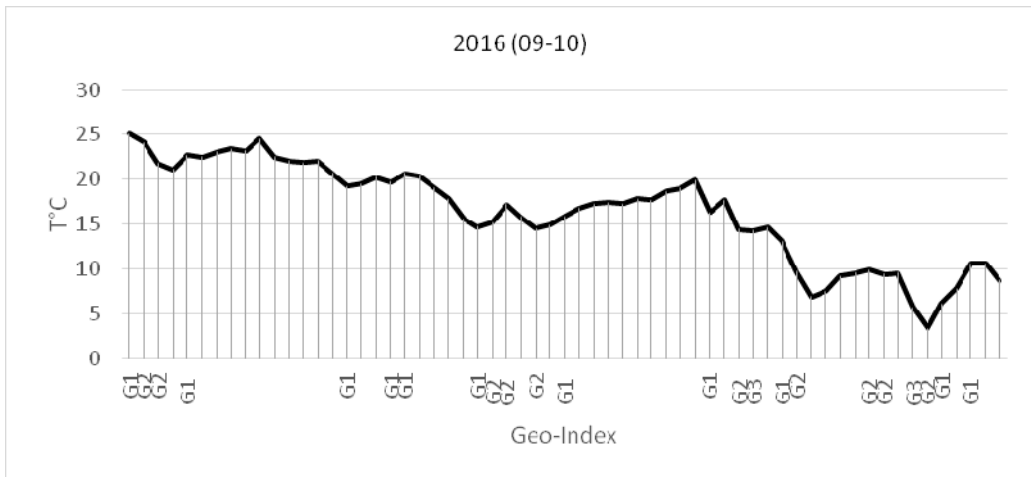
ასევე მოყვანილია ტემპერატურის დამოკიდებულება თბილისის მაგალითზე.



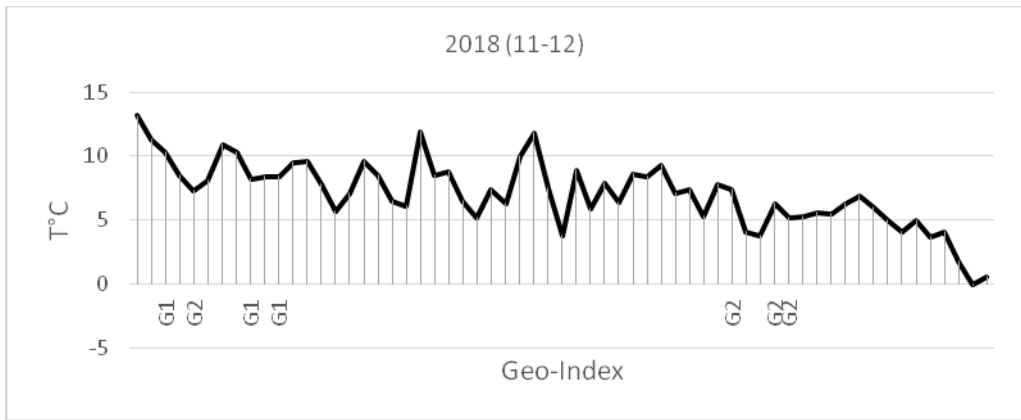
ნახ. 8.13 ტემპერატურის დამოკიდებულება თბილისისთვის. 2014 წ.
 Fig. 8.13 Temperature dependence for Tbilisi in 2014.



ნახ. 8.14 ტემპერატურის დამოკიდებულება თბილისისთვის. 2015 წ.
 Fig. 8.14 Temperature dependence for Tbilisi in 2015.



ნახ. 8.15 ტემპერატურის დამოკიდებულება თბილისისთვის. 2016 წ.
 Fig. 8.15 Temperature dependence for Tbilisi in 2016.



ნახ. 8.16. ტემპერატურის დამოკიდებულება თბილისისთვის. 2018 წ.
 Fig. 8.16. Temperature dependence for Tbilisi in 2018.

რაც შეეხება ნალექს, მას დროში დაგვიანება ახასიათებს, რადგან ნალექის წარმოქმნა და გამოყოფა დროში განელილი პროცესია.

ნალექების გაზრდა გამოწვეულია მზის ნაწილაკების შემოსვლით ატმოსფეროს დაბალ ფენებში, რომლებიც ამავედროულად ახშობენ კოსმოსურ სხივებს, რაც ამცირებს ღრუბლის საფარს. თუმცა, მიუხედავად ამისა, იმდენად ბევრი ნაწილაკი შემოიჭრება მზიდან, რომ ამ დანაკლისს აკომპენსირებს და ეს ნაწილაკები მოქმედებენ, როგორც კონდენსაციის ან კრიტალიზაციის ბირთვები. ასევე, გასათვალისწინებელია მათი ურთიერთქმედება ატმოსფეროში სხვადასხვა მოლეკულებთან, როდესაც მოხდება ამ მოლეკულებით მათი ჩაჭერა და წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით ახალი ნაერთები. თან ამ ნაწილაკების დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენა მათ აჩქარება/შენელებას გამოიწვევს, რაც ამ ურთიერთქმედებებს კიდევ უფრო გაართულებს [212,214,215].

კვლევის შედეგები მნიშვნელოვანია ამინდის პროგნოზისთვის და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც პრედიქტორი, პროგნოზის შედგენამდე მისი დაზუსტებისთვის.

ამინდისა და კლიმატის ცვლილების მოდელები და სამომავლო სცენარები

ამინდის მოკლევადიანი პროგნოზირების მეთოდის შემუშავების დროს უაღრესად მნიშვნელოვანია საწყისი ინფორმაციის მაქსიმალური რაოდენობის გათვალისწინება საპროგნოზო მოდელებში. ამინდის პირობების გრძელვადიანი განვითარება უშუალოდაა და მოკიდებული გლობალური ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების განვითარებასთან. ამიტომ, გასაგებია, რომ ამინდის საშუალო და გრძელვადიანი პროგნოზირების მეთოდების დამუშავების დროს განსაკუთრებული ყურადღება მახვილდება გლობალური ცირკულაციური პროცესების დინამიკის შესწავლაზე და, პირველ ყოვლისა კი, ევროპის სამხრეთ-აღმოსავლეთის სექტორში. გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე და მათ შორის საქართველოში, ამინდის პირობების გრძელვადიანი ჩამოყალიბება ხდება სწორედ აღნიშნულ სივრცეში (სექტორში), დაფიქსირებული ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების ფონზე. ამასთან ერთად, ამ სექტორში აღნიშნული განსხვავებული ტიპის ცირკულაციური პროცესების რაოდენობა არ აღემატება 7-ს. ჩვენთვის მნიშვნელოვანი ის არის, რომ ცალკეული გლობალური ცირკულაციური მექანიზმების (ტიპების) განვითარების შემთხვევებში საქართველოს ტერიტორიაზე საქმე გვაქვს ერთმანეთისგან განსხვავებული ამინდის პირობების ჩამოყალიბებასთან. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ თუ მიმდინარე პერიოდში დადგინდება რომელიმე კონკრეტული გლობალური ცირკულაციური მექანიზმის (ტიპის) განვითარების ტენდენცია ზემოთაღნიშნულ სექტორში. ამინდის პირობების ნებისმიერი ვადით პროგნოზირების მიზნით ძალზე მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების ანალიზს, რომელთა განვითარების მოცემულ კონკრეტულ ფონზე ხდება ამინდის პირობების ჩამოყალიბება საპროგნოზო ტერიტორიაზე. ტრადიციულად, ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების ანალიზი ხორციელდება პროგნოზის მიერ ამინდის რუკებზე წარმოდგენილი მეტეოროლოგიური ველების ვიზუალური შეფასების საფუძველზე, რაც, ბუნებრივია, ატარებს სუბიექტურ ხასიათს და არ იძლევა იმის შესაძლებლობას, რომ ცალსახად იქნეს დაფიქსირებული ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების დინამიკა, ეს კი შემდგომში ნეგატიურ ასახვას პოულობს ამინდის შედგენილი პროგნოზების ხარისხზე. ამიტომ გასაკვირი არ არის, რომ პროგნოზისტები ყოველთვის ეძებდნენ გამოსავალს ამ შექმნილი მდგომარეობიდან. კერძოდ, დღის წესრიგში ყოველთვის იდგა შესაბამისი ინდექსების, პარამეტრების შემუშავების საკითხები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემდნენ ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების განვითარების

ობიექტური შეფასებისა. ეს, ერთი შეხედვით, თითქოს საკმაოდ მარტივი საკითხი შეიძლება სინამდვილეში ძალზე რთული აღმოჩნდეს. ამიტომ აღნიშნული საკითხი ჯერჯერობით საბოლოოდ გადაწყვეტილი არ არის. სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესები ხასიათდება განსხვავებული მასშტაბურობით, მათი სივრცითი განაწილება გამოირჩევა მრავალფეროვნებით, მნიშვნელოვან სახეცვლილებას განიცდიან დროში და ა.შ

ღრუბლებზე დაკვირვების სისტემები

კლიმატის პარამეტრებზე დაკვირვება ტროპოსფეროსა და სტრატოსფეროს ქვედა ფენებში აღწერს ატმოსფეროს ნაწილს, სადაც მიმდინარეობს ამინდისა და კლიმატის მათორმირებელი დინამიკური და ქიმიური პროცესები. ამ პარამეტრების გაზომვების მონაცემები მნიშვნელოვანია საპროგნოზო მოდელებში, ასევე თანამგზავრულ-მინისპირა გაზომვების ვალიდაციისათვის ვერტიკალური პროფილის დასაზუსტებლად. მოდელური პროგნოზები კლიმატის ცვლილების შეფასებაში დამოკიდებულია ყოველი გაზომვის სტაბილურობასა და სიზუსტეზე, ასევე მათ სივრცულ და დროით დაფარვაზე.

ღრუბლის საერთაშორისო თანამგზავრული კლიმატოლოგიური პროექტი (ISCCP) ახორციელებს კლიმატური მონაცემების შეგროვებას ხილულ და ინფრანითელ სპექტრში, ესენია: ღრუბლის მახასიათებლები, რადიაციული მახასიათებლები და აეროზოლები. აპირებს ფუნქციონირება გააგრძელოს 2010 წ. ივლისამდე. 2010 წ. დამთავრდება მონაცემთა პროდუქტის გადამუშავება 10 კმ-იანი დისკრეტული რადიანსის გამოყენებით ნაცვლად 30-კმ-იანისა [127,129,130,131].

2006 წ. გაუშვეს Cloudsat და CALIPSO თანამგზავრები [156,165], რომლებმაც ახლებურად წარმოაჩინეს ღრუბლის სამგანზომილებიანი თვისებები, ღრუბლის ფაზის (თხევადი/მყარი) და ღრუბლის აეროზოლური ურთიერთქმედება. Cloudsat რადარმა და CALIPSO დააახლოებით სამი წელი იფუნქციონირეს. მათ გარდა კიდევ EarthCARE თანამგზავრი მოამზადეს ორი მოქმედი ზონდით (ლიდარი და რადარი) და ორი დამხმარე ხელსაწყოთი (მულტისპექტრალური პროექტორი და ფართო დიაპაზონიანი რადიომეტრი). მათი გაშვება იგეგმება 2013 წ. EarthCARE მიზანია სხვადასხვა ტიპის ღრუბლის ვერტიკალური პროფილებისა და აეროზოლების პარამეტრების უზრუნველყოფა [139,140,146].

ასევე დაიწყო იაპონიის გლობალური ცვლილების დაკვირვების მისიათა (Japanese Global Change Observation Mission GCOM) სერია. მეორე თაობის გლობალური პროექტორი (Second Generation Global Imager SGLI on GCOM)-ზე დააკვირდება გლობალურ ღრუბლებს და აეროზოლების თვისებებს და შეასრულებს აეროზოლების პოლარიმეტრულ დაკვირვებებს. GCOM-ზე დამონტაჟებული იქნება გაუმჯობესებული მიკროტალღური მასკანირებელი

რადიომეტრი-2 (AMSR-2) წყლის ორთქლის, ღრუბლის თხევადი ფაზისა და ნალექებზე დასაკვირვებლად [221,222,223,224].

აშშ ატმოსფეროს რადიაციული გაზომვების (Atmospheric Radiation Measurement) პროგრამის ფარგლებში, მიმდინარეობს ღრუბლის სამგანზომილებიანი თვისებების აქტიური გამოკვლევები მინისპირა ხელსაწყოებით. მაგ. ღრუბლის ტომოგრაფია ხდება მიკროტალღური სენსორის საშუალებით, რათა დადგინდეს ღრუბლის წყლის სივრცული ცვალებადობა რამდენიმე ათეული მ. ვერტიკალურად და რამდენიმე ასეული მ. ჰორიზონტალური მიმართულებით. ARM ასევე იკვლევს მინისპირა და თანამგზავრული დაკვირვებების კომბინაციას ღრუბლის თვისებების დასადგენად.

ასევე მოქმედებს ევროპის CLOUDNET პროექტი, რომელშიც ღრუბლის დოპლერის რადარი, ცვილომეტრი ან დოპლერის ლიდარის გაზომვები ჯგუფდება ღრუბლის ფაზის და ღრუბლის წვეთების ზომების მისაღებად.

კოსმოსური სააგენტოების მიერ ხორციელდება სხვადასხვა ხელსაწყოების ფუნქციონირება, რათა მიიღონ ხილულ და ინფრანითელ უბნებში კლიმატური მონაცემები [225].

კალიფორნიის ლიდარის თანამგზავრი უზრუნველყოფს აეროზოლების და ღრუბლების ვერტიკალურ პროფილებს გლობალურ მასშტაბში. ლიდარის მონაცემები საშუალებას იძლევა ღრუბლების შემადგენლობის განსაზღვრისა, აეროზოლების გავრცელების და ზომების დადგენისა და ღრუბლების და აეროზოლების სიმაღლეების და გავრცელების განსაზღვრისა. თანამედროვე თანამგზავრები იძლევიან არა მარტო დეტალურ ვიზუალურ გამოსახულებებს, არამედ მონაცემებს ატმოსფეროს ტემპერატურაზე, ტენზომცველობაზე, ტენის პროფილებსა და გარემოს ცვლადებზე. CloudSat გამოყენება იძლევა უნიკალურ შესაძლებლობებს ღრუბლებზე დაკვირვებაში. მისი საშუალებით შეიძლება დადგინდეს ღრუბლის წვეთებისა და ყინულის კრისტალების ზომები. მისი საშუალებით შეიძლება ღრუბლის ვერტიკალური სტრუქტურისა და ფიზიკური მახასიათებლების შესწავლა, ასევე იძლევა ღრუბლის სისქის მონაცემს. მისი საშუალებით შესაძლებელია დადგინდეს:

- ღრუბლის სიმაღლე,
- შენონილი ნაწილაკების ზომები,
- ღრუბლის ფიზიკური სტრუქტურა,
- ღრუბლის საფარის გავრცელება,
- ღრუბლის წვიმისა და ყინულის რაოდენობა,
- სხვადასხვა სიმაღლეზე ღრუბლების ურთიერთგადაფარვის გავრცობა.

CloudSat მისია აგროვებს მონაცემებს ღრუბლების შესახებ Cloud Profiling Radar (CPR) (NASA FACTS, 2003) (ღრუბლის პროფილის რადარი) ინსტრუმენტის საშუალებით, რადგან ღრუბლები მცირედ არის შესწავლილი კლიმატურ და ჰიდროლოგიურ ციკლში. მათი შესწავლის გარეშე ამინდის პროგნოზირება და კლიმატის მოდელირება, უბრალოდ, შეუძლებელი იქნება.

ღრუბლებს აკვირდებოდნენ მინიდან და ახლა შესაძლებლობაა მისი ზემოდან დაკვირვებისა. აქამდე მისი შიგნიდან შესწავლის შესაძლებლობა არ არსებობდა. CloudSat რადარი არის სპეციალური ტიპის მოქმედი მიკროტალღური რადარი (94 GHz), რომელიც, უზრუნველყოფს ღრუბლის თვისებების გლობალურ გამოკვლევას, ღრუბლის მოდელირების და ამინდის პროგნოზის სიზუსტის გასაუმჯობესებლად. იგი იძლევა ღრუბლის ფიზიკური მახასიათებლების ვერტიკალურ განაწილებას, წყლის, ყინულის შემცველობისა და ღრუბლის ოპტიკური სიღრმის ჩათვლით. CloudSat მისია მოიცავს კანადას და მის ინდუსტრიულ პარტნიორს – ბელის აეროსივრცის და ტექნოლოგიების კორპორაციას, ასევე კოლორადოს უნივერსიტეტს, კანადის კოსმოსურ სააგენტოს, აშშ საჰაერო ძალებს, გოდარდის კოსმოსური ფრენის ცენტრს, მეცნიერებს საფრანგეთიდან, ინგლისიდან, იაპონიიდან და კანადიდან.

ყველა ეს მახასიათებელი უმნიშვნელოვანესია კლიმატისა და ამინდის პროგნოზირებისათვის. ღრუბლის წყალი უმნიშვნელოვანესი ფიზიკური პარამეტრია, რომელიც კავშირს ამყარებს კლიმატური სისტემის ჰიდროლოგიურ და რადიაციულ თვისებებს შორის. ღრუბლები სხვადასხვა ზომისა და ფაზის ჰიდროსხეულებს შეიცავენ, როგორცაა დიდი ზომის ნალექების ნაწილაკები, მცირე ზომის ღრუბლის ელემენტები ან თხევადი და მყარი ყინულის ფაზები. თხევადი და მყარი კონდენსატების შესახებ იმფორმაცია გადამწყვეტია მოდელირებაში. კლიმატური მოდელირებისთვის ღრუბლის წყლის ფორმაციების დაზუსტებას დიდი მნიშვნელობა აქვს. თანამედროვე პასიური თანამგზავრული სენსორი ორი სხვადასხვა მეთოდით იღებს ღრუბლის წყლის ფორმაციებზე ინფორმაციას. მიკროტალღური მიდგომა შემოსაზღვრულია ოკეანეების არეებით, მაგრამ მიიღება დღისითაც და ღამითაც, ზომავს სიკაშკაშის ტემპერატურას სხვადასხვა სიხშირეზე. ოპტიკური მეთოდი გამოიყენება, როგორც ხმელეთზე ისე წყალზე, მაგრამ მხოლოდ დღისით, ზომავს ღრუბლის წვეთების ეფექტურ რადიუსს, ოპტიკურ სისქეს. ამ ორი მეთოდით გაზომილი სიდიდეების შედარებამ აჩვენა, რომ ისინი საკმაოდ თანხვედრიან ერთმანეთს თბილი ღრუბლებისთვის. ხოლო ნალექწარმოქმნელი ღრუბლებისთვის კი, სამწუხაროდ, განსხვავდებიან, რაც აიხსნება მათში წვიმის ან ყინულის არსებობით. ამიტომ მათი პირდაპირი გამოყენება მოდელებში, სამწუხაროდ, არ შეიძლება, თუმცა მათი დაზუსტებული მნიშვნელობების მიღება სავსებით შესაძლებელია.

პარამეტრიზაციის პრობლემები

კლიმატის, ამინდის პროგნოზირებისა და ატმოსფერული პროცესების მოდელებში მნიშვნელოვანია ღრუბლების გავლენის გათვალისწინება ატმოსფეროსა და დედამიწის ზედაპირზე. ცირკულაციისა და ამინდის რიცხვითი პროგნოზირების მოდელები იყენებენ ჰიდროდინამიკური განტოლებების რიცხვით სქემებს. ღრუბლის აღმწერი უწყვეტი დიფერენციალური განტოლებები

სხვადასხვა სივრცულ-დროითი რიგისაა. ღრუბლის დინამიკის აღმწერი განტოლებები უფრო დაბალი რიგისაა, ვიდრე გლობალური ატმოსფერული მოდელები. ჩვეულებრივ, ჰორიზონტალური ბიჯი გლობალურ მოდელში 50 კმ-ია, ხოლო რიცხვითა პროგნოზის მოდელში - 250 კმ. ამ მასშტაბზე დაბალი რიგის პროცესები ქვებადურ პროცესებში გადადის და არ არის ჩართული საბოლოო გამოთვლებში. თუმცა ეს პროცესები ძლიერად მოქმედებენ ატმოსფეროს თერმო და ჰიდროდინამიკაზე. რადგან ამ ქვებადურ პროცესებს ეკრძალება დეტალური აღწერა, ამიტომ მათი მხოლოდ სტატისტიკური გავლენა გაითვალისწინება ბადურ დონეზე. ამ ტექნიკას პარამეტრიზაცია ეწოდება [9].

ღრუბლები წრმოიქმნება იქ, სადაც კუთრი სინოტივე აჭარბებს გადაჭერების სიდიდეს, რაც ხდება, თუ არსებობს საკმარისი რაოდენობის ღრუბლის კონდენსაციის ბირთვები. მოდელში კი გარკვეული ბადის უჭრები გადაჭერებულის აღმოჩნდება სხვებზე ადრე. ამით აღმოჩნდება, რომ ღრუბლები წარმოიქმნება უჭრედებში, ვიდრე ბადის საშუალო სინოტივე 100%-ს გადააჭარბებს. ღრუბლის ფრაქციის სხვა გათვალისწინება ისაა, რომ უნდა არსებობდეს განაწილება ლოკალური გაჭერების წერტილიდან მოდელის ბადის უჭრაში. ამით მოხდება ტემპერატურის და სინოტივის ვარიაცია მათი საშუალო მნიშვნელობიდან [206,211].

ერთ-ერთი მიკროფიზიკური პროცესი, რომელიც ყველა პარამეტრულ სქემაში აღინერება, არის კონდენსაცია. ის ორი პროცესის აღწერას მოითხოვს: ღრუბლის ნაწილაკების ნუკლეაციას და მათ კონდენსაციურ ზრდას წყლის ორთქლის ხარჯზე.

ადრეულ ზოგად ცირკულაციურ მოდელებში ლატენტური სითბური ეფექტი კონდენსაციურ პროცესებში გაითვალისწინებოდა. კონდენსაციის სქემის იდეა იყო ის, რომ ნებისმიერი გადაჭერებული მდგომარეობა, რომელიც წარმოიქმნებოდა უჭრედის მასშტაბით, მაშინვე ნალექად ჩათვლილიყო. ამიტომ მოდელი აღწერდა არა ღრუბელს, არამედ ნალექის გამოყოფას. იგივე სქემა გამოიყენებოდა კონვექციისთვისაც. ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი გაჭერებულ უჭრედში არ უნდა ყოფილიყო ნოტიო ადიაბატურზე მეტი. ნებისმიერი კონდენსატი ასევე ნალექად იყო ჩათვლილი. რადგან ყველა კონდენსატი ნალექად ითვლებოდა და მოდელიდან ვარდებოდა, მიკროფიზიკის აღწერაც საჭირო აღარ ხდებოდა. ასე რომ, ადრეული კლიმატის გლობალური მოდელები აღწერდნენ მხოლოდ კონდენსაციის პროცესს და არა ღრუბლის ურთიერთქმედებას.

როგორც აღმოჩნდა, ღრუბლის რადიაციულ ეფექტებს შესაძლოა გადამწყვეტი მნიშვნელობა ჰქონდეთ ატმოსფეროს ზოგად ცირკულაციაში. ღრუბლის პარამეტრიზაციის მეორე თაობა დამიზნული იყო მოდელის ცვლადებისა და ღრუბლიანობის ურთიერთქმედებაზე. ეს მიიღწეოდა ღრუბლის ფრაქციის

პარამეტრიზაციით, როგორც ფარდობითი ტენიანობის ფუნქციისა. ეს მიდგომა 1980-მდე არ გამოიყენებოდა გლობალურ ცირკულაციურ მოდელებში.

ფარდობითი ტენიანობის სქემები ეყრდნობოდა კონცეფციას, რომ თუ ბადის საშუალო ფარდობითი ტენიანობა აჭარბებს კრიტიკულ მნიშვნელობას, დაახლოებით 80%, არსებობს ალბათობა, რომ ბადის რაღაც მოცულობამ მიაღწია გაჭერებას და დაიწყება ღრუბლების წარმოქმნა. თუ ბადის საშუალო ფარდობითი ტენიანობა მიაღწევს 100%, მაშინ ბაღე მთლიანად ღრუბლითაა დაფარული. კონვექციის უფრო რთული პარამეტრიზაცია ღრუბლებს კონვექციურად წარმოქმნიდა. ეს მიიღწეოდა ღრუბლის ფრაქციის გაერთიანებით კონვექციით წარმოქმნილ ნალექებთან და ისევ მიენერებოდა კონდენსაციას. ღრუბლის პარამეტრიზაციის ამ ტიპს დიაგნოსტიკური ეწოდა. დიაგნოსტიკური მიდგომის მთავარი სიძნელე ღრუბლის ლატენტური სითბური ეფექტისა და რადიაციული ეფექტების დაუკავშირებლობაა. სანდკვისტმა შემოიტანა დამატებითი პროგნოზული მოდელი ღრუბლების კონდენსატისთვის, რომელიც გამოიყენებოდა ღრუბლების მოდელირებისთვის. ის ზუსტად წინასწარმეტყველებდა წარმოქმნილი კონდენსატის რაოდენობას, რითაც შესაძლებელი იყო ღრუბლის რადიაციული ეფექტის დაკავშირება რადიაციასთან. ხოლო ღრუბლის ფრაქცია იყო უჭრედის საშუალო ფარდობითი ტენიანობის ფუნქცია, რომელზეც კონდენსაციის პროცესს უკვე ჰქონდა გავლენა. სანკვისტის პარამეტრიზაციასთან ერთად წარმოიშვა მეორე მიდგომა, რომელიც ეყრდნობოდა ახალ იდეებს, რომლებიც მაღალი რეზოლუციის ბაღეებში გამოიყენებოდა. ქვებადურ დონეზე ღრუბლის არსებობა მოითხოვს, რომ ტენიანობა და მისი გაჭერებულობის სიდიდე რაღაცნაირად იყოს განაწილებული უჭრედის საშუალო მნიშვნელობის მიმართ. განაწილების ალბათობის ფუნქციის ცოდნა საკმარისია ღრუბლის ფრაქციისა და კონდენსაციის აღწერისთვის უჭრედში. ზოგადად ამას იყენებენ ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლადების გაერთიანებული განაწილების ალბათობის ფუნქციის მიმართ.

1990 წლის დასაწყისში წარმოიქმნა ღრუბლის პარამეტრიზაციაში ახალი მიდგომა, რომელშიც ღრუბლის კონდენსაციის განვითარების დრო და ღრუბლის ფრაქცია აღიწერებოდა პროგნოსტული განტოლებებით. ამას საფუძველი ჩაუყარა ტიდკემ. სრულ პროგნოსტულ მიდგომაში უჭრედის საშუალო კონდენსატის და ღრუბლის ფრაქციის ნაცვლად შემოდის ალბათობის სიმკვრივის ფუნქციის მომენტები, როგორც პროგნოზული მოდელის ცვლადები და ღრუბლის შესაბამისი პარამეტრები გამოითვლება განაწილების ალბათობის ფუნქციიდან.

ორივე მიდგომის მთავარი პრობლემა კვლავ რჩებოდა: ისინი ვერ ჩართავდნენ ღრუბელს, როგორც კონვექციის პროცესის შედეგად წარმოქმნილს. მრავალი მიდგომა განვითარდა. ყველაზე გავრცელებული, რომელიც სქემებში გამოიყენებოდა, კონდენსაციის აღწერისთვის თხევადი სითხის წყაროდ

განიხილავდა კონვექციური აღმავალი ნაკადით შეტაცებულს. ეს შეტაცება კი სხვადასვა სქემაში სხვადასხვანაირად იყო განმარტებული.

მხოლოდ ახლახან ყურადღება მიექცა ღრუბლის მიკროფიზიკას. თუმცა ამან კიდევ წარმოქმნა სიძნელეები, რადგან გლობალური ცირკულაციური მოდელისა და მიკროფიზიკის მასშტაბები სხვადასხვანაირია. თანაც მიკროფიზიკური პროცესები არაწრფივია და მათი პარამეტრიზაცია მოითხოვს კონდენსაციის ლოკალური რაოდენობის ცოდნას. გცმ-ებში უჯრედის საშუალო კონდენსაციის მნიშვნელობაა ცნობილი. ამან მოითხოვა კიროფიზიკური კონსტანტების მნიშვნელოვანი ცვლილება, რათა არ მიეღოთ დიდი განუზღვრელობები კონდენსირებულ წყალსა და ნალექების რაოდენობებში. მიკროფიზიკის დეტალური აღწერა მოითხოვს ძალიან მოკლე დროით ბიჭებს. ასეთის გამოყენება კი გცმ და ამინდის რიცხვით პროგნოზებში აკრძალულია. მაღალი რეზოლუციის მოდელებში, დაიწყეს რთული და უფრო რეალური პარამეტრიზაციის გამოყენება.

გლობალურ მოდელებში, დაწყებული ამინდის რიცხვითი პროგნოზირებიდან, სემონური პროგნოზიდან და დამთავრებული კლიმატის მოდელირებამდე, თუმცა მრავალი მნიშვნელოვანი ატმოსფერული პროცესი, როგორცაა სასაზღვრო ფენის პროცესები, კონვექცია და ღრუბლის პროცესები, რჩება გადუჭრელი. საჭიროა ქვებადური პროცესების, როგორც ბადის მასშტაბის ცვლადების, ისე წარმოდგენა. ამ ტექნიკას პარამეტრიზაცია ეწოდება (სტენსრუდი 2007). როგორც მიწისპირა, ისე კოსმოსური დაკვირვებების სიტემებიდან მიღებულმა დაკვირვებებმა (აშშ ენერჯეტიკის დეპარტამენტის ატმოსფერული რადიაციის გაზომვების პროგრამა, 2003, ევროპული CLOUDNET ქსელი, 2007) დააგროვეს საკმარისი მასალა პარამეტრიზაციის სადარ პროცესებზე გასარკვევად. ამასთან ერთად მოდელირებაში მიღწეულმა წარმატებებმა უსაზღვროდ განავითარა პარამეტრიზაცია (გრანბოვსკი 2001, რენდალი 2003). მოდელების განვითარება რთული პროცესია. ამინდის და კლიმატის განვითარების პროგნოზირების იარაღები არის დედამიწა-ატმოსფეროს გლობალური სისტემის რიცხვითი მოდელები. ატმოსფერულ კომპონენტს, საერთოდ, ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაცია ეწოდება. ამ მოდელებს სჭირდება ატმოსფეროში არსებული ღრუბლების აღწერა. გცმ ხსნის კერძო წარმოებულ ან დიფერენციალურ განტოლებებს, რომლებიც მართავენ ატმოსფეროს მდგომარეობის განვითარებას დისკრეტულ ფორმაში, რადგან, ყოფენ ატმოსფეროს ფინიტური ზომის უჯრედებად. რადგან, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მიკროფიზიკური პროცესები მცირე მასშტაბისაა, მათი აღწერა მოითხოვს მოდელის რეზოლუციას, რამდენიმე ან უფრო მცირე მეტრს. თანამედროვე ტექნიკა გლობალურ მოდელებში ასეთ რეზოლუციას ვერ უშვებს. თანამედროვე გცმ-ს რეზოლუცია 50-დან 100კმ-მდეა, როცა გამოიყენება ამინდის გლობალური პროგნოზის სისტემაში და 200 კმ-ზე მეტი როცა გამოიყენება კლიმატურ მოდელებში. ამ რეზოლუციაზე ღრუბლები შეუძლებელია განიხილებოდეს. ტექნიკა, რომელიც ღრუბლებს

გცმ-ში შეიყვანს, არის პარამეტრიზაცია. პარამეტრები, რომლებიც ამოირჩევა ღრუბლის დასახასიათებლად, არის ღრუბლის დაფარვის არის ჰორიზონტალური ფრაქცია, ანუ ღრუბლის ფრაქცია და ღრუბლის საშუალო კონდენსაციის შემცველობა უჯრედში (არაკავა 1975) [9].

განხილული პარამეტრული სქემებიდან, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ერთგანზომილებიან მოდელში შექმნილი პარამეტრული სქემები უფრო დაზუსტებულია მოყვანილ სქემებთან შედარებით, რაც მის გამოყენებას უფრო მიზანშეწონილს ხდის.

ღრუბელთა ფიზიკის ერთ-ერთი ყველაზე რთული და მნიშვნელოვანი პრობლემა არის საღრუბლო ნაწილაკების სპექტრის ფორმირება ნალექების გამოყოფით, ანუ საღრუბლო ნაწილაკების განაწილების ფუნქციის ცვლილება სივრცესა და დროში. ეს საკითხი დაკავშირებულია კოაგულაციის კინეტიკის განტოლების ამოხსნასთან და მის კავშირზე სხვადასხვა პროცესთან, რომლებიც ურთიერთგადაჭაჭვულია, რაც შესაბამისი კინეტიკის განტოლებების არაწრფივობაში გამოიხატება. გარდა ამისა საღრუბლო ნაწილაკების სპექტრის გამოკვლევა მნიშვნელოვანია ასევე ნალექწარმოქმნის თეორიისა და აქტიური ზემოქმედებისთვისაც. ამ პრობლემასთან დაკავშირებული სიძნელეები ჩნდება იმის გამოც, რომ არასაკმარისად არის შესწავლილი არაწრფივი ინტეგრო-დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის, როგორც ანალიზური, ასევე რიცხვითი მეთოდები. კინეტიკური განტოლების ანალიზური ამოხსნები მიიღება მხოლოდ მცირე რაოდენობის განტოლებებისთვის, თუმცა მათი საშუალებითაც შეიძლება საკმარისი რაოდენობის მოვლენების ახსნა. ამასთან, ანალიზური ამოხსნები შეიძლება გახდეს ამოსავალი წერტილი ამ პრობლემის უფრო დეტალური შესწავლისა.

კონვექციური ღრუბლის სტრუქტურისა და განვითარების შესახებ ინფორმაციის მიღება შეიძლება საღრუბლო ნაწილაკების სპექტრის განაწილებისა და მისი ინტეგრალური მახასიათებლების (კონცენტრაცია, წყლიანობა, ყინულიანობა) გამოკვლევით, ამასთან არ არსებობს ერთიანი შეხედულება ღრუბლის სრულ სტრუქტურაზე. კონვექციური ღრუბლების განვითარების თეორიის, მისი ურთიერთქმედების გარემოსთან და ნალექწარმოქმნის თეორიის განვითარებისთვის საჭირო ხდება ნალექწარმოქმნის მათემატიკური მოდელის შექმნა კოაგულაციის კინეტიკის ანალიზური და რიცხვითი მეთოდების სრულყოფასთან ერთად. ამასთან ანალიზური ამოხსნები გამოდგება როგორც დამოუკიდებლად ნალექწარმოქმნის მოდელისთვის, ასევე რიცხვითი მეთოდების განვითარებისთვისაც [20].

კონვექციური ღრუბლების წარმოქმნა, განვითარება და ნალექების ფორმირება მეტეოროლოგიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პრობლემაა, რომელსაც როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ამ პრობლემის შესწავლას მრავალი თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევა მიეძღვნა. ამ გამოკვლევების შედეგები შეიძლება გამოყენებული

იყოს ამინდის პროგნოზირების ახალი მეთოდების შექმნისა და სრულყოფილ-სათვის. მაგალითად, რადიოლოკაციური მონაცემების გამოყენება ღრუბლიანობისა და ნალექების მოკლევადიანი პროგნოზირებისთვის, საშუალებას იძლევა ატმოსფეროს კონვექციის ისეთი საშიში და კატასტროფული ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების თავიდან აცილებისა, როგორცაა, ძლიერი და თავსხმა წვიმა, სეტყვა, ქარიშხალი, მენყერი და სხვ.

ღრუბლის და ნალექწარმოქმნის მექანიზმების, ასევე თხევადი და მყარი ნალექების ფორმირების ეფექტურობის შესწავლა აუცილებელია ნალექწარმოქმნელი პროცესების ხელოვნური რეგულირების მეთოდების განვითარებისთვის, მძლავრი კონვექციის ღრუბლებში სეტყვის პროცესების შესუსტება-შეჩერებაში, ელექტრულ პროცესებზე ზემოქმედებაზე ღრუბლებში, ნისლის შექმნის ან გაფანტვისთვის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში და სხვ.

მიუხედავად მრავალრიცხოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევებისა, ბუნებრივი და ხელოვნური ნალექწარმოქმნელი პროცესების პრობლემა ჯერ კიდევ სრულად არ არის გადწყვეტილი. ამ პრობლემის სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ როგორც ღრუბლების, ასევე ნალექების წარმოქმნელი პროცესები სხვადასხვა ხასიათისა და სივრცულ-დროითი მასშტაბებისაა - მიკროფიზიკური პროცესებიდან (წყლის ფაზური გადასვლები, კონდენსაცია, კრისტალიზაცია, კოაგულაცია) დანყებული მსხვილმასშტაბიანი პროცესებით დამთავრებული (ღრუბლის დინამიკა და თერმოდინამიკა).

N ნალექწარმოქმნის თეორიის განვითარებისთვის დიდი მნიშვნელობა მიიღო მათემატიკური მოდელების შექმნამ კონვექციური ღრუბლებისთვის, რომლებიც აღწერდნენ ღრუბლის ბუნებრივ და ხელოვნურ ევოლუციას, ზემოქმედების სქემებს და სხვადასხვა რეაგენტის გავლენას. ძირითადად განვითარდა ორი ტიპის მოდელების შექმნის ტენდენცია: რთული და მარტივი. A მარტივ-ერთგანზომილებიან მოდელებში თერმოჰიდროდინამიკის, მიკროფიზიკის და მათი ურთიერთქმედების აღმწერი განტოლებების სრული სახით ჩართვა მათში ვერ ხერხდებოდა. ამიტომ ხშირად გამოიყენება მიკროფიზიკური პროცესებისთვის პარამეტრიზებული სქემები, ხოლო ძირითადი ყურადღება გადატანილია ღრუბლის თერმოჰიდროდინამიკაზე.

მიუხედავად ამისა, ნალექის წარმოქმნის ეფექტურობის შესწავლასთან დაკავშირებული მრავალი საკითხი ჯერ კიდევ გადაუჭრელია. მათ ეკუთვნის კერძოდ, წვეთების და კრისტალების მსხვილი ნაწილაკების ფორმირება, მათი შემდგომი ზრდა ღრუბლის სხვადასხვა პარამეტრისა და მასში მიმდინარე პროცესების გავლენით.

კლიმატის ცვლილების სცენარი

გლობალური მოდელების მიერ მონოდეტული ინფორმაცია ის პირველადი წყაროა, რომელიც მომავლის კლიმატის საპროგნოზოდ და კლიმატის

ზემოქმედების შესაფასებლად გამოიყენება ნებისმიერ მასშტაბზე – გლობალურიდან ლოკალურამდე. არსებული გლობალური მოდელები ჩვეულებრივ მეტად უხემ მასშტაბზე ოპერირებენ (რამდენიმე ასეული კილომეტრი) და ვერ უზრუნველყოფენ სასარგებლო ინფორმაციას და იმ მცირე მასშტაბის დეტალებს, რომლებიც აუცილებელია კლიმატის ზემოქმედებისა და ადაპტაციის კვლევისთვის. ასეთი კლიმატური ინფორმაციის მისაღებად საჭიროა 10-15 კმ-ის ჰორიზონტალური მასშტაბი, განსაკუთრებით ისეთი რთული ოროგრაფიის და ზღვის სანაპიროების მქონე რეგიონებში, როგორც სამხრეთ კავკასიის-შავი ზღვის აუზის რეგიონია. რეგიონული კლიმატური მოდელებისა და სტატისტიკური მეთოდებით გადამუშავების შედეგად გლობალური მოდელებიდან მიღებული ინფორმაცია ამ მასშტაბსა და სიზუსტეს აღწევს [6].

კლიმატის მოდელირება, გარდა სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პოტენციალისა, თვლისა და განთავსების შესაბამის რესურსებს მოითხოვს, რაც საქართველოს პირობებში საკმაოდ შეზღუდულია და ამდენად, გვინევს შემოვიფარგლოთ გლობალური/რეგიონული მოდელის ერთ სცენარზე დამყარებული სიმულაციით, თუმცა ვადგენთ უკვე არსებულ კვლევებთან და შედეგებთან მის შესაბამისობას. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში შესულია A1B სცენარის მიხედვით გლობალური კლიმატური მოდელით – MPI-ESM-MR დათვლილი პროგნოზი, რომელიც სამხრეთ კავკასიის რეგიონის ტერიტორიისათვის დაყვანილ იქნა 20 კმ-იან ბადეზე RegCM_v.4.0 რეგიონული კლიმატური მოდელის გამოყენებით. ამ სიმულაციის საფუძველზე იქნა აგებული კლიმატური სცენარები 33 მეტეოროლოგიური სადგურისათვის.

გლობალური მოდელი MPI-ESM-MR მაქს პლანკის მეტეოროლოგიის ინსტიტუტში (MPIM) ევროპის საშუალოვადიანი ამინდის პროგნოზის ცენტრის (ECMWF) ამინდის მოდელის დამუშავების შედეგად იქნა მიღებული. თავად ECMWF ამინდის მოდელის შედეგები საქართველოს ტერიტორიისათვის რამდენიმე ათეული წელია სისტემატურად მონმდება და ამინდის პროგნოზირებისათვის ცალსახად საუკეთესო პროდუქტად არის აღიარებული. რაც შეეხება მის კლიმატურ ვერსიას (MPI-ESM-MR), მისი დახვეწა/გაუმჯობესება სისტემატურად მიმდინარეობს, იგი CMIP (Coupled Models Intercomparison Project) პროექტის ყველა ფაზაში მონაწილეობდა და ერთ-ერთი საუკეთესოა, განსაკუთრებით ევროპის ტერიტორიისათვის. თავად CMIP პროექტის მიზანი სხვადასხვა გლობალური მოდელის მიერ პროგნოზირებული კლიმატის ცვლილების დეტალების შეჯერებაა რეგიონების მიხედვით და პროექტის შედეგები აისახება IPCC-ის შეფასების ანგარიშებში. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მეორე და მესამე მოხსენებებში MPI-ESM-MR მოდელის წინა ვერსიებზე დაყრდნობით მოხდა შეფასებები. მე-4 ეროვნულ მოხსენებაში ამ მოდელის მე-5 ვერსიით პროგნოზირებული შედეგებია წარმოდგენილი. მოდელის ამ ვერსიაში მინისპირა ფიზიკური პროცესების აღწერა და შეაბამისი მონაცემებია

გაუმჯობესებული, აგრეთვე, ადვექციური სქემები, ღრუბლების პარამეტრიზაცია, გრძელტალღოვანი რადიაციული კოდი, რასაც არსებული კლიმატის სიმულირებისას მნიშვნელოვან გაუმჯობესებამდე მივყავართ;

მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში [5] კლიმატური პროგნოზი SRES – სცენარზე დაყრდნობით შედგა. ეს სცენარები IPCC -ის რეკომენდაციით იქნა დამუშავებული, რომლებიც სათბური გაზებისა და მათი გამომწვევი ფაქტორების შესახებ არსებულ ცოდნაზე დაყრდნობით მომავლის ემისიათა რიცხვით შეფასებას იძლევა. ისინი დაჯგუფებული არიან 4 ე.წ. სიუჟეტის გარშემო და ქმნიან სცენართა 4 ოჯახს, რომლებშიც ერთიანდება 40 სცენარი. პირობითად მათ აღნიშნავენ, როგორც A1, A2, B1 და B2. ზოგადად, ინდექსი A შეესაბამება მსოფლიოს განვითარების ისეთ გზას, როცა პრიორიტეტი ენიჭება ეკონომიკურ განვითარებას, ხოლო ეკოლოგიური პრობლემატიკა იგნორირებულია. საპირისპირო ტენდენციებს აღწერს ინდექსი B. ხოლო ნომრები 1 და 2 შესაბამისად აღნიშნავენ განვითარების 2 საპირისპირო ტენდენციას – გლობალიზაციას და რეგიონალიზაციას. 2014 წლიდან IPCC-ის მითითებით შემუშავდა ახალი სცენარები RCP (Representative Concentration Pathway scenarios), რომლებიც არ ეფუძნება სოციალურ-ეკონომიკურ სიუჟეტებს, არამედ გლობალური თერმული რეჟიმის პროგნოზირებას რადიაციული ბიუჯეტის (ესაა სხვაობა ჯამურ შემომავალ და გამავალ რადიაციას შორის, რომელიც იზომება ვტ/კვ.მ-ზე) სტაბილიზაციის საშუალებით ახდენენ. ახალ სცენარებშიც არსებობს სამი კატეგორია: მკაცრი (RCP 8.5W/m² 2100 წლისათვის), ზომიერი (RCP 4.5W/m²) და რბილი (RCP 2.6 W/m²), რომლებიც SRES-ის A2, A1B და B1 სცენარების ბაზაზეა გაკეთებული. მე-4 ეროვნულ მოხსენებაში RCP 4.5W/m² სცენარია გამოყენებული, რომელიც წინა მოხსენებაში არსებული A1B სცენართან შედარებით ნაკლებად მკაცრია.

გლობალური პროგნოზის მასშტაბის გასაუმჯობესებლად გამოყენებულ იქნა რეგიონული კლიმატური მოდელი – RegCM-4.6.0 ვერსია. **Regional Climate Model (RegCM)** თავდაპირველად შეიმუშავა NCAR-მა და უმეტესად გამოიყენება რეგიონული კლიმატის კვლევებისა და სეზონური პროგნოზირებისთვის. ამჟამად მოდელის განახლება და დამუშავება მიმდინარეობს აბდუს სალამის თეორიული ფიზიკის საერთაშორისო ცენტრში (ტრიესტი, იტალია) და წარმოადგენს ლოკალური არის (LAMs) მოდელების ოჯახს, რომელშიც GCM-იდან მსხვილმასშტაბიანი მეტეოროლოგიური მონაცემები იძლევა საწყის და დროზე დამოკიდებულ მეტეოროლოგიურ სასაზღვრო პირობებს (LBCs) მაღალი გარჩევადობის RCM სიმულაციებისათვის. აღნიშნულ ვერსიაში რიგი ფიზიკური და ქიმიური პროცესების აღწერისა და პარამეტრიზაციის მექანიზმებია დახვეწილი, ხოლო ჩვენი მხრივ ამ მოდელში გათვალისწინებულ იქნა მტვრისა და აეროზოლების ზემოქმედება, რასაც წინ უსწრებდა კვლევა მტვრის ეფექტის გათვალისწინების შესახებ სამხრეთ ვაკვასიის რეგიონული კლიმატის სიმულაციისას. გარდა ამისა RegCM-4.6.0 პორიზონტალური

მასშტაბის გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა ჩადგმული არის მეთოდით (one way nesting), რეგიონული კლიმატური მოდელის ყველა სიმულაცია ჩატარდა ჯერ უფრო უხეში მასშტაბისა (30 კმ) და შედარებით დიდი ფართობის არეზე, ხოლო შემდეგ გადათვლილ იქნა 10-კილომეტრიან ბადეზე [10].

თვლა განხორციელდა სამ ეტაპად: 1. მოდელის სანყის და სასაზღვრო პირობებად გამოყენებულ იქნა დაკვირვების მონაცემების არქივი (ERA-Interim) 1986-2015 წ.წ. პერიოდისათვის, ამ თვლის შედეგები გამოიყენება რეგიონული მოდელის დიაგნოსტიკისა და კალიბრაციისათვის. 2. რეგიონული მოდელი თვლაზე გაეშვა გლობალური მოდელის MPI-ESM-MR სანყისი და სასაზღვრო პირობებით 1960-2005 წ.წ. პერიოდისათვის, ამ თვლის შედეგები გამოიყენება მომავლის კლიმატის პარამეტრების განაწილებისა და საშუალო მნიშვნელობებში ცვლილებების შესაფასებლად. 3. იმავე გლობალური მოდელის MPI-ESM-MR სანყისი და სასაზღვრო პირობებით 2006-2100 წ.წ. პერიოდისათვის. გლობალური მოდელის ეს სიმულაცია ჩატარებულია RCP 4.5 სცენარზე დაყრდნობით. რეგიონული კლიმატური მოდელის ყველა სიმულაცია ჩატარდა ჯერ უფრო უხეში მასშტაბის (30 კმ) და შედარებით დიდი ფართობის არეზე, ხოლო შემდეგ გადათვლილ იქნა 10-კილომეტრიან ბადეზე. ERA-Interim სასაზღვრო პირობებით შესრულებული სიმულაცია ჩატარდა ორ ვერსიად: აეროზოლების ეფექტის გათვალისწინებით და მის გარეშე. მოხდა სიმულაციების შედარება დაკვირვების მონაცემებთან როგორც კლიმატური სადგურების დაკვირვების დროით რიგებთან, ასევე დაკვირვების ბადეზე ინტერპოლირებულ მონაცემებთან. შედარების შედეგების ანალიზით, სიმულაცია, სადაც აეროზოლების ეფექტი გათვალისწინებულია, უფრო უკეთეს თანხვედრაშია დაკვირვებებთან. ამდენად, გლობალური მოდელის სანყისი და სასაზღვრო პირობებით შესრულებულ სიმულაციები ჩატარდა აეროზოლების ეფექტის გათვალისწინებით. მოხდა 1960-2005 წ.წ. პერიოდის სიმულაციის შედარება ERA-Interim სასაზღვრო პირობებით შესრულებული სიმულაციასთან დროის იმ პერიოდში, სადაც მოხდა მათი თანხვედრა – 1985-2005 პერიოდში. შესრულდა მოდელის bias correction – პროცედურა.

აღნიშნულ სიმულაციაზე დაყრდნობით ორი 30-წლიანი პერიოდისათვის – 2041-70 და 2071-2100 წ.წ. პერიოდებისათვის კლიმატის ცვლილების სამომავლო ტენდენციები შეფასდა საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურისათვის. სცენარები აგებულ იქნა როგორც ძირითადი კლიმატური პარამეტრებისათვის, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურის, ქარისა და შეფარდებითი სინოტივის საშუალო თვიური და წლიური მნიშვნელობები, ასევე ნალექების ჯამისა და ტემპერატურის მაქსიმუმისა და მინიმუმისათვის. აგრეთვე გაანგარიშებულ იქნა სპეციალიზებული კლიმატური პარამეტრები, ე.წ. ინდექსები, რომელთა შეფასება მნიშვნელოვანია ცალკეული სექტორებისათვის.

საშუალო წლიური ტემპერატურა 2041-70 წწ. პერიოდში მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე 1.6 გრადუსიდან 3.1 გრადუსამდე გაიზარდება. ცვლილებას

აღმოსავლეთ საქართველოს მთიანეთში – მცხეთა-მთიანეთის რეგიონში აქვს ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები (სტეფანწმიდა, გუდაური – 3.0°C ; 3.1°C), კახეთსა და ქვემო ქართლში ეს ნაზრდი უფრო ნაკლებია – 2.0 - 2.4°C დიაპაზონში. აღმოსავლეთ საქართველოში 1970-2000 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობა გარდაბანში იყო დაფიქსირებული, ყველაზე დაბალი კი – გუდაურში. 2041-70 წწ. პერიოდში ეს კანონზომიერება უცვლელი რჩება. დასავლეთ საქართველოში საშუალო წლიური ტემპერატურა შედარებით ნაკლებად თბება, ყველაზე ნაკლებად – ლენტეხში. სხვა მხრივ ბარსა და მთიანეთში ეს პარამეტრი დაახლოებით 2 გრადუსის ფარგლებში იმატებს. სამცხე-ჯავახეთში ტემპერატურა უფრო მეტად თბება ვიდრე დასავლეთში – საშუალოდ ეს ნაზრდი 2.3°C -ს შეადგენს.

2071-2100 წწ. პერიოდში საშუალო წლიური ტემპერატურა ზრდას განაგრძობს და ის კიდევ 0.4°C - 1.7°C -ით თბება. შედეგად ამ პერიოდსათვის ტემპერატურის ნაზრდი 1970-2000 წწ. პერიოდის საშუალოსთან შედარებით 2.2°C – 3.9°C -ით გათბება, ყველაზე ნაკლებად ეს სიდიდე ისევ ლენტეხში იმატებს, ხოლო ყველაზე მეტად თბილისში. აღმოსავლეთ საქართველოში ეს სიდიდე საშუალოდ 0.5 გრადუსით მეტად თბება ვიდრე დასავლეთში.

კახეთი. მხარეში საშუალო დათბობაა გაზაფხულზე 3.6°C -ით (სადგურებში 3.4°C -დან 3.9°C -მდე ფარგლებში); ზაფხულში 3.7°C -ით (2.9°C -დან 3.6°C -მდე); შემოდგომაზე 4.0°C -ით (3.7°C -დან 4.4°C -მდე) და ზამთარში 3.2°C -ით (2.8°C -დან 3.6°C -მდე). წლიური დათბობაა 3.6°C -ით (3.4°C -დან 3.7°C -მდე). ყველაზე მეტად დათბა მაისი 4.8°C -ით (4.3°C -დან 5.2°C -მდე) და სექტემბერი 4.2°C -ით (3.8°C -დან 4.9°C -მდე), ყველაზე ნაკლებად-იანვარი 2.8°C -ით (2.6°C -დან 3.1°C -მდე).

მცხეთა-მთიანეთი. მხარეში საშუალო დათბობაა გაზაფხულზე 3.4°C -ით (სადგურებში 3.1°C -დან 3.7°C -მდე ფარგლებში); ზაფხულში 3.6°C -ით (2.9°C -დან 4.1°C -მდე); შემოდგომაზე 3.5°C -ით (3.2°C -დან 3.8°C -მდე) და ზამთარში 3.0°C -ით (2.7°C -დან 3.5°C -მდე). წლიური დათბობაა 3.3°C -ით (3.0°C -დან 3.6°C -მდე). ყველაზე მეტად დათბა ივნისი 4.1°C -ით (3.4°C -დან 4.7°C -მდე) და მაისი 3.8°C -ით (2.9°C -დან 4.5°C -მდე), ყველაზე ნაკლებად დეკემბერი 2.8°C -ით (2.5°C -დან 3.5°C -მდე).

ქვემო ქართლი: მხარეში საშუალო დათბობაა გაზაფხულზე 2.7°C -ით (სადგურებში 2.5°C -დან 3.0°C -მდე ფარგლებში); ზაფხულში 3.2°C -ით (3.0°C -დან 3.6°C -მდე); შემოდგომაზე 2.9°C -ით (2.8°C -დან 3.2°C -მდე) და ზამთარში 2.8°C -ით (2.7°C -დან 3.1°C -მდე). წლიური დათბობაა 3.0°C -ით (2.8°C -დან 3.4°C -მდე). ყველაზე მეტად დათბა ივნისი 3.4°C -ით (3.3°C -დან 3.5°C -მდე) და მაისი 3.4°C -ით (2.7°C -დან 4.0°C -მდე), ყველაზე ნაკლებად – იანვარი 2.7°C -ით (2.5°C -დან 3.0°C -მდე).

შიდა ქართლი: მხარეში საშუალო დათბობაა გაზაფხულზე 3.2°C -ით (სადგურებში 3.1°C -დან 3.2°C -მდე ფარგლებში); ზაფხულში 2.9°C -ით (2.8°C -

აჭარა: მხარეში საშუალო დათბობაა გაზაფხულზე 3.4°C -ით (სადგურებში 3.1°C -დან 3.8°C -მდე ფარგლებში); ზაფხულში 2.7°C -ით (2.3°C -დან 3.2°C -მდე); შემოდგომაზე 3.1°C -ით (2.7°C -დან 3.7°C -მდე) და ზამთარში 2.3°C -ით (1.7°C -დან 2.5°C -მდე). წლიური დათბობაა 2.9°C -ით (2.5°C -დან 3.3°C -მდე). ყველაზე მეტად დათბა მაისი 4.4°C -ით (4.1°C -დან 4.7°C -მდე) და ოქტომბერი 3.6°C -ით (3.0°C -დან 4.4°C -მდე), ყველაზე ნაკლებად – იანვარი 2.0°C -ით (1.4°C -დან 2.3°C -მდე).

საშუალო წლიური ტემპერატურა დასავლეთ საქართველოს ზღვის-პირეთსა და კოლხეთის დაბლობზე დაკვირვების პერიოდისათვის საშუალოდ 2 გრადუსით უფრო მეტია, ვიდრე საქართველოს დანარჩენ ტერიტორიაზე. ეს ტენდენცია ნარჩუნდება 2041-70 წწ. და 2071-2100 წწ. პერიოდებისათვისაც.

დაკვირვების პერიოდში ქუთაისში საშუალო წლიური ტემპერატურა ყველაზე მაღალი იყო განხილული 39 სადგური მონაცემებით, 2041-70 წწ. პერიოდში საშუალო წლიური ტემპერატურის მნიშვნელობა 0,1 გრადუსით უფრო თბილი იქნება სამტრედიიაში, ხოლო 2100 წლისათვის კვლავ ქუთაისში იქნება ტემპერატურა ყველაზე მაღალი.

ყველაზე ცივი საშუალო წლიური ტემპერატურა დაკვირვების პერიოდში გუდაურში იყო. ხოლო ორივე სამომავლო პერიოდში გოდერძის გადასასვლელზე უფრო დაბალი მნიშვნელობები ექნება ამ პარამეტრს, რამდენადაც, სცენარის თანახმად დათბობა გუდაურში გაცილებით უფრო ინტენსიურ ხასიათს ატარებს.

საშუალო მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურების წლიური დათბობა 2041-70 წ.წ. პერიოდისათვის შეადგენს $2.0 - 2.3^{\circ}\text{C}$ და $1.1-1.7^{\circ}\text{C}$ შესაბამისად. მინიმალური ტემპერატურა თითქმის 1 გრადუსით უფრო ნაკლებად თბება, ვიდრე მაქსიმალური. 2071-2100 წ.წ. პერიოდისათვის ეს კანონზომიერება ნარჩუნდება და მაქსიმუმები თბება $3.2-4.0^{\circ}\text{C}$, ხოლო მინიმუმები $1.7-3.7^{\circ}\text{C}$. მინიმალური ტემპერატურის ნაზრდი ყველაზე დაბალია მაღალმთიან სადგურებზე. სამივე განხილულ პერიოდში ყველაზე დაბალი საშუალო წლიური ტემპერატურა დაიკვირვა ფარავანში და ასევე რჩება მომავალშიც, ხოლო ყველაზე მაღალი მაქსიმუმი – სამტრედიიაში.

2041-70 წლებისათვის დღეთა რიცხვი, როდესაც დღის **მაქსიმალური ტემპერატურა** მეტია 25, 30 და 35 გრადუსზე, წლის განმავლობაში ყველა სადგურზე გაზრდილია, ისევე როგორც იმ ღამეების რაოდენობა, როდესაც მინიმალური ტემპერატურა 20°C -ზე ქვემოთ არ ჩამოდის. ამავე დროს მნიშვნელოვნად შემცირდება ყინვიანი დღეებისა და ღამეების რაოდენობა. აღნიშნული პერიოდისათვის, მაღალმთაში ყინვიანი დღეების რიცხვი უფრო მკვეთრად იკლებს, ვიდრე ყინვიანი ღამეებისა მაშინ, როდესაც დაბლობ ადგილებში ორივე სიდიდე თითქმის ერთნაირად მცირდება. საუკუნის ბოლოსათვის კი ყინვიანი დღეების რაოდენობა დაბლობში საერთოდ აღარ გვხვდება.

ცხელი დღეების პროცენტული რაოდენობა – Tx90p, როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 90 პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს, პირველ საპროგნოზო პერიოდში ყველგან იზრდება ყველა თვეში. გამონაკლისს წარმოადგენს დაახლოებით 1%-იანი კლება კახეთის რეგიონში. წლის თბილ პერიოდში (მაისი-სექტემბერი) აღინიშნება ყველაზე დიდი მატება (მაქსიმუმ 30%). წლის დანარჩენ პერიოდში ეს რიცხვი 10-15%-ის ფარგლებშია. საუკუნის ბოლოსათვის ეს მაჩვენებელი უფრო ინტენსიურად იზრდება ყველა სეზონსა და სადგურზე, განსაკუთრებით აღსანიშნავია წლის თბილ პერიოდში კახეთსა და ქვემო ქართლში ცხელი დღეების პროცენტული რაოდენობის ზრდა, ის გარკვეულ თვეებში 50%-ის ფარგლებში იზრდება.

Tn90p – თბილი ღამეების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს. კიდევ უფრო ინტენსიურ დათბობას აჩვენებს. პირველივე საპროგნოზო პერიოდში ეს ინდექსი ყველგან იმატებს და ზოგ სადგურზე წლის თბილ პერიოდში 40-45%-საც აღწევს. 2100 წლისათვის ივლისის თვეში კახეთის რეგიონში ასეთი ღამეების რაოდენობა 60%-ით იზრდება, საშუალოდ ბათუმსა და შემოდგომაზე თბილი ღამეები 35% და 27%-ით იზრდება, გაზაფხულსა და ზამთარში შედარებით ნაკლებად -22% და 16%-ით.

ამ ორი ინდექსის საპირისპიროდ ცივი დღეების პროცენტული რაოდენობა – Tx10p, როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა და Tn10p ცივი ღამეების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა ორივე საპროგნოზო პერიოდში იკლებს. 2041-70 წწ. პერიოდში ორივე ეს ინდექსი მცირედ იმატებს სვანეთის სადგურებზე და კახეთის რეგიონში წლის თბილი პერიოდის განმავლობაში. ქვეყნის ტერიტორიის დანარჩენ ნაწილზე ეს სიდიდეები წლიურად დაახლოებით 6%-ით მცირდება. ყველაზე მეტად ორივე პარამეტრი შემოდგომაზე იკლებს. საუკუნის ბოლოსათვის მხოლოდ გუდაურში რჩება უცვლელი ცივი დღეებისა და ღამეების პროცენტული რაოდენობა წლიურად. ყველა დანარჩენ სადგურზე ისინი მცირდება 8-9%-ით წლიურად, თითქმის თანაბრად სეზონების მიხედვით.

დაკვირვების მონაცემებით **ნალექების წლიური ჯამის** განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე შემდეგი კანონზომიერებით ხასიათდება: ყველაზე ნალექიანი აჭარის სანაპირო ზოლია (2 300 მმ და მეტი), ზღვიდან აღმოსავლეთით და ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდის მიხედვით ნალექის წლიური რაოდენობა თანდათან იკლებს, თუმცა მაღალ მთაში კვლავ იმატებს. სცენარის თანახმად, ორივე საპროგნოზო პერიოდში ნალექების ჯამი მცირდება სხვადასხვაგვარი პროცენტული თანაფარდობით, მაგრამ განაწილების კანონზომიერება უცვლელი რჩება.

2041-70 წწ. პერიოდში ნალექების წლიური ჯამი აღმოსავლეთ საქართველოში საშუალოდ 9%-ით მცირდება. ყველაზე მეტად (12.3%) – ფასანაურში,

ყველაზე ნაკლებად კი – საგარეჯოში (5.3%). ნალექის წლიური რაოდენობა ყველაზე მეტად იმერეთისა და სამცხე-ჯავახეთის რეგიონებში იკლებს. კერძოდ, მთა-საბუეთსა და ახალქალაქში დაახლოებით 29%-ით – მცირდება. დასავლეთ საქართველოს სხვა რეგიონებში კლება დაახლოებით 10%-ით მიმდინარეობს. გამონაკლისს წარმოადგენს ზუგდიდი და ფოთი, სადაც ნალექი 8-10%-ით იზრდება.

2071-2100 წწ. პერიოდში 2041-70 წწ. პერიოდთან შედარებით ნალექების ჯამი უმნიშვნელოდ იცვლება, კერძოდ, იზრდება ან მცირდება 1-6% პროცენტით. შედეგად დაკვირვების პერიოდთან შედარებით ნალექების ჯამი იკლებს ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე. მათგან ყველაზე მეტად ახალქალაქში (31%) და თითქმის უცვლელი რჩება თიანეთში.

ჯახეთი: ოთხივე სადგურზე ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა (სადგურების მიხედვით 16%-დან 20%-მდე ფარგლებში). ნალექების კლება ასევე ყველა სეზონში, გამონაკლისია ზამთარში ნალექების მატება ლაგოდეხში (20%-ით) და საგარეჯოში (43%-ით).

მცხეთა-მთიანეთი: ფასანაურში ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა 10%-ით, ნალექების კლება ასევე ყველა სეზონში (3%-დან 20%-მდე ფარგლებში). თიანეთში ნალექების წლიური რაოდენობის უმნიშვნელო მატებაა (1%-ით), აქ ნალექების მატებაა ზაფხულშიც (14%-ით), დანარჩენ სეზონებში კლებაა (4%-დან 8%-მდე ფარგლებში).

ქვემო ქართლი: თბილისში ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა 19%-ით, კლება ასევე ყველა სეზონში (4%-დან 39%-მდე ფარგლებში). ბოლნისში ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა 7%-ით, აქ ნალექების მატებაა ზაფხულში 8%-ით, დანარჩენ სეზონებში კლებაა (4%-დან 16%-მდე ფარგლებში).

შიდა ქართლი: ხაშურში ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა 3%-ით. ზაფხულში ნალექების მატებაა 12%-ით, დანარჩენ სეზონებში კლებაა (2%-დან 11%-მდე ფარგლებში). გორში, ანალოგიურად, ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა 7%-ით. ზაფხულში ნალექების მატებაა 8%-ით, დანარჩენ სეზონებში კლებაა (5%-დან 17%-მდე ფარგლებში).

სამცხე-ჯავახეთი: ოთხივე სადგურზე ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა (6%-დან 18%-მდე ფარგლებში). ყველა სეზონში ნალექების კლებაა, ნალკის გარდა, სადაც ზაფხულში ნალექების მატებაა 4%-ით. გაზაფხულზე კლებაა (14%-დან 27%-მდე ფარგლებში), ზაფხულში სამ სადგურზე კლებაა (1%-დან 11%-მდე ფარგლებში). კლება ასევე შემოდგომაზე (12%-დან 18%-მდე ფარგლებში) და ზამთარში (3%-დან 28%-მდე ფარგლებში).

რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთი: ამბროლაურში ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა 16%-ით, გაზაფხულზე 28%-ით, ზაფხულში 9%-ით, შემოდგომაზე 17%-ით და ზამთარში 10%-ით. შოვეში წლიური კლებაა 6%-ით;

სეზონებიდან გაზაფხულზე კლებს 6%-ით, შემოდგომაზე 14%-ით და ზამთარში 7%-ით. შოვში ზამთარში ნალექების მატებაა 4%-ით.

იმერეთი: ოთხივე სადგურზე ნალექების წლიური რაოდენობის კლებაა (2%-დან 12%-მდე ფარგლებში). ყველა სეზონში ნალექების კლებაა, მთა საბუეთის გარდა, სადაც ზაფხულში ნალექების მატებაა 2%-ით და საჩხერის გარდა, სადაც შემოდგომაზე მატებაა 23%-ით, ზამთარში კი 22%-ით. გაზაფხულზე 4 სადგურზე კლებაა (6%-დან 28%-მდე ფარგლებში). სამ სადგურზე კლებაა ზაფხულში (13%-დან 24%-მდე ფარგლებში), შემოდგომაზე (2%-დან 19%-მდე ფარგლებში) და ზამთარში (9%-დან 19%-მდე ფარგლებში).

სამეგრელო-ზემო სვანეთი: ზუგდიდში ნალექების წლიური კლებაა 7%-ით. გაზაფხულზე მატებაა 1%-ით, დანარჩენ სეზონებში კლებაა (3%-დან 16%-მდე ფარგლებში). ფოთში ნალექების უმნიშვნელო წლიური კლებაა 1%-ით. სეზონებიდან ნალექების კლებაა მხოლოდ ზაფხულში 10%-ით, დანარჩენ სეზონებში მატებაა (3%-დან 4%-მდე ფარგლებში).

გურია: ჩოხატაურში ყველა სეზონში კლებაა, გაზაფხულზე 4%-ით, ზაფხულში 3%-ით, შემოდგომაზე 6%-ით, ზამთარში 2%-ით. წლიური კლება 4%-ია. თვეებიდან ნალექების მატებაა მარტში 7%-ით, ივნისში 1%-ით და დეკემბერში 2%-ით.

აჭარა: სამივე სადგურში წლიური ნალექების კლებაა (6%-დან 12%-მდე ფარგლებში), კლებაა სეზონებშიც: გაზაფხულზე (3%-დან 14%-მდე ფარგლებში), ზაფხულში (2%-დან 7%-მდე ფარგლებში), შემოდგომაზე (9%-დან 12%-მდე ფარგლებში) და ზამთარში (3%-დან 15%-მდე ფარგლებში). ქობულეთში ნალექების მატებაა იანვარში 1%-ით და მარტში 9%-ით. ბათუმში მატებაა მაისში 11%-ით, სექტემბერსა და დეკემბერში კი 1%-ით.

ნალექის ყველაზე ნაკლები რაოდენობა 1971-2000 წწ. პერიოდში ბოლნისშია, ყველაზე მეტი კი ბათუმში. ორივე საპროგნოზო პერიოდში ნალექების წლიური მაქსიმუმი კვლავ ბათუმშია მოსალოდნელი, ხოლო ყველაზე მცირე გარდაბანში (355 მმ და 358 მმ შესაბამისად).

1-სა და 5 დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექის რაოდენობა – Rx1day და Rx5day ინდექსები აჩვენებს, ნალექის რა მაქსიმალურ რაოდენობაზე უნდა მოხდეს ინფრასტრუქტურული და ეკონომიკური პროექტების გათვლები. თუმცა დაფიქსირებული მაქსიმუმის შემცირება 50 წლის მანძილზე არ ნიშნავს, რომ მისი მოხდენის ალბათობა აღარ არსებობს.

ერთ და ხუთ დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექის რაოდენობის ცვლილებას როგორც აღმოსავლეთ, ასევე დასავლეთ საქართველოში არა აქვს რაიმე გამოკვეთილი კანონზომიერება. ორივე ეს პარამეტრი იზრდება თელავსა და საგარეჯოში, მაშინ როდესაც მცირდება ვახეთის სხვა სადგურებზე. აღსანიშნავია, რომ ეს ტენდენცია უფრო მძაფრდება პირველიდან მეორე საპროგნოზო პერიოდში გადასვლისას. ამ პერიოდში ყველაზე მეტად მცირდება გარდაბნის ერთ დღეში მოსული ნალექის რაოდენობა. დასავლეთ საქარ-

თველოს სადგურთა უმრავლესობაზე ეს სიდიდე მცირდება დაახლოებით 10%-ით. თუმცა დანარჩენ სადგურებზე მისი მატებაც ხდება. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მატება შოვში (40%). 5-დღიანი მაქსიმუმები დაახლოებით იმეორებენ ნალექების ერთდღიანი მაქსიმუმების ცვლილების ხასიათს მცირედი განსხვავებებით. 2041-2070 წწ. პერიოდისათვის ერთ და ხუთ დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექის რაოდენობა სანაპირო ზოლსა და კოლხეთის დაბლობზე მცირდება, ხოლო მთიან ზონებში იზრდება. 2071-2100 წწ. პერიოდისათვის ეს ტენდენცია სადგურების უმრავლესობაზე ნარჩუნდება.

R50 და R90 ინდექსები ექსტრემალურად უხვნალექიანი (50 მმ-ზე და 90 მმ-ზე მეტი შესაბამისად) დღეებია, რომელთა შედეგად წყალდიდობა/წყალმოვარდნების, ღვარცოფებისა და მენყრების რისკი იქმნება, სადაც გეოლოგიურად არსებობს ამის პირობა.

ამ ინდექსების მაქსიმალური წლიური მნიშვნელობები აჭარის სანაპიროზე მოდის, რაც მომავალშიც ასეა მოსალოდნელი. R50 და R90 ზამთარში ძირითადად დასავლეთ საქართველოში დაიკვირვება; მომავალში ზამთარში ორივე ეს ინდექსი იკლებს მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე იშვიათი გამონაკლისის გარდა.

2071-2100 წწ. პერიოდისათვის R90 დასავლეთის მთიანეთის გარდა ყველგან იზრდება, მაგრამ უფრო ნაკლებ ინტენსიურად, ვიდრე წინა საპროგნოზო პერიოდში.

ექსტრემალურად უხვნალექიანი დღეების რაოდენობა 50 მმ-ზე მეტი ნალექით აღმოსავლეთ საქართველოში პირველ საპროგნოზო პერიოდში მცირდება და საუკუნის ბოლოშიც თითქმის უცვლელად ნარჩუნდება. დასავლეთში კი ასეთივე სურათი დამახასიათებელია მთიანი ტერიტორიისათვის, ხოლო სანაპირო ზოლში ასეთი 90 მმ-ზე მეტი ნალექით, რომელიც ძირითადად დასავლეთშია მოსალოდნელი, მცირედ იკლებს 2041-70 წლებში და შემდეგ პერიოდშიც უცვლელი რჩება.

CDD და CWD ინდექსები წლის განმავლობაში უნალექო და ნალექიანი პერიოდების მაქსიმალურ ხანგრძლივობას აღნიშნავენ. პირველი მათგანი წყლის რესურსების მართვისათვის აუცილებელი ინფორმაციაა, იქ, სადაც სასმელი ან სარწყავი წყლის სიმცირეა. ამ ინდექსის გახანგრძლივება გვალვასთანაა კავშირში. მეორე ინდექსი 5 დღეში მოსულ ნალექების ჯამთან ერთად კვლავ უხვი ნალექის მოსვლის რისკს შეიცავს. ამ ინდექსებისათვის, როგორც წესი, მხოლოდ წლიური მნიშვნელობები გამოითვლება.

განხილული სადგურების უმეტესობაზე უნალექო პერიოდის ხანგრძლივობა 2041-2071 წწ. საპროგნოზო პერიოდისათვის მცირდება. განსაკუთრებით აღსანიშნავია კლება კახეთის რეგიონის ყველა სადგურზე – 5-დან 8 დღემდე აგრეთვე კლება თბილისსა და ზემო სვანეთში (საშუალოდ 5 დღე). აღნიშნულ ტერიტორიებზე ეს სიდიდე მცირდება თვეებისა და სეზონების მიხედვითაც, განსაკუთრებით კი ზაფხულის პერიოდში. სხვა ტერიტორიებზე ადგილი აქვს

უნაღეწო პერიოდის გახანგრძლივებას 1 დღით. 2071-2100 წწ. საპროგნოზო პერიოდისათვის უნაღეწო პერიოდის ხანგრძლივობის ცვლილებას ყველა სადგურზე იგივე ტენდენცია აქვს, რაც წინა საპროგნოზო პერიოდში, თუმცა უფრო ნაკლებ ინტენსიურია (არ აღემატება 5 დღეს). ამ უკანასკნელში შეიძლება გამოიყოს უნაღეწო პერიოდის 2-3 დღით გაზრდა (18 დღე) ახალციხეში, რაც წყლის დეფიციტის პრობლემას გამოიწვევს.

ნაღეწიანი პერიოდების ხანგრძლივობა კი იზრდება ორივე საპროგნოზო პერიოდში. გამონაკლისს წარმოადგენს რამდენიმე მაღალმთიანი სადგური – ლენტეხი, გუდაური, მთა-საბუეთი, სადაც მოსალოდნელია ნაღეწიანი პერიოდების 1 დღით შემცირება, რაც წყალთან დაკავშირებული რისკების პროვოცირებას არ გამოიწვევს.

დაკვირვების მონაცემებით **საშუალო წლიური ფარდობითი სინოტივის** ყველაზე დაბალი მაჩვენებელი თბილისში დაიკვირვებოდა (66%). მომავალშიც, ორივე საპროგნოზო პერიოდში, ყველაზე დაბალი ფარდობითი ტენიანობა კვლავ თბილისშია მოსლოდნელი (68%). ისევე როგორც მთა-საბუეთში სინოტივის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი იყო დაფიქსირებული (86%), 2071-2100 პერიოდშიც ფარდობითი სინოტივს ყველაზე მაღალი კვლავ მთა-საბუეთშია, ხოლო 2041-70 წწ. პერიოდში მაქსიმალურ მნიშვნელობას (88 %) ქობულეთში აღწევს.

ისევე, როგორც დაკვირვების პერიოდში, ფარდობითი ტენიანობა 2041-70 წლებისათვის სადგურების უმრავლესობაზე მატებას განაგრძობს 1-5 %-ის ფარგლებში. გამოკლისის სახით 1-2%-იანი კლება ამ პერიოდში ხაშურსა და ფარავანშია მოსალოდნელი.

კახეთი. მხარეში ფარდობითი ტენიანობის საშუალო წლიური მნიშვნელობა მხოლოდ საგარეჯოსა და დედოფლისწყაროში იზრდება 2-3%-ით, სხვა სადგურებზე უცვლელი რჩება. გაზაფხულზე იგი საშუალოდ 1%-ით იმატებს (0-2%), ზაფხულში 5%-ით (1-8%), შემოდგომაზე 1%-ით (0-3%), ხოლო ზამთარში იკლებს 2.4%-ით (-4 – -1%). ყველაზე მეტ მატებას ადგილი აქვს აგვისტოში (12%), ხოლო კლებას – იანვარში (-6%).

მცხეთა–მთიანეთი. მხარეში ფარდობითი ტენიანობის საშუალო წლიური ცვლილება მხოლოდ 0.5%-ია, 1%-ით იმატებს თიანეთში და უცვლელია ფასანაურში. გაზაფხულზე იგი +1% და -1%-ის ფარგლებში იცვლება. ზაფხულში ის ყველაზე მეტად იზრდება 6%-ით (5-7%), შემოდგომაზე მცირდება ფასანაურში (-1%) და იზრდება თიანეთში (2%), ხოლო ზამთარში იკლებს – 4.5%-ით. ყველაზე მეტ მატებას ადგილი აქვს აგვისტოში (8%), ხოლო კლებას ნოემბერში (-8%).

ქვემო ქართლი: მხარეში თბილისისა და ბოლნისის სადგურების მონაცემებზე დაყრდნობით ცვლილების ტენდენციები ერთნაირია, მხოლოდ ბოლნისში ამ პარამეტრის უფრო ინტენსიური მატება მოდის. საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 4%-მდე (2-6%) იმატებს. გაზაფხულზე 3%-ით (1-5%)

იმატებს, ზაფხულში 11%-ით (7-16%), ეს უკანასკნელი ყველაზე დიდი მატებაა მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე, შემოდგომაზე საშუალოდ 3.5% -ით (2-5%). ზამთარში ორივე სადგურზე კლებაა -1--3%-ით.

შიდა ქართლი: მხარეში საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 1%-მდე (0-2%) მცირდება. გაზაფხულზეც მცირდება 0.5%-ით, რადგან გორში უცვლელი რჩება და ხაშურში 1%-ით იკლებს. მხოლოდ ზაფხულში იზრდება ორივე სადგურზე – 1.5%-ით (1-2%), შემოდგომაზეც შემცირების ტენდენციაა, საშუალოდ -2%-ით. ზამთარშიც ორივე სადგურზე კლებაა -2--4%-ით.

სამცხე-ჯავახეთი: მხარეში საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 1%-მდე (0--3%), მხოლოდ წალკაშია 1%-იანი მატება. გაზაფხულზეც მცირდება 2.8%-ით (0—6), მხოლოდ ზაფხულში იზრდება ყველა სადგურზე – 3.5%-ით (1-5%), შემოდგომაზეც შემცირების ტენდენციაა, საშუალოდ -2%-ით(-4+1%), გამონაკლისი კვლავ წალკაა. ზამთარშიც ყველა სადგურზე კლებაა -3%-ით.

რაჭა–ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთი: მხარეში ფარდობითი ტენიანობის საშუალო წლიური მნიშვნელობა იზრდება 1%-ით. გაზაფხულზე იგი 2%-ით იმატებს ერთნაირად ორივე სადგურზე, ზაფხულში 5.5%-ით (5-8%), შემოდგომაზე 1%-ით (0-1%), ხოლო ზამთარში იკლებს 3%-ით, კვლავ ერთნაირად ორივე სადგურზე.

იმერეთი: მხარეში საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 1%-მდე (0-2%) იმატებს. გაზაფხულზე ისევე იცვლება ფარდობითი ტენიანობა, როგორც წლიურად 1%-მდე (0-2%) იმატებს, ზაფხულში 4%-ით (3-6%), შემოდგომაზე საშუალოდ 0.6% -ით იმატებს, მთა საბუეთში მცირდება -2%-ით, ხოლო დანარჩენ სადგურებზე ამდენითვე იზრდება. ზამთარში ყველა სადგურზე კლებაა 2-3%-ით.

სამეგრელო–ზემო სვანეთი: მხარეში საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 3.5%-ით იმატებს. განხილული ორი სადგურის მონაცემებით ცვლილების ტენდენციები სრულ თანხვედრაშია ყველა სემონზეც. კერძოდ, გაზაფხულზე იზრდება 4.5%-ით, ზაფხულში 8-10%-ით, შემოდგომაზე 1%-ით იზრდება და ზამთარში 1,5%-ით მცირდება.

გურია: მხარეში საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 2%-ით იმატებს. განხილული ორი სადგურის მონაცემებით ცვლილების ტენდენციები სრულ თანხვედრაშია ყველა სემონზეც. კერძოდ, გაზაფხულზე იზრდება 1%-ით, ზაფხულში 6-7%-ით, შემოდგომაზე 1%-ით იზრდება და ზამთარში 1,5%-ით მცირდება.

აჭარა: მხარეში საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 2.5%-ით (0-5%) იმატებს. გაზაფხულზე ორ სადგურს შორის ცვლილების ტენდენციები საპირისპიროა, კერძოდ ქობულეთში 7%-ით იზრდება და ხულოში 2%-ით იკლებს, ზაფხულში ამ რეგიონშიც იზრდება ტენიანობა 7%-ით. შემოდგომაზე კვლავ საპირისპირო ტენდენციებია. ქობულეთში იზრდება 4%-ით და ხულოში

მცირდება 3%-ით. ზამთარში ამ რეგიონშიც შემცირებაა საშუალოდ 2%-ით, უფრო მეტად მცირდება ხულოში (4%).

ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე დაკვირვების პერიოდში მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. აღმოსავლეთ საქართველოში მისი მნიშვნელობები 1-4-მ/წმ-ში მერყეობდა, დასავლეთ საქართველოში კი 0.9 (ფსხუ) – 5.5მ/წმ-ში (გოდერძის გადასასვლელი). მისი უდიდესი მნიშვნელობა მთა-საბუეთშია (9.2მ/წმ) დაფიქსირებული.

მომავალში საუკუნის ბოლომდე საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე ქარის საშუალო სიჩქარე წლიურად და სეზონების მიხედვითაც მცირე ცვლილებას განიცდის ± 0.5 მ/წმ დიაპაზონში, რომელსაც არ გააჩნია რაიმე გამოკვეთილი კანონზომიერება, არც გეოგრაფიული მდებარეობის არც სეზონური ცვალებადობის თვალსაზრისით.

კლიმატის ცვლილების RCP4.5 სცენარი

კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების პროგნოზირებისთვის გამოყენებულია RCP4.5 სცენარი, რომელიც გულისხმობს რადიაციული ბიუჯეტის სტაბილიზაციას 4.5 W/m^2 დონეზე. მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში გამოყენებულ A1B სცენართან შედარებით, RCP4.5 სცენარი ნაკლებ მკაცრია.

გლობალური პროგნოზის მასშტაბის გასაუმჯობესებლად გამოყენებულ იქნა RegCM რეგიონული კლიმატური მოდელის 4.6.0 ვერსია. აღნიშნულ ვერსიაში რიგი ფიზიკური და ქიმიური პროცესების აღწერისა და პარამეტრიზაციის მექანიზმებია დახვეწილი. ჩვენ ამ მოდელში გავითვალისწინეთ მტვრისა და აეროზოლების ზემოქმედება, რასაც წინ უსწრებდა კვლევა: მტვრის ნაწილაკების ეფექტის გათვალისწინება სამხრეთ კავკასიის კლიმატის სიმულაციისას. გარდა ამისა, RegCM 4.6.0 ვერსია ჰორიზონტალური მასშტაბის გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა, ჩადგმული არის მეთოდით (one way nesting). რეგიონული კლიმატური მოდელის ყველა სიმულაცია ჩატარდა ჯერ უფრო უხეში მასშტაბის (30 კმ) და შედარებით დიდი ფართობის არეზე, ხოლო შემდეგ გადათვლილ იქნა 10-კილომეტრიან ბადეზე [10].

აღნიშნულ სიმულაციაზე დაყრდნობით, ორი 30-წლიანი (2041-2070 და 2071-2100 წლები) პერიოდის შედარებით 1971-2000 წლების 30-წლიან პერიოდთან, შეფასდა კლიმატის ცვლილების სამომავლო ტენდენციები საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურისთვის. სცენარები აგებულ იქნა როგორც ძირითადი კლიმატური პარამეტრებისთვის, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურის, ნალექების ჯამის, ფარდობითი სინოტივისა და ქარის საშუალო თვიური და წლიური მნიშვნელობები. დამატებით, გაანგარიშებულ იქნა სპეციალიზებული კლიმატური პარამეტრები – ინდექსები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია ცალკეულ სექტორებზე კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება.

საშუალო წლიური ტემპერატურა 2041-2070 წლების პერიოდში 1971–2000 წლებთან შედარებით მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე 1.6°C -დან 3.0°C -მდე ფარგლებში გაიზრდება. აღმოსავლეთ საქართველოში დათბობა 1.8°C – 3.0°C ფარგლებშია, დასავლეთ საქართველოში ოდნავ ნაკლებია, 1.6°C – 2.9°C ფარგლებში.

2071-2100 წლების პერიოდში საშუალო წლიური ტემპერატურა ზრდას განაგრძობს და ის კიდევ 0.4°C – 1.7°C -ის ფარგლებში მოიმატებს. შედეგად, ამ პერიოდისთვის ტემპერატურის ნაზრდი 1971-2000 წლების პერიოდის საშუალოსთან შედარებით 2.1°C – 3.7°C ფარგლებშია. ყველაზე ნაკლებად ეს სიდიდე ლენტეხში იმატებს, ხოლო ყველაზე მეტად საგარეჯოში. აღმოსავლეთ საქართველოში მატება უმნიშვნელოდ აღემატება დასავლეთ საქართველოში მატებას. დეტალური ინფორმაცია სადგურების მიხედვით მოყვანილია დანართის ცხრილ B1-ში.

საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურების წლიური მატება 2041-2070 წლების პერიოდისთვის 1.9°C – 3.0°C ფარგლებშია, საშუალო მინიმალური ტემპერატურებისა კი 1.1°C – 2.3°C ფარგლებში. მინიმალური ტემპერატურების საშუალო ნაკლებ იმატებს, ვიდრე მაქსიმალური ტემპერატურებისა. 2071-2100 წლების პერიოდისთვის ეს კანონზომიერება ნარჩუნდება, მაქსიმუმები თბება 2.6 – 4.3°C -ით, ხოლო მინიმუმები 1.7 – 3.7°C .

2041-2070 წლებისთვის იმ დღეთა რიცხვი, როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა აღემატება 25°C , 30°C და 35°C -ს, წლის განმავლობაში ყველა სადგურზე გაზრდილია, ისევე როგორც იმ ღამეების რაოდენობა, როდესაც მინიმალური ტემპერატურა 2°C -ზე ქვემოთ არ ჩამოდის. ამავე დროს მნიშვნელოვნად შემცირდება ყინვიანი დღეებისა და ღამეების რაოდენობა. აღნიშნული პერიოდისთვის, მაღალმთაში ყინვიანი დღეების რიცხვი უფრო მკვეთრად იკლებს, ვიდრე ყინვიანი ღამეებისა, მაშინ როდესაც დაბლობ ადგილებში ორივე სიდიდე თითქმის ერთნაირად მცირდება. საუკუნის ბოლოსათვის ყინვიანი დღეები საერთოდ აღარ არის მოსალოდნელი.

FDO – ყინვიან ღამეთა რიცხვი, როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა ნაკლებია 0°C -ზე, პირველ საპროგნოზო პერიოდში (2041–2070 წლები) მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე საშუალოდ 19 დღით, სადგურების მიხედვით კი 8-დან (ბათუმში) 47 დღემდე (ამბროლაურში) მცირდება, ხოლო მეორე პერიოდში (2071–2100) – საშუალოდ 28 დღით, სადგურების მიხედვით 9-დან (ბათუმში) 60 დღემდე (ამბროლაურში). შემცირება ძირითადად ზამთრის პერიოდში ხდება, ნაკლებად და თითქმის ერთნაირად გარდამავალ სეზონებზე, თუმცა, მაღალმთიან სადგურებზე კლება გარდამავალ სეზონებზეც ინტენსიურია და ზოგ სადგურზე ზამთრის კლებაზე მეტიც კია.

გარდა ფიქსირებული ზღურბლით გამოთვლილი ინდექსებისა, გაანალიზდა ტემპერატურული ინდექსები პროცენტული ზღურბლით.

Tx90p – ცხელი დღეების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტიან ზღურბლს აჭარბებს, პირველ საპროგნოზო პერიოდში ყველგან იზრდება ყველა თვეში. გამონაკლისს წარმოადგენს დაახლოებით 1%-იანი კლება ვახეთის რეგიონში. წლის თბილ პერიოდში (მაისი-სექტემბერი) აღინიშნება ყველაზე დიდი მატება (მაქსიმუმ 30%). წლის დანარჩენ პერიოდში ეს რიცხვი 10-15%-ის ფარგლებშია. საუკუნის ბოლოსათვის ეს მაჩვენებელი უფრო ინტენსიურად იზრდება ყველა სემონსა და სადგურზე, განსაკუთრებით აღსანიშნავია წლის თბილ პერიოდში ვახეთსა და ქვემო ქართლში ცხელი დღეების პროცენტული რაოდენობის ზრდა, ის გარკვეულ თვეებში 50%-ის ფარგლებში იზრდება.

Tn90p – თბილი ღამეების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა თავის 90 პროცენტიან ზღურბლს აჭარბებს. კიდევ უფრო ინტენსიურ დათბობას აჩვენებს. პირველ საპროგნოზო პერიოდში ეს ინდექსი ყველგან იმატებს და ზოგ სადგურზე წლის თბილ პერიოდში 40-45%-საც აღწევს. 2100 წლისათვის ივლისის თვეში ვახეთის რეგიონში ასეთი ღამეების რაოდენობა 60%-ით იზრდება, საშუალოდ ბათუმსა და შემოდგომამზე თბილი ღამეები 35% და 27%-ით იზრდება, გაზაფხულსა და ზამთარში – შედარებით ნაკლებად, 22% და 16%-ით.

ამ ორი ინდექსის საპირისპიროდ ცივი დღეების პროცენტული რაოდენობა (**Tx10p**), როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 10 პროცენტიან ზღურბლს ქვემოთაა და ცივი ღამეების პროცენტული რაოდენობა (**Tn10p**), როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტიან ზღურბლს ქვემოთაა, ორივე საპროგნოზო პერიოდში, მცირე გამონაკლისის გარდა, იკლებს. 2041-2070 წლების პერიოდში Tx10p-ს წლიური კლება 0.3–7.0 პროცენტის ფარგლებშია, Tn10p-ს კლება კი 1.6–7.5 პროცენტის ფარგლებში. 2071-2100 წლების პერიოდში Tx10p-ს წლიური კლება 2.4–8.6 – პროცენტის ფარგლებშია, Tn10p-ს კლება კი – 0.5–8.1 პროცენტის ფარგლებში.

წლის მანძილზე იმ დღეთა რიცხვი, როდესაც დღის საშუალო ტემპერატურა 10°C -ზე მეტია (**Tmge10**) ან 10°C -ზე ნაკლები (**Tmlt10**), სოფლის მეურნეობისთვის მნიშვნელოვანი ინდექსებია. მათი რაოდენობის ცვლილებას საპირისპირო ხასიათი აქვს. პირველ პერიოდში დღეთა რიცხვი 10°C -ზე მეტი ტემპერატურით, წლიურად საშუალოდ 21 დღით იზრდება. ყველაზე მეტად ეს მატება ოქტომბერში ხდება (საშუალოდ 4 დღე), ვახეთის რეგიონში კი მაქსიმალური მატება ნოემბერშია, საშუალოდ 5.5 დღით. იმავე პერიოდში დღეთა რიცხვი 10°C -ზე ნაკლები ტემპერატურით 21 დღით მცირდება და ყველაზე მეტად ასევე ოქტომბერში (4 დღით). მეორე საპროგნოზო პერიოდში Tmge10 ინდექსი წლიურად გაიზრდება 31 დღით, მაქსიმალური მატება მარტსა (6 დღით) და ნოემბერშია (5 დღით). Tmlt10 იმეორებს Tmge10-ს საპირისპირო ნიშნით (ანუ შემცირდება).

როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა ზედიზედ 6 დღეზე მეტი ხნის განმავლობაში თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა (CSDI) და ამის საპირისპიროდ, როცა 6 დღეზე მეტი ხნის განმავლობაში დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს (WSDI), დგება „ამინდის ცივი და ცხელი ეპიზოდები“. CSDI პირველ საპროგნოზო პერიოდში მხოლოდ 6 სადგურზე მცირედ, 0.1-2.6 დღის ფარგლებში იზრდება, დანარჩენ სადგურებში კლებაა 0.7–5.0 დღის ფარგლებში. მეორე საპროგნოზო პერიოდში ცვლილებას იმავე ხასიათისაა, ამ შემთხვევაში კლება 1.0–6.5 დღის ფარგლებშია. ცხელი ეპიზოდების ხანგრძლივობა გაცილებით მნიშვნელოვნად იზრდება (8-33 დღით პირველ პერიოდში და 11-84 დღით მეორეში), ვიდრე მცირდება ცივი ეპიზოდების ხანგრძლივობა.

პირველ პერიოდში სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა (GSL) იზრდება 6-დან 33 დღემდე, **GDDGrow10** – აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი (10 გრადუსზე თბილ გრადუს დღეთა ჯამი) კი 193–დან 529 გრადუს დღემდე. მეორე პერიოდში GSL იზრდება 8-დან 48 დღემდე, გრადუს დღეთა რიცხვი კი – 223-დან 1239–მდე. მეორე პერიოდში ამ პარამეტრების მატება განსაკუთრებით თვალსაჩინოა ვახეთში.

მაის-სექტემბერში, როდესაც ზედიზედ არანაკლებ 3 დღის მანძილზე მაქსიმალური ან მინიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს, ყალიბდება თბური ტალღები. ცვლილებები თბური ტალღების წლიურ რაოდენობასა (HWN) და ხანგრძლივობაში (HWD) ჯანდაცვისა და სოფლის მეურნეობის სექტორებისთვის ძალიან მნიშვნელოვანია. 2041-2070 პერიოდში, თბური ტალღების საშუალო წლიური რაოდენობა პუნქტების მიხედვით 1.0 დღიდან (ლაგოდეხი) 6.2 დღემდე (სტეფანწმინდა) იზრდება, ხოლო მათი ჯამური საშუალო წლიური ხანგრძლივობა 13.0 დღიდან (ბახმარო) 46.4 დღემდე (გუდაური). 2071-2100 წლების პერიოდში თბური ტალღების საშუალო წლიური რაოდენობა 1.5 დღიდან (საგარეჯო) 8.3-მდე (ზუგდიდი) იზრდება, ხოლო ჯამური საშუალო წლიური ხანგრძლივობა – 14.8 დღიდან (ხულო) 81.7 დღემდე (საგარეჯო).

ცივი ტალღები მაშინ დგება, როდესაც წლის განმავლობაში ზედიზედ არანაკლებ 3 დღის მანძილზე მაქსიმალური ან მინიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა. ამ პროცესის შესათვალისწინებლად ორი ინდექსი: ცივი ტალღების წლიური რაოდენობა (CWN) და ხანგრძლივობა (CWD) იქნა გამოყენებული. პირველ საპროგნოზო პერიოდში დღეთა რიცხვი საშუალოდ (CWN) 1 დღით მცირდება, გამონაკლისს ხაიში და ყვარელი წარმოადგენს (0.2 დღით ხდება მატება). მისი ხანგრძლივობა (CWD) კი საშუალოდ 7.5 დღით მცირდება, ეს პარამეტრი მცირდება სადგურთა უმეტესობაზე, თუმცა რიგ სადგურებზე ხდება მატებაც (განსაკუთრებით აღსანიშნავია მისი მატება ქობულეთში 19 დღით). საუკუნის ბოლოსათვის

შემთხვევათა რიცხვი კიდევ იკლებს (საშუალოდ 1.3 დღით) და ხანგრძლივობაც ყველგან მცირდება ხაშურის გარდა (3 დღით იზრდება).

გათბობისა გრადუს დღეთა წლიური ჯამი (**hddheat18**) და გაგრილების გრადუს დღეთა წლიური ჯამი (**cddcold18**) ენერგეტიკის სექტორისთვის ინფორმაციული ინდიკატორებია.

გათბობის გრადუს დღეების ჯამი ორივე პერიოდში ყველა რეგიონში მცირდება, პირველ პერიოდში – 189–755 ფარგლებში, ხოლო მეორე – პერიოდში 327–1097 ფარგლებში. შემცირება განსაკუთრებით შესამჩნევია მაღალმთიან სადგურებში, მაქსიმალურია პირველ პერიოდში გუდაურში და სტეფანწმინდაში (755–ით). მეორე პერიოდში კი მესტიაში (1097). პირველ პერიოდთან შედარებით მეორე პერიოდში გათბობის გრადუს დღეების მკვეთრი კლებაა კახეთში, საშუალოდ მხარეში 318–დან 776–მდე.

გაგრილების გრადუს დღეთა წლიური ჯამი ორივე პერიოდში ყველა რეგიონში იზრდება, პირველ პერიოდში 10–336 ფარგლებში, მეორე პერიოდში 13–782 ფარგლებში. მატება უმნიშვნელოა მთიან ადგილებში (მაგალითად, გოდერძის უღელტეხილზე მატებაა 10 გრადუს დღე, ხოლო გუდაურში – 15 გრადუს დღე). პირველ პერიოდთან შედარებით მეორე პერიოდში გაგრილების გრადუს დღეთა მკვეთრი მატებაა კახეთში, საშუალოდ 267–დან 697–მდე, ასევე თბილისში, 264–დან 712–მდე.

დაკვირვების მონაცემებით, **ნალექების წლიური ჯამის** განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე შემდეგი კანონზომიერებით ხასიათდება: ყველაზე ნალექიანი აჭარის სანაპირო ზოლია (2,300 მმ–ზე მეტი). სანაპიროდან აღმოსავლეთით და ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდის მიხედვით ნალექის წლიური რაოდენობა თანდათან იკლებს. ორივე საპროგნოზო პერიოდში ნალექების რაოდენობა მცირდება სხვადასხვაგვარი პროცენტული თანაფარდობით, მაგრამ განაწილების კანონზომიერება უცვლელი რჩება.

2041-2070 წლების პერიოდში ნალექების წლიური ჯამი აღმოსავლეთ საქართველოში საშუალოდ 9%-ით მცირდება. ყველაზე მეტად (12.3%) ფასანაურში, ყველაზე ნაკლებად კი საგარეჯოში (5.3%). ნალექის წლიური რაოდენობა ყველაზე მეტად იმერეთში იკლებს, მაქსიმალური კლებაა საჩხერეში (17.9%-ით). დასავლეთ საქართველოს სხვა რეგიონებში კლება 3.6–15.3%-ის ფარგლებშია. გამონაკლისს წარმოადგენს ზუგდიდი და ფოთი, სადაც ნალექი 8-10%-ით იზრდება.

2071-2100 წლების პერიოდში 2041-2070 წლების პერიოდთან შედარებით ნალექების ჯამი უმნიშვნელოდ იცვლება, იზრდება ან მცირდება 1-6% პროცენტის ფარგლებში. დანართის ცხრილ B2–ში მოყვანილია 2071–2100 წლებში ნალექების საშუალო თვიური, სეზონური და წლიური რაოდენობები და 1971–2000 წლების საშუალოების მიმართ ცვლილება რეგიონებისა და სადგურების მიხედვით.

ნალექის ყველაზე ნაკლები რაოდენობა 1971-2000 წლებში ბოლნისშია (492 მმ), ყველაზე მეტი კი – ბათუმში (2481 მმ). ორივე საპროგნოზო პერიოდში ნალექების წლიური მაქსიმუმი კვლავ ბათუმშია მოსალოდნელი (2363 მმ და 2322 მმ), ხოლო ყველაზე მცირე – ახალციხეში (436 მმ და 424 მმ) შესაბამისად.

Rx1day და **Rx5day**, ერთ და ხუთ დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექის რაოდენობა, როგორც აღმოსავლეთ, ასევე დასავლეთ საქართველოში სადგურთა უმეტესობაზე იკლებს ორივე პერიოდში. **Rx5day** ინდექსი უფრო გამოკვეთილ კლებას აჩვენებს, გამონაკლისს წარმოადგენს ზუგდიდისა და ფოთის სადგურები, სადაც ეს პარამეტრი მკვეთრად (60%) იზრდება. ერთ დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექები სადგურთა თითქმის მესამედზე იზრდება, მათ შორის ყველაზე მეტად ზუგდიდში. დანარჩენ სადგურებზე კი ეს სიდიდე მცირდება. 2041-2070 წლების პერიოდისთვის ყველაზე მეტად აღსანიშნავია ერთ დღეში მოსული ნალექის შემცირება თელავში (64 მმ; ≈60%).

R30mm და **R50mm** ინდექსები ექსტრემალურად უხვნალექიანი (30 მმ-ზე და 50 მმ-ზე მეტი შესაბამისად) დღეებია, რომელთა შედეგად წყალდიდობა/წყალმოვარდნების, ღვარცოფებისა და მეწყერების რისკი იზრდება.

ამ ინდექსების მაქსიმალური წლიური მნიშვნელობები აჭარის სანაპიროზე მოდის, რაც მომავალშიც ასევეა მოსალოდნელი, თუმცა ორივე ეს ინდექსი მომავალში ორივე საპროგნოზო პერიოდში შემცირდება. 30 მმ-ზე მეტ ნალექიან დღეთა რაოდენობა ორივე პერიოდში ერთნაირად საშუალოდ 1.4 დღით იკლებს, რამდენიმე სადგურის გარდა, სადაც მატებაა მოსალოდნელი (ყველაზე მეტად ფოთში 4.1 და 0.9 დღით). 50 მმ-ზე მეტ ნალექიან დღეთა რაოდენობა კი 2041-2070 და 2071-2100 პერიოდებში 0.3 და 0.4 შემთხვევით შემცირდება. ეს პარამეტრიც გამონაკლისის სახით რამდენიმე სადგურზე მცირედ იმატებს.

CDD და **CWD** ინდექსები წლის განმავლობაში მშრალი პერიოდების (ნალექი ნაკლებია 1 მმ-ზე) და ნოტიო პერიოდების (ნალექი მეტია ან ტოლი 1 მმ-ზე) მაქსიმალურ ხანგრძლივობას აღნიშნავენ. პირველი მათგანი წყლის რესურსების მართვისათვის აუცილებელი ინფორმაციაა, განსაკუთრებით იმ ტერიტორიაზე, სადაც სასმელი ან სარწყავი წყლის სიმცირეა. ამ ინდექსის გახანგრძლივება გვალვასთანაა კავშირში. მეორე ინდექსი კი, 5 დღეში მოსული ნალექების ჯამთან ერთად, წყალდიდობის საფრთხეს უკავშირდება. ამ ინდექსებისათვის, როგორც წესი, მხოლოდ წლიური მნიშვნელობები გამოითვლება.

განხილული სადგურების უმეტესობაზე მშრალი პერიოდის მაქსიმალური ხანგრძლივობა 2041-2071 წლების საპროგნოზო პერიოდისთვის შემცირებულია კახეთში (2.1 დღიდან 5.6 დღემდე ფარგლებში) და სამეგრელო-ზემო სვანეთში (0.1 დღიდან 2.5 დღემდე), ასევე თბილისში 4.8 დღით. აღნიშნულ ტერიტორიებზე ეს სიდიდე მცირდება თვეებისა და სეზონების მიხედვითაც, განსაკუთრებით კი ზაფხულის პერიოდში. სხვა ტერიტორიებზე ადგილი აქვს

უნაღვეო პერიოდის გახანგრძლივებას საშუალოდ 1 დღით. 2071-2100 წლების საპროგნოზო პერიოდისათვის მშრალი პერიოდის ხანგრძლივობა ისევე იცვლება, როგორც წინა საპროგნოზო პერიოდში. სადგურებზე, სადაც ეს პარამეტრი მცირდებოდა, უნაღვეო პერიოდი ნაკლებ ინტენსიურად მცირდება – არ აღემატება 5 დღეს, ხოლო იმ სადგურებზე, სადაც ეს პარამეტრი იზრდებოდა, პროცესი უფრო ინტენსიური გახდება და გახანგრძლივდება 2 დღით (ახალციხეში).

ნალექიანი პერიოდების ხანგრძლივობა კი იზრდება ორივე საპროგნოზო პერიოდში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მატება კახეთსა და ზემო სვანეთში (5 და 3 დღით პირველსა და მეორე საპროგნოზო პერიოდებში). გამონაკლისს წარმოადგენს რამდენიმე მაღალმთიანი სადგური – ლენტეხი, გუდაური, მთა-საბუეთი, სადაც მოსალოდნელია ნალექიანი პერიოდების 1 დღით შემცირება.

ნალექების წლიური რაოდენობა, რომელიც იმ დღეებში გამოიყოფა (**R95p**), როცა დღიური ნალექი 95%-იან ზღურბლს აჭარბებს და ნალექების წლიურ ჯამში ასეთ დღეთა პროცენტული წილი (**R95pTOT**), ნალექის ინტენსივობასა და მის წლიურ განაწილებაზე მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა. ორივე ეს პარამეტრი ძირითადად მცირდება მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე, პირველ პერიოდში ამ უხვნალექიან დღეებში გამოიყოფა უფრო ნაკლები ნალექი (1-დან 241 მმ), რაც 1.4-23%-იანი კლებაა, გამონაკლისს წარმოადგენს სამი სადგური: გოდერძის უღელტეხილი, ფოთი და ზუგდიდი, სადაც ასეთ დღეებში მოსული ნალექი 24-287 მმ-დე იმატებს, რაც პროცენტულად 1.4-11%-ია. 2071-2100 წლების პერიოდში ყველა სადგურზე იგივე ტენდენცია ნარჩუნდება, კლება ხდება 2-დან -263 მმ-მდე, რაც მაქსიმუმ 16%-ს შეადგენს. აღნიშნულ სამ სადგურზე მატება ამ პერიოდში უფრო ნაკლებია (121 მმ; 8%).

R99p და R99pTOT ინდექსები, როდესაც ნალექის რაოდენობა ექსტრემალურად ნალექიან დღეებში (როცა დღიური ნალექი 99% ზღურბლს აჭარბებს) მოდის, დაახლოებით ისევე იცვლება, როგორც წინა ორი ინდექსი, ოღონდ მათ შემთხვევათა რაოდენობა უფრო ნაკლებია და, შესაბამისად, რაოდენობრივი და პროცენტული ცვილებები უფრო ნაკლებად ცვალებადია.

დაკვირვების მონაცემებით, **საშუალო წლიური ფარდობითი სინოტივის** ყველაზე დაბალი მაჩვენებელი 1971–2000 წლებში დაიკვირვებოდა თბილისში (67%). სინოტივის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი (86%) მთა-საბუეთში იყო დაფიქსირებული.

მომავალში, ორივე საპროგნოზო პერიოდში, ყველაზე დაბალი ფარდობითი ტენიანობა ქვემო ქართლში (საშუალოდ 70%) და საგარეჯოშია (68%) მოსალოდნელი. 2071-2100 პერიოდშიც ფარდობითი სინოტივე ყველაზე მაღალი კვლავ მთა-საბუეთშია, ხოლო 2041-2070 წლების პერიოდში მაქსიმალურ მნიშვნელობას (88%) ქობულეთში აღწევს. ისევე, როგორც დაკვირვების პერიოდში, ფარდობითი ტენიანობა 2041-2070 წლებისათვის

სადგურების უმრავლესობაზე მატებას განაგრძობს 1-5%-ის ფარგლებში. გამონაკლისის სახით 1-2%-იანი კლება ამ პერიოდში ხაშურსა და ფარავანშია მოსალოდნელი. დანართის ცხრილ B3-ში მოყვანილია 2071–2100 წლებში ფარდობითი ტენიანობის საშუალო თვიური, სეზონური და წლიური რაოდენობები და 1971–2000 წლების საშუალოების მიმართ ცვლილება რეგიონებისა და სადგურების მიხედვით.

ქარის საშუალო წლიური სიჩქარის მნიშვნელობა 1971-2000 პერიოდში აღმოსავლეთ საქართველოში 0.4მ/წმ (ლაგოდეხი) – 4მ/წმ-ის (ფარავანი) ფარგლებში მერყეობდა, დასავლეთ საქართველოში კი 0.2 (ლენტეხი) – 5.5მ/წმ (ქუთაისი) ფარგლებში.

მომავალში ამ პარამეტრის უდიდესი მნიშვნელობები კვლავ ქუთაისშია მოსალოდნელი. საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე ქარის საშუალო სიჩქარე წლიურად და სეზონების მიხედვითაც მცირე ცვლილებას განიცდის ± 0.5 მ/წმ დიაპაზონში. საშუალოდ მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე პირველ პერიოდში 0.4 მ/წმ, ხოლო მეორეში 0.3 მ/წმ-ით იზრდება. ორივე პერიოდში ქარის სიჩქარის არც გეოგრაფიული მდებარეობის, არც სეზონური ცვალებადობის თვალსაზრისით რაიმე გამოკვეთილი კანონზომიერება არ ვლინდება.

კლიმატის მოსალოდნელი RCP4.5 ცვლილება

კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების პროგნოზირებისთვის გამოყენებულია RCP4.5 სცენარი, რომელიც გულისხმობს რადიაციული ბიუჯეტის სტაბილიზაციას 4.5 W/m^2 დონეზე. მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში გამოყენებულ A1B სცენართან შედარებით, RCP4.5 სცენარი ნაკლებ მკაცრია.

გლობალური პროგნოზის მასშტაბის გასაუმჯობესებლად გამოყენებულ იქნა RegCM რეგიონული კლიმატური მოდელის 4.6.0 ვერსია. აღნიშნულ ვერსიაში რიგი ფიზიკური და ქიმიური პროცესების აღწერისა და პარამეტრიზაციის მექანიზმებია დახვეწილი. ჩვენ ამ მოდელში გავითვალისწინეთ მტვრისა და აეროზოლების ზემოქმედება, რასაც წინ უსწრებდა კვლევა: მტვრის ნაწილაკების ეფექტის გათვალისწინება სამხრეთ კავკასიის კლიმატის სიმულაციისას. გარდა ამისა, RegCM 4.6.0 ვერსია ჰორიზონტალური მასშტაბის გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა ჩადგმული არის მეთოდით (one way nesting). რეგიონული კლიმატური მოდელის ყველა სიმულაცია ჩატარდა ჯერ უფრო უხეში მასშტაბის (30 კმ) და შედარებით დიდი ფართობის არეზე, ხოლო შემდეგ გადათვლილ იქნა 10 კილომეტრიან ბადეზე.

აღნიშნულ სიმულაციაზე დაყრდნობით, ორი 30-წლიანი (2041-2070 და 2071-2100 წლები) პერიოდის განხილვით, შეფასდა კლიმატის ცვლილების სამომავლო ტენდენციები საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურისთვის. სცენარები აგებულ იქნა როგორც ძირითადი კლიმატური პარამეტრე-

ბისტვის, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურის, ნალექების ჯამის, ფარდობითი სინოტივისა და ქარის საშუალო თვიური და წლიური მნიშვნელობები. დამატებით, გაანგარიშებულ იქნა სპეციალიზებული კლიმატური პარამეტრები – ინდექსები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია ცალკეულ სექტორებზე კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება.

საშუალო წლიური ტემპერატურა 2041-2070 წლების პერიოდში 1971–2000 წლებთან შედარებით მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე 1.60C-დან 3.00C-მდე გაიზრდება. აღმოსავლეთ საქართველოში დათბობა 1.80C –3.00C ფარგლებშია, დასავლეთ საქართველოში ოდნავ ნაკლებია, 1.60C–2.90C ფარგლებში.

2071-2100 წლების პერიოდში საშუალო წლიური ტემპერატურა ზრდას განაგრძობს და ის კიდევ 0.4⁰C-1.7⁰C-ის ფარგლებში მოიმატებს. შედეგად, ამ პერიოდისთვის ტემპერატურის ნაზრდი 1971-2000 წლების პერიოდის საშუალოსთან შედარებით 2.1⁰C-3.7⁰C-ის ფარგლებშია. ყველაზე ნაკლებად ეს სიდიდე ლენტეხში იმატებს, ხოლო ყველაზე მეტად – საგარეჯოში. აღმოსავლეთ საქართველოში მატება უმნიშვნელოდ აღემატება დასავლეთ საქართველოში მატებას. დეტალური ინფორმაცია სადგურების მიხედვით მოყვანილია დანართის ცხრილ B1-ში.

საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურების წლიური მატება 2041-2070 წლების პერიოდისთვის 1.90C-3.00C ფარგლებშია, საშუალო მინიმალური ტემპერატურებისა კი – 1.10C-2.30C ფარგლებში. მინიმალური ტემპერატურების საშუალო ნაკლებ იმატებს, ვიდრე მაქსიმალური ტემპერატურებისა. 2071-2100 წლების პერიოდისთვის ეს კანონზომიერება ნარჩუნდება, მაქსიმუმები თბება 2.6-4.30C-ით, ხოლო მინიმუმები – 1.7-3.70C.

2041-2070 წლებისთვის იმ დღეთა რიცხვი, როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა აღემატება 250C, 300C და 350C–ს, წლის განმავლობაში ყველა სადგურზე გაზრდილია, ისევე როგორც იმ ღამეების რაოდენობა, როდესაც მინიმალური ტემპერატურა 200C-ზე ქვემოთ არ ჩამოდის. ამავე დროს მნიშვნელოვნად შემცირდება ყინვიანი დღეებისა და ღამეების რაოდენობა. აღნიშნული პერიოდისთვის მალაღმთაში ყინვიანი დღეების რიცხვი უფრო მკვეთრად იკლებს, ვიდრე ყინვიანი ღამეებისა, მაშინ როდესაც დაბლობ ადგილებში ორივე სიდიდე თითქმის ერთნაირად მცირდება. საუკუნის ბოლოსათვის ყინვიანი დღეები საერთოდ აღარ არის მოსალოდნელი.

FDO – ყინვიან ღამეთა რიცხვი, როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა ნაკლებია 0C-ზე, პირველ საპროგნოზო პერიოდში (2041–2070 წლები) მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე საშუალოდ 19 დღით, სადგურების მიხედვით კი 8-დან (ბათუმში) 47 დღემდე (ამბროლაურში) მცირდება, ხოლო მეორე პერიოდში (2071–2100) – საშუალოდ 28 დღით, სადგურების მიხედვით 9-დან (ბათუმში) 60 დღემდე (ამბროლაურში). შემცირება ძირითადად ზამთრის პერიოდში ხდება, ნაკლებად და თითქმის ერთნაირად გარდამავალ სეზონებზე,

თუმცა, მაღალმთიან სადგურებზე კლება გარდამავალ სეზონებზეც ინტენსიურია და ზოგ სადგურზე ზამთრის კლებაზე მეტიც კი.

გარდა ფიქსირებული ზღურბლით გამოთვლილი ინდექსებისა, გაანალიზდა ტემპერატურული ინდექსები პროცენტული ზღურბლით.

Tx90p – ცხელი დღეების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს, პირველ საპროგნოზო პერიოდში ყველგან იზრდება ყველა თვეში. გამონაკლისს წარმოადგენს დაახლოებით 1%-იანი კლება ვახეთის რეგიონში. წლის თბილ პერიოდში (მაისი-სექტემბერი) აღინიშნება ყველაზე დიდი მატება (მაქსიმუმ 30%). წლის დანარჩენ პერიოდში ეს რიცხვი 10-15%-ის ფარგლებშია. საუკუნის ბოლოსათვის ეს მაჩვენებელი უფრო ინტენსიურად იზრდება ყველა სეზონსა და სადგურზე, განსაკუთრებით აღსანიშნავია წლის თბილ პერიოდში ვახეთსა და ქვემო ქართლში ცხელი დღეების პროცენტული რაოდენობის ზრდა, ის გარკვეულ თვეებში 50%-ის ფარგლებში იზრდება.

Tn90p – თბილი ღამეების პროცენტული რაოდენობა, როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს. კიდევ უფრო ინტენსიურ დათბობას აჩვენებს. პირველივე საპროგნოზო პერიოდში ეს ინდექსი ყველგან იმატებს და ზოგ სადგურზე წლის თბილ პერიოდში 40-45%-საც აღწევს. 2100 წლისათვის ივლისის თვეში ვახეთის რეგიონში ასეთი ღამეების რაოდენობა 60%-ით იზრდება, საშუალოდ ზაფხულსა და შემოდგომაზე თბილი ღამეები 35% და 27%-ით იზრდება, გაზაფხულსა და ზამთარში შედარებით ნაკლებად -22% და 16%-ით.

ამ ორი ინდექსის საპირისპიროდ ცივი დღეების პროცენტული რაოდენობა (Tx10p), როდესაც დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა და ცივი ღამეების პროცენტული რაოდენობა (Tn10p), როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა ორივე საპროგნოზო პერიოდში, მცირე გამონაკლისის გარდა იკლებს. 2041-2070 წლების პერიოდში Tx10p-ს წლიური კლება 0.3–7.0 პროცენტის ფარგლებშია, Tn10p-ს კლება კი – 1.6–7.5 პროცენტის ფარგლებში. 2071-2100 წლების პერიოდში Tx10p-ს წლიური კლება 2.4–8.6 პროცენტის ფარგლებშია, Tn10p-ს კლება კი – 0.5–8.1 პროცენტის ფარგლებში.

წლის მანძილზე იმ დღეთა რიცხვი, როდესაც დღის საშუალო ტემპერატურა 100C-ზე მეტია (Tmge10) ან 100C-ზე ნაკლები (Tmlt10), სოფლის მეურნეობისთვის მნიშვნელოვანი ინდექსებია. მათი რაოდენობის ცვლილებას საპირისპირო ხასიათი აქვს. პირველ პერიოდში დღეთა რიცხვი 100C-ზე მეტი ტემპერატურით, წლიურად საშუალოდ 21 დღით იზრდება. ყველაზე მეტად ეს მატება ოქტომბერში ხდება (საშუალოდ 4 დღე), ვახეთის რეგიონში კი მაქსიმალური მატება ნოემბერშია, საშუალოდ 5.5 დღით. იმავე პერიოდში დღეთა რიცხვი 100C-ზე ნაკლები ტემპერატურით 21 დღით მცირდება და ყველაზე მეტად ასევე ოქტომბერში (4 დღით). მეორე საპროგნოზო პერიოდში

Tmge10 ინდექსი წლიურად გაიზრდება 31 დღით, მაქსიმალური მატება მარტსა (6 დღით) და ნოემბერშია (5 დღით). Tmlt10 იმეორებს Tmge10-ს საპირისპირო ნიშნით (ანუ შემცირება).

როდესაც დღის მინიმალური ტემპერატურა ზედიზედ 6 დღეზე მეტი ხნის განმავლობაში თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა (CSDI) და ამის საპირისპიროდ, როცა 6 დღეზე მეტი ხნის განმავლობაში დღის მაქსიმალური ტემპერატურა თავის 90 პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს (WSDI), დგება „ამინდის ცივი და ცხელი ეპიზოდები“. ცხელი ეპიზოდების ხანგრძლივობა გაცილებით მნიშვნელოვნად იზრდება (8-33 დღით პირველ პერიოდში და 11-84 დღით მეორეში), ვიდრე მცირდება ცივი ეპიზოდების ხანგრძლივობა. CSDI პირველ საპროგნოზო პერიოდში მხოლოდ 6 სადგურზე მცირედ, 0.1-2.6 დღის ფარგლებში იზრდება, დანარჩენ სადგურებში კლებაა 0.7-5.0 დღის ფარგლებში. მეორე საპროგნოზო პერიოდში ცვლილება იმავე ხასიათისაა, ამ შემთხვევაში კლება 1.0-6.5 დღის ფარგლებშია.

პირველ პერიოდში სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა (GSL) იზრდება 6-დან 33 დღემდე, 101 გრადუსზე თბილი გრადუს დღეთა ჯამი (GDDGrow10) კი 193-დან 529 გრადუს დღემდე. მეორე პერიოდში GSL იზრდება 8-დან 48 დღემდე, გრადუს დღეთა რიცხვი კი 223-დან 1239-მდე. მეორე პერიოდში ამ პარამეტრების მატება განსაკუთრებით თვალსაჩინოა კახეთში.

მაის-სექტემბერში, როდესაც ზედიზედ არანაკლებ 3 დღის მანძილზე მაქსიმალური ან მინიმალური ტემპერატურა თავის 90-პროცენტთან ზღურბლს აჭარბებს, ყალიბდება თბური ტალღები. ცვლილებები თბური ტალღების წლიურ რაოდენობასა (HWN) და ხანგრძლივობაში (HWD) ჯანდაცვისა და სოფლის მეურნეობის სექტორებისთვის ძალიან მნიშვნელოვანია. 2041-2070 პერიოდში თბური ტალღების საშუალო წლიური რაოდენობა პუნქტების მიხედვით 1.0 დღიდან (ლაგოდეხი) 6.2 დღემდე (სტეფანწმინდა) იზრდება, ხოლო მათი ჯამური საშუალო წლიური ხანგრძლივობა 13.0 დღიდან (ბახმარო) 46.4 დღემდე (გუდაური) იზრდება. 2071-2100 წლების პერიოდში თბური ტალღების საშუალო წლიური რაოდენობა 1.5 დღიდან (საგარეჯო) 8.3-მდე (ზუგდიდი) იზრდება, ხოლო ჯამური საშუალო წლიური ხანგრძლივობა – 14.8 დღიდან (ხულო) 81.7 დღემდე (საგარეჯო).

ცივი ტალღების წლიური რაოდენობა (CWN) და ხანგრძლივობა (CWD), როდესაც წლის განმავლობაში ზედიზედ არანაკლებ 3 დღის მანძილზე მაქსიმალური ან მინიმალური ტემპერატურა თავის 10-პროცენტთან ზღურბლს ქვემოთაა, პირველ საპროგნოზო პერიოდში დღეთა რიცხვი საშუალოდ 1 დღით მცირდება, გამონაკლისის სახით ხაიშსა და ყვარელში 0.2 დღით ხდება მატება. მისი ხანგრძლივობა კი საშუალოდ 7.5 დღით მცირდება, ეს პარამეტრი მცირდება სადგურთა უმეტესობაზე, თუმცა რიგ სადგურებზე ხდება მატებაც (განსაკუთრებით აღსანიშნავია მისი მატება ქობულეთში 19 დღით). საუკუნის

ბოლოსათვის შემთხვევათა რიცხვი კიდევ იკლებს (საშუალოდ 1.3 დღით) და ხანგრძლივობაც ყველგან მცირდება ხაშურის გარდა (3 დღით იზრდება).

გათბობის გრადუს დღეთა წლიური ჯამი (hddheat18) და გაგრილების გრადუს დღეთა წლიური ჯამი (cddcold18) ენერგეტიკის სექტორისთვის ინფორმატიული ინდიკატორებია.

გათბობის გრადუს დღეების ჯამი ორივე პერიოდში ყველა რეგიონში მცირდება, პირველ პერიოდში 189–755 ფარგლებში, ხოლო მეორე პერიოდში 327–1097 ფარგლებში. შემცირება განსაკუთრებით შესამჩნევია მაღალმთიან სადგურებში, მაქსიმალურია, პირველ პერიოდში გუდაურსა და სტეფანწმინდაში (755–ით). მეორე პერიოდში კი მესტიაში (1097). პირველ პერიოდთან შედარებით, მეორე პერიოდში გათბობის გრადუს დღეების მკვეთრი კლებაა კახეთში, საშუალოდ მხარეში 318–დან 776–მდე.

გაგრილების გრადუს დღეთა წლიური ჯამი ორივე პერიოდში ყველა რეგიონში იზრდება, პირველ პერიოდში 10–336 ფარგლებში, მეორე პერიოდში – 13–782 ფარგლებში. მატება უმნიშვნელოა მთიან ადგილებში (მაგალითად, გოდერძის უღელტეხილზე მატებაა 10 გრადუს დღე, ხოლო გუდაურში 15 გრადუს დღე). პირველ პერიოდთან შედარებით, მეორე პერიოდში გაგრილების გრადუს დღეთა მკვეთრი მატებაა კახეთში, საშუალოდ 267–დან 697–მდე, ასევე თბილისში, 264–დან 712–მდე).

დაკვირვების მონაცემებით, ნალექების წლიური ჯამის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე შემდეგი კანონზომიერებით ხასიათდება: ყველაზე ნალექიანი აჭარის სანაპირო ზოლია (2,300 მმ–ზე მეტი). სანაპიროდან აღმოსავლეთით და ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდის მიხედვით ნალექის წლიური რაოდენობა თანდათან იკლებს. ორივე საპროგნოზო პერიოდში ნალექების რაოდენობა მცირდება, სხვადასხვაგვარი პროცენტული თანაფარდობით, მაგრამ განაწილების კანონზომიერება უცვლელი რჩება.

2041-2070 წლების პერიოდში ნალექების წლიური ჯამი აღმოსავლეთ საქართველოში საშუალოდ 9%-ით მცირდება. ყველაზე მეტად (12.3%) – ფასანაურში, ყველაზე ნაკლებად კი – საგარეჯოში (5.3%). ნალექის წლიური რაოდენობა ყველაზე მეტად იმერეთში იკლებს, მაქსიმალური კლებაა საჩხერეში (17.9%–ით). დასავლეთ საქართველოს სხვა რეგიონებში კლება 3.6–15.3%-ის ფარგლებშია. გამონაკლისს წარმოადგენს ზუგდიდი და ფოთი, სადაც ნალექი 8-10%-ით იზრდება.

2071-2100 წლების პერიოდში 2041-2070 წლების პერიოდთან შედარებით ნალექების ჯამი უმნიშვნელოდ იცვლება, იზრდება ან მცირდება 1-6% პროცენტის ფარგლებში. დანართის ცხრილ B2–ში მოყვანილია 2071–2100 წლებში ნალექების საშუალო თვიური, სეზონური და წლიური რაოდენობები და 1971–2000 წლების საშუალოების მიმართ ცვლილება რეგიონებისა და სადგურების მიხედვით.

ნალექის ყველაზე ნაკლები რაოდენობა 1971-2000 წლების პერიოდში ბოლნისშია (492 მმ), ყველაზე მეტი კი – ბათუმში (2481 მმ). ორივე საპროგნოზო პერიოდში ნალექების წლიური მაქსიმუმი კვლავ ბათუმშია მოსალოდნელი (2363 მმ და 2322 მმ), ხოლო ყველაზე მცირე – ახალციხეში (436 მმ და 424 მმ) შესაბამისად.

Rx1day და Rx5day, ერთ და ხუთ დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექის რაოდენობა როგორც აღმოსავლეთ, ასევე დასავლეთ საქართველოში სადგურთა უმეტესობაზე იკლებს ორივე პერიოდში. Rx5day ინდექსი უფრო გამოკვეთილ კლებას აჩვენებს, გამონაკლისს წარმოადგენს ზუგდიდისა და ფოთის სადგურები, სადაც ეს პარამეტრი მკვეთრად (60%) იზრდება. ერთ დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექები სადგურთა თითქმის მესამედზე იზრდება, მათ შორის ყველაზე მეტად ზუგდიდში. დანარჩენ სადგურებზე კი ეს სიდიდე მცირდება. 2041-2070 წწ. პერიოდისათვის ყველაზე მეტად აღსანიშნავია ერთ დღეში მოსული ნალექის შემცირება თელავში (64 მმ; $\approx 60\%$).

R30mm და R50mm ინდექსები ექსტრემალურად უხვნალექიანი (30 მმ-ზე და 50 მმ-ზე მეტი შესაბამისად) დღეებია, რომელთა შედეგად წყალდიდობა/წყალმოვარდნების, ღვარცოფებისა და მენყრების რისკი იზრდება.

ამ ინდექსების მაქსიმალური წლიური მნიშვნელობები აჭარის სანაპიროზე მოდის, რაც მომავალშიც ასეა მოსალოდნელი, თუმცა ორივე ეს ინდექსი მომავალში ორივე საპროგნოზო პერიოდში შემცირდება. 30 მმ-ზე მეტ ნალექიან დღეთა რაოდენობა ორივე პერიოდში ერთნაირად საშუალოდ 1.4 დღით იკლებს, რამდენიმე სადგურის გარდა, სადაც მატებაა მოსალოდნელი (ყველაზე მეტად ფოთში 4.1 და 0.9 დღით). 50 მმ-ზე მეტ ნალექიან დღეთა რაოდენობა კი 2041-2070 და 2071-2100 პერიოდებში 0.3 და 0.4 შემთხვევით შემცირდება. ეს პარამეტრიც, გამონაკლისის სახით რამდენიმე სადგურზე მცირედ იმატებს.

CDD და CWD ინდექსები წლის განმავლობაში მშრალი პერიოდების (ნალექი < 1 მმ) და ნოტიო პერიოდების (ნალექი ≥ 1 მმ) მაქსიმალურ ხანგრძლივობას აღნიშნავენ. პირველი მათგანი წყლის რესურსების მართვისათვის აუცილებელი ინფორმაციაა, განსაკუთრებით იმ ტერიტორაზე სადაც სასმელი ან სარწყავი წყლის სიმცირეა. ამ ინდექსის გახანგრძლივება გვალვასთანაა კავშირში. მეორე ინდექსი კი, 5 დღეში მოსულ ნალექების ჯამთან ერთად, წყალდიდობის საფრთხეს უკავშირდება. ამ ინდექსებისათვის, როგორც წესი, მხოლოდ წლიური მნიშვნელობები გამოითვლება.

განხილული სადგურების უმეტესობაზე მშრალი პერიოდის მაქსიმალური ხანგრძლივობა 2041-2071 წლების საპროგნოზო პერიოდისთვის შემცირებულია კახეთში (2.1 დღიდან 5.6 დღემდე ფარგლებში) და სამეგრელო-ზემო სვანეთში (0.1 დღიდან 2.5 დღემდე), ასევე თბილისში 4.8 დღით. აღნიშნულ ტერიტორიებზე ეს სიდიდე მცირდება თვეებისა და სეზონების მიხედვითაც, განსაკუთრებით კი ზაფხულის პერიოდში. სხვა ტერიტორიებზე ადგილი აქვს

უნაღვეო პერიოდის გახანგრძლივებას საშუალოდ 1 დლით. 2071-2100 წლების საპროგნოზო პერიოდისათვის უნაღვეო პერიოდის ხანგრძლივობა ისევე იცვლება, როგორც წინა საპროგნოზო პერიოდში. სადგურებზე სადაც ეს პარამეტრი მცირდებოდა უნაღვეო პერიოდი ნაკლებ ინტენსიურად მცირდება – არ აღემატება 5 დღეს, ხოლო იმ სადგურებზე, სადაც ეს პარამეტრი იზრდებოდა, პროცესი უფრო ინტენსიური გახდება და გახანგრძლივდება 2 დლით (ახალციხეში).

ნაღვეიანი პერიოდების ხანგრძლივობა კი იზრდება ორივე საპროგნოზო პერიოდში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მატება კახეთსა და ზემო სვანეთში (5 და 3 დლით პირველსა და მეორე საპროგნოზო პერიოდებში). გამონაკლისს წარმოადგენს რამდენიმე მაღალმთიანი სადგური – ლენტეხი, გუდაური, მთასაბუეთი, სადაც მოსალოდნელია ნაღვეიანი პერიოდების 1 დლით შემცირება.

ნაღვეების წლიური რაოდენობა, რომელიც იმ დღეებში გამოიყოფა (R95p), როცა დღიური ნაღვეი 95%-იან ზღურბლს აჭარბებს და ნაღვეების წლიურ ჯამში ასეთ დღეთა პროცენტული წილი (R95pTOT), ეს ინდიკატორები ნაღვეის ინტენსივობასა და მის წლიურ განაწილებაზე მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევიან. ორივე ეს პარამეტრი ძირითადად მცირდება მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე, პირველ პერიოდში ამ უხვნაღვეიან დღეებში გამოიყოფა უფრო ნაკლები ნაღვეი (1-დან 241 მმ), რაც 1.4-23%-იანი კლებაა, გამონაკლისს წარმოადგენს სამი სადგური: გოდერძის უღელტეხილი, ფოთი და ზუგდიდი, სადაც ასეთ დღეებში მოსული ნაღვეი 24-287 მმ-დე იმატებს, რაც პროცენტულად 1.4-11%-ია. 2071-2100 წწ. პერიოდში ყველა სადგურზე იგივე ტენდენცია ნარჩუნდება, კლება ხდება 2-დან -263 მმ-მდე, რაც მაქსიმუმ 16%-ს შეადგენს. ხოლო აღნიშნულ სამ სადგურზე მატება ამ პერიოდში უფრო ნაკლებია (121 მმ, 8%).

R95p და R99pTOT ინდექსები, როდესაც ნაღვეის რაოდენობა ექსტრემალურად ნაღვეიან დღეებში (როცა დღიური ნაღვეი 99 % ზღურბლს აჭარბებს) მოდის, დაახლოებით ისევე იცვლება, როგორც წინა ორი ინდექსი, ოღონდ მათი შემთხვევათა რაოდენობა უფრო ნაკლებია და, შესაბამისად, რაოდენობრივი და პროცენტული ცვილებები უფრო ნაკლებად ცვალებადია.

დაკვირვების მონაცემებით საშუალო წლიური ფარდობითი სინოტივის ყველაზე დაბალი მაჩვენებელი 1971–2000 წლებში დაიკვირვებოდა თბილისში (67%). სინოტივის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი (86%) მთა საბუეთში იყო დაფიქსირებული.

მომავალში, ორივე საპროგნოზო პერიოდში, ყველაზე დაბალი ფარდობითი ტენიანობა ქვემო ქართლში (საშუალოდ 70%) და საგარეჯოშია (68%) მოსალოდნელი. 2071-2100 პერიოდშიც ფარდობითი სინოტივე ყველაზე მაღალი კვლავ მთა-საბუეთშია, ხოლო 2041-2070 წლების პერიოდში მაქსიმალურ მნიშვნელობას (88%) ქობულეთში აღწევს. ისევე, როგორც დაკვირვების

პერიოდში, ფარდობითი ტენიანობა 2041-2070 წლებისათვის სადგურების უმრავლესობაზე მატებას განაგრძობს 1-5%-ის ფარგლებში. გამოკლისის სახით 1-2%-იანი კლება ამ პერიოდში ხაშურსა და ფარავანშია მოსალოდნელი. დანართის ცხრილ B3-ში მოყვანილია 2071-2100 წლებში ფარდობითი ტენიანობის საშუალო თვიური, სეზონური და წლიური რაოდენობები და 1971-2000 წლების საშუალოების მიმართ ცვლილება რეგიონებისა და სადგურების მიხედვით.

ქარის საშუალო წლიური სიჩქარის მნიშვნელობა აღმოსავლეთ საქართველოში 0.4მ/წმ (ლაგოდეხი) – 4მ/წმ-ის (ფარავანი) ფარგლებში მერყეობდა 1971-2000 პერიოდში, დასავლეთ საქართველოში კი – 0.2 (ლენტეხი) – 5.5მ/წმ (ქუთაისი).

მომავალში ამ პარამეტრის უდიდესი მნიშვნელობები კვლავ ქუთაისშია მოსალოდნელი. საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე ქარის საშუალო სიჩქარე წლიურად და სეზონების მიხედვითაც მცირე ცვლილებას განიცდის ± 0.5 მ/წმ დიაპაზონში. საშუალოდ მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე პირველ პერიოდში 0.4, ხოლო მეორეში კი 0.3 მ/წმ-ით იზრდება. ორივე პერიოდში ქარის სიჩქარის არც გეოგრაფიული მდებარეობის, არც სეზონური ცვალებადობის თვალსაზრისით რაიმე გამოკვეთილი კანონზომიერება არ ვლინდება.

მონოგრაფია „ამინდი, კლიმატი და მათი ცვლილების კანონზომიერებანი საქართველოს პირობებში” არის სამი ორგანიზაციის: საქართველოს სოფლის მეურნეობისა და გარემოს დაცვის სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტოს და ამ დარგში მსოფლიოში ცნობილი სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების-საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტების ერთობლივი პროდუქტი, რომელშიც კომპლექსურადაა შესწავლილი ამინდის წამოქმნის, ცვალებადობისა და კლიმატის ცვლილების საკითხები, რაც მის ღირებულებას და პრაქტიკულ მნიშვნელობას წარმოადგენს.

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულებას წარმოადგენს აგრეთვე ის, რომ მასში წარმოდგენილია საქართველოში პირველად კომპლექსურად, თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით ახლებურად შესწავლილი ამინდის ცვლილების კანონზომიერებები და კლიმატის მიმდინარე ცვლილების ტენდენციები მრავალწლიური მონაცემების დამუშავების საფუძველზე. დედამიწის სადამკვირვებლო მისიის (Earth Observing Mission) თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემების გამოყენებით გამოვლენილია ამინდის ცვლილების მაპროვოცირებელი ფაქტორები. ამინდის შესწავლისთვის შემოტანილია ახალი ინდექსები, როგორცაა გეომაგნიტური ინდექსები, სრული ელექტრონების შემცველობა, თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსი. თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემები საშუალებას იძლევა ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესები უფრო დეტალურად და ახლებურად შეფასდეს. ატმოსფეროში მიმდინარე ნაწილაკების დაჯახებისთვის შექმნილია ტალღური მოდელი რეზონანსული გაცვლითი ფოტონის გათვალისწინებით. ატმოსფერული კლასტერებისთვის მიღებულია მაკრონაწილაკებს შორის ვან-დერ-ვაალსის ძალისთვის ურთიერთქმედების პოტენციალის გამოსახულება. ატმოსფერო წარმოიდგინება, როგორც სხვადასხვა დონეზე მყოფი კლასტერების ერთობლიობა, რომლებიც ენერგიების შთანთქმა-გამოსხივებით ურთიერთქმედებენ. დედამიწის გარემომცველი გარემო განახლებადი ენერჯის ერთ-ერთი შესაძლო წყაროა, რომლის გამოყენებაც ახალ ენერგომატარებლებზე გადასვლის შესაძლებლობაა.

დადგენილია ცალკეული კლიმატური პარამეტრების ცვლილებათა ტენდენციები დროსა და სივრცეში საქართველოს რეგიონების მიხედვით მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ დანერგილი თანამედროვე ტექნოლოგიების შესაბამისად. განსაზღვრულია პირველად საქართველოს პირობებში სხვადასხვა კომპლექსური კლიმატური პარამეტრის განაწილებათა სივრცულ-დროითი კანონზომიერებანი, როგორცაა ჰაერის ეფექტური ტემპერატურის სხვადასხვა ტიპი (ტემპერატურის, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის და, ზოგიერთ შემთხვევაში, ქარის სიჩქარის კომბინაცია), ტურიზმის

კლიმატური ინდექსი (შვიდი მეტეოროლოგიური პარამეტრის კომბინაცია: ჰაერის საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურა, საშუალო და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობა, ატმოსფერული ნალექი, მზის ხანგრძლივობა, ქარის სიჩქარე), **დასვენების კლიმატური ინდექსი** (ხუთი კლიმატური ცვლადის კომბინაცია: ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა, საშუალო ფარდობითი ტენიანობა, ღრუბლის საფარი, ნალექი და ქარი). მონოგრაფია შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს, როგორც დამხმარე სახელმძღვანელო მსგავსი პროფილის უნივერსიტეტების ფაკულტეტებზე. სასურველია ეს იყოს დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებების პროგრამის გაფართოების წინაპირობა.

წარმოდგენილ სამეცნიერო ნაშრომში თავმოყრილია ავტორების მიერ შესრულებული კვლევის მასალა ამინდის, კლიმატის ფორმირებასა და ცვალებადობაზე. მსგავსი ერთობლივი ნაშრომი საქართველოში ჯერ არ შექმნილა და ის იქნება როგორც ქართულ, ასევე ინგლისურ ენაზე დაბეჭდილი. კვლევისთვის გამოყენებულია დაკვირვების მინისპირა, თანამგზავრული და მოდელური მონაცემები. გამოთვლები შესრულებულია თანამედროვე პროგრამული პაკეტების გამოყენებით, კვლევაში გამოყენებულია ახლად შექმნილი ამინდისა და კლიმატის მახასიათებელი ინდექსები, მოყვანილია ამინდის თანამედროვე საპროგნოზო მოდელების თვლის შედეგები საქართველოს ტერიტორიისათვის. განხილულია დედამიწის მაგნიტური ველის მოდელი და მისი დაწყვილების პერსპექტივა ამინდის პროგნოზირებაში.

1 თავში „კლიმატი და მისი წარმომქმნელი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორები“ განხილულია ძირითადი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორები, რომლებიც განაპირობებს კლიმატის ფორმირებას და ცვლილებას საქართველოში, რომელსაც აქვს რთული რელიეფი და ატმოსფეროს აეროზოლური და გაზით დაბინძურების უკიდურესად ჰეტეროგენური წყაროები. საქართველოს ტერიტორიაზე მზის რადიაციის გავრცელების მნიშვნელოვანმა ჰეტეროგენობამ, ჰაერისა და ნიადაგის ტემპერატურამ, ატმოსფერულმა ცირკულაციამ, ნალექის რეჟიმმა, სხვადასხვა ატმოსფერულმა ფენომენმა და ა.შ. განაპირობა 11 კლიმატური ზონის არსებობა.

მე-2 თავში „კლიმატის ძირითადი ელემენტების (ტემპერატურა, ნალექი, ქარი, მზის რადიაცია, სინოტივე) ცვლილებების კანონზომიერებანი“ განხილულია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში კლიმატის ფორმირების ისეთი ძირითადი ფაქტორების ხანგრძლივი ცვალებადობის თავისებურებები, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა, ქარის სიჩქარე, მზის რადიაცია და ნალექი. კერძოდ, მოცემულია მონაცემები თბილისში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურისა და ნალექების ცვალებადობის შესახებ 1844 წლიდან 2018 წლამდე პერიოდში; თბილისში 1880 წლიდან 2021 წლამდე პერიოდში ჰაერის გლობალური და ზონალური ტემპერატურისა და ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობის შესახებ მონაცემების ანალიზზე დაყრდნობით.

ნაჩვენებია, რომ თბილისში კლიმატის დათბობა პრაქტიკულად ემთხვევა ჰაერის ტემპერატურის ზონალურ ზრდას 24°N - 64°N განედებზე; მოცემულია მონაცემები საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში ნალექების ყოველთვიური ჯამური ცვალებადობის შესახებ 1936 წლიდან 2020 წლამდე პერიოდში; შესწავლილ იქნა ქარის რეჟიმის ცვალებადობა 1956 წლიდან 2015 წლამდე პერიოდში და ა.შ.

მე-3 თავში „კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების ცვლილებები“ მოცემულია ისეთი რთული კლიმატური პარამეტრების საშუალო გრძელვადიანი მნიშვნელობები და ცვალებადობა, რომლებიც გავლენას ახდენენ გარემოზე, როგორცაა ჰაერის ეფექტური ტემპერატურის სხვადასხვა ტიპი (ტემპერატურის, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის და, ზოგიერთ შემთხვევაში, ქარის სიჩქარის კომბინაცია), KIT ტურიზმი. კლიმატის ინდექსი (შვიდი მეტეოროლოგიური პარამეტრის კომბინაცია: ჰაერის საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურა, საშუალო და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობა, ნალექი, მზის ხანგრძლივობა, ქარის სიჩქარე), კლიმატური დასვენების ინდექსი KIO (ხუთი კლიმატური ცვლადის კომბინაცია: ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა, საშუალო ფარდობითი ტენიანობა, ღრუბლის საფარი, ნალექი და ქარი), ტყის ხანძრის ინდექსი ანგსტრომის მიხედვით (ტემპერატურისა და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის კომბინაცია). კერძოდ, შესწავლილი იყო კორელაციები მითითებულ ინდექსებს შორის; შესწავლილ იქნა KIT და KIO მნიშვნელობების წლიური განაწილების ბუნება ტერიტორიის სიმაღლიდან გამომდინარე; შესწავლილ იქნა KIT და KIO საშუალო თვიური მნიშვნელობების ვერტიკალური განაწილება; შეფასდა კლიმატის ცვლილების გავლენა KIT-ის, KIO-ს, ჰაერის სხვადასხვა ტიპის ეფექტური ტემპერატურის მნიშვნელობებზე და ანგსტრომის ტყის ხანძრის საშიშროების ინდექსზე; შეფასდა KPI მნიშვნელობების ცვალებადობა რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში საქართველოში ცალკეულ წერტილებზე.

მე-4 თავში “სტიქიური ატმოსფერული მოვლენები“ განხილულია საქართველოს ტერიტორიაზე განვითარებული სტიქიური მოვლენები. კერძოდ: სეტყვა, თავსხმა წვიმა, ჭექა-ქუხილი, ექსტრემალური ქარი, ტემპერატურა. მოსალოდნელია, რომ ჰიდრომეტეოროლოგიური საფრთხეები, როგორცაა ძლიერი წყალდიდობა, ქარიშხალი, მენყერი, ზვავი, სეტყვა, ქარიშხალი, გვალვა და ა.შ. უფრო ხშირი და მძიმე გახდება კლიმატის ცვლილების, ეკოსისტემის დეგრადაციის, მოსახლეობის ზრდისა და ურბანიზაციის გამო.

მსოფლიოში ეკონომიკური და სხვა ზარალი სტიქიური უბედურებების შედეგად იზრდება. კატასტროფების საერთაშორისო მონაცემთა ბაზის (EM-DAT) მიხედვით, ბოლო 70 წლის განმავლობაში ჰიდრომეტეოროლოგიურმა კატასტროფებმა აჩვენა ყველაზე მაღალი ზრდის ტემპი ნებისმიერი ტიპის სტიქიურ უბედურებებთან შედარებით. საქართველოში სტიქიური უბედურებები სახელმწიფოს მდგრადი განვითარების მუდმივ უარყოფით ფაქტორად უნდა

განიხილებოდეს. ჩამოთვლილი საფრთხეებიდან გამომდინარე პრობლემების მნიშვნელობა ასტიმულირებს მათში მიმდინარე გამომწვევი მიზეზებისა და ფიზიკური პროცესების აქტიურ შესწავლას.

შესწავლილია ჭექა-ქუხილით და სეტყვით დღეების რაოდენობის სტატისტიკური სტრუქტურა და სივრცითი და დროითი მახასიათებლები, კავშირი ჭექა-ქუხილის ხანგრძლივობისა და ჭექა-ქუხილის დღეების რაოდენობას შორის, ტერიტორიაზე სეტყვის პროცესების ინტენსივობის გრძელვადიანი დინამიკის მახასიათებლები, სეტყვის პროცესების კავშირი ჭექა-ქუხილთან, ჭექა-ქუხილის აქტივობის თავისებურებები კახეთში, ჭექა-ქუხილის ელექტრულ და რადარულ პარამეტრებს შორის კავშირი. ამ კავშირებისა და კონვექციური ღრუბლების სარადარო პარამეტრების მონაცემების გათვალისწინებით, აშენდა კახეთისთვის მიწისზედა ელვის განაწილების რუკა. წარმოდგენილია სეტყვის განაწილების მოდელირების შედეგები კახეთის ტერიტორიაზე საშუალო მაქსიმალური დიამეტრის მიხედვით ატმოსფეროში გაყინვის დონის მონაცემებისა და ღრუბლებში სეტყვის მაქსიმალური ზომების სარადარო გამოწვევის გამოყენებით.

შესწავლილ იქნა ატმოსფერული ნალექების, ჭექა-ქუხილის და სეტყვის პროცესების კავშირი ატმოსფეროს ანთროპოგენურ დაბინძურებასთან აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში. შემუშავებულია ჭექა-ქუხილის აქტივობისა და ატმოსფეროს აეროზოლური დაბინძურების ურთიერთკავშირის სტატისტიკური მოდელები. კერძოდ, დადგინდა, რომ ჭექა-ქუხილის და სეტყვის პროცესების ინტენსივობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ატმოსფეროს აეროზოლურ დაბინძურებაზე (რადიოაქტიურის ჩათვლით), თუმცა ეს დამოკიდებულება საკმაოდ რთულია. ზოგადად, ატმოსფეროს არარადიოაქტიური აეროზოლური დაბინძურების ზრდამ გამოიწვია სეტყვის დაზიანების ინტენსივობის ზრდა და, შესაბამისად, სეტყვის საწინააღმდეგო ოპერაციების ეფექტურობის შემცირება.

მე-5 თავში „კლიმატის გათვალისწინება ეკონომიკის ზოგიერთი სექტორის (სოფლის მეურნეობა, ტურიზმი, მშენებლობა, ჯანდაცვა) დაპროექტებაში“ – ორი 30-წლიანი (2041-2070 და 2071-2100 წლები) პერიოდის შედარებით 1971–2000 წლების 30-წლიან პერიოდთან, შეფასდა კლიმატის ცვლილების სამომავლო ტენდენციები საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურისთვის. სცენარები აგებულ იქნა ძირითადი კლიმატური პარამეტრებისთვის, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურის, ნალექების ჯამის, ფარდობითი სინოტივისა და ქარის საშუალო თვიური და წლიური მნიშვნელობები. დამატებით, გაანგარიშებულ იქნა სპეციალიზებული კლიმატური პარამეტრები – ინდექსები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია ცალკეულ სექტორებზე კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება.

მე-6 თავი „ამინდისა და კლიმატის ცვლილების შესწავლის თანამედროვე მეთოდები“ – ამინდის ხარისხიანი პროგნოზი საქართველოს ტერი-

ტორიაზე საკმაოდ მოთხოვნადი, მაგრამ ამავდროულად რთული შესადგენია. ქვეყნის ტერიტორიის 85% მაღალმთიანია და ურთულესი ოროგრაფიული ხასიათით გამოირჩევა. საქართველოს ტერიტორიის 3/4 განსაკუთრებით მოწყვლადია წყალდიდობების, წყალმოვარდნებისა და ღვარცოფების მიმართ. აღნიშნული ტერიტორიები გამოირჩევა განსაკუთრებით რთული ოროგრაფიით და დანეწვრებულია სხვადასხვა ექსპოზიციის მდინარის ხეობებითა და ხრამებით. მდინარეთა უმრავლესობის წყალუხვობის პერიოდი გაზაფხულია, როდესაც კონვექციური ნალექების ზემოკლევადიანი და მოკლევადიანი აკურატული პროგნოზი გაცილებით უფრო ეფექტურს გახდის ჰიდროლოგიური მოდელების ამოქმედებას ხარისხიანი ჰიდროლოგიური პროგნოზი საქართველოსათვის მეტად აქტუალური პრობლემაა. ჰაერის მასების ურთიერთქმედება რელიეფის ამ რთულ ფორმებთან წლის ნებისმიერ დროს ამინდის ლოკალური პირობების მრავალფეროვნებითა და ხშირად ექსტრემალურობით გამოირჩევა, კონვექციური პროცესები თანმხლები მოვლენებით: ნისლი და დაბალი ღრუბლები, ნალექის წარმოქმნილი ლოკალური მოვლენები; ამინდი ზამთრის პირობებში (თოვლი, ყინული, ლიპყინული, ზვავი) – ეს იმ მოვლენების მოკლე ჩამონათვალია, რომელთა ზემოკლევადიანი და მოკლევადიანი პროგნოზირება საქართველოსათვის ძალიან ღირებულია. ვარიაციული ანალიზისა და ფარული სითბოს ინიციაციის ხარჯზე ამინდის მოდელების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესების მიუხედავად 0-6 სთ ვადაში ზემოკლევადიანი პროგნოზის ხარისხი მაინც შედარებით დაბალია.

ცალკეული სინოპტიკური მოვლენებისათვის, რომელთა სივრცული დიაპაზონი რამდენიმე მეტრიდან 2000 კმ-მდე მერყეობს, ზემოკლევადიანი და მოკლევადიანი პროგნოზის წინასწარობის დროც რამდენიმე წუთიდან 12 საათამდე იცვლება. ასეთი პროგნოზის აკურატულობა დიდად არის დამოკიდებული მიწისპირა ქსელის სიხშირეზე, რადარისა და თანამგზავრის ინფორმაციასა და მაღალი გარჩევის ამინდის ლოკალურ მოდელებზე. ტრადიციულად, ზემოკლევადიანი პროგნოზი დაკვირვების მონაცემების ტრენდის დროითი ექსტრაპოლირებაა, რომელიც ევრისტიკული მეთოდებით მიიღება, მაშინ როცა მოკლევადიანი პროგნოზი ძირითადად ამინდის მოდელების შედეგებს ეყრდნობა. მონოგრაფიაში განხილულია საქართველოში და საერთაშორისო წამყვანი ცენტრების მიერ შექმნილი არსებული მეთოდები და სხვადასხვა სირთულის მოდელები.

დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებებში ტერმინი Big Data პოპულარული გახდა ახალი ტექნოლოგიებისა და ინოვაციების წყალობით, რომლებიც გაჩნდა გასული ათწლეულის განმავლობაში, დიდი მოცულობის და სწრაფად წარმოქმნილი ჰეტეროგენური მონაცემების ანალიზის საჭიროების გათვალისწინებით, ამიტომ შეგროვება და დამუშავება ხდება მაღალი სიჩქარით. ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიები შესაძლებელს ხდის დიდი მონაცემების

ინტეგრირებას პროგნოზირებად და დანიშნულების მართვის ინსტრუმენტებში კლიმატის სისტემების მდგრადობის გასაუმჯობესებლად.

დიდი მონაცემები მიზნად ისახავს, ხელი შეუწყოს კლიმატთან დაკავშირებულ რისკებზე მოქმედებებს მონაცემთა დიდი მოცულობის, მრავალფეროვნებისა და ხარისხის მინოდებით შაბლონების იდენტიფიცირებისა და მონაცემების ხელმისაწვდომობის მიზნით. ამრიგად, დიდი მონაცემების მიდგომა შეიძლება გახდეს ძირითადი ინფორმაციის წყარო გადაწყვეტილების მიმღებთათვის შესაბამისი სტრატეგიების შექმნისა და ადაპტაციის, მიმდინარე და მომავალი პრობლემების იდენტიფიცირებისა და დროული მოქმედებისთვის აღდგენის ეტაპების იდენტიფიცირების თვალსაზრისით.

დედამიწის სადამკვირვებლო სისტემის (Earth Observing System) პროგრამის ფარგლებში დაიწყო დედამიწის შესწავლა თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემებით, NASA, NOAA და EUMETSAT პროგრამების ფარგლებში განხორციელდა თანამგზავრების გაშვება, აღჭურვილობის სხვადასხვა ტიპის სენსორებით. აქტუალური გახდა იონოსფეროს ამინდის ამოცანა, რომლის მიხედვით, დედამიწაზე ამინდის ჩამოყალიბება იწყება ატმოსფეროს მაღალ ფენებში. NASA-ს მაგნიტური ველის სადამკვირვებლო თანამგზავრი MMS, THEMIS და მზეზე დაკვირვების თანამგზავრები SOHO, SDO, SOLAR PROBE და სხვ. გაშვების შემდეგ განუწყვეტლად გადმოსცემენ ინფორმაციას მზის პარამეტრების ცვალებადობაზე, კოსმოსური სხივების მახასიათებლებზე და დედამიწის მაგნიტური ველის რეაქციაზე ამ ცვლილებებზე.

ატმოსფეროში მიმდინარე ნაწილაკების დაჯახებისთვის შექნილია **ტალღური მოდელი** რეზონანსული გაცვლითი ფოტონის გათვალისწინებით. ატმოსფერული კლასტერებისთვის მიღებულია მაკრონაწილაკებს შორის ვან-დერ-ვაალსის ძალისთვის ურთიერთქმედების პოტენციალის გამოსახულება. ატმოსფერო წარმოიდგინება, როგორც სხვადასხვა დონეზე მყოფი კლასტერების ერთობლიობა, რომლებიც ენერგიების შთანთქმა-გამოსხივებით ურთიერთქმედებენ. დედამიწის გარემომცველი გარემო განახლებადი ენერჯის ერთ-ერთი შესაძლო წყაროა, რომლის გამოყენებაც ახალ ენერგომატარებლებზე გადასვლის შესაძლებლობაა.

მე-7 თავში „ატმოსფეროში მიმდინარე შემფოთებები“ განხილულია ისეთი მოვლენები, რომლებიც ატმოსფეროს გარე ფენებში მიმდინარეობს: მზის ქარი, კორონალური მასიური ამოფრქვევები (CMEs), მზის ენერგეტიკული ნაწილაკები (SEPs) წარმოქმნიან კოსმოსურ ამინდს გეოსივრცეში. მათ შეუძლიათ წარმოქმნან შემდეგი სახის ზემოქმედებები: საფრენი აპარატების ელექტრობის ცვლილება, ვან ალენის რადიაციული ღვედის წანაცვლებები, დაგვემილი კოსმოსური ფრენების ტრაექტორიის ცვლილებები, სანავიგაციო სისტემების დაზიანება და ცდომილება, ელექტროენერჯის ბლოკირება, ნავ-

თობ-გაზის მილსადენის კოროზია, ელექტროშოკის საშიშროება, ელექტრო-ხანძარი, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამწვავება და საგზაო შემთხვევები.

დედამინის მაგნიტური ველი წარმოადგენს ფარს, რომელიც იცავს კოსმოსური მოკლელტალიანი გამოსხივებისგან და მუდმივად იმყოფება დიდი ზემოქმედების ქვეშ. იგი განსაკუთრებით ზიანდება მზის კორონალური ამოფრქვევების, მზის ლაქების, მზის მაგნიტური ველის და კოსმოსური სხივებისგან. დამუხტული ნაწილაკები: პროტონები, ელექტრონები, მეზონები, დადებითი და უარყოფითი იონები და ნეიტრონები იწვევენ მაგნიტური ველის ძალწინების წყვეტას და შემოიჭრებიან ატმოსფეროში. პოლუსებზე ისინი იწვევენ ეგრეთ წოდებულ აურორა ბორეალის, საერთოდ დედამინაზე კი გეომაგნიტურ ქარიშხლებს, რომლებიც დიდ როლს თამაშობენ ამინდის ჩამოყალიბებაში დედამინაზე. სხვადასხვა დამუხტული ნაწილაკები მოქმედებენ როგორც ღრუბლის კონდენსაციის ბირთვები და იწვევენ ღრუბლის საფარის გაზრდას, ასევე მოქმედებენ, როგორც წვიმის და ყინულის კრისტალების დამატებითი ბირთვები, რაც იწვევს ნალექის გაზრდას კონკრეტულ ადგილებში. ასევე დამუხტული ნაწილაკები ატმოსფეროში აძლიერებენ ელექტრულ ველს, რაც გამოიხატება ელქეცების ინტენსივობის ზრდაში. იონოსფეროს ამინდის პროგნოზისთვის ფართო გამოყენება მოიპოვა ელექტრონების სრული შემცველობის პარამეტრმა, რომელსაც NASA თანამგზავრი THEMIS გადმოსცემს.

მზის ლაქები ის ადგილებია, სადაც შტორმების უმეტესობა წარმოიქმნება. მზე ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო, დაახლოებით 27 დღიანი პერიოდით და მზის ლაქების უმეტესობა აქტიური რჩება რამდენიმე ბრუნვის განმავლობაში და წარმოქმნის ციკლურ 27 დღიან მზის შტორმს.

მზის ალები მზის ზედაპირზე მიმდინარე ამოფრქვევებია. ამოფრქვევიდან დაახლოებით 8 წთ-ის შემდეგ ელექტრომაგნიტური მძლავრი რადიაცია გამოსხივების, უკიდურესი ულტრაიისფერი, რენტგენის სხივებისა და რადიოტალღების სახით აღწევს დედამინაზე. ულტრაიისფერი ტალღები ათბობენ ატმოსფეროს ზედა ფენებს. რენტგენის სხივები ამოყრიან ელექტრონებს ატომებიდან და ქმნიან დამატებით დიდი რაოდენობით ელექტრონების ღრუბელს რადიაციულ სარტყლებზე. მზის ალები ახშობენ თანამგზავრულ კავშირს, რადარულ კავშირს, ახშობენ მოკლელტალურ რადიოკავშირს, ხშირად იწვევენ თანამგზავრის ორბიტის პარამეტრების ცვლილებას და სხვა შემფოთებებს. გეომაგნიტური შტორმების სიძლიერე და მოკიდებულია დედამინის მაგნიტური ველის ორიენტაციაზე მზის ველთან დაკავშირებით. თუ სამხრეთით მიმართულია, მაშინ ძლიერია, თუ ჩრდილოეთით მიმართული – სუსტი.

მე-8 თავში „გეო-მაგნიტური ინდექსები და მათზე ამინდის და კლიმატის პარამეტრების დამოკიდებულება“- მოყვანილი კვლევის მიზანია მაგნიტური ქარიშხლების შესაძლო გავლენის შესწავლა ატმოსფეროში მეტეოროლოგიური პროცესების განვითარებაზე და მეტეოროლოგიური

პარამეტრების ცვლილებებზე. მზის ქართ გამოწვეული მეტეოროლოგიური მოვლენები ამჟამად ამინდისა და კლიმატის მოდელეებში ცუდად არის წარმოადგენილი. გეომაგნიტური ინდექსები გეომაგნიტური აქტივობის ზომას, რომლებიც ხდება დროის მოკლე შუალედში. **dst, kp, და aa** ინდექსები და შტორმამდე და შტორმის შემდეგ 3 დღის მეტეოროლოგიური პარამეტრების (ტემპერატურა, ნალექი, ქარი) დაკვირვების მონაცემები და სინოპტიკური რუკები გამოიყენება კორელაციური ანალიზისთვის. ატმოსფეროში მიმდინარე ნაწილაკების დაჯახებისთვის შექნილია ტალღური მოდელი რეზონანსული გაცვლითი ფოტონის გათვალისწინებით. ატმოსფერული კლასტერებისთვის მიღებულია მაკრონაწილაკებს შორის ვან-დერ-ვალსის ძალისთვის ურთიერთქმედების პოტენციალის გამოსახულება. ატმოსფერო წარმოიდგინება, როგორც სხვადასხვა დონეზე მყოფი კლასტერების ერთობლიობა, რომლებიც ენერჯიების შთანთქმა-გამოსხივებით ურთიერთქმედებენ. დედამიწის გარემომცველი გარემო განახლებადი ენერჯიის ერთ-ერთი შესაძლო წყაროა, რომლის გამოყენებაც ახალ ენერჯო მატარებლებზე გადასვლის შესაძლებლობაა.

თავი მე-9 „ამინდისა და კლიმატის ცვლილების მოდელეები და სამომავლო სცენარები“ – კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების პროგნოზირებისთვის გამოყენებულია RCP4.5 სცენარი. გლობალური პროგნოზის მასშტაბის გასაუმჯობესებლად გამოყენებულ იქნა RegCM რეგიონული კლიმატური მოდელის 4.6.0 ვერსია. აღნიშნულ ვერსიაში რიგი ფიზიკური და ქიმიური პროცესების აღწერისა და პარამეტრიზაციის მექანიზმებია დახვეწილი. ამ მოდელში გათვალისწინებულია მტვრისა და აეროზოლების ზემოქმედებაც. გარდა ამისა, RegCM 4.6.0 ვერსია ჰორიზონტალური მასშტაბის გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა ჩადგმული არის მეთოდით (one way nesting). რეგიონული კლიმატური მოდელის ყველა სიმულაცია ჩატარდა ჯერ უფრო უხეში მასშტაბის (30 კმ) და შედარებით დიდი ფართობის არეზე, ხოლო შემდეგ გადათვლილ იქნა 10-კილომეტრიან ბადეზე.

დასკვნაში თავმოყრილია კვლევის მნიშვნელოვანი შედეგები.

INTRODUCTION

The study of weather and climate has a long history in Georgia. Observation of weather parameters started in the 19th century in the Tbilisi Magnetic Meteorological Observatory, which was established in 1924. It was transformed into a geophysical observatory. In Georgia, a number of works have been carried out in the direction of climate and its change research. We mainly review only monographs that have been written in this direction. One of the first monographs "Air of Georgia" was published in 1961 by M. Kordzakhia, a well-known Georgian climatologist in this field. In the work, which for years was considered a desk book for climatologists and has not lost its relevance even now, the author presented a rather rich database for that time and regularities of the distribution of climatic characteristics in time and space; Also, in this work, the author presented for the first time the map of the climatic regions of Georgia, which is important to this day.

The collective monograph of the scientists of the Transcaucasia Institute of Scientific Hydrometeorology was published in Russian in 1971. The monograph discusses in details the regularities of the distribution of climatic elements in time and space, as well as the bioclimatic resources of Georgia, and finally, for the first time after ten years, the new climatic regions of Georgia are given. It should also be noted that the well-known scientists I. Kvaratskhelia (1971), K. Gogishvili published the monograph (1974), in which regularities of distribution of individual climatic elements are discussed. Monographs published by I. Tsutskiridze (1967), N. Gvasalia (1986), M. Elizbarashvili (1999), in which detailed studies of heat, thermal and radiation regime are discussed. Also a number of monographs published by Z. Javakhishvili (1981), Z. Alibegova, E. Elizbarashvili, Chavchanidze (1982) about the regime of atmospheric precipitation. In the monograph published in 2015, authored by R. Samukashvili, the radiation regime throughout the Caucasus is discussed, on the basis of which the solar energy resources are evaluated and the relevant solar energy regions are drawn up.

One of the fundamental work, in which the climate resources of Georgia and the analysis of the main climate-forming factors, as well as microclimatic studies, are presented by E. Elizbarashvili's monograph "Climatic resources of Georgia", which was published in 2007. One of the main values of this work is that it contains mathematical modeling of climatic fields and, what is more important; the prospects of using climatic resources in today are conditions. In order to develop tourism-recreational activities in Georgia, the significance of those studies is relevant, the time course and fluctuation of their extreme values, in addition to the average values of air temperature and atmospheric precipitation, are determined.

The character monograph was devoted to determining the regularity of changes in the radiation regime in Georgia by K. Tavartkiladze and K. Shengelia's authorship, 1999, in which the variation of the albedo and radiation balance of the sublayer surface of direct and scattered radiation in 1954-1999 is discussed.

The collective monograph "Perennial Climate Changes and Cyclical Fluctuations of Tbilisi", in which scientific employees of the Hydrometeorological Service of Georgia participated, was published in 2001 by N. Begalishvili and edited by E. Elizbarashvili. On the basis of long-term observations (1844-1995) conducted by I. Koniashvili in one of the famous scientific center- Scientific Research Institute of Spa and Physiotherapy. On the basis of these scientific studies, the monograph "Climatology of Georgian resorts" was published in Russian (authors E. Elizbarashvili, N. Gongladze), which was published in 1980. Also in 1989, the Atlas of Resorts and Resort Resources of Georgia was published, which received the State Award of Georgia.

Climate change is one of the significant contemporary problem, both from the ecological and material point of view. In this direction, a number of studies are being conducted in our country. The first studies in this direction were carried out in Georgia by I. Kurdiani (1950), G. Chirakadze (1959), who identified cycles of different durations in the multi-year temperature change. Also the famous climatologist I. Tsutskiridze (1960) tried to find the effect of urbanization based on the comparison of observational data of Tbilisi and Gardabani.

D. Mumladze's monograph (1991) discusses the trends of climate change in Georgia, in which the analysis of the increase in air temperature, one of the indicators of climate change, in 1966-1975 is evaluated, which, according to the author, took place mainly at the expense of winter temperatures.

In 1992, the monograph "Climate of Tbilisi" was published, in which, on the basis of multi-site observations, a multi-faceted study was conducted to investigate climate variability and long-term climate change.

In the collective monograph "Climate change of Georgia under global warming", authors: E. Elizbarashvili, M. Tatishvili, M. Elizbarashvili, M. Meskhia, Sh. Elizbarashvili the current state of climate change in Georgia is presented. A unique 25 km resolution grid database of monthly average temperature and precipitation has been created and relevant geo-informational maps have been compiled. Based on the conducted analysis, it was established that climate change in Georgia has a non-uniform character. Local cooling and warming centers were observed. Also, the character of heterogeneous distribution of precipitation was revealed.

A monograph in the direction of landscape climatology was published, which was formed as a result of the study of climatic patterns of diverse natural landscapes of Georgia, in Russian in 2006, authored by M. Elizbarashvili "The main problems of landscape climatology", the monograph discusses the climatic features of Georgian landscapes, which was published in 2006.

In 1983, a collective monograph "Dangerous main hydrometeorological events in the Caucasus" was published at the Institute of Hydrometeorology. It discusses the analysis of dangerous hydrometeorological events according to the Caucasus region.

Natural hydro-meteorological studies were conducted in Georgia within the framework of the grant project, authored by M. Elizbarashvili and E. Elizbarashvili. In

2012, a monograph was published summarizing studies on various hydrometeorological hazards. As a result of the analysis of these events, geoinformational maps of the intensity of these events have been compiled,

In 2017, the monograph "Georgia's Air" was published by E. Elizbarashvili, in which the main and climatic parameters that create the air of Georgia, the principles of climatic regions are discussed. The latest geoinformatics maps are provided, as well as information on the intensity of dangerous hydrometeorological events. The climatic regime of each type of soil is determined, as well as the distribution of complex climatic parameters in Georgia.

The monograph "Dynamics and Statistical Distribution of Hail and Lightning Processes in Georgia Against the Background of Global Climate Change" published in 2018 was created based on the planning project "Hail-Lightning Variations in the Territory of Georgia" of the Technical University of Georgia and M. Tatishvili's dissertation "Precipitation Efficiency of Convective Cloud". Using statistical analysis, the distribution of hail-lightning processes against the backdrop of global climate change is studied. Modeling of precipitation-forming processes is also included in the work.

The presented monograph "Weather, climate and the regularities of their change in the conditions of Georgia" is a continuation of the above-mentioned studies, which will continue in the future. In it, the natural factors causing weather formation and variability, as well as one of the important problems of modern times, climate change and its causes with the use of modern technologies, are studied in a complex manner. The data of the terrestrial hydrometeorological network and satellite observations of the Earth observation mission are used. The impact of climate change on a number of sectors of the country's economy (construction industry, tourism, health care, education) has been assessed.

The monograph is distinguished by the fact that the research included in it is carried out using the latest modern methods and approaches. This includes Machine Learning, ionospheric weather forecasting, tropospheric weather forecasting models developed by the world's leading forecasting centers, using satellite information from the Earth Observation Mission, and others.

Chapter Climate and its causing natural and anthropogenic factors

The real drivers of climate are the Sun's insolation (light and heat), its magnetic flux, and the relative position and orientation of the Earth to the Sun. There are three main positional variations of the Earth and Sun, called Milankovitch cycles: Orbital Eccentricity, Axial Obliquity (tilt), and Precession of the Equinoxes. These cycles affect the amount and location of sunlight impinging on the earth.

Axial precession is a gravity-induced, slow, and continuous change in the orientation of an astronomical body's rotational axis. In particular, it refers to the gradual shift in the orientation of Earth's axis of rotation, which, similar to a wobbling

top, traces out a pair of cones joined at their apices in a cycle of approximately 26,000 years (called a Great or Platonic Year). The term "precession" typically refers only to this largest secular motion; other changes in the alignment of Earth's axis — nutation and polar motion — are much smaller in magnitude (Pidwirny M. 2006).

Earth's precession was historically called the precession of the equinoxes, because the equinoxes moved westward along the ecliptic relative to the fixed stars, opposite to the motion of the Sun along the ecliptic. With improvements in the ability to calculate the gravitational force between and among planets during the first half of the nineteenth century, it was recognized that the ecliptic itself moved slightly, which was named planetary precession, as early as 1863, while the dominant component was named lunisolar precession.http://en.wikipedia.org/wiki/Axial_precession – cite_note-3 Their combination was named general precession, instead of precession of the equinoxes.

Luni-solar precession is caused by the gravitational forces of the Moon and Sun on Earth's equatorial bulge, causing Earth's axis to move with respect to inertial space. Planetary precession is due to the small angle between the gravitational force of the other planets on Earth and its orbital plane (the ecliptic), causing the plane of the ecliptic to shift slightly relative to inertial space. Luni-solar precession is about 500 times greater than planetary precession. In addition to the Moon and Sun, the other planets also cause a small movement of Earth's axis in inertial space. The precession of the Earth's axis has a number of observable effects. First, the positions of the south and north celestial poles appear to move in circles against the space-fixed backdrop of stars, completing one circuit in 25,772 Julian years (2000 rate). Thus, while today the star Polaris lies approximately at the north celestial pole, this will change over time, and other stars will become the "north star".

In approximately 3200 years, the star Gamma Cephei in the Cepheus constellation will succeed Polaris for this position. The south celestial pole currently lacks a bright star to mark its position, but over time precession also will cause bright stars to become south stars. As the celestial poles shift, there is a corresponding gradual shift in the apparent orientation of the whole star field, as viewed from a particular position on Earth. Secondly, the position of the Earth in its orbit around the Sun at the solstices, equinoxes, or other time defined relative to the seasons, slowly changes. Over a century later precession was explained in Isaac Newton's *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), to be a consequence of gravitation. Newton's original precession equations did not work, however, and were revised considerably by Jean le Rond d'Alembert and subsequent scientists (Dennis D. McCarthy. 2004).

The rotation axis of the Earth describes, over a period of 25,700 years, a small circle (blue) among the stars, centered on the ecliptic north pole (the blue *E*) and with an angular radius of about 23.4° , an angle known as the obliquity of the ecliptic. The direction of precession is opposite to the daily rotation of the Earth on its axis. The orange axis was the Earth's rotation axis 5,000 years ago, when it pointed to the star Thuban. The yellow axis, pointing to Polaris, marks the axis now. The Earth is not a

perfect sphere but an oblate spheroid, with an equatorial diameter about 43 kilometers larger than its polar diameter. Because of the Earth's axial tilt, during most of the year the half of this bulge that is closest to the Sun is off-center, either to the north or to the south, and the far half is off-center on the opposite side. The gravitational pull on the closer half is stronger, since gravity decreases with distance, so this creates a small torque on the Earth as the Sun pulls harder on one side of the Earth than the other. The axis of this torque is roughly perpendicular to the axis of the Earth's rotation so the axis of rotation precesses. If the Earth were a perfect sphere, there would be no precession.

The tilt of the Earth varies between 22.2° and 24.5° over a period of 41,000 years. This change in tilt causes long-term variations in the amount of seasonal radiation received on Earth, especially at higher latitudes. Increased tilt amplifies the seasonal differences while decreased tilt reduces the seasonal differences. The shape of the Earth's orbit around the sun is measured by eccentricity (denoted by ϵ) and changes over time. When $\epsilon = 0$ the orbit would be a perfect circle. ϵ values for Earth's orbit range between 0.005 and 0.0607. Today, Earth's $\epsilon = 0.0167$ which is close to being a circular orbit. There is a cycle (period) between maximum and minimum ϵ values every 100,000 years. When the Earth is closest to the sun it is at the perihelion position and when Earth is farthest away it is at the aphelion position. The tilt of the Earth is much more important than the distance to the sun (in fact present day Earth is actually 3 million miles closer to the sun in January) (Mysteries of the Sun. 2012). However, when the tilt is at a minimum and the Earth is at aphelion, climate is coolest.

The Milankovitch or astronomical theory of climate change is an explanation for changes in the seasons which result from changes in the earth's orbit around the sun. The theory is named for Serbian astronomer Milutin Milankovitch, who calculated the slow changes in the earth's orbit by careful measurements of the position of the stars, and through equations using the gravitational pull of other planets and stars. He determined that the earth "wobbles" in its orbit. The earth's "tilt" is what causes seasons, and changes in the tilt of the earth change the strength of the seasons. The seasons can also be accentuated or modified by the eccentricity (degree of roundness) of the orbital path around the sun, and the precession effect, the position of the solstices in the annual orbit. Orbital changes occur over thousands of years, and the climate system may also take thousands of years to respond to orbital forcing.

Theory suggests that the primary driver of ice ages is the total summer radiation received in northern latitude zones where major ice sheets have formed in the past, near 65 degrees north. For about 50 years Milankovitch's theory was largely ignored. But in the 70s a revival of the concept began. This next revolution came when scientists began trying to reconstruct past climates with data from ocean cores called ocean proxy data. Analyzed as part of this data was forams (fossilized sea species) and delta- ^{18}O ratio (percentage of an oxygen isotope found in sediments and microorganisms) (Hays, etc.1976). It was found that variations in climate were closely associated with changes in the geometry of Earth's orbit.

The Ice Ages had occurred when the Earth was going through different stages of orbital variation. SPECMAP (Spectral Mapping Project) work has refined the tools and data needed to unravel the role of the Milankovitch theory and has facilitated a better understanding of how the Earth's climate system works. Another group, COHMAP (Cooperative Holocene Mapping Project), is putting efforts into mapping out climate changes using proxy data sources. Despite all the progress toward understanding the internal and external forcing of the climate system of the late Quaternary, many puzzles remain (American Geophysical Union, 1995). The Milankovitch theory is one piece, but there are many pieces yet to be found and understood.

The variations in the Sun's magnetic flux control the amount of cosmic rays impinging on the atmosphere. Cosmic rays produce ionizations and the ions form nuclei for cloud formation. Cloud cover has a great effect on global temperature, but this area is still poorly understood and not addressed in climate models.

Measurements made by satellite equipped with radiometers in the 1980s and 1990s suggested that Sun's energy output may be more variable than once thought (McCarthy, D...2009). They showed the decrease of 0.1% in total amount of solar energy reaching Earth over 18 month time period. Numerical climatic models predict that change in solar output of only 1% per century would alter Earth's temperature from 0.5 to 1.0°C. Sunspots are huge magnetic storms seen as dark (cooler) areas on Sun's surface. Their number and size show cyclical patterns, reaching maximum about every 11, 90 and 180 years. They prevent some of the Sun's energy from leaving surface. Little Ice Age (1650 to 1750) was a time of a much cooler global climate and scientists correlate it with reduction in solar activity over period of 90 or 180 years. Measurements showed that these year cycles influence the amplitude of the 11 year sunspot cycle. During times of low amplitude like Maunder Minimum Sun's output of radiation is reduced. During periods of maximum sunspot activity Sun's magnetic field is strong. When sunspot activity is low it weakens. Sun's magnetic field also reverse every 22 years, during sunspot minimum. The draughts on Earth in some way may be connected with this 22 year cycle.

CHAPTER 2

REGULARITIES OF CHANGES IN THE MAIN CLIMATE ELEMENTS (TEMPERATURE, PRECIPITATION, WIND, SOLAR RADIATION, HUMIDITY) ON THE TERRITORY OF GEORGIA

In order to correctly project a number of sectors of the economy, it is necessary to have reliable and complete climatic information. To characterize the temperature regime, it is important to determine the air temperature and the regularities of its distribution in time and space. The temperature of different surfaces (vegetation cover, soil, walls) differs from the temperature measured in the special places, the biggest difference is observed in the minimum and maximum temperature measured in the allocated places and the open surface, and the smallest when determining the average temperatures.

The air temperature regime is formed under the influence of climate-forming factors of different scales. There are both macro and microclimatic factors. Macroclimatic factors, such as atmospheric circulation, as well as the radiation regime and sub-layered surface, are directly dependent on the geographical latitude of the place. Microclimatic or local conditions, microrelief, vegetation, soils, proximity of water reservoirs and development of the area also have a significant influence on the air temperature regime.

All these factors should be taken into account when choosing a meteorological station. The data of the representative stations located in this area are used when it is necessary to characterize the temperature regime of a relatively large area. Those stations located in special conditions belong to non-representative stations (wetlands, river valleys, forest meadows, etc.). When it is necessary to characterize a station located in special conditions, its temperature regime cannot be characterized by means of direct data from neighboring stations, and additional corrections are required.

If there is no drastic change in environmental conditions, then multi-year average data can be spread over the next decade. Terrain and location of the place is a determining factor of air temperature distribution according to height. The average long-term temperature gives a general idea about the temperature regime of the territory and is used for its general characterization. The average monthly temperature varies significantly from year to year. Compared to the average long-term temperature, it sometimes increases and sometimes decreases. The average air temperature sometimes deviates here and sometimes from the long-term norm.

In some years, the average maximum temperature on the territory of Georgia deviates sharply from the long-term norm by 7-8 degrees in the cold period of the year and by 7-9 degrees in the warm period of the year. But it should be noted that such deviations are rare and represent 1-2 degrees on average.

Atmospheric precipitation is one of the important characteristics of the climate, which should be taken into account during the construction of buildings of various purposes and also during the organization of works on open ground.

The arrival of atmospheric precipitation on the territory of Georgia almost throughout the year is mainly due to cyclonic effects. However, precipitations associated with intramassive processes and lightning activity are quite often observed. Only in the warm period of the year, in eastern Sakartvelo and in western Georgia – Georgia throughout the year. Atmospheric precipitation is characterized by the following indicators: amount of precipitation, duration of precipitation, intensity of precipitation, number of days with precipitation of different sizes, type of precipitation (snow, rain, mixed precipitation).

It is most important to determine the largest (80, 90, 95%) and smallest (2, 5, 10%) values of various assurances of precipitation amount when characterizing the precipitation regime. The probability of the largest amount of precipitation means that more than the mentioned amount of precipitation can come once a year, and for the uncires amount of precipitation – the sum of the amount of precipitation is less than or equal to the mentioned amount. Precipitation totals and especially their extreme values are variable and their average values cannot fully characterize this element. Therefore, in addition to these data (monthly, seasonal, and annual averages), the amounts of various guaranteed precipitations are determined. The probabilities of the quantitative characteristics of precipitation are calculated according to the total probabilities, or assurance curves. For example, if the 10% guarantee of the annual total precipitation is 2000 mm, this means that 2000 mm or more precipitation falls on average once in 10 years, if the 95% guarantee of the annual precipitation amount is 800 mm, then on average 20 Less than 800 mm of precipitation falls once a year.

he daily maxima of precipitation increase depending on the altitude, while their decrease is observed in the interior mountain valleys. Usually, the diurnal maxima of precipitation are the result of torrential rains. Rainfall occurs in some years during the movement of warm, humid air masses. Maximum rainfall in Georgia is observed mainly in the warm period of the year, and their distribution does not have any regularity in terms of time and space. As well as the observed absolute values, infrequently recurring rainfalls observed once in 100 years (1% assurance) and once in 50 years (2% assurance) are less reliable and should not be used in the reports.

he average monthly wind speed varies in the considered area within larger limits than the average annual speed. In Georgia, the average annual speed varies from 0.6 m/s (Abastumani) to 9.2 m/s (Mtasabueti). The lowest wind speed will be observed in more sheltered areas, deep valleys, the Greater Caucasus and South-Mountains, the southwestern part of the Kvemo Kartli plain and the intermountain plain of Kakheti. In most areas of Georgia, the average wind speed ranges from 2.1 m/s to 4.0 m/s. The average wind speed in the open areas of the Greater Caucasus highlands increases and reaches 9.2 m/s. Mta-Sabueti, a station located in the open mountainous area of Georgia, which experiences strong easterly and westerly winds, has the highest average wind speed. And in the deep valleys, the lowest average monthly speed is observed and reaches (0.2-0.4 m/s).

CHAPTER 3.

CHANGES IN COMPLEX CLIMATIC PARAMETERS

In recent decades, the problem of global climate change has acquired special significance. At the same time, the air temperature and other climatic elements changing has considerable spatial and temporal inhomogeneities both in the global (Global Land, Global Land of the Northern and Southern Hemisphere, Zonal territories, etc.), and regional scales (even the territory of small countries with complex terrain) scales.

This problem is also of great importance in Georgia due to the diversity of climatic regions on its territory.

Sustainable development of various spheres of the national economy, including resort and tourism industry is largely determined by climate change, which is of vital importance.

The resort and tourist potential of the area is especially preconditioned by its bioclimatic conditions. Therefore, it is important to identify existing and future changes of these conditions under the impact of climate change.

In particular, information on the changeability of the different simple thermal indices as well as the Tourism Climate Index (TCI) and the Holiday Climate Index (HCI) in the recent decades in different countries (including some locations of Georgia) is represented in.

Simple thermal indices include more than one meteorological parameter and consider the combined action of the air temperature, humidity, wind speed and etc. on the human organism [31-34]. For example, to determine the monthly mean values of TCI following data are necessary: mean and maximum mean air temperature, mean and mean minimum relative humidity, precipitation, sunshine duration and wind speed.

Primarily, in the work the investigating results of changeability of the mean monthly values of meteorological parameters, used to determine TCI values and different simple thermal indices on the two regions of Georgia (Adjarian Autonomous Republic and Kakheti) during the period from 1961 through 2010 are presented.

This work is the continuation of the previous research. Results of statistical analysis of meteorological parameters data associated with the Holiday Climate Index in thirteen mountainous regions of Georgia (Bakhmaro, Bakuriani, Borjomi, Goderdzi, Gudauri, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Mestia, Pasanauri, Shovi, Stepantsminda, Tianeti) from 1956 to 2015 are presented below.

The research for thirteen mountainous regions of Georgia (Bakhmaro, Bakuriani, Borjomi, Goderdzi, Gudauri, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Mestia, Pasanauri, Shovi, Stepantsminda, Tianeti) is carried out. Table 1 presents the information on the coordinates and heights of the location of those 13 meteorological stations whose data were used in the work.

Table 4.1. Coordinates and heights of the 13 mountainous meteorological stations in Georgia.

Location (Abbreviation)	Latitude, N°	Longitude, E°	Height, m, a.s.l.
Bakhmaro (Bakh)	42.32	41.85	1926
Bakuriani (Bak)	43.52	41.73	1665
Borjomi (Borj)	43.40	41.83	789
Goderdzi (God)	42.52	41.63	2025
Gudauri (Gud)	44.48	42.47	2194
Khaishi (Kha)	42.18	42.95	730
Khulo (Khu)	42.32	41.65	914
Lentekhi (Lent)	42.73	42.78	760
Mestia (Mest)	42.75	43.05	1441
Pasanauri (Pas)	44.70	42.35	1070
Shovi (Sho)	43.68	42.70	1507
Stepantsminda (Step)	44.65	42.67	1744
Tianeti (Tian)	44.97	42.12	1099

In the work Georgian National Environmental Agency in monthly mean meteorological parameters data associated with the Holiday Climate Index (max air temperature, air relative humidity, total cloud cover, precipitation sum and wind speed) in the period from 1956 through 2015 are used.

For the data analysis the standard statistical methods of the studies were used. The difference between the mean values of the meteorological parameters into 1986-2015 and 1956-1985 with the use of Student's criterion was determined (level of significance not worse than 0.15).

The following designations are used below: T_{max} – mean maximum air temperature (°C), RH- mean relative humidity (%), CC – mean total cloud cover (amount); P – sum precipitation – (mm), V – mean wind speed (m/sec). ΔT_{max} . ΔV – the difference between the mean values of the meteorological parameters during 1986-2015 and 1956-1985 periods.

Results and discussion

The obtained Results are available in the Table4. 2-6 and Fig. 4.1-10.

Mean max air temperature

The mean annual, half year and monthly min and max air temperature (T_{max}) data are presented in Table 4.2 and Fig.4.1. The range of variability of the mean values of T_{max} for the indicated stations is as follows:

Mean Year – from 6.6 °C (Goderdzi) to 16.4 °C (Borjomi); Mean Cold – from 0.0 °C (Goderdzi) to 9.7 °C (Khulo); Mean Warm – from 13.3 °C (Goderdzi) to 23.9 °C (Khaishi); Min – from -11.8 °C (Goderdzi) to -0.5 °C (Borjomi); Max – from 23.4 °C (Goderdzi) to 35.0 °C (Borjomi).

Table 4.2. The mean min, monthly mean, max and mean seasonal values of T_{max} (°C) in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

Location	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	8.6	3.0	14.2	-8.2	24.2
Bakuriani	11.3	5.1	17.5	-5.7	27.7
Borjomi	16.4	9.4	23.5	-0.5	35.0
Goderdzi	6.6	0.0	13.3	-11.8	23.4
Gudauri	7.8	2.0	13.7	-8.8	25.4
Khaishi	16.3	8.7	23.9	-1.3	33.7
Khulo	15.8	9.7	22.0	-1.6	31.4
Lentekhi	15.8	7.9	23.7	-1.9	34.5
Mestia	13.4	5.9	20.9	-6.4	30.2
Pasanauri	14.5	7.4	21.6	-2.9	33.0
Shovi	12.6	5.7	19.5	-5.5	30.8
Stepantsminda	10.6	4.5	16.7	-5.7	27.4
Tianeti	14.4	7.6	21.2	-1.7	31.6

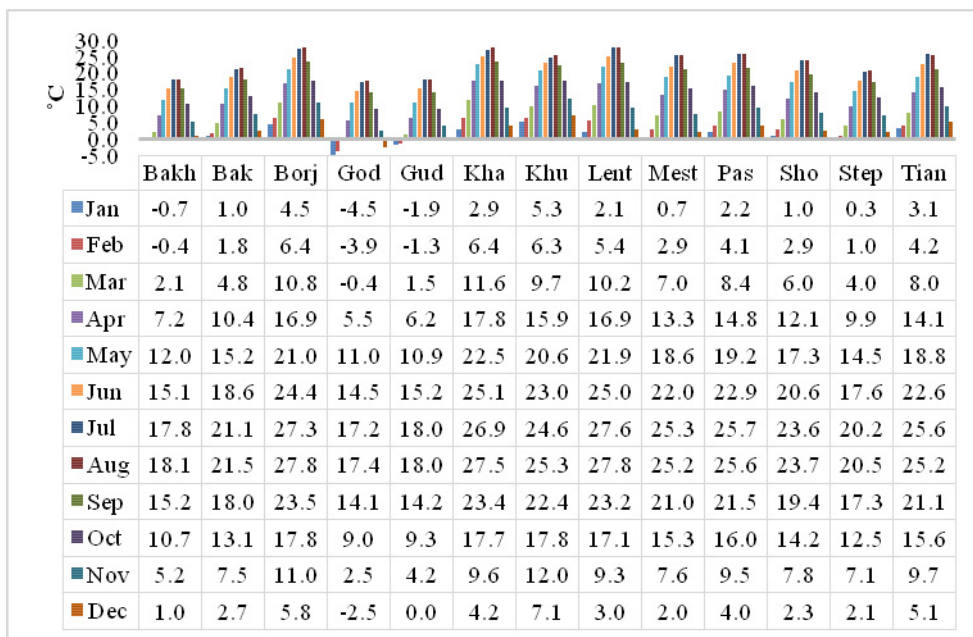


Fig. 4.1. T_{max} monthly mean values of in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

The intra-annual distribution of T_{max} values for all 13 investigations points of Georgia are presented in Fig.4. 1. The smallest T_{max} values for all points during January are detected. The T_{max} greatest values for Bakhmaro, Bakuriani, Borjomi, Goderdzi, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Shovi and Stepantsminda during August are fixed; for Mestia, Pasanauri and Tianeti – during July, and for Gudauri – during July and August (Fig.4. 1).

The information on the changeability of the ΔT_{\max} values of in separate points is presented below (Fig. 4.2).

The variability of the mean monthly max air temperature is observed for 13 points of Georgia in 69 cases (including 66 cases – an increase and only for 3 cases – a decrease in ΔT_{\max} values).

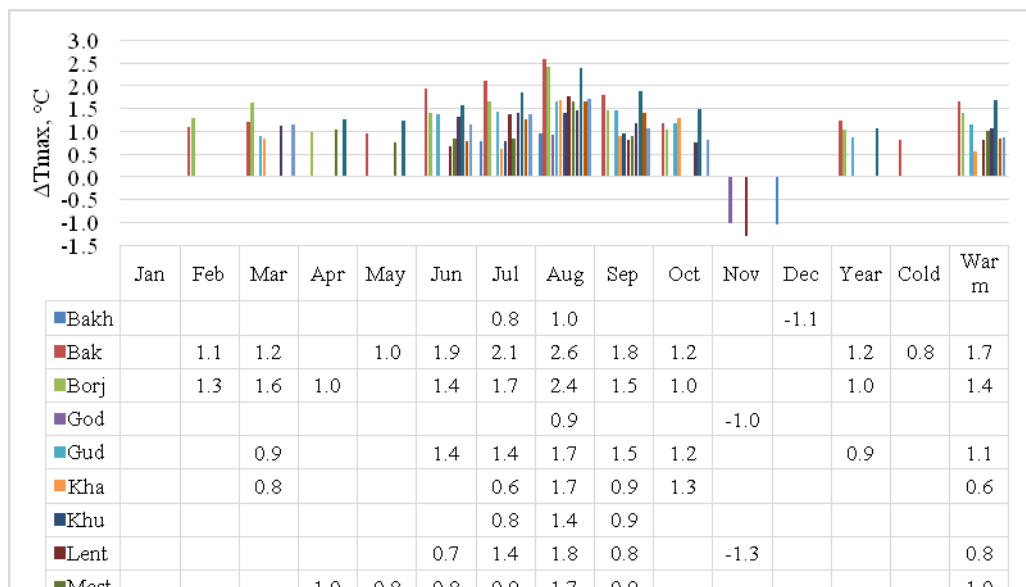


Fig. 4.2. Difference between the T_{\max} mean values for 1986-2015 and 1956-1985 in thirteen locations of Georgia

The variations of the ΔT_{\max} values in the separate points are the following: Bakhmaro – increase of the values of ΔT_{\max} (July, August), decrease (-1.1 °C, December); Bakuriani – increase (February, March, May-October, mean annual, cold and warm seasons mean); Borjomi – increase (February-April, June-October, mean annual and warm season mean); Goderdzi – increase (August), decrease (-1.0 °C, November); Gudauri – increase (March, June-October, mean annual and warm season mean); Khaishi – increase (March, July-October, warm season mean); Khulo – increase (July-September); Lentekhi – increase (July-September, warm season mean), decrease (-1.3 °C, November); Mestia – increase (April-September, warm season mean); Pasaunauri – increase (March, June-October, warm season mean); Shovi – increase (April-October, mean annual and warm season mean); Stepantsminda – increase (June-September, warm season mean); Tianeti – increase (March, June-October, warm season mean).

Totally, the ΔT_{\max} values change from -1.3°C (Khulo, November) to 2.6 °C (Baruriani, August), amplitude – 3.9 °C.

Air mean relative humidity

The mean annual, half year and monthly min and max air relative humidity (RH) data are available in Table 3 and on Fig. 3.

The range of variability of the RH mean values for the indicated stations is as follows: Mean Year – from 69.4 % (Stepantsminda) to 86.9 % (Goderdzi); Mean Cold – from 65.7 % (Stepantsminda) to 88.4 % (Goderdzi); Mean Warm – from 72.2 % (Mestia) to 85.4 (Goderdzi); Min – from 38.2 % (Khulo) to 61.3 % (Goderdzi); Max – from 91.0 % (Bakhmaro, Bakuriani) to 100 % (Goderdzi, Lentekhi).

The intra-annual distribution of RH values for all indicated investigations points of Georgia are presented in Fig.4.3. The RH smallest values for all points during January are observed (62.8 %, Stepantsminda). The RH greatest values for Goderdzi (91.1 %) in February are fixed (Fig. 3).

Table4. 3. The mean monthly min, mean monthly max and mean seasonal RH (%) values in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

Location	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	74.1	73.3	74.8	50.0	91.0
Bakuriani	78.4	78.9	78.0	56.0	91.0
Borjomi	77.9	80.4	75.5	55.3	94.2
Goderdzi	86.9	88.4	85.4	61.3	100
Gudauri	74.2	71.4	76.9	47.2	91.7
Khaishi	77.8	81.2	74.4	48.0	97.0
Khulo	71.4	69.8	73.0	38.2	92.0
Lentekhi	80.2	85.2	75.2	48.6	100
Mestia	75.8	79.5	72.2	53.0	97.9
Pasanauri	75.2	75.9	74.5	56.0	92.0
Shovi	78.3	80.0	76.5	57.3	92.6
Stepantsminda	69.4	65.7	73.2	43.0	96.0
Tianeti	80.8	83.1	78.5	61.0	98.7

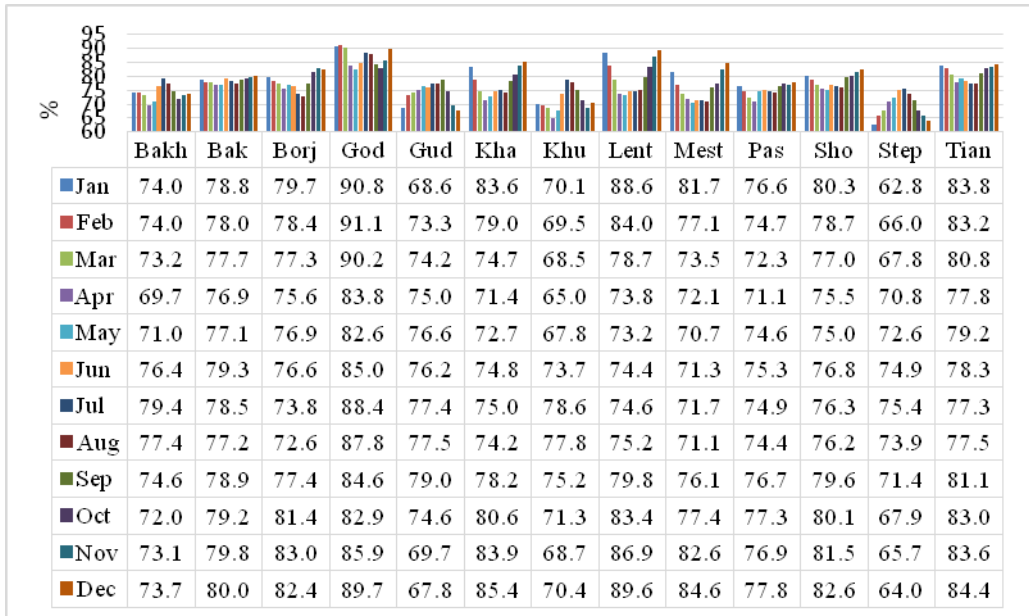


Fig. 4.3. The monthly mean values of relative humidity in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

The changeability of the ΔRH values of in separate points is presented in the Fig.4. 4.

The variability of the monthly mean air relative humidity is detected for all investigated points in 86 cases (including 79 cases – an increase and only for 7 cases – a decrease of ΔRH values).

The changeability of the ΔRH values in the separate points is the following: Bakhmaro – increase of the ΔRH values (January-June, October-December, mean annual and cold season mean), decrease (-2.5 %, August); Bakuriani – increase (January, February, April-June, October, December, mean annual, cold and warm seasons mean); Borjomi – increase (all month and seasons, except July, August and November); Goderdzi – increase (all month and seasons, except September); Gudauri – increase (January, February, mean annual and cold season mean); Khaishi – increase (January, March-June, November, December, mean annual and cold season mean); Khulo – increase (January, June, October, mean annual and cold season mean); Lentekhi – increase (January, November, cold season mean); Mestia – increase (January, November, December) decrease (March, April, August, September, mean annual and warm season mean); Pasaunauri – increase (January, February, mean annual and cold season mean); Shovi – increase (January, February, October, mean annual and cold season mean), decrease (August and September); Stepantsminda – increase (all month and seasons, except July, August and September); Tianeti – increase (all month and seasons).

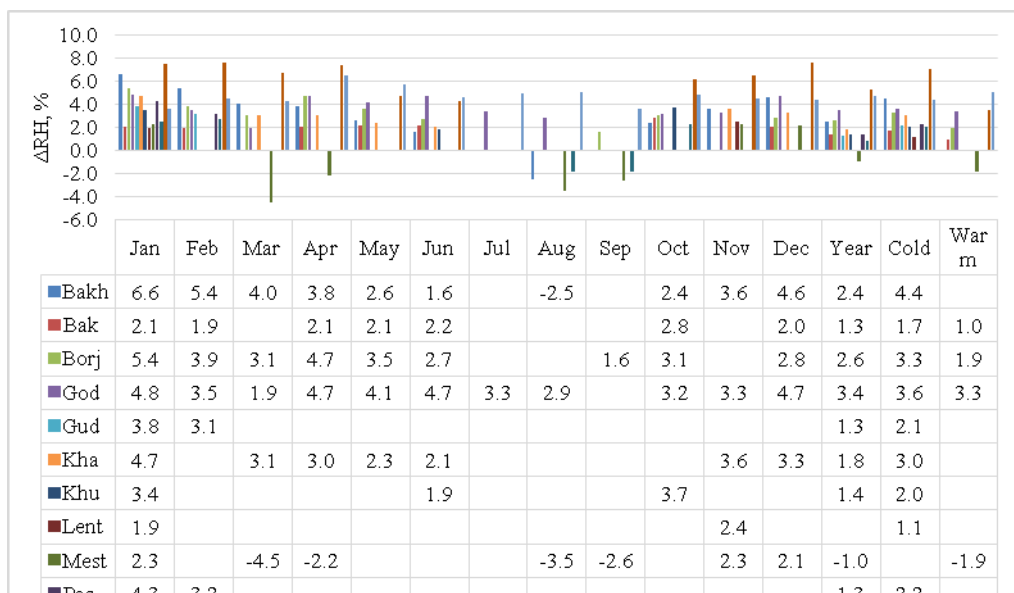


Fig. 4.4. Difference between the RH mean values for 1986-2015 and 1956-1985 in thirteen locations of Georgia

Completely, the ΔRH values change from -4.5 % (Mestia, March) to 7.6 % (Stepantsminda, February, December), and the amplitude is 12.1 %.

Total Cloud Cover

The mean annual, half year and monthly min and max total cloud cover amount (CC) data in are available from Table4. 4 and Fig. 4.5.

Table 4.4. The mean monthly min, mean monthly max and mean seasonal values of total cloud cover amount in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

Location	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	6.0	6.1	6.0	2.2	9.0
Bakuriani	6.1	6.1	6.1	2.0	9.1
Borjomi	6.2	6.4	6.0	2.3	9.1
Goderdzi	6.8	6.9	6.8	3.0	10
Gudauri	5.4	5.1	5.7	1.8	8.5
Khaishi	5.5	5.8	5.1	1.6	9.0
Khulo	6.1	6.1	6.0	2.0	9.0
Lentekhi	6.3	6.3	6.3	3.0	9.1
Mestia	6.1	6.3	5.9	2.0	9.1
Pasanauri	5.4	5.3	5.6	1.8	9.0
Shovi	6.4	6.5	6.4	2.0	10
Stepantsminda	5.4	4.9	5.9	1.8	9.0
Tianeti	5.7	5.8	5.6	2.0	9.0

The range of variability of the CC mean values for the indicated stations is as follows: Mean Year – from 5.4 (Gudauri, Pasanauri, Stepantsminda) to 6.8 (Goderdzi); Mean Cold – from 4.9 (Stepantsminda) to 6.9 (Goderdzi); Mean Warm – from 5.1 (Khaishi) to 6.8 (Goderdzi); Min – from 1.6 (Khaishi) to 3.0 (Goderdzi, Lentekhi); Max – from 8.5 (Gudauri) to 10 (Goderdzi, Shovi).

The intra-annual distribution of CC values for all indicated investigations points of Georgia is presented on Fig. 4.5 d. The smallest CC values for all points during August are fixed (Khaishi).

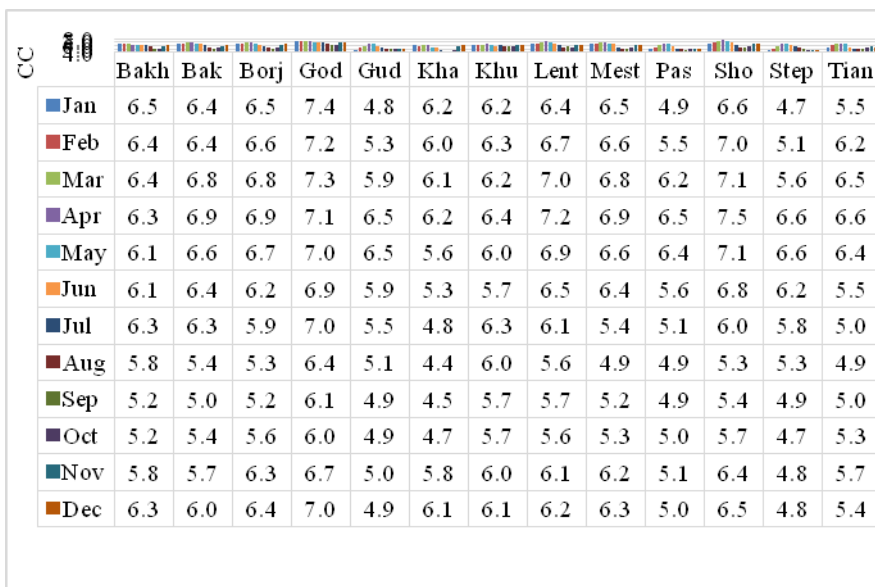


Fig.4. 5. Total cloud cover monthly mean values of in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

The CC greatest values for Shovi (4.5) are detected in April (Fig. 4.5).

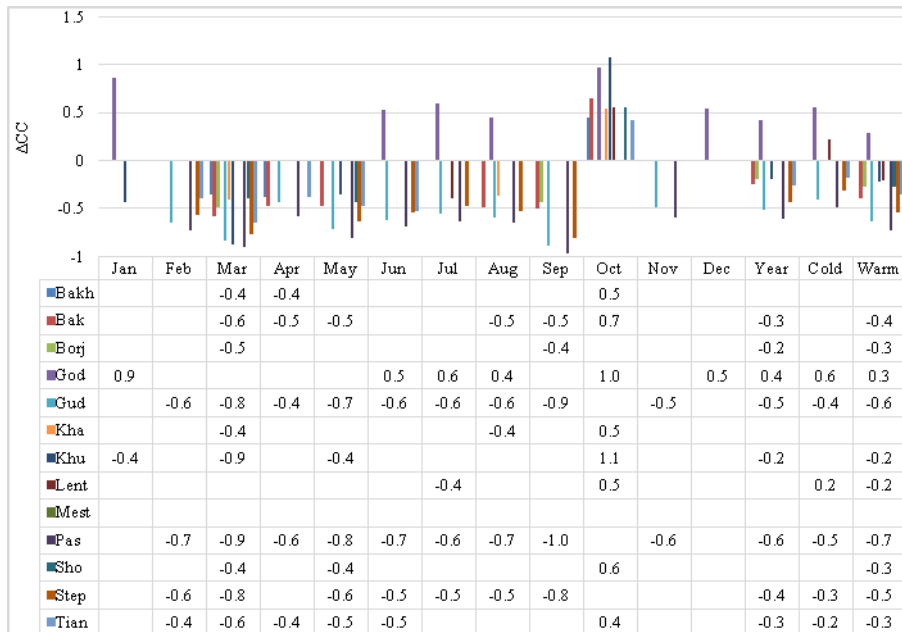


Fig. 4.6. Difference between the mean values of total cloud cover for 1986-2015 and 1956-1985 in thirteen locations of Georgia

The ΔCC values variation in separate points is presented in Fig. 4.6. The variability of the mean monthly total cloud cover is detected for 12 investigated points (except Mestia) in 60 cases (including 48 cases – a decrease and for 12 cases – an increase in ΔCC values).

The changeability of the ΔRH values in the separate points is the following: Bakhmaro – decrease of the ΔCC values (March, April), increase (October); Bakuriani – decrease (March-May, August, September, mean annual and warm seasons mean), increase (October); Borjomi – decrease (March, September, mean annual and warm season mean); Goderdzi – increase (all month and seasons, except February-May, September and November); Gudauri – decrease (all month and seasons, except January, October and December); Khaishi – decrease (March, August), increase (October); Khulo – decrease (January, March, May, mean annual and warm season mean), increase (October); Lentekhi – decrease (July and warm season mean), increase (October and cold season mean); Mestia – no changes; Pasanauri – decrease (all month and seasons, except January, October and December); Shovi – decrease (March, May and warm season mean), increase (October); Stepantsminda – decrease (all month and seasons, except January, April, October-December); Tianeti – decrease (February-June, mean annual, cold and warm seasons mean), increase (October).

Atmospheric precipitation sum

The mean monthly annual, half year and monthly min and max P values are available in Table 5 and Fig. 4.7.

Table 4.5. monthly min, monthly max and mean monthly seasonal P (mm) values in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

Location	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	130	154	107	9.8	554
Bakuriani	70	59	82	0.5	283
Borjomi	55	48	62	1.5	181
Goderdzi	110	115	104	7.7	361
Gudauri	128	106	151	0	536
Khaishi	102	108	96	1.0	670
Khulo	117	149	84	0.5	628
Lentekhi	107	110	104	1.3	556
Mestia	82	76	88	1.0	284
Pasanauri	82	59	105	0	353
Shovi	98	85	111	3.4	444
Stepantsminda	62	34	89	0	252
Tianeti	64	42	85	0	277

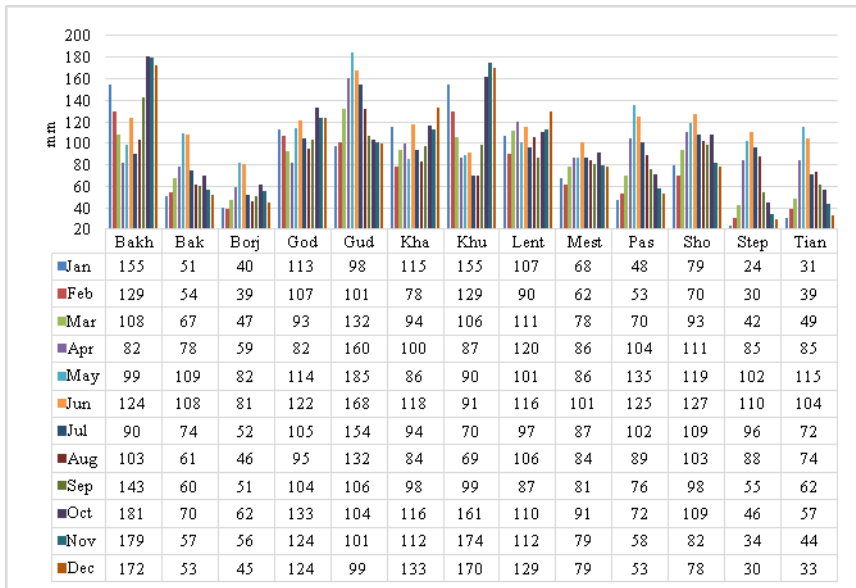


Fig. 4.7. Precipitation monthly mean values of in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

The variability range of the P mean values for the indicated stations is as follows: Mean Year – from 55 mm (Borjomi) to 130 mm (Bakhmaro); Mean Cold –

from 34 mm (Stepantsminda) to 154 mm (Bakhmaro); Mean Warm – from 62 mm (Borjomi) to 151 mm (Gudauri); Min – from 0 mm (Gudauri, Pasaauri, Stepantsminda and Tianeti) to 9.8 mm (Bakhmaro); Max – from 181 mm (Borjomi) to 670 mm (Khaishi).

The intra-annual distribution of P values for all indicated investigations points of Georgia are presented in Fig. 4.7. The P smallest values for Stepantsminda during January are observed (24 mm). The P greatest values for Gudauri (185 mm) in May are observed (Fig.4.7).

The changeability data of the ΔP values in separate points is presented in Fig. 8. The variability of the atmospheric precipitation monthly mean sum is observed for 11 investigated points (except Bakhmaro, and Bakuriani) in 25 cases (including for 12 cases – an increase and for 13 cases – a decrease of ΔP values).

The changeability of the ΔP values in the separate points is the following: Bakhmaro and Bakuriani (no changes); Borjomi – decrease (June and December); Goderdzi – decrease (March, April mean annual and warm season mean); Gudauri – increase (August, October and cold season mean), decrease (September); Khaishi – increase (April and May); Khulo – increase (January, September, mean annual, cold and warm seasons mean); Lentekhi – increase (May and June), decrease (September); Mestia – increase (mean annual and cold season mean); Pasaauri – increase (August, October and cold season mean); Shovi – increase (October); Stepantsminda – decrease (July, September), increase (October); Tianeti – decrease (March, May-July, September, mean annual and warm seasons mean).

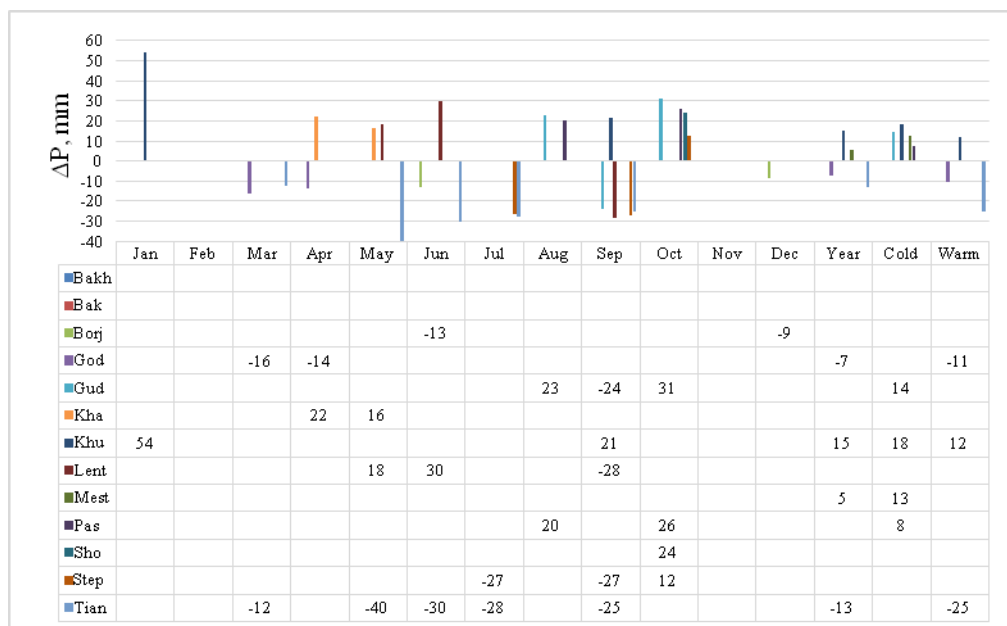


Fig. 4.8. Difference between the P mean values during 1986-2015 and 1956-1985 in thirteen locations of Georgia

Mean wind speed

The mean annual, half year and monthly min and max wind speed (V) data are available in Table 4.6 and also on Fig.4. 9.

The range of variability of the V mean values for the indicated stations is as follows: Mean Year – from 0.3 m/sec (Lentekhi) to 4.8 m/sec (Goderdzi); Mean Cold – from 0.2 m/sec (Lentekhi) to 5.4 m/sec (Goderdzi); Mean Warm – from 0.4 m/sec (Lentekhi) to 4.2 m/sec (Goderdzi); Min – 0 m/sec (for all stations); Max – from 2.1 m/sec (Lentekhi) to 10.7 m/sec (Goderdzi).

The intra-annual distribution of V values for all indicated investigations points of Georgia are presented on Fig. 4.9. The smallest V values for all points during January and December are observed (0.1 m/sec, Lentekhi). The greatest values of V for Goderdzi (6.1 m/sec) in January are also fixed (Fig.4. 9).

Table 4.6. The monthly mean min, monthly mean max and mean seasonal V (m/s) values in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

Location	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	1.7	2.2	1.3	0.0	5.7
Bakuriani	1.3	1.1	1.5		5.2
Borjomi	0.7	0.5	0.8		2.2
Goderdzi	4.8	5.4	4.2		10.7
Gudauri	1.2	1.1	1.2		3.4
Khaishi	0.9	0.7	1.2		3.7
Khulo	1.9	2.0	1.7		4.0
Lentekhi	0.3	0.2	0.4		2.1
Mestia	0.5	0.3	0.7		2.2
Pasanauri	1.1	1.1	1.2		2.9
Shovi	1.1	1.0	1.1		2.9
Stepantsminda	1.7	1.8	1.6		6.1
Tianeti	1.2	1.2	1.2		4.6

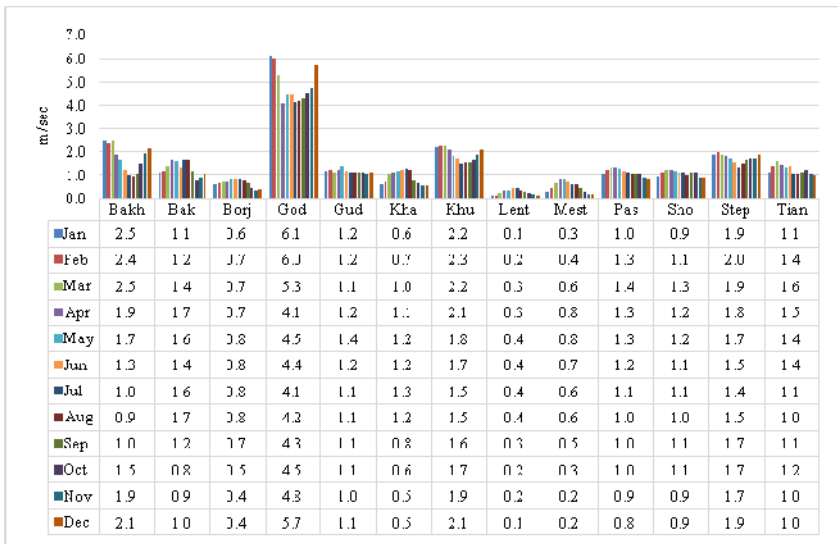


Fig. 4.9. Wind speed monthly Mean values in thirteen locations of Georgia in 1956-2015.

The changeability of the ΔV values of in separate points is presented in Fig. 4.10. The variability of the monthly mean values of wind speed is detected for all 13 investigated points in 145 cases (including 141 cases – a decrease and only for 4 cases, Bakhmaro – an increase of ΔV values).

The changeability of the ΔV values in the separate points is the following: Bakhmaro – increase (January, March, May and June); all another station, except Shovi – decrease (all months, mean annual, cold and warm seasons mean); Shovi – decrease (all months, except April, June and October, mean annual, cold and warm seasons mean).

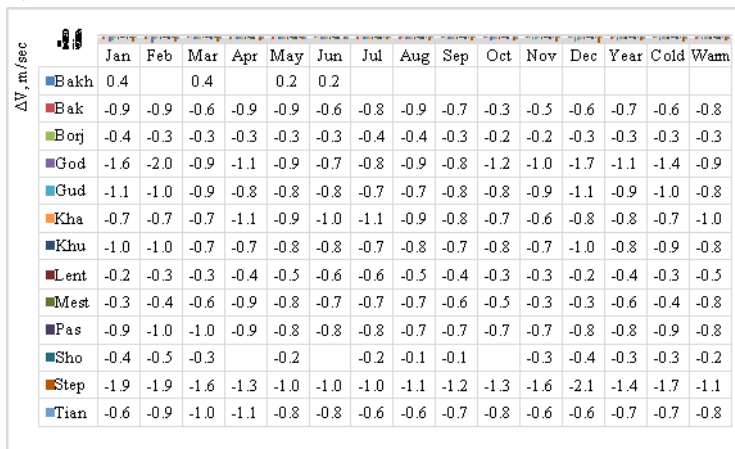


Fig. 4. 10. Difference between the V mean values during 1986-2015 and 1956-1985 in thirteen locations of Georgia

Finally, we note that the greatest changes of all other investigated climatic parameters in 1986-2015 compared to 1956-1985 underwent wind speed, the least – atmospheric precipitation. The reasons for such changes are the subject of further research for the studied mountain regions of Georgia.

Conclusion

The analysis confirms once again the earlier obtained results and formulated conclusions on the diversity of climatic conditions of Georgia and their uniqueness. Accordingly, this stimulates the need for the even more detailed study of climatic and associated bioclimatic conditions and their variability in different geographic regions of Georgia, both in terms of impact on public health and in terms of development of various sectors of the national economy of the state, including health resorts – tourism industry.

Chapter 4. Natural atmospheric events

Georgian relief may be characterized by three sharply expressed orographic elements: in north Caucasus, in south – Georgian south uplands and lowland or intermountain depression located between those two risings. This one begins from The Black Sea shore by triangular Colchis Lowland and spreads up to eastern Georgia like narrow strip. Between those two uplands small scaled orographic elements are allocated. Such complicated relief has definite influence on air masses motion in atmosphere lower layers. Mainly west and eastern atmospheric processes prevailed over Georgian territory. Due to complex orographic conditions and influence of the Black Sea in Georgia. There are many climatic types (zones). from marine wet subtropical climate in west Georgia and steppe continental climate in east Georgia up to eternal snow and glaciers in high mountain zone of Great Caucasus. Thus those climatic zones uphold the formation of different dangerous hydrometeorological phenomena, namely: hailstones, heavy showers, flooding, thunderstorm, draughts, sea storms. The economical losses and casualties caused by those catastrophic events are impressive.

Here exist most of Earths climatic types, from marine wet subtropical climate of west Georgia and steppe continental climate of east Georgia up to eternal snow and glaciers of high mountain zone of Great Caucasus, and also approximately 40% of observed landscapes. The complexity of the orographic structure of Georgian territory, along with other physical -geographical factors is the cause of wide variety of climates and landscapes. There are almost all types of climates observed on the Globe, from the climate of eternal snows of high mountains and glaciers to steppe continental climate of eastern Georgia and humid climate of the Black Sea coast subtropical

Current geodynamics and orographic properties of Georgia play an important role in the formation of various weather patterns. Such complex relief conditions the formation and evolution of various scaled circulation systems and heterogeneous spatial distribution of meteorological elements. This is verified by the fact, that

precipitation annual distribution has a diverse type, with sharply expressed spatial inhomogeneities. The local circulation systems developed on the background of synoptical processes play significant role in the spatial-temporal distribution of weather determining parameters. The study of all those phenomena needs the processing of long-term observation series of those climatic parameters.

Extreme values of climate parameters are more sensitive to climate change than their mean values, however, medium values often make it impossible to assess socio-economic impacts on different sectors of climate change. In addition to the mean values of climate parameters, various types of climate characteristics / indices (such as heat waves, extremely rainy / rainless periods, etc.) are calculated to assess climate change., the calculation methodology of which is developed according to the recommendations of the IPCC and by which the change regularities of the magnitude, frequency and intensity of extreme climate parameters are determined.

The precipitation regime changes are unstable in time and are also spatially heterogeneous, although they are still characterized by some regularity. In particular, the annual rainfall in western Georgia is mainly increased, while in some eastern regions – decreased, although the nature of the change in annual rainfall is mostly unreliable and there are no obvious trends. Trends were revealed only on a number of curves. Trends in the change in the average annual rainfall in the West are almost everywhere positive, with the largest deviation between the two periods (up to 15%) and, consequently, the most stable growth trend was observed in Poti and Khulo (60-75 mm / 10 years). The only exceptions are significant tendencies of precipitation decrease (60-120 mm / 10 years) in Guria and high mountains of Adjara (Goderdzi Pass). In the east, the annual growth is maximal and the corresponding trends are significant in Lagodekhi (17%, 75 mm / 10 years), while the decrease in precipitation is most intense in Tianeti (-18%, 39 mm / 10 years).

The average wind speed change trends seems to be decreased for almost all study stations. The average wind speed between the two 30-year periods decreases by an average of 1-2 m / s. Exceptions in this regard are Kobuleti and Bakhmaro, where the wind speed is unstable, but increases with each passing season. It should be noted, however, that these trends are based solely on observations prior to 2010. Most of the trends in average wind speed change across the country are reliable for both annual values and seasonal average speeds. Only at Tbilisi station the trend is not stable in any season of the year, in Zugdidi – in autumn (September-October) and in Kutaisi – in summer. The picture of the most intense decrease in average wind speed in the whole area was revealed in Mta-Sabuetti and Poti, where the average annual speeds decrease by 0.5 m / s every 10 years, and in the east – in Shida Kartli (Gori). Such a decrease in wind speeds is due to the intense decline detected in the spring of this parameter, most notably in April.

The number of strong windy days (maximum wind speed ≥ 15 m / s, ≥ 25 m / s) was selected to characterize the maximum wind speed regime. Since maximum speed wind data are available only from 1970, the change trends were built on 1970-2015.

For the period, while the comparison of the numbers of strong winds was carried out in 1971-1985, 1986-2000 and 2001-2015 for 15-year periods.

Tendencies to decrease the number of strong winds (≥ 15 m / s) are predominant in the West, while in Eastern Georgia, their frequency will be observed. It is noteworthy that the number of such days is decreasing in western Georgia – Kutaisi and especially on the western slopes of the Likhi Range (Mta-Sabueti), where trends were revealed in the summer-autumn seasons, and in the east, in the Mtkvari gorge, a significant increase is observed. Frequency of strong winds in Gori will be observed in all seasons, while in Tbilisi their annual number increases mainly at the expense of March. The trend changes maximum in Mta- Sabueti and Gori and are 1.7 days / 10 years. The frequency of extremely strong winds (≥ 25 m / s) changes with a similar regularity. In particular, a significant decrease in such days was observed in Kutaisi and Mta-Sabueti, while the steady increase is observed in Gori, as well as in Poti.

The following topics are discussed in the Chapter

- 4.1. The number of lightning and hail days per year and their variation in different climatic zones of Georgia.**
- 4.2 Dynamics of the number of days with lightning and hail during the warm period of the year in the territory of Georgia, in 1941-1990.**
- 4.3 Lightning activity in different regions of Georgia**
- 4.4. Hail intensity in Kakheti.**
- 4.5 Influence of anthropogenic atmospheric pollution on the variability of lightning and hail processes**
- 4.6. Droughts in Georgia**

Drought is a frequent phenomenon in eastern Georgia. Its frequency in some areas exceeded 40% in the 80-ies of the last century by certain early estimates. As a result of frequent droughts accompanying the global warming in past decades transformation of many types of natural landscapes has been observed. The desertification probability of steppe and semi-desert landscape of eastern Georgia by the end of the twentieth century has reached 25-30%. According to official figures, by the result of intense droughts area of over than 200 000 ha is strongly affected at present. Property damage caused by drought is very significant.

The main meteorological factors for drought formation are dry weather, high temperature and lack of soil producing moisture. The average time of rainless period with precipitation less than 5 mm most important for agriculture is not more than 10-15 days. Besides, the mean rainfall is not more than 200-300 mm during vegetation period on the lowlands. Nevertheless, producing moisture supply is 50-200 mm per one meter of soil that corresponds to the zone of capillary agro-hydrological humidification and full spring rainfall penetration. At the same time active air temperatures sum exceeds 4000° over 10° times, and the mean duration of continuous high temperatures more than 30° is longer than 4 hours

In study Pearson correlation coefficient (PCC), determination coefficient (R^2), and root mean square error (RMSE) criteria, which are among the strong statistical criteria, were used. R^2 ranges from 0 to 1, with higher values indicating less error variance. The **RMSE** is the square root of the variance of the residuals. It indicates the absolute fit of two data set and lower the RMSE the better performance is.

In order to compare drought indices, scatter diagrams of indices were drawn and statistically evaluated. For this, R^2 and the RSME were used. Correlation between data sets is a measure of how well they are related. The most common measure of correlation in stats is the Pearson Correlation. It shows the linear relationship between two sets of data

(3month) PCC, which shows linear relationship between SPI-SPEI is quite high, while in cases of SPI-EDI, especially for Dedoplistskaro, Gori and Telavi and SPEI-EDI, Dedoplistskaro, Telavi is low

RMSE (SPI-SPEI) is low especially for Khashuri and Telavi; RMSE (SPI-EDI), RMSE(SPEI-EDI) is low especially for Dedoplistskaro and Telavi; and for Gori and Khashuri is relatively high.

(12month) PCC for SPI-SPEI is high and for SPI-EDI, SPEI-EDI is low. R^2 is low for all stations. RMSE (SPI-SPEI) is low which means perfect fitting, RMSE (SPI-EDI), RMSE (SPEI-EDI) is also low .

The strongest relationship was observed among the indices in the same time periods. As time lag increases, the relationship between variables has weakened. Among the indices, the strongest correlation coefficient (0.94) was observed between SPI-12 and EDI-12 for Telavi, and the lowest correlation coefficient (0,04) was between SPI-EDI for Gori.

Chapter 5. Considering the climate in the design of some sectors of the economy (agriculture, tourism, construction, health care)

The formation and development of the resort and tourism industry is directly depended on the geographical location, relief, vegetation, weather and climate of the region. Weather and climate are two main factors that determine the bioclimatic resources of an area. Thus, the study of these resources, which are necessary for the organization and development of the resort and tourism industry, plays a major role and requires significant efforts. Past studies have used a lot of climate indices for tourism. The most widely known index, used both in the past and at present, is the Tourist Climate Index (TCI), proposed by Mechkovsky.

From the recent studies of TCI, in particular, the notable are the works. The study presents the first TCI calculations for Zimbabwe, a country reliant on outdoor nature-based tourism for attracting tourists and foreign visitors. The mean annual TCI scores classify Zimbabwe as very good to excellent by climatic suitability for tourism, with scores spanning 75.5–83 (of a maximum 100) for the 1989–2014 period. Monthly TCI scores categorize four locations in the Lowveld region as having a winter-peak

suitability; the remaining stations have either summer-peak or bimodal shoulder-peaks. This reveals entire year climatic suitability for tourism in Zimbabwe, and highlights the importance of understanding seasonal variability per destination to maximize tourist satisfaction. The paper [20] evaluates the climate comfortability of Argentina as an intangible resource for tourism. The analysis builds on spatial modelling of the Tourism Climate Index (TCI) calculated for 69 weather stations uniformly distributed throughout the country. The mean annual TCI in Argentina is 73 indicating “very good” climatic-tourist comfort conditions for tourism.

Despite the TCI’s wide application, it has been subject to substantial critiques. The four key deficiencies of the TCI include: (1) the subjective rating and weighting system of climatic variables; (2) it neglects the possibility of the overriding influence of physical climatic parameters (e.g., rain, wind); (3) the low temporal resolution of climatic data (i.e., monthly data) has limited relevance for tourist decision-making; and (4) it neglects the varying climatic requirements of major tourism segments and destination types (i.e., beach, urban, winter sports tourism).

To overcome the above noted limitations of the TCI, a Holiday Climate Index (HCI) was developed to more precisely assess the climatic suitability of tourism destinations. The word “holiday” was chosen to reflect better what the index was designed for (i.e., leisure tourism), as the tourism is much broader by definition (“Tourism is a social, cultural and economic phenomenon which entails the movement of people to countries or places outside their usual environment for personal or business/professional purposes”). In the same works, comparisons between HCI and TCI were made.

In particular, it was found out that there is a high degree of correlation between the values of HCI and TCI. However, consider that the TCI is calculated for the so-called “average tourist” (regardless of gender, age, physical condition), the value and category of this index is lower than the HCI values and categories. In general, based on our estimation the HCI more adequately determines the bioclimatic state of the environment for the development of various types of tourism than the TCI.

This study develops the detailed analysis of the monthly, seasonal and annual HCIs values during 60-year period (1956-2015) for 13 mountainous locations of Georgia (Bakhmaro, Bakuriani, Borjomi, Goderdzi, Gudauri, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Mestia, Pasanauri, Shovi, Stepantsminda, Tianeti), and comparison HCI and TCI of monthly values for three points of Georgia (Goderdzi, Khulo and Mestia) based on the data from 1961 to 2010. The variability data of HCI in 1986-2015 compared to 1956-1985, and the trends of HCI in 1956-2015 are also presented. Using Mestia as the example the expected changes of monthly, seasonal and annual HCI values of 2041-2070 and 2071-2100 has been assessed.

The study area includes 13 mountainous locations in Georgia – Bakhmaro (Bakh): 42.32° N, 41.85° E, 1926 m, a.s.l.; Bakuriani (Bak): 43.52° N, 41.73° E, 1665

m; Borjomi (Borj): 43.40° N, 41.83° E, 789 m; Goderdzi (God): 42.52° N, 41.63° E, 2025 m; Gudauri (Gud): 44.48° N, 42.47° E, 2194 m; Khaishi (Kha): 42.18° N, 42.95° E, 730 m; Khulo (Khu): 42.32° N, 41.65° E, 914 m; Lentekhi (Lent): 42.73° N, 42.78° E, 760 m; Mestia (Mest): 42.75° N, 43.05° E, 1441 m; Pasaunauri (Pas): 44.70° N, 42.35° E, 1070 m; Shovi (Sho): 43.68° N, 42.70° E, 1507 m; Stepantsminda (Step): 44.65° N, 42.67° E, 1744 m; Tianeti (Tian): 44.97° N, 42.12° E, 1099 m. The development of the resort and tourism industry takes place in these locations, in particular – the mountain and winter tourism. Fig. 1 depicts the map of the arrangement of the indicated locations.

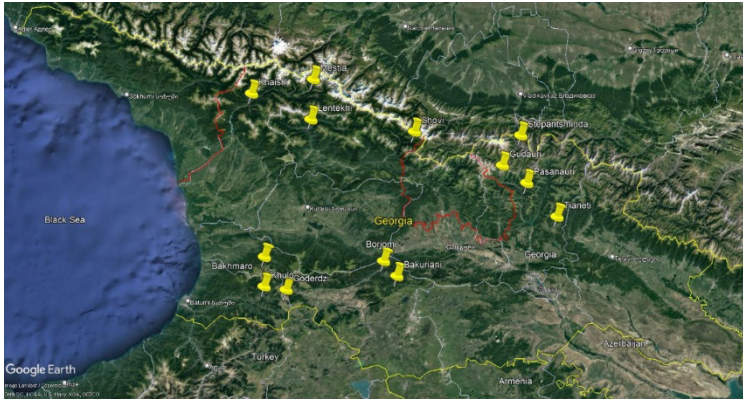


Fig.5.1. Locations of 13 mountainous meteorological stations in Georgia.

In this work the Holiday Climate Index (HCI) is used. The five climatic variables for the HCI identification are used: air temperature maximum, relative humidity, cloud cover, precipitation and wind.

In the Table 5.1 rating scheme and HCI’s category are presented.

Table 5.1. HCI’s Category.

HCI Score	Category (Abbreviation)	HCI Score	Category (Abbreviation)
90÷100	Ideal	40÷49	Marginal (Marg.)
80÷89	Excellent (Excell.)	30÷39	Unfavorable (Unf.)
70÷79	Very Good (V_Good)	20÷29	Very Unfavorable (V_Unf.)
60÷69	Good	10÷19	Extremely Unfavorable (Ext_Unf.)
50÷59	Acceptable (Accept.)	9÷-9; -10÷-20	Impossible (Impos.)

In this work the monthly mean data of Georgian National Environmental Agency of indicated meteorological parameters during the period from 1956 through 2015 are used . Based on this data the HCI monthly average values were calculated. Comparison of monthly HCI and TCI values for three locations of Georgia (Goderdzi, Khulo and Mestia) based on the TCI data t from 1961-2010 is performed.

Analysis of the HCI data using the standard statistical analysis methods is carried out [35]. The applied following designations are listed below: Mean – average values; Min – minimal values; Max – maximal values; 99%_Low and 99%_Upp – Low and

Upper levels of 99% confidence interval of mean values; R^2 – coefficient of determination; R – coefficient of linear correlation; α – level of significance; ΔHCI – the difference between the HCI mean values in 1986-2015 (II period of time) and 1956-1985 (I period of time) using Student's criterion was determined (level of significance not worse than 0.15). Calculation of expected changes in monthly, seasonal and annual HCI values in Mestia by 2041-2070 and 2071-2100 conducted in accordance with the model of expected climate change in Georgia. The expected climate change has been forecast using Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 scenario that stabilizes radiative forcing at 4.5 W/m² in the year 2100 without ever exceeding that value. Compared to the A1B scenario used in the Third National Communication, the RCP4.5 scenario is less severe. Version 4.6.0 of the RegCM Regional Climate Model has been used to improve the global forecast scale.

Basic Information about HCI for 13 Mountainous Regions of Georgia.

The long-term mean HCI real values at 13 locations of Georgia are presented on the Fig. 5.2.

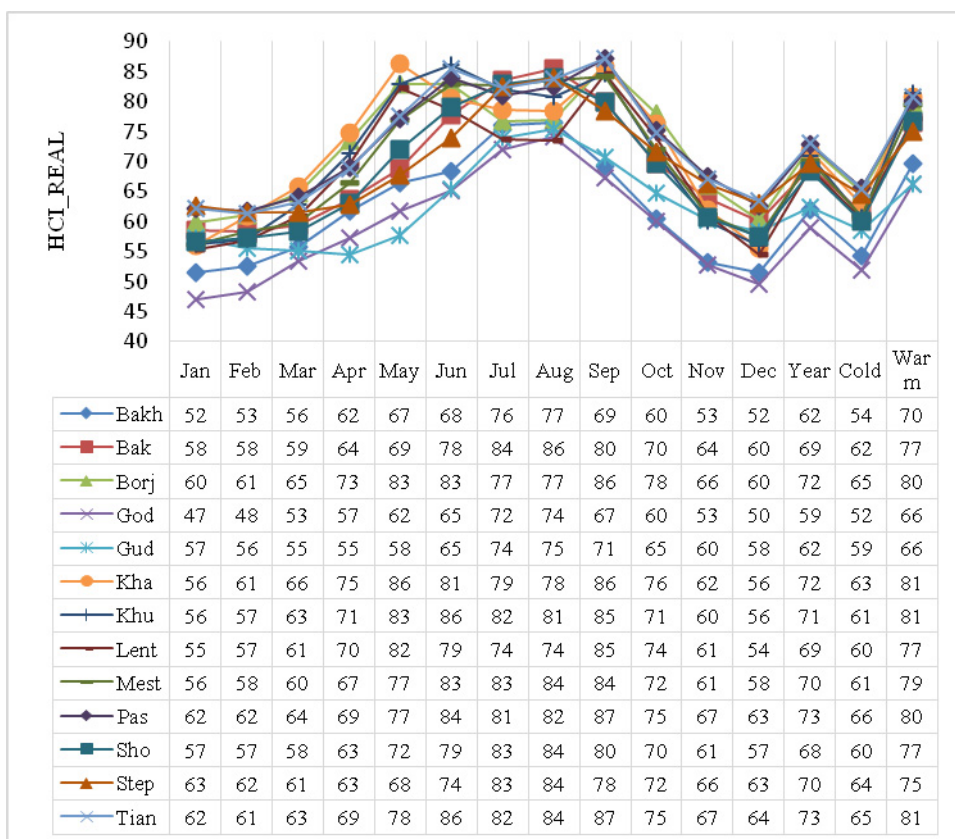


Fig. 5.2. Mean HCI real values at 13 locations of Georgia.

As it follows from Fig. 5.2 the HCI mean monthly values change from 47 (Goderdzi, January, Acceptable) to 87 (Pasanauri, Tianeti September, Excellent). The variability of HCI values for individual items is as follows: Bakhmato (52, January, December – 77, August), Bakuriani (58, January, February – 86, August), Borjomi (60, January, December – 86, September), Gooderdzi (47, January – 74, August), Gudauri (55, March, April – 75, August), Khaishi (56, January, December – 86, September), Khulo (56, January, December – 86, June), Lentekhi (54, December – 85, September), Mestia (56, January – 84, August, September), Pasanauri (62, January, February – 87, September), Shovi (57, January, February, December – 84, August), Stepantsminda (61, March – 84, August), Tianeti (61, February – 87, September).

Table5. 2. Linear correlation coefficient between separated stations of HCI monthly mean values ($R_{\min} = 0.58, \alpha = 0.04; R_{\max} = 1, \alpha = \square 0.001$).

Location	Bakh	Bak	Borj	God	Gud	Kha	Khu	Lent	Mest	Pas	Sho	Step	Tian
Bakh	1	0.95	0.81	0.98	0.83	0.84	0.92	0.81	0.95	0.89	0.96	0.90	0.90
Bak	0.95	1	0.79	0.98	0.94	0.77	0.87	0.78	0.96	0.94	0.99	0.98	0.95
Borj	0.81	0.79	1	0.83	0.62	0.98	0.96	1.00	0.93	0.94	0.86	0.70	0.93
God	0.98	0.98	0.83	1	0.88	0.84	0.91	0.82	0.96	0.93	0.98	0.94	0.93
Gud	0.83	0.94	0.62	0.88	1	0.58	0.69	0.60	0.83	0.82	0.90	0.99	0.83
Kha	0.84	0.77	0.98	0.84	0.58	1	0.97	0.99	0.91	0.90	0.85	0.68	0.89
Khu	0.92	0.87	0.96	0.91	0.69	0.97	1	0.96	0.97	0.96	0.93	0.78	0.96
Lent	0.81	0.78	1.00	0.82	0.60	0.99	0.96	1	0.92	0.93	0.85	0.69	0.91
Mest	0.95	0.96	0.93	0.96	0.83	0.91	0.97	0.92	1	0.99	0.99	0.90	0.99
Pas	0.89	0.94	0.94	0.93	0.82	0.90	0.96	0.93	0.99	1	0.97	0.88	1.00
Sho	0.96	0.99	0.86	0.98	0.90	0.85	0.93	0.85	0.99	0.97	1	0.96	0.97
Step	0.90	0.98	0.70	0.94	0.99	0.68	0.78	0.69	0.90	0.88	0.96	1	0.89
Tian	0.90	0.95	0.93	1	0.83	0.89	0.96	0.91	0.99	1.00	0.97	0.89	1

Linear correlation coefficient between separated station of HCI monthly mean values changes as follows (Table 2) – Bakhmaro: 0.81 (Borjomi, Lentekhi) ÷ 0.98 (Goderdzi); Bakuriani: 0.77 (Khaishi) ÷ 0.99 (Shovi); Borjomi: 0.62 (Gudauri) ÷ 1.00 (Lentekhi); Goderdzi: 0.82 (Lentekhi) ÷ 0.98 (Bakhmaro, Bakuriani, Shovi); Gudauri: 0.58 (Khaishi) ÷ 0.99 (Stepantsminda); Khaishi: 0.58 (Gudauri) ÷ 0.99 (Lentekhi); Khulo: 0.69 (Gudauri) ÷ 0.97 (Khaishi, Mestia); Lentekhi: 0.60 (Gudauri) ÷ 1.00 (Borjomi); Mestia: 0.83 (Gudauri) ÷ 0.99 (Pasanauri, Shovi, Tianeti); Pasanauri: 0.82 (Gudauri) ÷ 1.00 (Tianeti); Shovi: 0.85 (Khaishi, Lentekhi) ÷ 0.99 (Mestia); Stepantsminda: 0.68 (Khaishi) ÷ 0.99 (Gudauri); Tianeti: 0.83 (Gudauri) ÷ 1.00 (Pasanauri).

The intra-annual distribution of TCI monthly mean values for 13 locations of Georgia by the ninth power of polynomial ($R^2 \geq 0.990$) is described. Coefficients of the regression equation of the intra-annual motion of TCI monthly mean values for these points are presented in Table 5.3.

Table 5.3. Coefficients of regression equation of the intra-annual motion of TCI monthly mean values for 13 points of Georgia.

Equation of regress., coefficients	$HCI = a \cdot X^9 + b \cdot X^8 + c \cdot X^7 + d \cdot X^6 + e \cdot X^5 + f \cdot X^4 + g \cdot X^3 + h \cdot X^2 + i \cdot X + j, (X\text{-Month})$										R ²
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
Bakh	9.76E-05	-0.00591	0.152068	-2.17025	18.76576	-100.966	333.9624	-644.542	648.6272	-201.833	0.994
Bak	1.25E-05	-0.00083	0.022622	-0.33703	2.99689	-16.4553	55.53566	-108.942	110.5176	14.66667	0.999
Borj	-0.00021	0.012368	-0.30315	4.098518	-33.4105	168.8146	-524.14	956.8664	-919.932	408	0.997
God	5.85E-05	-0.00348	0.087734	-1.22078	10.23453	-53.0477	167.8676	-307.733	294.3048	-63.5	0.996
Gud	4.86E-05	-0.00279	0.067503	-0.89662	7.144545	-35.1709	106.5046	-190.103	178.4566	-9	0.999
Kha	-1.56E-04	0.008875	-0.21273	2.797211	-22.0306	106.7157	-315.115	543.5795	-489.079	229.3333	0.990
Khu	-2.43E-04	0.014074	-0.34541	4.688892	-38.5037	196.6584	-619.155	1148.475	-1121.66	485.8333	0.998
Lent	-2.48E-04	0.014261	-0.34608	4.627231	-37.256	185.657	-567.677	1019.447	-963.629	414.1667	0.994
Mest	-1.27E-04	0.007268	-0.17676	2.371367	-19.1728	95.8908	-293.471	525.3931	-492.671	237.8333	0.999
Pas	-0.00023	0.013184	-0.32497	4.435359	-36.6564	188.5303	-597.32	1112.285	-1088.78	479.8333	0.992
Bakh	9.76E-05	-0.00591	0.152068	-2.17025	18.76576	-100.966	333.9624	-644.542	648.6272	-201.833	0.994
Bak	1.25E-05	-0.00083	0.022622	-0.33703	2.99689	-16.4553	55.53566	-108.942	110.5176	14.66667	0.999
Borj	-0.00021	0.012368	-0.30315	4.098518	-33.4105	168.8146	-524.14	956.8664	-919.932	408	0.997

In Table 5.3 the information on the intra-annual distribution types of HCI monthly mean values at 13 locations of Georgia are provided.

As follows from this Table the HCI bimodal distribution type for 6 locations is detected (Borjomi, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Pasanauri, Tianeti). At the same time, the first extremum is observed in May (Khaishi, Lentekhi), in May-June (Borjomi) and in June (Khulo, Pasanauri, Tianeti). The second extremum for all points is observed in September. It is notable that all these points are located at the altitude of less than 1100 m above sea level.

For the remaining seven locations, there is the unimodal (or smooth unimodal) type of intra-annual distribution of HCI values with a maximum in the following months: July-August (Bakhmaro, Gudauri, Stepantsminda), August (Bakuriani, Goderdzi), June-September (Mestia), July-September (Shovi). Regarding height, these points are located at an altitude of ≥ 1441 m above sea level.

Table 5.4. Intra-annual distribution types of HCI monthly mean values at 13 locations of Georgia.

Location	Distribution type	First extremum (Max)	Second extremum
Bakhmaro	Unimodal, flat	Jul, Aug	
Bakuriani	Unimodal	Aug	
Borjomi	Bimodal	May, Jun	Sep
Goderdzi	Unimodal	Aug	
Gudauri	Unimodal, flat	Jul, Aug	
Khaishi	Bimodal	May	Sep
Khulo	Bimodal	Jun	Sep
Lentekhi	Bimodal	May	Sep
Mestia	Unimodal, flat	Jun-Sep	
Pasanauri	Bimodal	Jun	Sep
Shovi	Unimodal, flat	Jul-Sep	
Stepantsminda	Unimodal, flat	Jul, Aug	
Tianeti	Bimodal	Jun	Sep

In Table 5.5, 5.6 the categories of HCI monthly mean and seasonal values at 13 locations of Georgia in cold and warm period are presented.

Table 5.5. Categories of HCI monthly mean and seasonal values at 13 locations of Georgia in cold period.

Location	Jan	Feb	Mar	Oct	Nov	Dec	Cold	Year
Bakhmaro	Accept.	Accept.	Accept.	Good	Accept.	Accept.	Accept.	Good
Bakuriani	Accept.	Accept.	Accept.	V_Good	Good	Good	Good	Good
Borjomi	Good	Good	Good	V_Good	Good	Good	Good	V_Good
Goderdzi	Marg.	Marg.	Accept.	Good	Accept.	Accept.	Accept.	Accept.
Gudauri	Accept.	Accept.	Accept.	Good	Good	Accept.	Accept.	Good
Khaishi	Accept.	Good	Good	V_Good	Good	Accept.	Good	V_Good
Khulo	Accept.	Accept.	Good	V_Good	Good	Accept.	Good	V_Good
Lentekhi	Accept.	Accept.	Good	V_Good	Good	Accept.	Good	Good
Mestia	Accept.	Accept.	Good	V_Good	Good	Accept.	Good	V_Good
Pasanauri	Good	Good	Good	V_Good	Good	Good	Good	V_Good
Shovi	Accept.	Accept.	Accept.	V_Good	Good	Accept.	Good	Good
Stepantsminda	Good	Good	Good	V_Good	Good	Good	Good	V_Good
Tianeti	Good	Good	Good	V_Good	Good	Good	Good	V_Good

As follows from the Table 5 categories of HCI monthly mean and seasonal values at 13 locations of Georgia in year cold period changes from Marginal to Very Good. In warm period of year categories of HCI monthly mean and seasonal values changes from Acceptable to Excellent (Table 6).

Table 5.6. Categories of HCI monthly mean and seasonal values at 13 locations of Georgia in warm period.

Location	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Warm
Bakhmaro	Good	Good	Good	V_Good	V_Good	Good	V_Good
Bakuriani	Good	Good	V_Good	Excell.	Excell.	Excell.	V_Good
Borjomi	V_Good	Excell.	Excell.	V_Good	V_Good	Excell.	Excell.
Goderdzi	Accept.	Good	Good	V_Good	V_Good	Good	Good
Gudauri	Accept.	Accept.	Good	V_Good	V_Good	V_Good	Good
Khaishi	V_Good	Excell.	Excell.	V_Good	V_Good	Excell.	Excell.
Khulo	V_Good	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.
Lentekhi	V_Good	Excell.	V_Good	V_Good	V_Good	Excell.	V_Good
Mestia	Good	V_Good	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.	V_Good
Pasanauri	Good	V_Good	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.
Shovi	Good	V_Good	V_Good	Excell.	Excell.	Excell.	V_Good
Stepantsminda	Good	Good	V_Good	Excell.	Excell.	V_Good	V_Good
Tianeti	Good	V_Good	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.	Excell.

So, as it follows from Fig. 5.2 and Tables 5. 5, 5.6 in the indicated 13 locations of Georgia there are favorable bioclimatic conditions for the development of tourism and resorts throughout the year in terms of climatic timescale.

In Annexes 1-3 the Min and Max values of HCI and these categories at 13 locations of Georgia in different months and seasons in 1956-2015 are presented. As follows from Annexes values of HCI and these categories in indicated locations changes from 20 (Goderdzi, January, “Very Unfavorable”) to 100 (Stepantsminda,

September, “Ideal”; Khaishi, October, “Ideal”). For separated locations Min and Max monthly values of HCI and these categories changes as follows (Annexes 1-3).

Bakhmaro: 21 (January, “Very Unfavorable”) ÷ 91 (July-September, “Ideal”); Bakuriani: 46 (May, “Marginal”) ÷ 95 (August-September, “Ideal”); Borjomi: 48 (February, “Marginal”) ÷ 98 (October, “Ideal”);

Goderdzi: 20 (January, “Very Unfavorable”) ÷ 92 (August, “Ideal”); Gudauri: 26 (January and February, “Very Unfavorable”) ÷ 98 (July, “Ideal”); Khaishi: 26 (January, “Very Unfavorable”) ÷ 100 (October, “Ideal”); Khulo: 28 (February, “Very Unfavorable”) ÷ 97 (October, “Ideal”); Lentekhi: 28 (January, “Very Unfavorable”) ÷ 95 (October, “Ideal”); Mestia: 34 (January, “Unfavorable”) ÷ 95 (September-October, “Ideal”); Pasaauri: 44 (April, “Marginal”) ÷ 95 (September, “Ideal”); Shovi: 28 (January, “Very Unfavorable”) ÷ 95 (September, “Ideal”); Stepantsminda: 49 (February and April, “Marginal”) ÷ 100 (September, “Ideal”); Tianeti: 53 (January and April, “Acceptable”) ÷ 95 (September, “Ideal”).

In Annexes 4-6 information about 99%_Low and 99%_Upp levels of mean values of HCI and these categories at 13 locations of Georgia in different months and season in 1956-2015 are presented. As follows from Annexes 4-6 Lower and Upper levels of 99% confidence interval of mean values of HCI changes from 44 (Marginal) to 89 (Excellent). For separated locations 99%_Low and 99%_Upp confidence interval of mean values of HCI and these categories changes as follows (Annexes 4-6).

Bakhmaro: 48 (January, “Marginal”) ÷ 79 (July-August, “Very Good”); Bakuriani: 57 (January-February, “Acceptable”) ÷ 87 (August, “Excellent”); Borjomi: 59 (January and December, “Acceptable”) ÷ 88 (September, “Excellent”); Goderdzi: 44 (January, “Marginal”) ÷ 77 (August, “Very Good”); Gudauri: 52 (April, “Acceptable”) ÷ 79 (August, “Very Good”); Khaishi: 53 (December, “Acceptable”) ÷ 88 (May and September, “Excellent”); Khulo: 53 (January and December, “Acceptable”) ÷ 87 (June and September, “Excellent”); Lentekhi: 52 (December, “Acceptable”) ÷ 86 (September, “Excellent”); Mestia: 54 (January, “Acceptable”) ÷ 86 (September, “Excellent”); Pasaauri: 60 (February, “Good”) ÷ 89 (September, “Excellent”); Shovi: 55 (January, “Acceptable”) ÷ 86 (August, “Excellent”); Stepantsminda: 60 (February and March, “Good”) ÷ 87 (August, “Excellent”); Tianeti: 60 (February, “Good”) ÷ 89 (September, “Excellent”).

5.5. Vertical Distribution of HCI in the Mountainous Regions of Georgia.

Results of the study of the HCI vertical distribution for thirteen mountain locations in Georgia within the height range from 730 m (Khaishi) to 2194 m (Gudauri) above sea level are presented below (Table 5.7 and Fig. 5.3-5.5).

Table 5.7. Regression equations for the relationship between HCI and terrain height.

Month/Season	Regression equation	R ²	α
Jan	$HCI=19.03 \cdot H^3 - 91.056 \cdot H^2 + 132.83 \cdot H - 0.1852$	0.3596	0.030
Feb	$HCI = -6.362 \cdot H^2 + 13.302 \cdot H + 53.093$	0.4543	0.011
Mar	$HCI = -6.624 \cdot H + 69.492$	0.7689	0.001
Apr	$HCI = -11.451 \cdot H + 81.671$	0.9334	0.001
May	$HCI = -16.99 \cdot H + 97.245$	0.957	0.001
Jun	$HCI = 22.77 \cdot H^3 - 116.94 \cdot H^2 + 173.17 \cdot H + 6.6863$	0.9624	0.001
Jul	$HCI = -17.581 \cdot H^2 + 47.966 \cdot H + 50.684$	0.7385	0.001
Aug	$HCI = -18.958 \cdot H^2 + 53.137 \cdot H + 47.33$	0.7607	0.001
Sep	$HCI = 16.765 \cdot H^3 - 84.553 \cdot H^2 + 119.68 \cdot H + 35.573$	0.9181	0.001
Oct	$HCI = -9.5626 \cdot H + 83.802$	0.7359	0.001
Nov	$HCI = 17.61 \cdot H^3 - 84.639 \cdot H^2 + 122.3 \cdot H + 10.412$	0.4244	0.016
Dec	$HCI = 22.014 \cdot H^3 - 105.32 \cdot H^2 + 155.27 \cdot H - 10.724$	0.3763	0.026
Year	$HCI = 9.3544 \cdot H^3 - 50.088 \cdot H^2 + 74.751 \cdot H + 38.759$	0.8247	0.001
Cold	$HCI = 12.704 \cdot H^3 - 61.958 \cdot H^2 + 88.966 \cdot H + 24.778$	0.53	0.005
Warm	$HCI = -12.002 \cdot H^2 + 24.754 \cdot H + 67.736$	0.9324	0.001

For different month the form of this distribution is as follows. Inverse linear regression (decrease of HCI values with increasing altitude H): March, April, May and October; second order polynomial – February, July, August, and warm season mean; third order polynomial – January, June, September, November, December, mean annual and cold season mean.

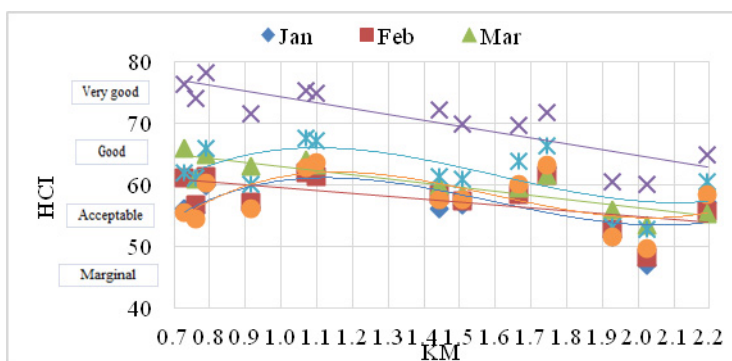


Fig.5. 3. Vertical distribution of HCI monthly mean values from October to March.

As it follows from Fig. 3 in January and February at level of 1500 m HCI values are weakly dependent on altitude, then there is a slight decrease in their values. In November and December, up to an altitude of 1100 m, HCI values grow, and then slowly decreases.

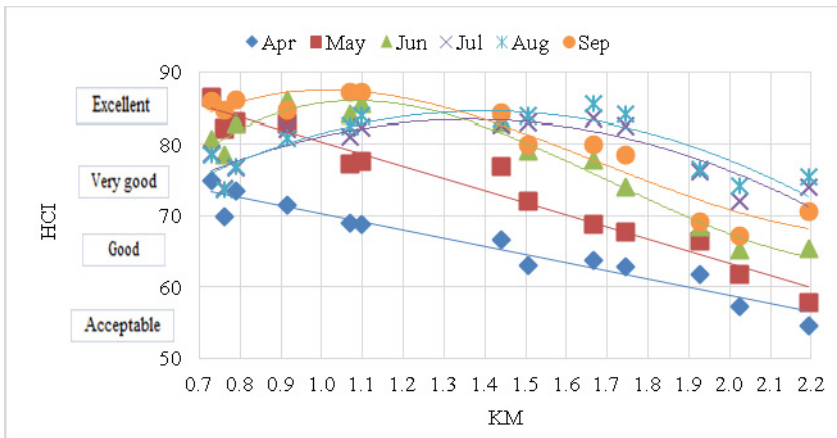


Fig. 5.4. Vertical distribution of HCI monthly mean from April to September.

In June and September, an increase in HCI values is observed up to an altitude of 1100 m, then a decrease. In July and August, HCI values grow to an altitude of 1400-1500 m with a further decrease (Fig. 5.4).

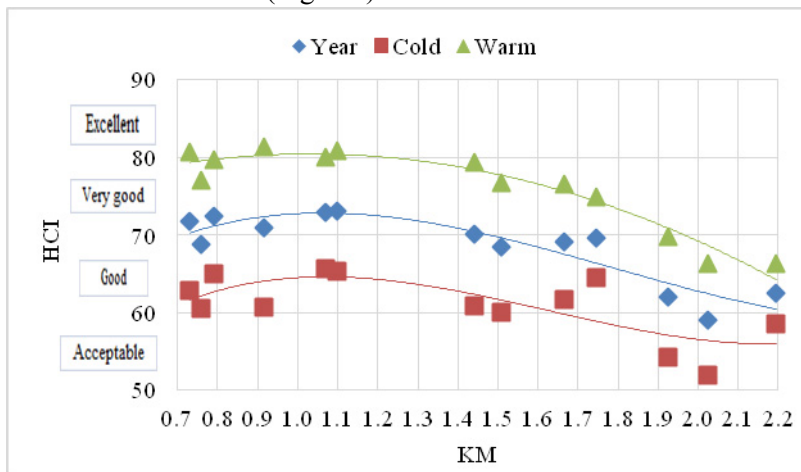


Fig. 5.5. Vertical distribution of HCI monthly mean and half-year values.

In the warm half of the year, there is a slight increase in the average HCI values up to an altitude of 1100-1200 m with a further decrease in their values. In the cold half of the year and on average over the year, the HCI values grow to an altitude of 1100-1200 m, and then they decrease (Fig. 5).

Comparison of TCI and HCI in Goderdzi, Khulo and Mestia in 1961-2010.

Comparison of TCI and HCI at three location of Georgia (Goderdzi, Khulo and Mestia) in 1961-2010 is provided below (Fig. 5.6-5.9, Table 5.8).

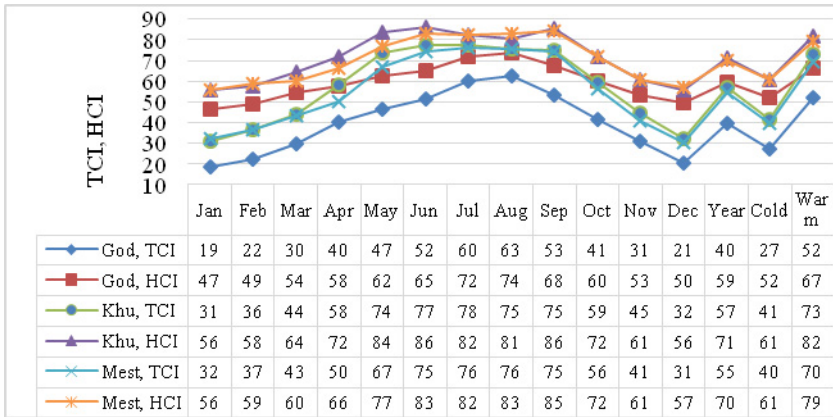


Fig. 5.6. Monthly and seasonal values of HCI and TCI in Goderdzi, Khulo and Mestia.

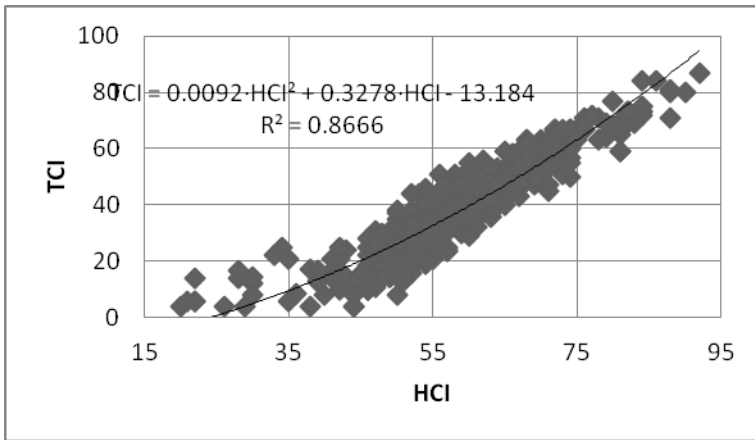


Fig. 5.7. Correlation and regression between monthly values of HCI and TCI in Goderdzi.

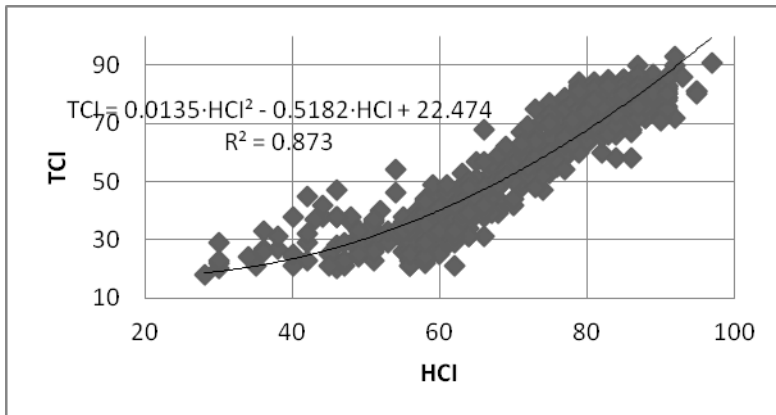


Fig. 5.8. Correlation and regression between monthly values of HCI and TCI in Khulo.

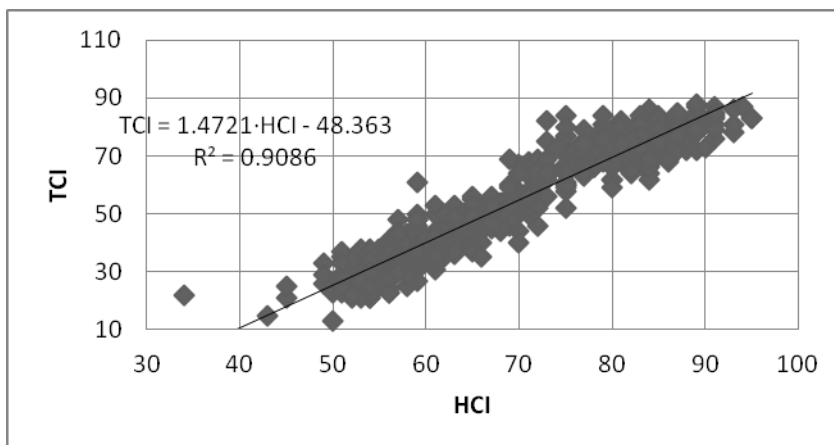


Fig. 5.9. Linear correlation and regression between HCI and TCI in Mestia.

Table 5. 8. Categories of HCI and TCI monthly mean and seasonal values in Goderdzi, Khulo and Mestia.

Location	Goderdzi		Khulo		Mestia	
	TCI	HCI	TCI	HCI	TCI	TCI
Jan	Ext_Unf.	Marg.	Unf.	Accept.	Unf.	Accept.
Feb	V_Unf.	Marg.	Unf.	Accept.	Unf.	Accept.
Mar	Unf.	Accept.	Marg.	Good	Marg.	Good
Apr	Marg.	Accept.	Accept.	V_Good	Accept.	Good
May	Marg.	Good	V_Good	Excell.	Good	V_Good
Jun	Accept.	Good	V_Good	Excell.	V_Good	Excell.
Jul	Good	V_Good	V_Good	Excell.	V_Good	Excell.
Aug	Good	V_Good	V_Good	Excell.	V_Good	Excell.
Sep	Accept.	Good	V_Good	Excell.	V_Good	Excell.
Oct	Marg.	Good	Accept.	V_Good	Accept.	V_Good
Nov	Unf.	Accept.	Marg.	Good	Marg.	Good
Dec	V_Unf.	Accept.	Unf.	Accept.	Unf.	Accept.
Year	Marg.	Accept.	Accept.	V_Good	Accept.	V_Good
Cold	V_Unf.	Accept.	Marg.	Good	Marg.	Good
Warm	Accept.	Good	V_Good	Excell.	V_Good	V_Good

In Fig. 5.6 the HCI and TCI monthly mean and seasonal values of in these locations are presented.

The comparison of the values and categories of the Tourism Climate Index and Holiday Climate Index (Fig. 5.6, Table 5.8) shows that the intra-annual distributions of both indices in Goderdzi and Mestia is similar and has a unimodal and flat unimodal

forms respectively. In Khulo, this distribution is flat unimodal, for TCI and bimodal for HCI.

The relationship between monthly HCI and TCI values in Goderdzi and Khulo has a second order polynomial form (Figures 7 and 8). In Khulo, this connection is linear (Fig. 5.9).

Comparison of TCI and HCI categories shows, that in cold months, season and year HCI categories on 0-3 step higher than TCI categories (Table 5.8).

Difference on 3 step in the following cases are observed: TCI_Ext_Unf. → HCI_Marg., in January (Goderdzi); TCI_V_Unf. → HCI_Accept., in December and cold season (Goderdzi).

Difference on 2 step: TCI_V_Unf. → HCI_Marg., in February (Goderdzi); TCI_Unf. → HCI_Accept., in January, February and December (Khulo, Mestia); in March and November (Goderdzi); TCI_Marg. → HCI_Good, in March (Khulo, Mestia); in May and October (Goderdzi); in November and cold season (Khulo, Mestia); TCI_Accept. → HCI_V_Good, in April, October and mean annual (Khulo, Mestia)

Difference on 1 step: TCI_Marg. → HCI_Accept., in April and mean annual (Goderdzi); TCI_Accept. → HCI_Good, in June, September and warm season (Goderdzi); TCI_Good → HCI_V_Good, in May (Mestia), in July and August (Goderdzi); TCI_V_Good → HCI_Excellent., in May (Khulo), from June to September (Khulo, Mestia), warm season (Khulo).

The same category "Very Good" for TCI and HCI only in warm season mean in Mestia is observed.

So the value and categories of TCI is lower than the HCI ones. In general, on our opinions, at least in Georgia HCI more adequately determines the bioclimatic state of the environment for the development of certain types of tourism (mountain tourism, winter tourism, extreme tourism, etc.) than TCI.

Changeability of HCI in the Mountainous Regions of Georgia in 1956-2015.

Data on changeability of HCI and its category are presented in Fig. 5.10-5.11, Tables 5.9-5.

On Fig. 5.10 the information about difference between HCI monthly mean and seasonal values in 1986-2015 and 1956-1985 (Δ HCI) in 13 locations of Georgia are presented.

Δ HCI													
	Bakh	Bak	Borj	God	Gud	Kha	Khu	Lent	Mest	Pas	Sho	Step	Tian
Jan				-4.0			-3.4		-4.0		-2.4		
Feb										2.1			
Mar		1.4	2.8							2.8		1.8	3.3
Apr			3.2							4.4	2.6		
May		2.9			3.4	-1.6		-2.9			4.3		3.6
Jun		5.7	-2.9		3.1	-3.9		-5.7				2.1	
Jul			-3.4		4.4	-3.2	-3.0	-4.2	-3.3	-2.6	-1.8	4.2	-2.9
Aug	3.3		-4.8		3.5	-3.8	-3.6	-3.5	-3.7	-4.1	-4.0	3.5	-4.6
Sep		6.0			5.3					4.5	3.5	5.5	3.5
Oct								-4.9					
Nov								-3.7	-2.6				
Dec						-3.1			-2.9				-1.5
Year		1.6			1.7	-1.6	-1.3	-2.7	-2.0	0.7		1.5	0.7
Cold				-1.4				-2.4	-2.3				0.9
Warm		3.1	-1.4		3.5	-2.4	-1.4	-3.0	-1.6			2.5	

Fig. 5.10. Difference between HCI monthly mean and seasonal values in 1986-2015 and 1956-1985 in 13 locations of Georgia.

For individual locations, significant values of Δ HCI and their tendencies ($\alpha \leq 0.15$) are observed in the following months and seasons of the year.

Bakhmaro – increase in August. Bakuriani – increase in March, May, June, September, for mean annual and warm season mean. Borjomi – increase in March and April, decrease from June to August and for warm season mean. Goderdzi – decrease in January and for cold season mean. Gudauri – increase from May to September and for mean annual and warm season mean. Khaishi – decrease from May to August, in December and for mean annual and warm season mean. Khulo – decrease in January, July, August, for mean annual and warm season mean. Lentekhi – decrease from May to August, in October, November and for mean annual, cold and warm seasons mean. Mestia – decrease in January, July, August, November, December and for mean annual, cold and warm seasons mean. Pasanauri – increase from February to April, in September and for mean annual; decrease in July and August. Shovi – decrease in January, July and August; increase in April May and September. Stepantsminda – increase in March, from June to September and for mean annual and warm season mean; Tianeti – increase in March, May, September and for for mean annual and cold season mean; decrease in July, August and December.

In Tables 5.9 and 5.10 data on the coefficients of the linear trend (α for $R \leq 0.15$) of monthly and seasonal HCI values for 13 points of Georgia in 1956-2015 are presented.

Table 5.9. Coefficients of the linear trend of monthly and seasonal HCI values for 13 points of Georgia in 1956-2015 (October-March, average for the year, average in the cold half-year). $HCI=a \cdot X+b$, (X – year).

Location	Parameter	Jan	Feb	Mar	Oct	Nov	Dec	Year	Cold
Bakh	a								
Bakh	b								
Bak	a			0.0546				0.0474	
Bak	b			-49.0				-25.0	
Borj	a			0.1029	0.0812				0.0425
Borj	b			-139.6	-83.0				-19.4
God	a								
God	b								
Gud	a		0.0867					0.0636	
Gud	b		-116.5					-63.9	
Kha	a							-0.0273	
Kha	b							125.9	
Khu	a				-0.1295			-0.0478	
Khu	b				328.6			166.0	
Lent	a				-0.1314			-0.0669	-0.0409
Lent	b				335.0			201.5	141.6
Mest	a	-0.0846					-0.0446	-0.0487	-0.0508
Mest	b	224.1					146.1	166.9	161.7
Pas	a		0.0851	0.091				0.0244	0.0383
Pas	b		-107.1	-116.6				24.5	-10.5
Sho	a								
Sho	b								
Step	a			0.0485				0.0366	
Step	b			-34.7				-2.9	
Tian	a			0.0803					0.0275
Tian	b			-96.2					10.8

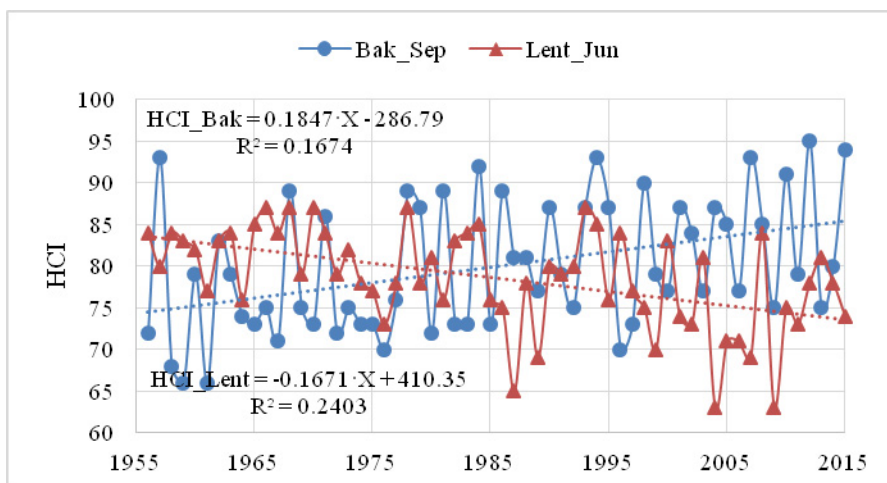


Fig. 5.11. Example of linear trend of HCI monthly values in Bakuriani (September) and Lentekhi (June) in 1956-2015

Example of linear trend of HCI monthly values in Bakuriani (September) and Lentekhi (June) in 1956-2015 is presented on Fig 5.11.

In Table 11 data about changeability of monthly mean and seasonal HCI categories in some research locations in 1986-2015 compared with 1956-1985 are presented.

Table 5.10. Coefficients of the linear trend of monthly and seasonal HCI values for 13 points of Georgia in 1956-2015 (April-September, average in the warm half-year). $HCI=a \cdot X+b$, (X – year).

Location	Parameter	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Warm
Bakh	a					0.089		
Bakh	b					-100.2		
Bak	a		0.0785	0.1868			0.1847	0.0815
Bak	b		-87.0	-293.1			-286.8	-85.3
Borj	a	0.0911		-0.1033	-0.1303	-0.1522	-0.0495	-0.0527
Borj	b	-107.3		287.8	335.4	379.0	184.4	184.4
God	a							
God	b							
Gud	a		0.1058	0.1155	0.1178	0.1119	0.1372	0.0978
Gud	b		-152.4	-164.0	-159.9	-146.9	-201.8	-127.9
Kha	a			-0.1194	-0.0769	-0.0828		-0.0616
Kha	b			317.7	231.3	242.9		203.2
Khu	a				-0.0954	-0.0995		-0.054
Khu	b				271.6	278.5		188.5
Lent	a		-0.0627	-0.1671	-0.1291	-0.1097		-0.0928
Lent	b		206.8	410.4	330.2	291.4		261.4
Mest	a				-0.0958	-0.12		-0.0467
Mest	b				272.9	321.8		172.1
Pas	a	0.0965			-0.0844	-0.1006	0.1205	
Pas	b	-122.6			248.6	282.2	-152.1	
Sho	a	0.0732	0.1916		-0.1178	-0.1628	0.0947	
Sho	b	-82.2	-308.5		316.9	407.2	-108.1	
Step	a				0.0994	0.0896	0.1542	0.0542
Step	b				-114.8	-93.8	-227.7	-32.7
Tian	a		0.0905		-0.1355	-0.1571	0.0912	
Tian	b		-102.2		351.5	395.8	-94.0	

Table 5.11. Changeability of monthly mean and seasonal HCI categories in some investigation locations in 1986-2015 compared with 1956-1985.

Location	Month	HCI Category, 1956-1985	HCI Category, 1986-2015	Location	Month	HCI Category, 1956-1985	HCI Category, 1986-2015
Bakh	Sep	Good	V_Good	Khu	Nov	Good	Accept.
Bak	Mar	Accept.	Good	Lent	Apr	V_Good	Good
Bak	May	Good	V_Good	Lent	Jun	Excell.	V_Good
Bak	Jun	V_Good	Excell.	Lent	Nov	Good	Accept.
Bak	Sep	V_Good	Excell.	Lent	Cold	Good	Accept.
Bak	Oct	V_Good	Good	Lent	Year	V_Good	Good
Bak	Year	Good	V_Good	Mest	Mar	Good	Accept.
Borj	Warm	Excell.	V_Good	Mest	Year	V_Good	Good
God	Dec	Accept.	Marg.	Mest	Warm	Excell.	V_Good
Gud	Sep	Good	V_Good	Pas	Apr	Good	V_Good
Kha	Jun	Excell.	V_Good	Sho	Sep	V_Good	Excell.
Kha	Jul	Excell.	V_Good	Step	Sep	V_Good	Excell.
Kha	Aug	Excell.	V_Good	Step	Year	Good	V_Good
Khu	Aug	Excell.	V_Good	Tian	Apr	Good	V_Good

As follows from Table 5.11, changes in HCI categories occur only by one step downward or an improvement in its rating. However, these changes do not fall outside the 99% confidence interval of mean HCI values.

In Annex 7 information about repetition (%) of monthly values of HCI categories at 13 locations of Georgia in 1956-1985, 1956-2015 and 1986-2015 are presented. In Annex 8 data about number of days in year of various categories of HCI at 13 locations of Georgia in 1956-1985, 1956-2015 and 1986-2015 are presented. As it follows from Table 5. 11 the changeability of monthly values of HCI categories and number of days per year of various categories of HCI for separated locations are as follows.

Bakhmaro

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (29.7% of cases), the lowest – in the “Ideal” category (0.8% of cases). In the second period, compared to the first in Bakhmaro, there was an increase in the HCI category by one notch in September (“Good” → “Very Good”).

Repeatability of HCI category “Very Unfavorable” did not change – 1.1% of cases (respectively, 4 days a year), category “Unfavorable” increased from 2.5% to 4.2% of cases (respectively, 9 and 15 days a year), category “Marginal” decreased from 10.0% to 8.6% of cases (37 and 31 days a year, respectively), category “Acceptable” decreased from 29.7% to 28.1% of cases (109 and 102 days a year, respectively), category “Good” increased from 29.4% to 30.0% of cases (108 and 110 days, respectively) per year), category “Very Good” decreased from 22.5% to 19.2% of cases (82 and 70 days per year, respectively), category “Excellent” increased from 4.2% to 7.8% of cases (15 and 28 days per year, respectively), category “ Ideal “grew from 0.6% to 1.1% of cases (2 and 4 days a year, respectively).

Bakuriani

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (34.3% of cases), the lowest – in the “Marginal” category (0.8% of cases). In the second period of time, compared to the first in Bakuriani, climate change led to an increase in HCI categories by one level in March (“Acceptable” → “Good”), May and on average per year (“Good” → “Very Good”), June and September (“Very Good” → “Excellent”), decreasing by one notch – in October (“Very Good” → “Good”).

Repeatability of HCI category “Marginal” decreased from 1.1% to 0.6% of cases (4 and 2 days per year, respectively), category “Acceptable” remained practically unchanged $\approx 23.2\%$ of cases (respectively, 85 days per year), category “Good” decreased from 35.6% to 33.1% of cases (respectively 130 and 121 days a year), category “Very Good” decreased from 21.7% to 17.2% (respectively 79 and 63 days a year), category “Excellent” increased from 15.8% to 21.4% of cases (respectively 58 and 78 days a year), the “Ideal” category increased from 2.8% to 4.4% of cases (10 and 16 days a year, respectively).

Borjomi

Over the entire observation period, the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (31.0% of cases), the lowest – in the “Marginal” category (0.1% of cases). In the second period of time, compared to the first in Borjomi, climate change led to an increase in the HCI category by one level only in the warm half of the year (“Excellent” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI category “Marginal” decreased from 0.3% to 0.0% of cases (respectively 1 and 0 days a year), category “Acceptable” increased from 11.4% to 13.3% of cases (respectively 42 and 49 days a year), category “Good” decreased from 32.8% to 29.2% of cases (respectively 120 and 107 days a year), the “Very Good” category increased from 23.9% to 32.2% of cases (87 and 118 days a year, respectively), the “Excellent” category decreased from 29.7% to 21.9% of cases (109 and 80 days a year respectively), category “Ideal” increased from 1.9% to 3.3% of cases (7 and 12 days a year, respectively).

Goderdzi

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Acceptable” category (38.2% of cases), the lowest – in the “Ideal” category (0.3% of cases). In the second time period, compared to the first in Goderdzi, climate change led to a decrease in HCI categories by one level only in December (“Acceptable” → “Marginal”).

The repeatability of HCI category “Very Unfavorable” increased from 0.8% to 1.9% of cases (3 and 7 days per year, respectively), category “Unfavorable” increased from 2.2% to 2.8% of cases (respectively, 8 and 10 days a year), category “Marginal”

increased from 11.7% to 12.8% of cases (43 and 47 days a year, respectively), the “Acceptable” category decreased from 39.4% to 37.2% of cases (144 and 136 days a year, respectively), the “Good” category decreased from 30.3% to 27.8% of cases (respectively 111 and 101 days a year), the “Very Good” category decreased from 12.2% to 11.1% of cases (45 and 41 days a year, respectively), the “Excellent” category increased from 3.3% to 5.8% of cases (12 and 21 days a year, respectively.), the “Ideal” category increased from 0.0% to 0.6% of cases (0 and 2 days a year, respectively).

Gudauri

Over the entire observation period, the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (35.8% of cases), the lowest – in the “Ideal” category (0.1% of cases). In the second period of time, compared to the first in Gudauri, climate change led to an increase in HCI categories by one level only in September (“Good” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI category “Very Unfavorable” did not change – 0.3% of cases (respectively, 1 day per year), category “Unfavorable” decreased from 1.9% to 0.8% of cases (respectively, 7 and 3 days a year), category “Marginal” increased from 6.9% to 8.6% of cases (25 and 31 days per year, respectively), the “Acceptable” category decreased from 33.3% to 27.8% of cases (122 and 101 days a year, respectively), category “Good” decreased from 37.2% to 34.4% of cases (136 and 126 days per year), category “Very Good” increased from 16.9% to 20.0% of cases (respectively 62 and 73 days per year), category “Excellent” increased from 3.3% to 7.8% of cases (respectively 12 and 28 days per year), category “Ideal” increased from 0.0% to 0.3% of cases (0 and 1 day per year, respectively).

Khaishi

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Excellent” category (29.3% of cases), the lowest – in the “Very Unfavorable” category (0.1% of cases). In the second period compared to the first in Khaishi, climate change led to a decrease in the HCI category by one notch only in the summer months, from June to August (“Excellent” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI category “Very Unfavorable” increased from 0.0% to 0.3% of cases (0 and 1 day per year, respectively), category “Unfavorable” decreased from 1.1% to 0.6% of cases (respectively, 4 and 2 days per year), category “Marginal” decreased from 4.2% to 3.1% of cases (15 and 11 days a year, respectively), the “Acceptable” category increased from 8.9% to 18.3% of cases (32 and 67 days a year, respectively), the “Good ” category decreased from 27.5% to 22.5% of cases (100 and 82 days a year), the “Very Good” category increased from 22.8% to 24.7% of cases (83 and 90 days a year, respectively), the “Excellent” category decreased from 30.8% to 27.8% of cases (113 and 101 days a year,

respectively) , category “Ideal” decreased from 4.7% to 2.8% of cases (17 and 10 days per year, respectively).

Khulo

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Excellent” category (32.1% of cases), the lowest – in the “Very Unfavorable” category (0.3% of cases). In the second time period compared to the first in Khulo, climate change led to a decrease in the HCI category by one notch in August (“Excellent” → “Very Good”) and November (“Good” → “Acceptable”).

The repeatability of HCI category “Very Unfavorable” did not change – 0.3% of cases (respectively, 1 day per year), category “Unfavorable” increased from 1.4% to 2.5% of cases (respectively, 5 and 9 days per year), category “Marginal” increased from 5.3% to 6.9% of cases (19 and 25 days a year, respectively), the “Acceptable” category decreased from 13.6% to 11.1% of cases (50 and 41 days a year, respectively), the “Good” category increased from 23.6% to 25.0% of cases (86 and 91 days per year respectively), category “Very Good” increased from 17.5% to 19.7% of cases (respectively 64 and 72 days a year), the category “Excellent“ decreased from 34.7% to 29.4% of cases (respectively 127 and 108 days a year), the category “ Ideal “grew from 3.6% to 5.0% of cases (13 and 18 days a year, respectively).

Lentekhi

Over the entire observation period, the highest repeatability of HCI values was in the “Very Good” category (26.5% of cases), the lowest – in the “Very Unfavorable” category (0.1% of cases). In the second period of time, compared to the first in Lentekhi, climate change led to a decrease in the HCI category by one level in April and on average per year (“Very Good” → “Good”), June (“Excellent” → “Very Good”), November and in the cold half of the year (“Good” → “Acceptable”).

The repeatability of the HCI category “Very Unfavorable” increased from 0.0% to 0.3% of cases (0 and 1 day per year, respectively), category “Unfavorable” decreased from 1.9% to 0.8% of cases (respectively, 7 and 3 days per year), category “Marginal” did not changed – 4.4% of cases (16 days a year, respectively), the “Acceptable” category increased from 13.3% to 26.1% of cases (49 and 95 days a year, respectively), the “Good” category decreased from 26.9% to 22.2% of cases (98 and 81 days, respectively per year), category “Very Good” increased from 25.8% to 27.2% of cases (respectively, 94 and 99 days per year), category “Excellent” decreased from 25.8% to 18.6% of cases (respectively, 94 and 68 days per year), category “ Ideal “decreased from 1.7% to 0.3% of cases (6 and 1 days per year, respectively).

Mestia

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Excellent” category (29.3% of cases), the lowest – in the “Unfavorable” category

(0.1% of cases). In the second period of time compared to the first in Mestia, climate change led to a decrease in the HCI category by one level in March (“Good” → “Acceptable”), on average per year (“Very Good” → “Good”) and in the warm half of the year (“Excellent” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI category “Unfavorable” increased from 0.0% to 0.3% of cases (0 and 1 day per year, respectively), category “Marginal” increased from 0.6% to 1.4% of cases (respectively, 2 and 5 days per year), category “Acceptable” increased from 21.7% to 30.0% of cases (79 and 110 days a year, respectively), the “Good” category decreased from 29.4% to 19.7% of cases (108 and 72 days a year, respectively), the “Very Good” category increased from 13.9% to 19.2% of cases (respectively 51 and 70 days a year), the “Excellent” category decreased from 30.3% to 28.3% of cases (111 and 103 days a year, respectively), the “Ideal” category decreased from 4.2% to 1.1% of cases (15 and 4 days per year, respectively).

Pasanauri

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (36.9% of cases), the lowest – in the “Marginal” category (0.7% of cases). In the second time period compared to the first in Pasanauri, climate change led to an increase in the HCI category by one notch only in April (“Good” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI “Marginal” category decreased from 0.8% to 0.6% of cases (3 and 2 days per year, respectively), the “Acceptable” category decreased from 8.9% to 6.4% of cases (32 and 23 days per year, respectively), the “Good” category did not change – 36.9% of cases (135 days a year), category “Very Good” increased from 17.2% to 23.6% of cases (respectively 63 and 86 days a year), category “Excellent” decreased from 31.4% to 25.3% of cases (respectively 115 and 92 days a year), the “Ideal” category increased from 4.7% to 7.2% of cases (17 and 26 days a year, respectively).

Shovi

Over the entire observation period, the highest repeatability of HCI values was in the “Acceptable” category (27.1% of cases), the lowest – in the “Very Unfavorable” and “Unfavorable” categories (0.1% of cases). In the second period of time, compared to the first in Shovi, climate change led to an increase in the HCI category by one notch only in September (“Very Good” → “Excellent”).

The repeatability of HCI categories “Very Unfavorable” and “Unfavorable” increased from 0.0% to 0.3% of cases (0 and 1 day per year, respectively), category “Marginal” decreased from 2.8% to 1.7% of cases (10 and 6 days per year, respectively), category “Acceptable” increased from 24.2% to 30.0% of cases (respectively 88 and 110 days a year), category “Good” decreased from 31.4% to 22.5% of cases (respectively 115 and 82 days a year), category “Very Good” increased from 16.1 % to 18.3% of cases (59 and 67 days a year, respectively), the “Excellent”

category increased from 23.3% to 26.7% of cases (85 and 97 days a year, respectively), the “Ideal” category decreased from 2.2% to 0.3% of cases (respectively 8 and 1 days a year).

Stepantsminda

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (48.2% of cases), the lowest – in the “Marginal” category (0.3% of cases). In the second period of time, as compared to the first in Stepantsminda, climate change led to an increase in the HCI category by one notch in September (“Very Good” → “Excellent”) and for the whole year (“Good” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI category “Marginal” decreased from 0.6% to 0.0% of cases (respectively 2 and 0 days per year), category “Acceptable” increased from 9.2% to 10.3% of cases (respectively, 33 and 38 days per year), category “Good” decreased from 50.6% to 45.8% of cases (185 and 167 days a year, respectively), the “Very Good” category decreased from 24.4% to 23.1% of cases (89 and 84 days a year, respectively), the “Excellent” category increased from 12.8% to 16.4% of cases (47 and 60 days a year, respectively), the “Ideal” category increased from 2.5% to 4.4% of cases (9 and 16 days a year, respectively).

Tianeti

In the period from 1956 to 2015 the highest repeatability of HCI values was in the “Good” category (34.3% of cases), the lowest – in the “Ideal” category (5.8% of cases). In the second time period compared to the first in Tianeti, climate change led to an increase in HCI categories by one notch in April (“Good” → “Very Good”).

The repeatability of the HCI category “Acceptable” decreased from 11.7% to 8.6% of cases (43 and 31 days per year, respectively), category “Good” practically did not change – \approx 34.3 of cases (respectively, 125 days per year), category “Very Good” increased from 19.7 % to 24.4% of cases (72 and 89 days a year, respectively), the “Excellent” category decreased from 29.2% to 26.1% of cases (107 and 95 days a year, respectively), the “Ideal” category increased from 5.0% to 6.7% of cases (18 and 24 days a year).

In 1956-1985, 1956-2015 and 1986-2015, the number of days in the range of HCI categories “Marginal” – “Ideal” for the studied locations, respectively, is the following: Bakhmaro (352-349-346), Goderdzi (354-351-348), Gudauri (357-359-361), Khaishi (361-362-362), Khulo (359-357-355), Lentekhi (358-360-361), Mestia (365-365-364), Shovi (365-345- 363); Bakuriani, Borjomi, Pasanauri, Stepantsminda and Tianeti (for all three time periods – by 365 days).

Expected Changes of HCI by 2041-2070 and 2071-2100 on the Example of Mestia.

Data about expected changes of HCI and its categories by 2041-2070 and 2071-2100 in Mestia in are presented on Fig. 5.12 and Table 5.12.

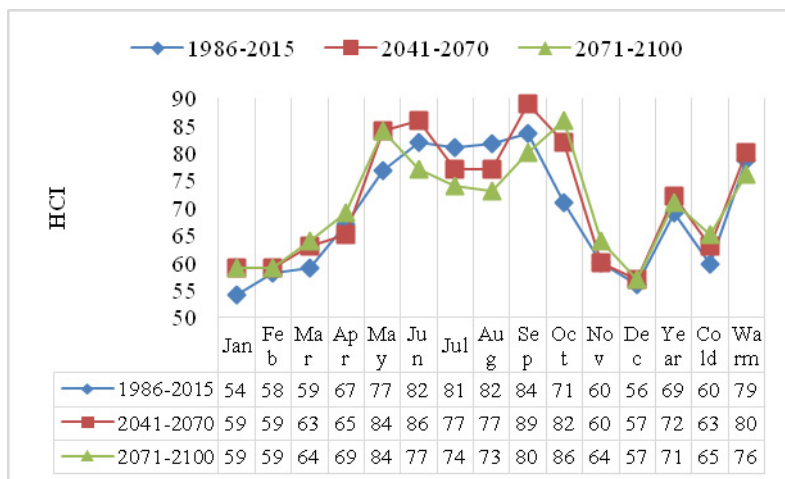


Fig. 5.12. Average monthly, annual and seasonal values of HCI in Mestia (1986-2015, 2041-2070 and 2071-2100).

Table 5.12. Average monthly, average annual and seasonal values of HCI category in Mestia (1986-2015, 2041-2070 and 2071-2100).

Month / Period	99%_Low	99%_Upp	1986-2015	2041-2070	2071-2100
January	Accept.	Accept.	Acceptable	Acceptable	Acceptable
February	Accept.	Good	Acceptable	Acceptable	Acceptable
March	Accept.	Good	Acceptable	Good	Good
April	Good	Good	Good	Good	Good
May	V_Good	V_Good	Very Good	Excellent	Excellent
June	Excell.	Excell.	Excellent	Excellent	Very Good
July	Excell.	Excell.	Excellent	Very Good	Very Good
August	Excell.	Excell.	Excellent	Very Good	Very Good
September	Excell.	Excell.	Excellent	Excellent	Excellent
October	Good	V_Good	Very Good	Excellent	Excellent
November	Accept.	Good	Good	Good	Good
December	Accept.	Accept.	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Year	Good	V_Good	Good	Very Good	Very Good
Cold period	Good	Good	Good	Good	Good
Warm period	V_Good	Excell.	Very Good	Excellent	Very Good

A significant change in HCI values and their categories in 2041-2070 and 2071-2100 compared to the 99% confidence interval of the average HCI values in 1986-2015 is expected in May and October (an increase in HCI values and a corresponding improvement in its category by one level, “Very Good” → “Excellent”), as well as in July and August (a decrease in HCI values and a corresponding deterioration in its category by one notch, “Excellent” → “Very Good”). In June 2071-2100, the HCI category will deteriorate by one notch, “Excellent” → “Very Good” (Fig. 5.12, Table 5.12).

Thus, in Mestia, at least until 2100, it is expected to maintain favorable bioclimatic conditions for tourism.

It is planned in future to continue the climatic resources study of various regions of Georgia for tourism, recreation and treatment (mapping the territory on HCI and TCI, long-term forecasting of HCI and TCI, determining other modern climatic and bioclimatic indicators for tourism, recreation and treatment, assessing the adequacy of bioclimatic indicators scales to human health, etc.).

Chapter 6. Modern methods of studying weather and climate change

In 2013, the UK government announced large-scale investment in Big Data infrastructure for science, particularly in the environmental sector starting funding for a program called CEMS (Climate and Environmental Monitoring from Space). This allowed for the creation of larger databases to cope with the upcoming Big Data revolution and to allow research partner organizations to work with more data and produce more results. With a specific focus on climate change and planetary monitoring, CEMS storage removed the need to download enormous data sets while reducing the cost of access. Along with Cloud data, this is now the standard globally for some of the world's top research institutes.

Environmental data comes from a wide variety of sources and this is increasingly rapidly with new innovations in data capture:

1. Large volumes of data are collected via remote sensing, typically from satellite sensing or aircraft-borne sensing devices, including an increasing use of drones. This includes passive sensing, such as photography or infrared imagery, and active sensing, e.g., RADAR/LIDAR. The increasing availability of open satellite data is a major trend in earth and environmental sciences. For example, the EU Copernicus program and the associated Sentinel missions, or NASA's Earth Observing System satellites, LandSat archive are regularly mined for data for a variety of applications

2. Other data are collected via earth monitoring systems, which consist of a range of sensor technologies measuring various physical entities. Namely weather stations and monitoring systems

3. Model output is also a significant generator of environmental data with results from previous model runs often stored for subsequent analysis

Hydro-meteorological hazards such as severe floods, storm surges, landslides, avalanches, hail, windstorms, droughts, etc. are expected become more frequent and severe due to climate change, degradation of ecosystems, population growth and urbanization. Innovative solutions in which natural processes and ecosystems help solve different types of societal and environmental challenges – so-called Nature-Based Solutions (NBS) – have emerged as effective means to respond to such challenges.

Machine Learning

Machine learning is an important component of the growing field of data

science. Through the use of statistical methods, algorithms are trained to make classifications or predictions, and to uncover key insights in data mining projects. These insights subsequently drive decision making within applications and businesses, ideally impacting key growth metrics. As big data continues to expand and grow, the market demand for data scientists will increase. They will be required to help identify the most relevant weather and climate forecast questions and also the Big Data to answer them.

To use Earth system models to perform weather and climate predictions requires the use of supercomputers. Machine learning can help to reduce the amount of computing which is required for conventional modelling. This has several reasons.

Conventional models are very complex and require the use of many different mathematical algorithms and very big computing codes. In contrast, the algorithms that are used for machine learning – and in particular for deep learning – are often comparably simple. This does not only mean that the code which is used can be very short and that many components of the code can be reused several times, which reduces complexity, it also means that the numerical operations and data structures are very simple in comparison to conventional models which makes it easy to optimize the code on different hardware such as CPUs or GPUs.

Deep learning tools can often be based on so-called dense linear algebra. This includes simple linear components – such as a matrix-matrix multiplication – which require many operations per data unit which is moved and stored. In contrast, conventional tools often move many data units and require a comparably small number of operations per data unit. However, modern hardware can be used much more efficiently if many operations are performed per data unit and a heavy use of dense linear algebra is optimal to achieve good performance.

In numerical models, specific variables need to be represented by a specific number of numerical bits. Conventional models are typically using 32 or 64 bits per variable which is stored. In contrast, a deep learning tool can often work at much lower numerical precision – such as 16, or 8 or even 4 numerical bits. This allows to process the data much faster and to reduce computational cost.

Progress in AI is based on the use of supercomputers. The global market of artificial intelligence is gigantic with trillions of dollars being invested every year. This is dwarfing all equivalent investment for other application areas in supercomputing. Consequently, all leading hardware vendors are developing computing hardware which is optimized for use in applications of artificial intelligence or machine learning, for example via customized accelerator to allow for the use of low numerical precision and dense linear algebra. Even if no machine learning would be used in the Earth system models of the future, developers would still need to change the way how they design the models to make sure they can run efficiently on the new machine learning hardware.

There is a lot of new software that enable scientists to make quick progress when developing machine learning tools. There are libraries – such as PyTorch or

TensorFlow – which enable domain scientists who are no specialists in machine learning to build powerful machine learning tools with minimal effort. And the software is not only easy to use, it also allows to run the tools that are developed efficiently on supercomputers on many different hardware configurations.

Finally, the need for energy and compute cost is often different in conventional Earth system models and machine learning. Conventional models need compute power during the development and the scientific studies of the models. They also need significant compute power when used for operational weather and climate predictions. In contrast, machine learning tools need a lot of power and compute power during the training, but they are often very efficient when applying the tools to make predictions once the machine learning tools are ready for use. To generate the actual forecast is often the most time-critical part for weather and climate predictions and requires the largest part of a supercomputer. The machine learning tools are therefore cheap when it is important and time-critical and costly during the development phase when time and resources are available.

Water is a compound and polar molecule, which is liquid at standard temperature and pressure. It has the chemical formula H_2O , meaning that one molecule of water is composed of two hydrogen atoms and one oxygen atom. Water is found almost everywhere on earth and is required by all known life. About 70% of the Earth's surface is covered by water. The important feature of the water molecule is its polar nature. The water molecule forms an angle with hydrogen atoms at the tips and oxygen at the vertex. Since oxygen has a higher electronegativity than hydrogen, the side of the molecule with the oxygen atom has a partial negative charge. Usually the molecule with such charge difference is called a dipole. The charge differences cause water molecules to be attracted to each other and to other polar molecules. This attraction is known as hydrogen bonding. This bonding gives water unusual properties. Many studies and experiments with HT equipments are made to understand water properties .

The interaction of light (photon) and cloud particles according main quantum assumption that system internal energy is composed by bound microparticles (cluster) under certain conditions can obtain allowed discrete significances has been discussed in the article. The objective is to calculate the transition probability from one state into another caused by inner forces or any internal processes. The cluster may be presented as multipole system. The multipole is the system composed by couple opposite charges that have definite symmetry type. The simplest is the dipole. If the transition is forbidden in dipole approach it may happen in higher approaches – quadrupole (electric) or magnetic dipole. Their probability is approximately 10^6 times less than dipole. To search out transition probability of cluster from basic state into exciting or virtual one interacting with electromagnetic field the identification of Einstein factors have to be needed .

The some peculiarities of microstructure of cloud formations have been discussed using quantum disperse forces or Van-Der-Vaals forces that are typical for water particles. To obtain the expression for interaction potential the wave functions of

basic and excited states of clusters and dispersion matrix have been introduced describing by virtual photon. It has been turned out that virtual photon interaction causes potential holes and barriers that are decreased by height and width. The isolated long wave quantum may be the radiation that is generated throughout observed microphysical processes.

Methods

The water H₂O is the molecule everybody knows and life is impossible without it. But for all its familiarity and import for life, aspects of water's behavior have been hard to understand, including its transformation in cloud medium.

Meteorology is an extraordinarily interdisciplinary subject, with quantitative links to many of the applied sciences and now in presented paper cloud medium is discussed using quantum theory.

Microparticles are described using wave function in quantum mechanics. The quantum system state is considered defined if its wave function (Schrödinger) or ket-vector (Dirac) is given.

The system energy change comes with quantum transportation from one energetic level into another. If $E_1 > E_2$ then system emits energy equal to $E_1 - E_2$ and if $E_1 < E_2$ then absorbs. Such transportations happen while interaction with electromagnetic radiation. Emitted or absorbed photon energy is defined by Bohr frequency law:

$$\hbar\omega_{12} = |E_2 - E_1| \quad (1)$$

Molecules full energy may be presented by the kinetic energy sum connected with mass center and by internal energy sum. Molecules energy may be considered as compound from three parts:

1. Electron energy connected with their rotation around nuclei
2. E_{os} – oscillation energy connected with nuclear vibration towards mass center
3. E_{rot} – rotation energy connected with molecules rotation towards mass center

Diatomic molecule rotates around mass center located on symmetry axis of molecule.

Rotation energy is defined as:

$$E_{rot} = \hbar^2 \frac{K(K+1)}{2I} = BK(K+1) \quad (2)$$

where $I = MR_o^2$ inertial moment;

B- rotation constant;

$K=0, 1, 2, 3$ rotation quantum number

$|M_{rot}| = \sqrt{K(K+1)}\hbar$ - impulse momentum of rotation

Vibration energy may be defined as following

$$E_{os} = \hbar\omega_0 \left(q + \frac{1}{2}\right) - \hbar\omega_0\kappa \left(q + \frac{1}{2}\right)^2 \quad (3)$$

where $\kappa = \frac{\hbar\omega_0}{4D} \ll 1$ – is nonharmonic constant.

Characterization of electric terms doesn't differ from diatomic molecule terms. In molecule nucleus electric field have no central symmetry thus the full orbital moment haven't been kept. In diatomic molecule the electric field has axial symmetry and in this case the component on the axis passing through the nucleus of orbital momentum has been kept. It is called molecule orbital quantum number and gets discrete values 0,1,2,...

Molecule state is also characterized by full electron spin S and it has internal quantum number $\Omega = \Lambda + S$

The light is considered as the combination of photons with ka state and $-\hbar\omega, \hbar k$ impulses. Photon or molecular system interaction happens by forming or disappearance of light quanta. During this process energy and impulse are keeping. Quantum transformation is system transportation from one energetic state into another. The task is to identify transformation probability from one energetic state into another. Clusters may be presented as multipole systems. Multipole is the system compound from couple of opposite charges, obtaining definite symmetry. The simplest is dipole. If transportation is prohibited in dipole approach it may happen in higher approach – quadropole (electric) or magnetic dipole.

Their probability is 10^6 time less than dipole. To identify transportation probability the Einstein members have to be defined according clusters properties. Spontaneous and forced motion members may be identifies.

Quantum transition combination is characterized by D_{mn} numbers two dimensional unity and is infinite matrix:

$$\begin{pmatrix} D_{11}, D_{12}, \dots, D_{1n} \dots \\ D_{21}, D_{22}, \dots, D_{2n} \dots \\ \dots \dots \dots \\ D_{n1}, D_{n2}, \dots, D_{nn} \dots \\ \dots \dots \dots \end{pmatrix}$$

where $D_{mn}^0 = e \int \psi_m^* \vec{r} \psi_n dv$

is dipole transition matrix element

The nondiagonal matrix elements are time functions and corresponds light absorption or emitting by those frequencies defined from Bohr frequency selection low.

And Einstein members can be defined as for spontaneous and forced transition probabilities:

$$A_{mn} = \frac{w_{mn}^3}{3q_0\pi\hbar c^3} (D_{mn})^2 \text{ – spontaneous transition probability}$$

$$B_{mn} = \frac{\pi}{12q_0\hbar^2} (D_{mn})^2 \text{ -forced transition probability}$$

A_{mn} is approximately 10^8 sec^{-1}

If some matrix element equals 0 it is called prohibited then this transition doesn't happen in dipole approach and happens in magnetic. If transitions are prohibited or banned for clusters higher energetic level the lower energetic level is called metastable and clusters life duration is 10^{-3} sec. or more.

If transition is allowed in dipole approach then system life duration is of spontaneous transition probability order. If transition is banned in dipole approach or $D_{mn}=0$ it doesn't mean that it haven't happen generally as cluster has electric quadruple or magnetic dipole moment. If transition is banned for clusters high energetic level than lower level in electric dipole interactions is called as metastable level. In this clusters life duration is 10^{-3} sec or more. In first quantum transition approach there acts Bohr prohibition principle. If such transition still happens it would be on the second or higher approach order and probability will be also less. Such are light scattering in viscous medium, mist, aerosols and etc.

This process on molecular level happens as follows: if outer emitting frequency differs from absorption frequency energy quant is anyway transmitted to the cluster which transforms into virtual state with short life period and will be defined from the uncertainty principle. Then it emits same frequency photon and returns at initial state. In definite conditions cluster may transform into final state from virtual. In simple case the falling wave is flat and emitted spherical. Energy and impulse are kept as usual except virtual state, when energy isn't keeping. For those transitions it is necessary that the electron-photon interaction matrix element have to be differs from 0.

In definite conditions cluster may transform from virtual into final state that will be differ from initial. Also emitted photon has different polarization and frequency.

In second approach it is possible the existence of two photon absorption process. After absorbing photon system transits into virtual state where it absorbs another photon and then transports into stationary state

In classical mechanics, the possible states of system S are all positive normalised functions (Distribution function) on the phase space P and possible observables are all real function on P. P is fixed and uniquely associated with the system alone and forms the basis of this kinematic description. Hence, transitions between different sets of observables similar to those described above would be impossible in classical mechanics. They are only enabled in quantum mechanics by the non-objective character of observables: not only their values cannot be ascribed to microsystem S alone but some of them are not even registrable in principle due to external conditions in which S is. It is assumed that the quantum kinematics of a microsystem is defined mathematically by the possible states represented by all positive normalised (trace one) operators, and possible observables represented by some self-adjoint operators, on the Hilbert space associated with the system. Then the transitions of states and observables that go with changes of separation status cannot be viewed as a part of a dynamical trajectory due to some new version of the dynamics of S, but as a change of its kinematic description. Thus, although the change of separation status is similar to the

collapse of the wave function (the non-local character included), it is both more radical and better understood.

On Earth the simplest and common is water molecule that has essential significance in existence of organ and nonorganic life. The most of its properties are preconditioned by the fact that three component atoms aren't placed on one line. Negative charge prevailed on oxygen atoms part and positive on hydrogen. Thus water molecule is electrically polarized. The cloud properties and their stability may be explain from water molecules properties and characterizing forces that reach maximum for 1micro-meter particles and are separated from each other on 50km distance

The comparison between the experimental and calculated molecular dipole moments is difficult, as the experiments are measuring the dipole moment in the vibrational ground state μ_0 , whereas the calculations are carried out for the equilibrium dipole moment μ_e , and thus we would have to carry out a vibrational averaging in order to speak of the same quantity. However, there are a few experimental values for μ_e . However it is estimated as $H_2O = 1.8473(10)$ [6,7].

For the total molecular energy, i.e., E in the molecular Schrödinger equation, there is no experimental counterpart. and we examine it in order to establish a feeling on the severity of the approximations involved in the calculation. We should recall that there were a third class of approximations in addition to the truncation of one- and N -electron spaces: approximations in the molecular Hamiltonian \hat{H} . To investigate the validity of the use of the non-relativistic Hamiltonian, we include the leading-order one-electron relativistic corrections that include the spin-orbit interaction (SO), mass-velocity (MV), and the Darwin (Dar) corrections. The leading-order two-electron contributions, such as the two-electron Darwin contribution and the spin-spin contact interaction, are smaller by at least one order of magnitude. The MV and Dar corrections are always of opposite sign. The calculation is carried out using the CCSDT model for the water molecule in the cc-pCVXZ bases, at a CCSD(T)/cc-pCVQZ geometry.

Total energy [Eh]		
	CCSDT	HF
DZ	-76.24121	-76.02680
TZ	-76.33228	-76.05716
QZ	-76.35981	-76.06482
5Z	-76.36899	-76.06708

Among atoms and molecules acts force that always has attractive character. It is intermolecular dispersive or Van-Deer-Vaalse force. It is only one of the expressions of electromagnetic force. It acts among electrically neutral systems such as dipole or quadruple. In dipoles force reduces by r^4 inverse proportional and in quadrupole by r^6 . It is not temperature dependent and its nature is quantum [8,9]. By increasing dipole number their interaction increases. But its interaction is limited by the matter that light speed is finite

For cluster stable and exiting states wave function $\Psi = \Psi(x, y, z, t)$ have been used. Its physical essence is that it is particle detection probability in d_v volume for t time moment.

Probability is defined as

$$W = |\Psi(x, y, z, t)|^2 = \Psi^* \Psi \quad (4)$$

Ψ^* is complex conjugated quantity of Ψ .

$\int_v |\Psi(x, y, z, t)|^2 dv = 1$ - is rationing condition and Ψ function that assure this condition standardized.

For cluster stable and exiting states wave function $\Psi = \Psi(x, y, z, t)$ have been used. Its physical essence is that it is particle detection probability in d_v volume for t time moment.

Probability is defined as

$$W = |\Psi(x, y, z, t)|^2 = \Psi^* \Psi$$

Ψ^* is complex conjugated quantity of Ψ .

$\int_v |\Psi(x, y, z, t)|^2 dv = 1$ - is rationing condition and Ψ function that assure this condition standardized.

Generally it is expressed as:

$$\Psi(x, y, z, t) = \iiint \varphi(P_x, P_y, P_z, t) \exp(i \frac{px+py+pz}{h}) \frac{dp_x dp_y dp_z}{(2\pi\hbar)^{3/2}}, \quad (5)$$

Suppose φ_1, φ_2

are clusters basic and exited states wave functions. Their interaction in lower approach is described by so called scattering matrix

$$\varphi(x, t) = \widehat{S}(t, t_0) \varphi(x, t_0), \quad (6)$$

where

$$\widehat{S}(t, t_0) = \exp(-\frac{i}{\hbar} \widehat{H}(t - t_0)).$$

\widehat{H} is system Hamiltonian. The matrix elements of scattering operator define transition probability from initial quantum state into another.

$$S_{if} = -i \int d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 dt \varphi_1^* \varphi_2 U(r) \varphi_2 \varphi_1 \exp(-i(E_{1i} + E_{2i} - E_{1f} - E_{2f})t),$$

where $E_i E_f$ is clusters basic and final states kinetic energies.

The interaction potential may be connected with averaged scattering matrix that is described by one-photon resonant exchange Hamiltonian

$$H = -\vec{d}_1 \vec{E}_1(r) - \vec{d}_2 \vec{E}_2(r)$$

where \vec{d}, \vec{E} are dipole moment and field tension operators. Then for potential the following is obtained:

$$U(\vec{r}) = \frac{i}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \omega^2 \alpha_{ik}(\omega) D_{ik}(\omega, \vec{r}), \quad (7)$$

Where D_{ik} is photon Green function and

$$\alpha_{ik} = \frac{1}{3} \delta_{ik} \sum_n |d_n|^2 \left[(\omega_n - \omega - i\Gamma_n)^{-1} + (\omega_n + \omega - i\Gamma_n)^{-1} \right] \quad (8)$$

is the polarization tensor.

After integration (7) considering (8) the following expression is obtained for potential

$$U(r) = -\frac{2}{3c^2} \sum_n r_n^{-1} |d_n|^2 \omega_n^2 \exp\left(\frac{\Gamma_n r}{c}\right) \cos\left(\frac{\omega_n r}{c}\right). \quad (9)$$

In equation summarization occurs for all levels.

Conclusion

The century long of theoretical research and the on-going revolution in computer technology have made quantum mechanics applicable to small molecules, where quantum-mechanical calculations have reached the accuracy that challenges experimental results. However, limitations of existing quantum mechanical methods to describe the large molecular systems, that modern molecular science often deals with, is real obstacle to forth going. The extremely different approaches must be taken to describe such systems.

Thus one photon resonance exchange creates decreasing potential holes by height and depth. From this expression may be obtained solution for isolated long-wave radiation potentials. isolated long-wave quants may be the radiation which happens when on cluster surface or cristallyne lattice additional molecule enters or in drop while molecule diffusion.

During cristalization and condensation the some portion of latent heat may be trasformed in characterized radiation. The transformation energy is distributed between existed and new energetic levels. They are called as phase radiation and is depended on medium optical properties. The cloud medium may be imagined as unity of clusters that are on different energetic levels, interacting through energy emition-absorbption. According to this Earth surrounding environment is one of possible renewable energy source, the use of which gives chance on transition into new energy transportation means.

Chapter 7. Perturbations in the atmosphere

Two of the questions that now face scientists studying climate change are:

1. How has human activity influenced the climate?
2. How would the global climate change without human influence?

In order to answer the first question, scientists must answer the second question.

The total energy output of the sun is nearly constant. At the top of Earth's atmosphere the total irradiance from the sun is about 1366 W/m². Imagine thirteen 100 Watt light bulbs shined all of their energy onto a square meter. During the course of an 11-year solar cycle, the average output of the sun changes by about 1-2 W/m² or about 0.1%. Thus, the solar constant varies between 1365 and 1367 W/m² and is therefore, not really a constant.

In other wavelengths such as the ultraviolet and extreme ultraviolet parts of the solar spectrum, the solar variability can be quite large. In the x-ray wavelengths, the sun can change brightness by a factor of 100 or even 1000 in just a few minutes but these wavelengths only affect the upper reaches of our atmosphere. Figure 2 shows a 5-year sequence of x-ray images of the sun from solar maximum to solar minimum. It is thought that the total solar output of the sun has changed by larger amounts over longer time scales. There is evidence that the total solar output may have been as low as 1360 W/m² during the 19th century and even lower than that during the 17th century. Thus over centennial time scales, the solar output may have changed by 0.5%.

The NOAA Space Environment Center (SEC) combines scientific research and an operational Space Weather Center to maintain a vigilant watch on solar activity. SEC's primary mission is studying the affects of a variable sun on the upper atmosphere and the near-Earth space environment. Monitoring and understanding the solar effects on the middle and lower atmosphere is a new component of SEC's mission. Present NOAA/SEC activities include monitoring the sun in x-ray and ultraviolet wavelengths as well as sunspots. NOAA recognizes the need for new efforts in this area and will include solar extreme ultraviolet measurements on the next generation of GOES spacecraft and total solar irradiance and solar spectral irradiance measurements as part of its upcoming NPOESS spacecraft mission.

The sun plays a role in our climate in direct and indirect ways. The sun changes in its activity on time scales that vary from 27 days to 11, 22, 80, 180 years and more. A more active sun is brighter due to the dominance of faculae over cooler sunspots with the result that the irradiance emitted by the sun and received by the earth is higher during active solar periods than during quiet solar periods. The amount of change of the solar irradiance based on satellite measurements since 1978 during the course of the 11 year cycle just 0.1% (Frohlich and Lean 1998) has caused many to conclude that the solar effect is negligible especially in recent years. Over the ultra long cycles (since the Maunder minimum), irradiance changes are estimated to be as high as 0.4% (Hoyt and Schatten (1993), Lean et al. (1995), Lean (2000), Lockwood and Stamper (1999) and Fligge and Solanki (2000)).

However this does not take into account the sun's eruptional activity (flares, solar wind bursts from coronal mass ejections and solar wind bursts from coronal holes) which may have a much greater effect. This takes on more importance since Lockwood et al., (1999) showed how the total magnetic flux leaving the sun has increased by a factor of 2.3 since 1901. This eruptional activity may enhance warming through ultraviolet induced ozone chemical reactions in the high atmosphere or

ionization in higher latitudes during solar induced geomagnetic storms. In addition, the work of Svensmark (1997), Bago and Butler (2000) Tinsley and Yu (2002) have documented the possible effects of the solar cycle on cosmic rays and through them the amount of low cloudiness. It may be that through these other indirect factors, solar variance is a much more important driver for climate change than currently assumed. Because, it is more easily measured and generally we find eruptional activity tracking well with the solar irradiance, we may utilize solar irradiance measurements as a surrogate or proxy for the total solar effect. Correlations with Total Solar Irradiance studies vary on the importance of direct solar irradiance especially in recent decades.

When Gleissberg (1958) first investigated solar cycle lengths, he found short cycles had high sunspot numbers and strong eruptive activity while long cycles were characterized by low maxima and fewer solar eruptions. This may explain why Friis-Christensen and Lassen (1991) found a correlation of solar cycle length with temperatures. With major geomagnetic storms, there is ionization warming in the polar auroral zone, an increase in solar wind with more general warming. Landscheidt (2003) showed a r^2 correlation of 0.92 between smoothed yearly global temperature anomalies and a smoothed geomagnetic index (aa index) with a tendency for temperatures to lag the solar by 4 to 8 years.

Ionization of the air occurs due to cosmic rays (CR), from the decay of trace radioactive isotopes, ionization by solar ultra violet light and electrical effects such as lightning. At cloud forming altitude (> 1000 m) over the land and at all altitudes over the sea CR are thought to dominate the production of ionization in the troposphere.

It was suggested long ago that CR could be connected with the weather and the climate and various mechanisms have been suggested.. Much publicity has been given to the observation that the reduction in the low cloud cover (LCC) observed during solar cycle 22 correlates well with the decrease in the cosmic ray (CR) rate as measured by neutron monitors. This led the groups to hypothesize that the reduction was caused by the influence of ionization from CRs on cloud cover. Furthermore, it has been suggested that this is a significant contributor to global warming. The basis of the suggestion is that the cosmic ray rate has been observed to decrease over the last century. This leads to less ionization in the atmosphere, reducing cloud cover according to the hypothesis, allowing more sunlight to warm the Earth. This suggestion has been questioned on the grounds of inconsistencies between different methods of measuring cloud cover and on the grounds of imperfect data analyses. Attempts have been made to look for local or regional correlations which find either nothing, the opposite correlation or some correlation. We discount these in order to investigate the hypothesis further and on a global scale. We further discount the likelihood that CR effects would change mainly the depth of the clouds, rather than the cloud cover. The suggestion was also questioned in a study of the long term CR rate where it was shown that this rate began to increase in 1985 yet global warming continued. Nevertheless, there may be some connection between clouds and ionization since it is well known

that charged drops grow at smaller radii than uncharged drops, providing that the supersaturation is high enough.

A key aspect of the sun's effect on climate is the indirect effect on the flux of Galactic Cosmic Rays (GCR) into the atmosphere. GCR is an ionizing radiation that supports low cloud formation. As the sun's output increases the solar wind shields the atmosphere from GCR flux. Consequently the increased solar irradiance is accompanied by reduced low cloud cover, amplifying the climatic effect. Likewise when solar output declines, increased GCR flux enters the atmosphere, increasing low cloudiness and adding to the cooling effect associated with the diminished solar energy. The conjectured mechanism connecting GCR flux to cloud formation received experimental confirmation in the recent laboratory experiments of Svensmark (Proceedings of the Royal Society, Series A, October 2006), in which he demonstrated exactly how cosmic rays could make water droplet clouds.

Changes of 1 to 2% in low cloudiness could have a significant effect on temperatures through changes in albedo. K. Labitzke and H. van Loon have discovered a statistically significant connection between temperature-dependent 30-hP heights in the stratosphere and extreme in the 11-year sunspot cycle, which involves the troposphere and is strongest in special geographical regions. It is an indication of feed-back or resonance amplification that the temperature difference in the stratosphere between minimum and maximum of the 11-year cycle reaches 1.8° C and in the troposphere still 0.9° C. In the Subtropic troposphere this difference even amounts to 2° C. Northern and Southern Hemisphere show such sunspot related temperature patterns in a mirror-symmetric way. The geographic distribution of the temperature effect corroborates the hypothesis that a modulation of Hadley cell circulation is involved. Experiments with models have shown that winds in the lower stratosphere can have an impact on circulation in the troposphere. Strong temperature variations following the course of the 11-year sunspot cycle were not only observed in recent decades. According to M. Stuiver, P. M. Grootes, and T. F. Braziunas the GISP delta ¹⁸O climate record shows a close correlation with the 11-year sunspot cycle for hundreds of years. This data points to a regional temperature variation of **2.6° C** following the sunspot rhythm.

A climatic effect caused by total irradiance variations becomes more effective when its impact lasts longer. The Milankovitch theory in its modern form shows that a change of **0.1%** effective during a very long interval can release a real ice-age. So it may be expected that the 90-year Gleissberg cycle of sunspot activity, which modulates the intensity of the 11-year cycle, possesses a considerable potential to accumulate an effective surplus of irradiance, or to induce a steadily decreasing level of radiant flux density, particularly since the Gleissberg cycle can reach a length of 120 years.

When satellite observations had established that the solar constant is variable, phenomenological regression models were developed which assess the variations in irradiance in past decades and centuries. The model developed by D. V. Hoyt and K.

H. Schatten, is based on proxy data related to secular changes in the convective energy transport or the convective velocities in the sun. They include the solar cycle length, the equatorial solar rotation rate, and sunspot structure. This solar-irradiance model has only two parameters: the amplitude of variations of the 11-year cycle and the Gleissberg cycle. The thick curve in fig.1 shows the output of the model. The corresponding vertical axis on the left measures the irradiance in W/m^2 . The dashed curve represents the smoothed annual mean Northern Hemisphere temperature variations (right scale) for 1700 – 1879 from B. S. Groveman and H. E. Landsberg, and for 1880 to the present from J. E. Hansen and S. Lebedeff. The two curves show a close correlation that point to a strong link between solar activity and climate.

The ultraviolet range of the spectrum lies between 100 Å and 3800 Å. Wavelengths below 1500 Å are called extreme ultraviolet (EUV). The variation in radiation between extrema of the 11-year sunspot cycle reaches 35% in the EUV-range, 20% at 1500 Å, and 7% around 2500 Å. At wavelengths above 2500 Å, the variation reaches still 2%. At the time of energetic solar eruptions, the UV-radiation increases by 16%. At a sunspot maximum the EUV-radiation raises the temperature in the Ionosphere by 300% in relation to the minimum. Yet most important is that the UV-radiation below 2900 Å is completely absorbed by ozone in the stratosphere. The resultant rise in temperature is augmented by positive feed-back, as the UV-radiation also generates new ozone. Satellite observations show that the ozone content grows by 2% from sunspot minimum to maximum

Variations in radiation are not the sun's only way to influence climate. Between energetic solar eruptions and galactic cosmic radiation modulated by the solar wind on the one hand and electric parameters of the atmosphere on the other, exist couplings, the strength of which varies by 10% in the course of days, years, and even decades. The most important change is to be found in the downward air-earth current density, which flows between the ionosphere and the surface. R. Markson and M. Muir have shown how this affects the thunderstorm activity, while B. A. Tinsley assumes that electrically induced changes in the microphysics of clouds (electrofreezing) enhance ice nucleation and formation of clouds. These approaches have the advantage to be independent of dynamic coupling between different layers of the atmosphere, since these variations affect the whole atmosphere

The most convincing argument yet, supporting a strong impact of the sun's activity on climate change, is a direct connection between cloud coverage and cosmic rays, discovered by H. Svensmark and E. Friis-Christensen in 1996. It is shown in fig.2.. Clouds have a hundred times stronger effect on weather and climate than carbon dioxide in the atmosphere. Even if the atmosphere's CO₂ content doubled, its effect would be cancelled out if the cloud cover expanded by 1%, as shown by H. E. Landsberg. Svensmark's and Friis-Christensen's result is therefore of great importance. The thin curve in fig.2 presents the monthly mean counting rates of neutrons measured by the ground-based monitor in Climax, Colorado (right scale). This is an indirect measure of the strength of galactic and solar cosmic rays. The thick curve plots the 12-

month running average of the global cloud cover expressed as change in percent (left scale). It is based on homogeneous observations made by geostationary satellites over the oceans. The two curves show a close correlation. The correlation coefficient is $r = 0.95$.

Short-range variations in the intensity of cosmic rays, caused by energetic solar eruptions, have the same effect, though shorter. The plot shows that strong cosmic rays go along with a larger cloud cover, whereas weak cosmic rays shrink the cloud cover. The global cloud coverage diminished from its peak at the end of 1986 to its bottom in the middle of 1990 by more than **3%**. According to observations by V. Ramanathan, B. R. Barkstrom, and E. F. Harrison, clouds have a net cooling effect of **-17 W/m^2** . Svensmark and Friis-Christensen conclude from the diminution of this cooling effect between 1986 and 1990 that the solar irradiance has increased by about **1.5 W/m^2** within these three and a half years. A change of this order is quite remarkable, since the total radiative forcing by carbon dioxide accumulated since 1750 has been estimated by the IPCC not to go beyond $1.5 W/m^2$. This means that cosmic rays, strongly modulated by solar activity, achieve an effect within three and a half years for which the accumulation of carbon dioxide in the atmosphere needs centuries. This shows clearly to what extent the greenhouse effect has been overestimated in comparison with the solar contribution to climate change, which turns out to be the most important factor.

The primary cause of the solar modulation of cosmic rays is not the level of sunspot activity, but the varying strength of the solar wind. This supersonic outflow of plasma originates in the very hot corona of the sun and carries ionized particles and magnetic field lines from the sun. While it is expanding towards the boundary of the solar system, cosmic ray particles interacting with it lose energy. When the solar wind blows heavily, cosmic rays are weak, and when the solar wind is in a lull, cosmic rays become strong. The highest velocities in the solar wind are caused by energetic solar eruptions and coronal holes. Strong eruptions (flares and eruptive prominences) avoid sunspot maxima and even occur close to sunspot minima. So sunspots are not a good indicator of solar wind strength. As cosmic rays, which have such a strong impact on cloud cover, are strongly modulated by eruptive features of the sun's activity, the solar contribution to climate change can no longer be considered negligible. This is all the more so as the already described changes in irradiance has an additional effect.

Cycles of big fingers have a mean length of 35.8 years (178.8 years [big hand] / 5 = 35.76 years [big fingers]). They are closely connected with solar activity. They coincide with maxima and minima in the Gleissberg cycle and open up the possibility of predicting these crucial phases many years ahead. They also define the length of the 22.1-year magnetic cycle of sunspot activity (Hale cycle). As far as climatic change is concerned, cycles of a length of 36 years are not new. Francis Bacon has already pointed to a cycle with a length of 35 to 40 years with cool and wet phases followed by warm and dry periods. E. Brückner discovered this cycle again in 1887. He demonstrated that varied climatic phenomena in different regions of the world show

synchronized phases in a cycle of 33 to 37 years. H. W. Clough found the Brückner cycle not only in 12 meteorological variables, but also in sunspots and especially in variations in the length of the 11-year sunspot cycle. D. V. Hoyt and K. H. Schatten think that the reality of the cycle is confirmed by Scandinavian tree ring data which show its rhythm over hundreds of years.

The discovery of the radiation belts was the first discovery of the space age, observed in 1958 by the Explorer I spacecraft. The radiation belts are dynamic doughnut-shaped regions around our planet, extending high above the atmosphere, made up of high-energy particles, both electrons and charged particles called ions, which are trapped by Earth's magnetic field. Radiation levels across the belts are affected by solar activity that causes energy and particles to flow into near-Earth space. During active times, radiation levels can dramatically increase, which can create hazardous space weather conditions that harm orbiting spacecraft and endanger humans in space. It is the goal of the Van Allen Probes mission to understand how and why radiation levels in the belts change with time.

Scientists soon realized that the belts can change shape in concert with incoming disturbances from the sun, sometimes quite dramatically. In February 2013, researchers announced observations from NASA's Van Allen Probes, showing a previously undetected configuration. The belts showed a distinct unusually narrow ring beyond the inner belt persisting for a month in September 2012 while additional particles funneled in to create a third, larger, outermost belt. This previously unknown configuration of three bands, changed what was previously understood about the belts.

The Van Allen Probes can measure the widest range of energies and particle types ever observed. Therefore, there were accurate measurements of particles in this narrow ring – moving up to 99.9 percent of the speed of light – which could shed light on physical processes never before seen. By comparing computer simulations of the belts with data from the Van Allen Probes, scientists determined that one commonly understood method for how particles are accelerated to high energies did not work for these ultra-fast particles. The mechanism depends on one of the many unique and varied waves that can be present in an environment of charged particles, otherwise known as plasma, such as exists in the radiation belts.

Waves known as Very Low Frequency Chorus waves move so that they can easily buffet particles in the belts up to higher speeds, much the way a perfectly timed push on a swing increases its speed. These same waves can be responsible for causing particles to precipitate down out of the belts into the atmosphere. These VLF Chorus waves affect fast electrons but not ultra-fast electrons. On the other hand, fast electrons in the belts are not affected by another wave called Electromagnetic Ion Cyclotron or EMIC waves, but this study showed just how strongly EMIC waves can affect the fastest moving particles. Indeed, the EMIC waves can help quickly deplete the most energetic particles, leaving behind only a narrow ring of radiation protected inside the boundary known as the plasmopause, as seen in the September 2012 event.

Another kind of VLF wave called Hiss is found inside this plasmopause boundary, and this wave does not strongly affect the ultra-fast particles that the Van Allen Probes observed residing in the persistent narrow ring. This explains why the narrow ring was stable for such a long time. VLF wave is known as plasmaspheric hiss. The process might take only a few days for the slower particles, but took much longer for higher energy ones.

The magnetosphere is a large region of space where the Earth's magnetic field controls the motion of charged particles, namely electrons, protons, and other ion species, which form space plasmas. Energetic particle populations are observed in various parts of the magnetosphere. Recently, using the Van Allen probes launched in August 2012, researchers showed those electrons with energies over 2.5 MeV had been accelerated within the radiation belts, rather than being transported from elsewhere. But what is the local acceleration mechanism? The discovery by the STEREO spacecraft of very strong "whistler" waves in the Earth's radiation belts suggested that electrons could "surf" these waves to accelerate to MeV energies. Whistlers are particular electromagnetic modes propagating in magnetized plasma that can resonantly interact with fast particles. However, to be effective in the radiation belts, this process requires a seed population of electrons that already have energies of about a hundred keV, much larger than the electron thermal energy.

Large-amplitude whistler waves were observed on October 8 and 9, 2012, but only on the latter day did the 2.5-MeV relativistic electron fluxes increase by nearly three orders of magnitude. On the earlier day, October 8, no double-layer streams were observed in conjunction with the whistlers, suggesting that large-amplitude whistlers alone cannot accelerate electrons if the seed population is absent. Conversely, on October 9, double layers were observed, together with large-amplitude whistlers and a marked increase in the relativistic electron fluxes. Therefore, the acceleration of MeV electrons is a two-step process: first double-layer streams and then whistler resonant interaction.

These results have several far-reaching implications. First, they complete the long-standing goal of understanding extreme acceleration of electrons in the Earth's radiation belts. Second, the observations show that the Earth's magnetosphere can be used as a laboratory for studying energetic particle acceleration while "changing" the experimental conditions (with or without double layers and with or without whistlers), just as we would do in our laboratory. Third, a detailed understanding of the acceleration mechanisms in the Earth's magnetosphere can be exported to other astrophysical systems, like the solar corona, with observed particle energies up to 1 GeV, and to the other planetary magnetospheres, as well as far more distant objects like supernova remnants, with cosmic-ray energies as high as 10^{15} eV and more. Indeed, beams of particles moving along the magnetic field, which are the likely origin of double layers, are also envisaged for those objects. This prompts new questions: Why are electron acoustic waves and the associated double layers formed? Why do double layers occur in streams of thousands? What conditions allow such large

electric potential differences to exist? What drivers of the magnetospheric dynamics can also be found in other astrophysical systems?

These results join other observations and models of near-Earth phenomena that have broader astrophysical relevance. For example, terrestrial gamma rays in the upper atmosphere may give insight into the origin of gamma-ray bursts from the most distant objects in the Universe, and magnetic-field reconnection similar to that at the Earth's magnetopause may accelerate high-energy cosmic rays. These findings show that studying geospace plasmas is not only worthwhile *per se*, but that the Earth's broad environment is a real laboratory for high-energy astrophysics.

Chapter 8. Geo-magnetic indices and dependence of weather and climate parameters on them

Heaviside advanced the idea that the Earth's uppermost atmosphere contained an ionized layer known as the ionosphere; in this regard, he predicted the existence of what later was dubbed the Kennelly–Heaviside layer. In 1947 Edward Victor Appleton received the Nobel Prize in Physics for proving that this layer really existed.

Its existence was predicted in 1902 independently and almost simultaneously by the American electrical engineer Arthur Edwin Kennelly (1861–1939) and the British physicist Oliver Heaviside (1850–1925). However, it was not until 1924 that its existence was shown by British scientist Edward V. Appleton, for which he received the 1947 Nobel Prize in Physics. Physicists resisted the idea of the reflecting layer for one very good reason; it would require total internal reflection, which in turn would require that the speed of light (" c ") in the ionosphere would be greater than in the atmosphere below it. Since the latter speed is essentially the same as the speed of light in vacuum, scientists were unwilling to believe the speed in the ionosphere could be higher. Nevertheless, Marconi had received signals in Newfoundland that were broadcast in England, so clearly there must be *some* mechanism allowing the transmission to reach that far. The paradox was resolved by the discovery that there were two velocities of light, the phase velocity and the group velocity. The phase velocity can in fact be greater than c , but the group velocity, being capable of transmitting information, cannot, by special relativity, be greater than c . The phase velocity for radio waves in the ionosphere is indeed greater than c , and that makes total internal reflection possible, and so the ionosphere can reflect radio waves. The geometric mean of the phase velocity and the group velocity cannot exceed c , so when the phase velocity goes above c , the group velocity must go below it. In 1925, Americans Gregory Breit and Merle A. Tuve first mapped its variations in altitude. The ITU standard model of absorption and reflection of radio waves by the Heaviside Layer was developed by the British Ionospheric physicist Louis Muggleton in the 1970s.

Solar Indices

A solar flare is an explosion on the Sun that happens when energy stored in twisted magnetic fields (usually above sunspots) is suddenly released. Flares produce a burst of radiation across the electromagnetic spectrum, from radio waves to x-rays and gamma-rays. Scientists classify solar flares according to their x-ray brightness in the wavelength range 1 to 8 Angstroms. There are 3 categories: **X-class flares** are big; they are major events that can trigger planet-wide radio blackouts and long-lasting radiation storms. **M-class flares** are medium-sized; they can cause brief radio blackouts that affect Earth's polar regions. Minor radiation storms sometimes follow an M-class flare. Compared to X- and M-class events, **C-class flares** are small with few noticeable consequences here on Earth.

Each category for x-ray flares has nine subdivisions ranging from, *e.g.*, C1 to C9, M1 to M9, and X1 to X9. In this figure, the three indicated flares registered (from left to right) X2, M5, and X6. The X6 flare triggered a radiation storm around Earth nicknamed the Bastille Day event.

Class	Peak (W/m^2) between 1 and 8 Angstroms
B	$I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} <= I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} <= I < 10^{-4}$
X	$I >= 10^{-4}$

Solar Minimum is underway, and it's a deep one. Sunspot counts suggest it is one of the deepest minima of the past century. The sun's magnetic field has become weak, allowing extra cosmic rays into the solar system. Neutron monitors at the Sodankyla Geophysical Observatory in Oulu, Finland, show that cosmic rays are percentage points away from a Space Age record:

Researchers at the Sodankyla Geophysical Observatory have been monitoring cosmic rays since 1964. When cosmic rays hit Earth's atmosphere, they produce a spray of secondary particles that rain down on Earth's surface. Among these particles are neutrons. Detectors in Oulu count neutrons as a proxy for cosmic rays.

As the top panel shows, cosmic rays naturally wax and wane with the 11-year solar cycle. During Solar Maximum cosmic rays are weak; during Solar Minimum they are strong. The Space Age record for cosmic rays was set in late 2009-early 2010 near the end of a very deep Solar Minimum.

Records, they say, are meant to be broken. As 2019 comes to a close, neutron counts at Oulu are approaching the very high levels seen in 2009-2010. A new record could be just weeks or months away. This is important because excess cosmic rays pose a health hazard to astronauts and polar air travelers, affect the electro-chemistry of Earth's upper atmosphere, and may help trigger lightning.

Solar activity may be represented by several solar indices. Two classical indices are related to the electromagnetic output of the Sun: the Wolf (sunspot) number (WN) series is the longest and most commonly used solar proxy, and the radio flux F10.7 series is the longest series of instrumental solar observation. The international daily sunspot number index is available from 1850 on, at e.g., <ftp://ftp.ngdc.org>. The decimetric F10.7 index is a daily measurement of the radio flux at 10.7 cm made at Penticton Observatory, available since 1947 (<ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>). This index appears to be better correlated with EUV irradiance than sunspot number [Donnelly et al., 1983; Floyd et al., 2005; Dudok de Wit et al., 2009]. Both indices carry essentially the same information in the present study when running means over 1-yr or more are calculated.

More recently, data relevant to the solar wind and the interplanetary magnetic field have become available (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>): the magnitude $|B|$ of the IMF and the solar wind plasma speed v at the Earth's orbit. An important and useful composite index is $B.v2$ [e.g., Rouillard et al., 2007; Finch and Lockwood, 2007]. Daily data for these parameters are available with reasonable coverage since 1965, although the total number of gaps remains episodically high until 1995.

General Behavior of Indices Anomalies in Cycles 20 and 23

The largest of the two main periods of significant drops of correlation coefficient between geomagnetic and solar indices (since 1955) that we have identified occurred in the early 1970s in the declining phase of cycle 20. It is so strong that it is immediately seen in some original data, without any processing. The other main period of low correlation occurred in the ascending phase of solar cycle 23.

It has long been noted that cycle 20 was the weakest cycle since 1930 (cycles 12 to 16, from 1878 to 1933 all being smaller, but cycles 17 to 23 included, i.e., from 1933 to 2008, all being larger). Gosling et al. [1977] emphasized the unusual aspect of geomagnetic variations during cycle 20. They noted the very large peak in geomagnetic activity that occurred 6 years after sunspot maximum. They showed that whereas cycle 20 was rather normal in terms of sunspot number (using as a basis the average of the nine cycles 11 to 19, i.e., 1868 through 1965), it was strongly anomalous in terms of yearly aa index. This is clearly seen in Figure 1 around 1975. Gosling et al. [1977] further calculated cross-correlation curves between geomagnetic and sunspot activity and found that in cycle 20 the former lagged the latter by

5 years, compared to the average 1 or 2 years in the nine previous cycles. They attributed the large secondary peak in aa index during 1972.5–1975 to an unusual combination of very broad, recurrent, major geomagnetic disturbances, closely coupled to an average solar wind speed unusually greater near solar minimum than near solar maximum. They also concluded that coronal holes must have been in some

way unusual at that time. The anomalous length (Daily record of sunspot groups of the Royal Greenwich Observatory (RGO), National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, 1996, available at <ftp.ngdc.noaa.gov>) and shape [Wilson et al., 1996] of cycle 20 have also been noted. Blanter et al. [2005] showed that there was a strong anomaly in the Markov radius of correlation of both sunspot number WN and aa index.

The irregularity of solar cycle 20 is also reflected in the evolution of the 1-yr running means of the z index: the fundamental \sim 11-yr period observed in all solar cycles 19 to 23 takes a remarkable form in cycle 20, displaying a series of smaller oscillations with a quasi-biennial period (\sim 1.8 yr; Figure 8). Other observations of phenomena in the same period range include fluctuations in sudden storm commencements (SSC) during cycles 11 to 22, with periods in the 1.6–1.9 yr range [Mendoza et al., 1999], cosmic ray intensity variations in the outer heliosphere measured by Voyager, with period \sim 1.8 yr [Kato et al., 2001], and cosmic ray intensity as recorded at Huancayo observatory, with period \sim 1.68 yr [Valdes-Galicia et al., 1996; see also Rouillard and Lockwood, 2004]. Periods of all these phenomena

are close to the one we observe.

The anomalous character of cycle 23 has been discussed by, e.g., de Toma et al. [2004], Agee et al. [2010], and Russell et al. [2010]. It is also anomalously long and has an unusual shape; strong irregularities in UV/EUV radiation [Lukianova and Mursula, 2011] and solar flares [Kossobokov

et al., 2011] have been reported. Cycle 23 also violates the even-odd sequence of solar cycles [Gnevyshev and Ohl, 1948]. There is a large variation in predictions of the following cycle (24) given by different techniques [Pesnell, 2008] and even by similar techniques [Hathaway and Wilson, 2006; Hathaway, 2008].

Solar activity

Approximately every 11 years, the Sun undergoes a complete personality change from quiet and calm to violently active. The height of the sun's activity, known as solar maximum, is a time of numerous sunspots, with profound eruptions that send radiation and solar particles out into the far reaches of space.

However, the timing of the solar cycle is far from precise. Since humans began regularly recording sunspots in the 17th century, the time between successive solar maxima has been as short as nine years, but as long as 14, making it hard to determine its cause. Now, researchers have discovered a new marker to track the course of the solar cycle—brightpoints, little bright spots in the solar atmosphere that allow us to observe the constant roiling of material inside the sun. These markers provide a new way to watch the way the magnetic fields evolve and move through our closest star. They also show that a substantial adjustment to established theories about what drives this mysterious cycle may be needed.

Historically, theories about what's going on inside the sun to drive the solar cycle have relied on only one set of observations: the detection of sunspots, a data record that goes back centuries. Over the past few decades, realizing that sunspots are areas of

intense magnetic fields, researchers have also been able to include observations of magnetic measurements of the sun from more than 90 million miles away. In the giant system that connects Earth to the sun, one key event happens over and over: solar material streams toward Earth and the giant magnetic bubble around Earth, the magnetosphere helps keep it at bay. The parameters, however, change: The particles streaming in could be from the constant solar wind, or perhaps from a giant cloud erupting off the sun called a coronal mass ejection, or CME. Sometimes the configuration is such that the magnetosphere blocks almost all the material, other times the connection is long and strong, allowing much material in. Understanding just what circumstances lead to what results is a key part of protecting our orbiting spacecraft from the effects of such space weather. NASA's THEMIS mission observed how dense particles normally near Earth in a layer of the uppermost atmosphere called the plasmasphere can send a plume up through space to help protect against incoming solar particles during certain space weather events. Now, for the first time, a study shows that in certain circumstances a pool of dense particles normally circling Earth, deep inside the magnetosphere, can extend a long arm out to meet – and help block – incoming solar material. Now, for the first time, a study shows that in certain circumstances a pool of dense particles normally circling Earth, deep inside the magnetosphere, can extend a long arm out to meet – and help block – incoming solar material. Closer to Earth, scientists could also study the sphere of cold dense gas at the very top of our atmosphere. This region is called the plasmasphere and it's made of what's known as plasma, a gas made of charged particles. GPS signals travel through the plasmasphere and they travel at different speeds depending on how thick or thin the plasmasphere is along the journey. Tracking the GPS radio signals, therefore, can help researchers map out the properties of the plasmasphere.

The Sun is the source of the energy that causes the motion of the atmosphere and thereby controls weather and climate. Any change in the energy from the Sun received at the Earth's surface will therefore affect climate. During stable conditions there has to be a balance between the energy received from the Sun and the energy that the Earth radiates back into Space. This energy is mainly radiated in the form of long wave radiation corresponding to the mean temperature of the Earth.

The effects of the radiation and particles that stream out from the Sun would be quite deadly for the inhabitants of Earth if not for two protective features. The first one is Earth's atmosphere, which blocks out the x-rays and most of the ultraviolet radiation. When x-ray or ultraviolet photons encounter the atmosphere they hit molecules and are absorbed, causing the molecules to become *ionized*; photons are re-emitted but at much longer (and less biologically destructive) wavelengths. The second protective mechanism is the Earth's magnetic field. This protects living organisms from the charged particles that reach the planet steadily as part of the solar wind and the much greater bursts that arrive following mass ejections from the Sun. When charged particles encounter a magnetic field, they generally wrap around the field lines. Only when the path of the particle is parallel to the field can it travel without

deflection. If the particle has any motion across the field lines it will be deflected into a circular or spiral path by the Lorentz Force. Most charged particles in the solar wind are deflected by the Earth's magnetic field at a location called the Magnetopause, about 10 Earth radii above the Earth on the day side. Inside the Magnetopause, the Earth's magnetic field has the dominant effect on particle motion, and outside, the solar wind's magnetic field has control (www.spaceweather.gov).

Until 1960, Earth's magnetic field, called the geomagnetic field, was thought to be a simple dipole field like that of a bar magnet. We do not yet know the details of what produces the geomagnetic field, except that there must be currents circulating inside Earth, probably associated with the molten core. With the discovery of the solar wind, physicists realized that the magnetic field of Earth is pushed away from the Sun. The solar wind exerts a pressure on Earth's magnetic field which compresses it on the Sun-facing side and stretches it into a very long tail on the side away from the Sun. This complex magnetic envelope is called the magnetosphere. On the Sun-facing side, the solar wind compresses the magnetosphere to a distance of about 10 Earth radii; on the downwind side, the magnetotail stretches for more than 1000 Earth radii. The magnetosphere is filled with tenuous plasmas of different densities and temperatures, which originate from the solar wind and the ionosphere. The ionosphere is the highly charged layer of Earth's atmosphere which is formed by the ionizing effect of solar radiation on atmospheric molecules. This extension of the Sun's magnetic field is called the interplanetary magnetic field and it can join with geomagnetic field lines originating in the polar regions of Earth. This joining of the Sun's and Earth's magnetic fields is called magnetic reconnection, and happens most efficiently when the two fields are anti-parallel. Through reconnection the magnetic fields of Sun and Earth become coupled together. Solar wind particles approaching Earth can enter the magnetosphere because of reconnection and then travel along the geomagnetic field lines in a corkscrew path. Positive ions and electrons follow magnetic field lines (in opposite directions) to produce what are called field-aligned currents. The solar wind and the magnetosphere form a vast electrical generator which converts the kinetic energy of solar wind particles into electrical energy. The very complex plasmas and currents in the magnetosphere are not fully understood. Some of the solar wind particles travel back along the magnetotail in currents which make the tail look like it has a giant battery in it. Some particles follow the field lines that converge near the polar regions of the earth and bounce back and forth, trapped in a magnetic mirror. Other particles are injected into the ionosphere and form an oval of light around the polar regions of Earth, called the Auroral ovals. The northern lights are called the Aurora Borealis, while the southern lights are called the Aurora Australis.

Since the early 1900's scientists have suspected that both the auroras and the variations in the Earth's magnetic field must be caused by some kind of currents which flow in the upper atmosphere. Today we know that there are many currents which flow in the magnetosphere caused by the very complicated interplay between the solar wind and Earth's magnetic field. Although these currents are only partially understood at

present, the one that has been studied most extensively is the Birkeland current, which is associated with the auroras. When the solar wind encounters the Earth's magnetic field about 50,000 km above Earth, an electromotive force (EMF) of about 100,000 volts is generated. This applied EMF is distributed throughout the magnetosphere and Earth's upper atmosphere, much as the voltage from a electric utility generator is distributed around a power grid. A portion of the solar-wind-generated EMF, perhaps 10,000 volts, accelerates electrons down magnetic field lines into the ionosphere at altitudes of about 100 km. These electrons first travel horizontally and then back up to the upper atmosphere to form a closed circuit. Although this circuit has many similarities to a simple circuit with wires and a battery, it is also very complex since it occurs in three-dimensional space and varies wildly in time as the solar-wind intensity changes. It is the high-speed electrons near the bottom of this current loop which collide with molecules and atoms of the atmosphere that produce the auroras. The strongest Auroral emission comes from altitudes of about 100 km. As with any simple circuit, energy is dissipated as the electrons flow around the loop. Some of this energy shows up as the light of the auroras, but most of it becomes thermal energy—heating the atmosphere. Another important result of the Birkeland current is that, like any current loop, it produces a magnetic field. This field extends down to the Earth's surface where it adds to the geomagnetic field, causing it to fluctuate. These fluctuations in magnetic field can then induce currents in the Earth's surface, or in conductors like power lines or pipelines. All of this is determined by the behavior of the solar wind reaching Earth, which in turn is determined by the events taking place on the Sun. It also means that many of our electronic systems on Earth may become disrupted or even damaged. Our sun produces high-energy solar cosmic rays (protons and ions) in Solar Proton Events (SPEs). These particles generally have energies in the range of 10 MeV to 100 MeV [4]. Very energetic SPE events are also capable of generating near-relativistic protons in the order of 20 GeV. Table 3 gives the arrival time of the protons based on energy level after the solar flare first becomes visible on the Earth. In general, SPEs take from hour to minutes to reach Earth depending on their energy. High-energy protons in SPEs produce ultraviolet auroras, invisible to the human eye, when they collide with Earth's atmosphere. These reactions produce NO_x byproducts that eventually settle on the planet's surface. The nitrates from large SPEs are detectable in the ice cores. The observations show that a massive SPE can also produce a short-lived major magnetic spike on Earth. Protons in SPEs and CMEs have energy spectrums ranging from around 10 KeV to above 20 GeV. However, solar events producing protons with energies above 1 GeV are rare. Due to geomagnetic shielding solar energetic particles with energies less than 100 MeV can only reach the Earth's atmosphere over Polar Regions where they lose their energy in collision with atoms in the atmosphere creating a cosmic ray shower of particles. If the particles have energies greater than 500 MeV, the cosmic ray shower can penetrate to the planet's surface

The complex coupling of the solar wind and the geomagnetic field produces

many effects near Earth. Earth is embedded in the outer atmosphere of the Sun and therefore is affected by events which occur in the surface layers and coronal regions of the Sun. Terrestrial effects are the result of three general types of conditions on the Sun: eruptive flares, disappearing filaments and coronal holes facing Earth.

Mid-latitude coronal holes (usually occurring during the phase of solar activity following solar maximum) are sources of high-speed solar wind streams, which buffet Earth in synchronism with the 27-day solar rotation. Previously the cause of these recurring geomagnetic storms was unknown, so the regions were called M-regions, M for mysterious. Non-recurrent major storms and large geomagnetic storms are almost always associated with coronal mass ejections (CMEs) and with the shock waves associated with CMEs.

Several centuries ago, the disruptive effects of the Sun were totally unnoticed by humans. But as technology developed that utilized currents, conductors, and eventually electromagnetic waves, the disruptive effects of the Sun became evident. Early telegraph systems in the 1800s were subject to mysterious currents that seemed to be generated spontaneously.

When an intense surge of solar wind reaches Earth, there are many changes which occur in the magnetosphere. The day side of the magnetosphere is compressed closer to the surface of Earth and the geomagnetic field fluctuates wildly. This type of event is generally called a geomagnetic storm. During a geomagnetic storm the high-latitude currents which occur in the ionosphere change rapidly, in response to changes in the solar wind. These currents produce their own magnetic fields which combine with Earth's magnetic field. At ground level, the result is a changing magnetic field which induces currents in any conductors that are present.

When a mass of plasma is ejected from the Sun, the plasma travels outward in the solar wind. These plasma bursts have their own magnetic fields which are carried along with the plasma. How these fields are oriented when they arrive at Earth determines whether magnetic reconnection will occur. When the direction of the solar wind field is opposite the direction of Earth's field, magnetic reconnection occurs, and the geomagnetosphere essentially becomes a part of the solar magnetic field. In this condition, Earth is much more prone to the effects of the solar wind. Solar wind particles can enter the magnetosphere more easily, and those already within the magnetosphere are energized. Changes in solar wind magnetic fields cause wild fluctuations in the magnetospheric fields. In response to these fluctuations, in accordance with Lenz's Law, massive currents flow throughout the magnetosphere. It is these high altitude currents that induce voltages at ground level. If the magnetic field of the solar wind is in the same direction as the Earth's field, then magnetic reconnection does not occur and the magnetosphere is much more separated and protected from the solar wind [6]. The Sun-Earth environment has variables, which are changing on regular basis due to starbursts. These variables are the Kp, proton flux and E-flux. Sudden changes in these parameters may abruptly influence the environment of the Earth. If an E-flux hike is responsible for global warming, then an E flux lowering

may lead to snowfall, thunderstorms and erratic rainfall. The effect of earth directed CME would not only trigger the earthquake, but affect the whole environment of the Earth, including the destruction of ozone layers leading to climate change.

The effect of Earth directed Coronal Mass Ejections (CME) from the Sun reveals a sensational impact on the atmosphere and geosphere. It has been observed that there is a close relationship between Kp values (Planetary Indices) and particle flux (Electron flux and Proton Flux) with the CME. The response of the magnetosphere to interplanetary shocks or pressure pulses can result in sudden injections of energetic particles into the inner magnetosphere. Solar active regions usually reach kilogauss values in their magnetic field. When the earth directed CME glances along the magnetic shield, local disturbances in the atmosphere of the Earth have been noticed. Cyclic changes of the general atmosphere circulation are of prime interest as are the transformation and recurrence of circulation forms, which characterize planetary wave dynamics. The changes of the atmospheric pressure in geomagnetically and electronically excited cases (including the solar activity effect) in comparison to the variations in geomagnetically and electronically quiet cases.

In order to identify connection between geomagnetic activity and synoptic and circulation processes 2015-17 warm period (III-IX months) various synoptic and geomagnetic indices daily data (<http://SunSpotWatch.com>) have been studied for Georgian conditions.

Table 8.1. Geomagnetic activity indices and meteorological elements daily data for 2015-17 warm period in Georgia

Geostorms		Insignificant cloudiness (700 hpa)		Showers. Thunderstorm	
Geomagn. index	Geomagn storm type	Number of events	Circulation processes	Number of events	Circulation processes
K4	Active	10	South-west wave	20	South-east wave South-west wave High pressure area High pressure area (1 event)
K5	Minor storm	25	South-west wave	10	South-east wave South-west wave
K6	Moderate storm	23	High pressure area (8 event)	8	South-east wave South-west wave
K7	Strong storm	4	High pressure area (3 event)	3	South-west wave
K8	Severe storm	1	High pressure area	-	

It is ascertained that during all magnetic storms south-west or south-east wave processes have been formed and strong storms create high pressure areas. Depending on the synoptic situation wave processes leads the formation of thunderstorm and heavy showers. In addition, through geomagnetic storms the direction of circulation processes may drastically be changed.

The NOAA Space Environment Services Center (SESC) in Boulder is one of the world centers that make forecasts of solar and geomagnetic activity. Daily predictions

are issued for the likelihood of solar flares, proton flares, x-ray events and magnetic storms. Longer-range forecasts are also made so that the launches of manned spaceflights can be planned with more safety. The SESC is a worldwide nerve center for about 1400 data streams, including x-ray and particle flux data from the GOES satellites, H_α images and magnetograms from observatories around the world, measurements of the geomagnetic field at many locations, and 10.7-cm radio levels from several radio telescopes. Each day the features of the solar disk are mapped by hand so that the evolution of active regions, coronal holes, filaments, and neutral lines may be carefully studied. Forecasters attempt to consider all of this information when making their daily forecasts of solar effects on Earth. At the present time, these forecasts are not very reliable; major flares are sometimes not forecast and predictions that are made often do not come true. Even though forecasters have a large amount of data to work with, the physics of the Sun, the magnetosphere, and the interplanetary medium is not well understood. At the present time, many partial mathematical models have been developed, but there is no comprehensive model of the Solar-Terrestrial environment.

In most cases, the ability to predict the behavior of nature comes from a mathematical model. For example, the motion of an object falling in a gravitational field can be modeled using the mathematical expression $v = g \cdot t$. Earth weather forecasters have been trying for the last 30 years to construct a mathematical model of the global weather using the very complex equations of fluid dynamics to describe the circulation of the oceans and atmosphere. Even with the best supercomputers to run these models, it has proven impossible to precisely model Earth weather. Modeling the solar-terrestrial environment is vastly more complex. The physics necessary to do this includes not only fluid dynamics but also Maxwell's equations. This combination is known as magnetohydrodynamics (MHD) [8], and at the present time the equations of MHD cannot be completely solved analytically. Numerical solutions exist which involve the use of a computer in a "trial and error" fashion. Numerical solutions, however, can give incorrect results and at best are an approximation. There is some suspicion that we have not yet developed the physics necessary to fully understand the Sun, where strong magnetic fields are erupting and plasmas swirl at ultra-high temperatures. The issue needs further investigation applying quantum field theory that is more suitable for description of photon-photon or photon-charged particle interaction. It may be assumed that for weather forecasting the only existed numerical weather models aren't sufficient and they have to be enhanced by electromagnetic models to make forecasting more precise.

The Sun is the source of the energy that causes the motion of the atmosphere and thereby controls weather and climate. Any change in the energy from the Sun received at the surface will affect Earth climate. During stable conditions there has to be the balance between the energy received from the Sun and the energy that the Earth radiates back into the Space. This energy is mainly radiated in the form of long wave radiation corresponding to the mean temperature of the Earth.

Solar transients; Solar Flares, Coronal Mass Ejections (CMEs), Solar Energetic Particles (SEPs) are the drivers of the Space Weather Effect in Geo-Space. When the gigantic cloud of plasma released through solar transient phenomena interacts with the Earth's magnetic environment it leads to the geomagnetic storms. Geomagnetic storms can be characterized by depression in the H component of geomagnetic field. This depression in H component of earth's magnetic field is caused by the Ring Current encircling the Earth in a westward direction. Earth's ionosphere responds to varying solar and magnetospheric conditions. During geomagnetic storm due to the compression of earth's magnetosphere by solar wind electric fields have been observed along the geomagnetic field lines to the high latitude ionosphere. Sometimes this electric field penetrates to low latitudes and energetic particles precipitate into the lower thermosphere and below, increasing ionospheric conductivity and expanding the auroral zone [2, 3]. These intense electric currents are responsible for the coupling of high latitude ionosphere with magnetosphere and the enhanced energy input leads to considerable heating of the ionized and neutral gases. There are two types of effects, in time scale, on the Earth produced by solar transients; prompt and delayed. Geomagnetic Storm effects are delayed effects due to cloud of particles ejected from Sun.

The sun undergoes cyclical (~22 year) pattern of magnetic pole reversals observable in the frequency of sunspot activity. This pattern is comprised of two ~11 year solar cycles phases. In the first phase, the sun's magnetic poles reverse polarity. In the second phase, the sun reverses the magnetic polarity again returning the poles back to its original polarity. Solar storm activity is strongly phase dependent. Accordingly Earth magnetic field is influenced by this reverse.

Solar flares are magnetically driven explosions on the surface of the sun. Approximately 8 minutes after solar flare occurs on the surface of the sun, a powerful burst of electromagnetic radiation in the form of X-ray, extreme ultraviolet rays, gamma ray radiation and radio burst arrives at Earth. The ultraviolet rays heat the upper atmosphere which causes the outer atmospheric shell to expand. The x-rays strip electrons from the atom in the ionosphere producing a sudden increase in *total electron content*. Solar flares produce satellite communications interference, radar interference, shortwave radio fades and blackout and atmospheric drag on satellite producing an unplanned change in orbit and other disturbances in upper atmosphere.

CMEs are vast clouds of seething gas, charged plasma of low to medium energy particles with imbedded magnetic field, blasted into interplanetary space from the Sun. When a CME strikes Earth, the compressed magnetic fields and plasma in their leading edge smash into the geomagnetic field. This produces temporary disturbance of the Earth's magnetosphere called a geomagnetic storm and the equatorial ring of currents, differential gradient and curvature drift of electrons and protons in the Near Earth region. The birthplace of CMEs are often seen to originate near the site of solar flares.

The severity of a geomagnetic storm depends on the orientation of Earth's magnetic field in relation to the solar storm magnetic orientation. If the particle cloud

has a southward directed magnetic field it will be severe, while if northward the effects are minimized.

A CME can produce the following affects: electrostatic spacecraft charging, shifting of the Van Allen radiation belt, space track errors, launch trajectory errors, spacecraft payload deployment problems, surveillance radar errors, radio propagation anomalies, compass alignment errors, electrical power blackouts, oil and gas pipeline corrosion, communication landline & equipment damage, electrical shock hazard, electrical fires, heart attacks, strokes, and traffic accidents. Magnetospheric storm is a 1–3 day long phenomenon spanning all the magnetosphere regions, and it features sharp depressions in the magnetic field. During storms and substorms, the ionosphere undergoes rather significant Joule heating with a great power of precipitating energetic particles. Huge energy increases the ionosphere temperature and causes large-scale ion drifts and neutral winds.

The Sun continuously provides solar radiation to the Earth, and there is considerable variation in the spectral density. This radiation is sporadically modified by flare events that affect the magnetosphere, thermosphere, and ionosphere. The quasi-steady flow of the solar wind is also modified by coronal mass ejections (CMEs), which accelerate energetic particles and cause geomagnetic storms during subsequent impacts on Earth. Observations have suggested that energetic particle forcing may affect wave propagation, zonal mean temperatures, and zonal winds in the Northern Hemisphere winter stratosphere. However, the mechanisms by which these changes occur are still not known. As changes in the Earth's atmosphere occur, whether due to changes in solar forcing or in response to enhanced anthropogenic activity and increased greenhouse gas (GHG) concentrations, the energy balance of the Earth's atmosphere is altered and this affects its dynamics. Changes can occur in the propagation of atmospheric gravity waves, planetary waves, and tides, which play important roles in driving the general circulation of the middle atmosphere. The thermosphere-ionosphere system is known to vary substantially with altitude, latitude, longitude, universal time, season, solar cycle and geomagnetic activity, as a result of mechanisms inherent to the system, as well as a result of space weather. The primary driving mechanism is solar radiation (EUV and UV), but precipitation of charged magnetospheric particles and magnetospheric electric fields also have significant effects on the ionosphere-thermosphere system. The driving processes determine the density, composition, and temperature of the ionized and neutral constituents of the upper atmosphere.

The solar wind conditions that are effective for creating geomagnetic storms are sustained (for several to many hours) periods of high-speed solar wind, and most importantly, a southward directed solar wind magnetic field (opposite the direction of Earth's field) at the dayside of the magnetosphere. This condition is effective for transferring energy from the solar wind into Earth's magnetosphere.

The largest storms that result from these conditions are associated with solar coronal mass ejections (CMEs) where a billion tons or so of plasma from the sun, with

its embedded magnetic field, arrives at Earth. CMEs typically take several days to arrive at Earth, but have been observed, for some of the most intense storms, to arrive in as short as 18 hours. Another solar wind disturbance that creates conditions favorable to geomagnetic storms is a high-speed solar wind stream (HSS). HSSs plow into the slower solar wind in front and create co-rotating interaction regions, or CIRs. These regions are often related to geomagnetic storms that while less intense than CME storms, often can deposit more energy in Earth's magnetosphere over a longer interval.

To establish influence of geomagnetic activity on the formation of weather pattern geomagnetic indices and meteorological observation database for 2014-18 have been analyzed. The 4 locations were chosen namely: Tbilisi- (Kartli Region), Batumi- Adjara Region, Telavi-Kakheti Region and last one in high mountain zone-Mta-Sabueti. The results showed that always weather pattern change: increase wind velocity; temperature change (decrease); precipitation amount increase follows geomagnetic activity. Here Tbilisi data is used.

To identify connection between geomagnetic activity and meteorological processes 2014-17 period precipitation, wind, temperature observation data and geomagnetic indices daily data (<http://SunSpotWatch.com>) have been studied for Georgian conditions. Below presented charts show the correlation between meteorological parameters with geo-magnetic activity expressed in indices.

The analysis has been conducted for current, pre and aftershock 3 and 5 days. For meteorological parameters current day is crucial and 3,5 day time lapse is reliable for circulation processes. It is ascertained that during all magnetic storms south-west or south-east wave processes have been formed and strong storms create high pressure areas. Depending on the synoptic situation wave processes leads the formation of thunderstorm and heavy showers. In addition, through geomagnetic storms the direction of circulation processes may drastically be changed.

The Vere River tragedy in 13 June, 2015 is clear evidence of how meteorological disaster triggered geo-hazard. On this day, flash-flood on Vere River flooded part of Tbilisi city, destroyed buildings, infrastructure, Zoo, many Zoo habitats and 18 humans were dead. After analyzing satellite data and synoptical situation it became clear what happened. During several days from 9 to 14 June 2 MEV high energy electrons penetrate atmosphere. The abundant amounts of electrons create stable clusters in lower atmosphere resisting precipitation infall. After they became so massive that couldn't resist gravitation the great amount of rain water has been fallen out from clouds, causing flooding.

It is not fully clear the physical mechanism of this correlation and the issue needs further investigation applying quantum field theory that is more suitable for description of photon-photon or photon-charged particle interaction as during geomagnetic activity great amount of charged particles and photons penetrate atmosphere.

The most of water properties are preconditioned by the fact that three component atoms aren't placed on one line. Negative charge prevailed on oxygen atoms part and

positive on hydrogen. Thus water molecule is electrically polarized. Among atoms and molecules acts force that always has attractive character. It is intermolecular dispersive or Van-Deer-Vaalse force. It is only one of the expressions of electromagnetic force. It acts among electrically neutral systems such as dipole or quadruple. In dipoles force reduces by r^4 inverse proportional and in quadruple by r^6 . It is not temperature dependent and its nature is quantum. By increasing dipole number their interaction increases.

From analyzing of historical records of meteorological observations and geomagnetic activity this correlation became more obvious. Many dangerous hydrometeorological event (flood, landslide) occurred over Georgian territory has driven by this activity, as the result of intensification of precipitation amount. Even hail processes intensification are the result of increasing atmosphere electricity and thunderstorm activity, that are produced by high energy charged particles intrusion into upper atmosphere.

These kinds of studies are essential in understanding of Earth magnetism and the Sun-Earth environment. It may be assumed that for weather forecasting the only existed numerical weather models aren't sufficient and they have to be enhanced by magnetic models to make forecasting more precise.

Chapter 9. Weather and climate change models and future scenarios

Weather regional forecasting is the hard mathematical task especially for Georgian complex relief. The Georgian relief may be characterized by three sharply expressed orographic elements: in north Caucasus, in south – Georgian south uplands and lowland or intermountain depression located between those two risings. This one begins from The Black Sea shore by triangular Kolkheti Lowland and spreads up to eastern Georgia like narrow strip. Between those two uplands small scaled orographic elements can be allocated. Such complicated relief has definite influence on air masses motion in atmosphere lower layers. Mainly west and eastern atmospheric processes prevailed over Georgian territory. Due to complex orographic conditions and influence of the black Sea in Georgia exist most of Earths climatic types, from marine wet subtropical climate in west Georgia and steppe continental climate in east Georgia up to eternal snow and glaciers in high mountain zone of Great Caucasus, and also approximately 40% Current geodynamics and orographic properties of Georgia play an important role in formation of weather various patterns. Such complex relief conditions the formation and evolution of various scaled circulation systems and heterogeneous spatial distribution of meteorological elements. This is verified by the fact, that precipitation annual distribution has diverse type, with sharply expressed spatial in homogeneities. The local circulation systems developed on the background of synoptical processes play significant role in the spatial-temporal distribution of weather determining parameters. For present leading weather research centers develop and run real time global and regional forecasting systems. Based on mentioned modeling

system Georgian weather forecasting service calculates main meteorological parameters on high resolution grid. Instead of abovesaid operational service still needs creation of such methods that will be able to describe with high spatial-temporal decision and high quality of adequacy. For short-term operational forecasting the use of confined area models became available in several national meteorological services. The range of those models is quite diverse from which special attention deserve regional Mesoscale models also atmosphere dynamical models with artificial boundaries where model variables are defined from coarse value grid from global model outputs. Such models can describe real weather conditions invisible for global models that form in atmosphere small-scale processes.

Local area (space) model structure may be divided in dynamical and physical package. Its configuration for Caucasus region considers relevant adjustment of physical package such as local landscape-geographical properties (including: relief parameters, land use and soil types, soil temperature, plant seasonal distribution and etc.). Dynamical core provides general circulation processes transformation influenced by Caucasus relief and proximity of The Black and Caspian Seas resulting in local weather. The specification of those processes is possible by optimal configuration selection of schemes describing physical processes. Besides ARW provides introduction of higher spatial-temporal resolution horizontal grid that focuses on target sub-region and significantly increases model resolution (from 15km to 5 km.). Complex relief of Caucasus significantly influences on weather formation thus relief consideration in model is one of most important assignment. It may be realized by relief parameterization or statistical type or by using both of them.

As calculations show Caucasus orographic is considered at high level in regional model that is proved by atmosphere boundary level pressure forecasting.

a. Clearly fixed local circulation formation in west Georgia during western circulation processes;

b. Also well fixed high pressure area formation in River Mtkvari valley during eastern processes and on the contrary – low pressure area in Rioni River gorge (Kolkheti lowland). Mentioned facts give possibility to predict with high accuracy the beginning and end of western and eastern incursions on Georgian territory also their intensity, specifically western and eastern wind power in Mtkvari and Rioni rivers. Numerical forecasting models based on complete hydrothermodynamical equations give possibility to detail involve physical factors describing atmospheric phenomena that greatly influenced or sometimes define atmospheric circulation processes. The consideration of those factors in numerical models provides improvement forecasting quality. Realization of weather forecasting issue on confined area is characterized by definite difficulties. Such is the formulation of boundary conditions on the borders of forecasting area. The lack of meteorological data on region borders influenced researches to seek problem solution different ways. By using telescoping or embedded grid method became one of the most effective mean for this. Except boundary conditions telescoping method gives possibility to solve those main

issues that are essential for weather forecasting on confined area. Specifically reducing spatial grid step on target area in such way that didn't increase model realization time, also detail describe region orographic features, realize interconnection between largescale, regional and mesoscale meteorological processes using

Bilateral and unilateral interaction of solutions from different grids. Based on atmospheric processes nonstationary mesoscale model [1] for Georgian territory the peculiarities of mesoscale flows in troposphere under conditions when undisturbed background flow undergo significant transformations and atmospheric circulation regime has been changed by another one. Many efforts and methods have been dedicated to the problem of precipitation formation and convective cloud evolution processes for Georgian conditions. Among others it is remarkable to mention operational thermohydrodynamical convective cloud model created for research of natural and artificial precipitation formation and can be used in weather modification [2]. In model for crystallization and melting processes have been introduced new parameterization schemes. One of most important precipitation formation microphysical process—coagulation describing integral-differential equations has been analytically solved considering income of cloud particles. The results evidently showed redistribution of ice crystals and rain drops in cloud dispersive medium.

Many researchers and scientists remark that in weather forecasting models detail considering of cloud microphysics would be preferable but as they are micro scale processes usually parameterization schemes are used.

The information provided by global models is the primary source used to predict future climate and assess climate impacts at any scale, from global to local. Existing global models typically operate at very coarse scales (a few hundred kilometers) and fail to provide useful information and the fine-scale detail necessary for climate impact and adaptation research. To obtain such climatic information, a horizontal scale of 10-15 km is required, especially in regions with complex orography and sea coasts, such as the South Caucasus-Black Sea basin region. Information obtained from global models as a result of processing regional climate models and statistical methods reaches this scale and accuracy. Climate modeling, in addition to scientific-technological potential, requires the appropriate resources of calculation and placement, which are quite limited in the conditions of Georgia, and thus, we have to limit ourselves to the simulation of the global/regional model based on one scenario, although we determine its compatibility with existing studies and results. The Third National Communication on climate change of Georgia includes a forecast calculated by the global climate model – MPI-ESM-MR according to the A1B scenario, which was reduced to a 20 km grid using the RegCM_v.4.0 regional climate model for the territory of the South Caucasus region. Based on this simulation, climate scenarios were built for 33 meteorological stations.

In the Third National Communication, the climate forecast based on the SRES-scenario was made. These scenarios were developed based on IPCC recommendations, which provide numerical estimates of future emissions based on current knowledge of

greenhouse gases and their drivers. They are grouped into 4 so-called around the story and create 4 families of scenarios, which combine 40 scenarios. They are conventionally designated as A1, A2, B1 and B2. In general, index A corresponds to a way of developing the world, when priority is given to economic development, and ecological problems are ignored. Opposite trends are described by index B. And numbers 1 and 2 respectively indicate 2 opposite trends of development – globalization and regionalization. Since 2014, new scenarios RCP (Representative Concentration Pathway scenarios) have been developed under the guidance of the IPCC, which are not based on socio-economic scenarios, but on the prediction of the global thermal regime of the radiation budget (this is the difference between the total incoming and outgoing radiation, measured in W/sq.m- za) by means of stabilization. In the new scenarios, there are also three categories of severe (RCP 8.5W/m² for 2100), moderate (RCP 4.5W/m²) and mild (RCP 2.6 W/m²), which are based on SRES scenarios A2, A1B and B1. The 4th National Communication uses the RCP 4.5W/m² scenario, which is less stringent than the A1B scenario in the previous report.

The RCP4.5 scenario is used to predict the expected climate change, which implies the stabilization of the radiation budget at the level of 4.5 W/m². Compared to the A1B scenario used in the Third National Communication, the RCP4.5 scenario is less stringent.

RegCM regional climate model version 4.6.0 was used to improve the global forecast scale. In this version, the mechanisms of description and parameterization of a number of physical and chemical processes are refined. We took into account the effects of dust and aerosols in this model, which was preceded by a study: Taking into account the effect of dust particles in the simulation of the climate of the South Caucasus. In addition, RegCM version 4.6.0 allows for improved horizontal scaling with one way nesting. All regional climate model simulations were first performed on a coarser scale (30 km) and relatively large area, and then rescaled to a 10 km grid.

Based on the mentioned simulation, comparing two 30-year periods (2041-2070 and 2071-2100) with the 30-year period of 1971-2000, the future trends of climate change were estimated for 39 stations of the Georgian meteorological network. The scenarios were constructed as monthly and annual mean values for basic climatic parameters such as air temperature, total precipitation, relative synovial temperature and wind. In addition, specialized climatic parameters were calculated – indices, which can be used to assess the impact of climate change on individual sectors.

CONCLUSION

The monograph "**Weather, climate and their change regularities for the conditions of Georgia**" is a joint effort of three organizations, the National Environment Agency of the Ministry of Agriculture and Environmental Protection of Georgia and the world-renowned scientific and research institutes in this field – the Hydrometeorology of the Technical University of Georgia, the Institute of Geophysics named after M. Nodia of the Tbilisi State University. A product in which the issues of weather formation, variability and climate change are studied in a complex manner, which is its value and practical significance.

The scientific value of the paper is also represented by the fact that, for the first time in Georgia, the regularities of weather changes and current trends of climate change have been studied in a new way using modern technologies in a complex manner based on the processing of multi-year data. Using satellite observation data of the Earth Observing Mission, the provoking factors of weather change have been identified. New indices such as geomagnetic indices, total electron content, thermospheric climatic index have been introduced for weather studies. Satellite observation data allows for a more detailed and new assessment of the processes taking place in the atmosphere. For particle collisions in the atmosphere, the wave model is flexible considering the resonant exchange photon. An image of the interaction potential for the van der Waals force between macroparticles is obtained for atmospheric clusters. The atmosphere is imagined as a set of clusters at different levels that interact by absorbing and emitting energy. The Earth's environment is one of the possible sources of renewable energy, the use of which is an opportunity to switch to new energy carriers.

The trends of changes of individual climatic parameters in time and space according to the regions of Georgia have been determined in accordance with the modern technologies introduced by the World Meteorological Organization. For the first time, the spatio-temporal regularities of the distribution of various complex climatic parameters in the conditions of Georgia, such as different types of effective air temperature (combination of temperature, relative air humidity and, in some cases, wind speed), tourism climate index (combination of seven meteorological parameters: average and maximum air temperature), average and minimum relative humidity, atmospheric precipitation, sunshine duration, wind speed), rest climate index (combination of five climatic variables: maximum air temperature, average relative humidity, cloud cover, precipitation and wind). The monograph can be used as an auxiliary guide at the faculties of universities of a similar profile. It is desirable to be a prerequisite for the expansion of the Earth Sciences program.

In the presented scientific work, the research material performed by the authors on the formation and variability of weather, climate is collected. Such a joint work has not been created in Georgia yet, and it will be printed in both Georgian and English languages. Ground observation, satellite and model data are used for the research. The

calculations are performed using modern software packages, the newly created weather and climate characteristic indices are used in the research, the calculation results of modern weather forecasting models for the territory of Georgia are given. The Earth's magnetic field model and its coupling perspective in weather forecasting are discussed.

Chapter 1 "Climate and its forming natural and anthropogenic factors" discusses the main natural and anthropogenic factors that determine the formation and change of climate in Georgia, which has a complex terrain and extremely heterogeneous sources of atmospheric aerosol and gas pollution. The significant heterogeneity of solar radiation distribution in the territory of Georgia, air and soil temperature, atmospheric circulation, precipitation regime, various atmospheric phenomena, etc. have led to the existence of 11 climatic zones.

Chapter 2 "Regularities of changes in the main elements of climate (temperature, precipitation, wind, solar radiation, humidity)" discusses the peculiarities of long-term changes of such basic factors of climate formation in different regions of Georgia, such as air temperature and humidity, wind speed, solar radiation and precipitation. In particular, data are provided on the average monthly air temperature and rainfall in Tbilisi in the period from 1844 to 2018; Based on the analysis of data on global and zonal air temperature and air temperature variability in Tbilisi from 1880 to 2021. It is shown that the warming of the climate in Tbilisi practically coincides with the zonal increase in air temperature at latitudes 24°N-64°N; Data are given on the total monthly variation of precipitation in different regions of Georgia in the period from 1936 to 2020; The variability of the wind regime was studied in the period from 1956 to 2015, etc.

Chapter 3 "Changes in Complex Climate Parameters" provides long-term mean values and variability of such complex climate parameters that affect the environment, such as different types of effective air temperature (a combination of temperature, relative air humidity and, in some cases, wind speed), KIT tourism. Climate index (combination of seven meteorological parameters: average and maximum air temperature, average and minimum relative humidity, precipitation, sunshine duration, wind speed), climatic rest index KIO (combination of five climatic variables: maximum air temperature, average relative humidity, cloud cover, precipitation and wind), the forest fire index in Angstrom (a combination of temperature and relative humidity). In particular, the correlations between the specified indices were studied; The nature of annual distribution of KIT and KIO values depending on the altitude of the territory was studied; The vertical distribution of average monthly values of KIT and KIO was studied; The impact of climate change on KIT, KIO, effective temperature values of different air types and Angstrom forest fire danger index were evaluated; The variation of KPI values over several decades at individual points in Georgia was evaluated.

Chapter 4 "Natural Atmospheric Events" discusses the natural events developed in the territory of Georgia. Namely: hail, torrential rain, thunder, extreme wind, temperature. Hydro-meteorological hazards such as severe floods, storms,

landslides, avalanches, hailstorms, hurricanes, droughts, etc. are expected. It will become more frequent and severe due to climate change, ecosystem degradation, population growth and urbanization.

Worldwide, economic and other losses from natural disasters are increasing. According to the International Disaster Database (EM-DAT), over the past 70 years, hydrometeorological disasters have shown the highest growth rate of any type of natural disaster. Natural disasters in Georgia should be considered as a permanent negative factor for the sustainable development of the state. The significance of the problems arising from the listed threats stimulates the active study of their underlying causes and physical processes.

Statistical structure and spatial and temporal characteristics of the number of days with thunderstorms and hail, the relationship between the duration of thunderstorms and the number of days with thunderstorms, characteristics of the long-term dynamics of the intensity of hail processes in the area. The relationship between hail processes and thunderstorms, features of thunderstorm activity in Kakheti, and the relationship between electrical and radar parameters of thunderstorms are studied. Taking into account these connections and the data of radar parameters of convective clouds, a map of the distribution of ground lightning for Kakheti was constructed. The results of hail distribution modeling in the territory of Kakheti according to the average maximum diameter using the data of the freezing level in the atmosphere and the radar measurements of the maximum sizes of hail in the clouds are presented. Characteristics of long-term dynamics of process intensity. The relationship between hail processes and thunderstorms, features of thunderstorm activity in Kakheti, and the relationship between electrical and radar parameters of thunderstorms are studied. Taking into account these connections and the data of radar parameters of convective clouds, a map of the distribution of ground lightning discharges for Kakheti was drawn up. The results of hail distribution modeling in the territory of Kakheti according to the average maximum diameter using the data of the freezing level in the atmosphere and the radar measurements of the maximum sizes of hail in the clouds are presented.

The connection of atmospheric precipitation, thunder and hail processes with anthropogenic pollution of the atmosphere in the conditions of Eastern Georgia was studied. Statistical models of the relationship between thunderstorm activity and atmospheric aerosol pollution have been developed. In particular, it was determined that the intensity of thunder and hail processes significantly depends on the aerosol pollution of the atmosphere (including radioactive), although this dependence is quite complex. In general, an increase in non-radioactive aerosol pollution of the atmosphere has led to an increase in the intensity of hail damage and, therefore, a decrease in the effectiveness of anti-hail operations.

In chapter 5 "Considering the climate in the planning of some sectors of the economy (agriculture, tourism, construction, health care)" – comparing two 30-year periods (2041-2070 and 2071-2100) with the 30-year period of 1971-2000, the future trends of climate change in Georgia were assessed. for 39 stations of the

meteorological network. Scenarios were constructed for the main climatic parameters such as monthly and annual average values of air temperature, total precipitation, relative synovial temperature and wind. In addition, specialized climatic parameters were calculated – indices, which can be used to assess the impact of climate change on individual sectors.

Chapter 6 "Modern methods of studying weather and climate change" – high-quality weather forecast in the territory of Georgia is quite demanding, but at the same time difficult to make. 85% of the country's territory is mountainous and has the most difficult orographic character. 3/4 of Georgia's territory is particularly vulnerable to floods, landslides and mudslides. The mentioned areas are characterized by a complex orography and are divided by river valleys and ravines of different exposures. The period of water abundance of most rivers is spring, when ultra-short-term and short-term accurate forecast of convective precipitation will make the implementation of hydrological models much more effective, high-quality hydrological forecast is a very urgent problem for Georgia. The interaction of air masses with these complex forms of relief at any time of the year is characterized by a variety of local weather conditions and often extremes. Convective processes with accompanying events: fog and low clouds, local precipitation-producing events; Weather in winter conditions (snow, ice, sleet, avalanche) This is a short list of events whose short-term and short-term forecasting is very valuable for Georgia. Despite significant improvement of weather models at the expense of variational analysis and latent heat initiation, the quality of short-term forecast in 0-6 hours is still relatively low.

For individual synoptic events, the spatial range of which varies from a few meters to 2000 km, the prediction time of ultra-short and short-term forecasts varies from a few minutes to 12 hours. The accuracy of such a forecast is highly dependent on ground network frequency, radar and satellite information, and a high-resolution local weather model. Traditionally, short-term forecasting is a temporal extrapolation of the trend of observational data, which is obtained by heuristic methods, while short-term forecasting mainly relies on the results of weather models. The monograph discusses existing methods and models of different complexity created by leading centers in Georgia and internationally.

In Earth sciences, the term Big Data has become popular thanks to new technologies and innovations that have emerged in the past decade, considering the need to analyze large volumes and rapidly generated heterogeneous data, therefore collection and processing is done at high speed. Artificial intelligence technologies make it possible to integrate big data into predictive and purposeful management tools to improve the resilience of climate systems.

Big data aims to facilitate action on climate-related risks by providing the volume, variety and quality of data to identify patterns and make data more accessible. Thus, a big data approach can become a key source of information for decision makers in terms of creating and adapting appropriate strategies, identifying current and future problems, and identifying recovery steps for timely action.

Within the framework of the Earth Observing System (EOS) program, the study of the Earth with satellite observation data began, within the framework of the NASA, NOAA and EUMETSAT programs, satellites equipped with different types of sensors were launched. The task of ionosphere weather has become relevant, according to which the formation of weather on Earth begins in the upper layers of the atmosphere. NASA's magnetic field observation satellite MMS, THEMIS and solar observation satellites SOHO, SDO, SOLAR PROBE, etc. After launch, they will continuously transmit information about changes in solar parameters, the characteristics of cosmic rays, and the response of the Earth's magnetic field to these changes.

For particle collisions in the atmosphere, the wave model is flexible considering the resonant exchange photon. An image of the interaction potential for the van der Waals force between macroparticles is obtained for atmospheric clusters. The atmosphere is imagined as a set of clusters at different levels that interact by absorbing and emitting energy. The Earth's environment is one of the possible sources of renewable energy, the use of which is an opportunity to switch to new energy carriers.

Chapter 7, Atmospheric Disturbances, discusses events that occur in the outer layers of the atmosphere: solar wind, coronal massive eruptions (CMEs), solar energetic particles (SEPs) that generate space weather in geo-space. They can cause the following types of effects: changes in the electronics of flying machines, displacements of the Van Allen radiation belt, changes in the trajectory of planned space flights, damage and errors in navigation systems, electrical blockages, corrosion of oil and gas pipelines, the risk of electric shock, electrical fires, cardiovascular diseases. Aggravation and traffic accidents.

The Earth's magnetic field is a shield that protects against cosmic shortwave radiation and is constantly under great influence. It is particularly vulnerable to solar coronal eruptions, sunspots, the solar magnetic field, and cosmic rays. Charged particles: protons, electrons, mesons, positive and negative ions and neutrons cause the magnetic field to break and enter the atmosphere. At the poles, they cause the so-called Aurora Borealis. In general, on Earth, geomagnetic storms play a major role in shaping the weather on Earth. Different charged particles act as cloud condensation nuclei and cause increased cloud cover, and also act as additional nuclei for rain and ice crystals, causing increased precipitation in specific areas. Also, charged particles in the atmosphere strengthen the electric field, which is manifested in the increase in the intensity of lightning. The total electron content parameter transmitted by the NASA satellite THEMIS has been widely used for ionospheric weather forecasting.

Sunspots are places where most storms form. The Sun rotates on its axis with a period of about 27 days, and most sunspots remain active for several revolutions, producing cyclical 27-day solar storms.

Solar flares are eruptions on the surface of the Sun. About 8 minutes after the eruption, powerful electromagnetic radiation reaches the Earth in the form of gamma rays, extreme ultraviolet, X-rays and radio waves. Ultraviolet waves heat the upper layers of the atmosphere. X-rays knock electrons out of atoms and create an extra large

electron cloud in the radiation belts. Solar flares jam satellite communications, radar communications, jam short-wave radio communications, often cause changes in satellite orbit parameters, and other concerns. The strength of geomagnetic storms depends on the orientation of the Earth's magnetic field with respect to the Sun's field. If it is south, then it is strong, if it is north, it is weak.

Chapter 8 "Geo-magnetic indices and the dependence of weather and climate parameters " – the purpose of the research is to study the possible influence of magnetic storms on the development of meteorological processes in the atmosphere and changes in meteorological parameters. Meteorological events caused by the solar wind are currently poorly represented in weather and climate models. Geomagnetic indices are measures of geomagnetic activity that occur over short periods of time. *dst*, *kp*, and *aa* indices and observational data of meteorological parameters (temperature, precipitation, wind) of 3 days before and after the storm and synoptic maps are used for correlation analysis. For particle collisions in the atmosphere, the wave model is flexible considering the resonant exchange photon. An image of the interaction potential for the van der Waals force between macroparticles is obtained for atmospheric clusters. The atmosphere is imagined as a set of clusters at different levels that interact by absorbing and emitting energy. The Earth's environment is one of the possible sources of renewable energy, the use of which is an opportunity to switch to new energy carriers.

Chapter 9 "Weather and climate change models and future scenarios" – the RCP4.5 scenario is used to predict the expected climate change. RegCM regional climate model version 4.6.0 was used to improve the global forecast scale. In this version, the mechanisms of description and parameterization of a number of physical and chemical processes are refined. This model also takes into account the effects of dust and aerosols. In addition, RegCM version 4.6.0 allows for improved horizontal scaling with one way nesting. All regional climate model simulations were first performed on a coarser scale (30 km) and relatively large area, and then rescaled to a 10 km grid.

The conclusion summarizes the important results of the research

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., დავითაშვილი მ., სახიაშვილი მ. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე. მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, შრომები, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ISSN 1512-1135, ტ. LXXV, თბილისი, 2022, გვ. 117 – 136. http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/10298/1/12_Tr_IG_75_2022.pdf
2. ელიზბარაშვილი ე. საქართველოს კლიმატური რესურსები. ISBN 99928-885-7-1, თბილისი, 2007, 428 გვ. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/6090/1/Saqartvelos%20Klimaturi_%20Resursebi.pdf
3. ელიზბარაშვილი ე. საქართველოს ჰავა. ISBN 978-9941-0-9584-9, თბილისი, 2017, 360 გვ.
4. ელიზბარაშვილი მ., გაფრინდაშვილი გ., ელიზბარაშვილი ე., დვალიშვილი გ., ჩიხრაძე ნ., ხუნწელია თ., რიკაძე მ. საშიში გეოლოგიური და ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენები ცენტრალური კავკასიონის საზღვრისპირა რეგიონებში – ყაზბეგი, დუშეთი, თიანეთი და მცხეთა. გამომცემლობა „უნივერსალი“, ISBN 978-9941-33-305-7, თბილისი, 2022, 200 გვ.
5. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება, თბილისი, 2015, 288 გვ.
6. კუტალაძე ნ., მიკუჩაძე გ., სოხაძე გ., მეგრელიძე ლ. ამინდის რიცხვითი მოდელი WRF. 2020, 42 გვ.
7. მელაძე მ., ტატიშვილი მ., მკურნალიძე ი., კაიშაური მ. ნახშირბადის სეკვესტრი გაუყტურების და ტყის დეგრადაციის შეემცირებისათვის თანამგზავრული ტექნოლოგიების გამოყენებით. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული ჟურნალი „სატყეო მოამბე“. ტ. 8, 2014, გვ. 45-51.
8. მესტვირიშვილი შ., ბენაშვილი მ., კოდუა მ. ზოგი რამ სეტყვის პრობლემების შესახებ. ახალგაზრდა მეცნიერთა საერთაშორისო კონფერენცია „დედამინის შემსწავლელი მეცნიერების თანამედროვე პრობლემები“ შრომები, ISBN 978-9941-36-044-2, თბილისი, 21-22 ნოემბერი, 2022 წ. გვ.169-172. <http://dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/10248?mode=full>
9. რობიტაშვილი გ., ტატიშვილი მ. ღრუბელში მიმდინარე მიკროფიზიკური პროცესების პარამეტრიზაცია. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ.104, 2001, გვ. 55-64.
10. საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების შესახებ გაეროს ჩარჩო კონვენციისადმი. თბილისი, 2020, 542 გვ. <https://www.undp.org/ka/georgia/publications/საქართველოს-მეოთხე-ეროვნული-შეტყობინება-კლიმატის-ცვლილების-შესახებ-გაეროს-ჩარჩო-კონვენციისადმი>
11. სეტყვა და მასთან ბრძოლა. ჰიდრომეტეოროლოგიის აქტიური ზემოქმედების სამსახურის 1967-1989 წწ. მუშაობის ძირითადი შედეგები. თბ., 1990, 15 გვ.
12. ტატიშვილი მ., ბოლაშვილი ნ., მკურნალიძე ი. დედამინის ღერძის პრეცესია, მზის აქტივობა და კლიმატის ცვლილება. გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომები, 4(84), 2013.
13. ტატიშვილი მ., დემეტრაშვილი დ., მკურნალიძე ი. ამინდის საპროგნოზო მოდელირება საქართველოში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. აკად. ი. ფრანგიშვილის დაბადების 85 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა“ შრომები, თბილისი, 2015, გვ. 428-433.

14. ტატიშვილი მ., მელაძე მ., მკურნალიძე ი., კაიშაური მ. თანამგზავრული ინფორმაციის გამოყენება კლიმატის ცვლილების შერბილებისათვის აგრომეტეოლოგიაში. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია. საერთაშორისო კონფერენციის მასალები “კლიმატის ცვლილება და მისი გავლენა სოფლის მეურნეობის მდგრად და უსაფრთხო განვითარებაზე”, 2014.
15. ტატიშვილი მ., მელაძე მ., მკურნალიძე ი., კაიშაური მ. კლიმატის ცვლილების შერბილების თანამედროვე მეთოდები ტყის ეკოლოგიური მონიტორინგისათვის. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. 23, ISSN 1512-2743, 2013, გვ. 247-251.
16. ტატიშვილი მ., ქართველიშვილი ლ., მკურნალიძე ი. ელვის ზემოქმედება სხვადასხვა შენობა-ნაგებობაზე. მეცნიერება და ტექნოლოგიები 1(724), ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2017, გვ. 62-69.
17. ქართველიშვილი ლ. კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების გათვალისწინება მშენებლობაში. თბილისი, 2001, 150 გვ.
18. ქართველიშვილი ლ., ამირანაშვილი ა., მეგრელიძე ლ., ქურდაშვილი ლ. ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შეფასება კლიმატის ცვლილების ფონზე. გამომცემლობა "მწიგნობარი", ISBN 978-9941-485-01-5, თბილისი, 2019, 161 გვ., <http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/293074/1/turistulRekreaciuliResursebisShefasebaKlimatisCvlibebisFonze.pdf>
19. ქართველიშვილი ლ., მეგრელიძე ლ., მელიქიძე კ., ქურდაშვილი ლ., დეკანოზიშვილი ნ., საქართველოში კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით ახალი სამშენებლო-კლიმატური ნორმების დადგენა. გამომცემლობა „მწიგნობარი“, 2018, 155 გვ.
20. A Brief Mathematical Guide to Earth Science and Climate Change. Space Math <http://spacemath.gsfc.nasa.gov>
21. Acquotta F., Fratianni S., Garzena D. Temperature Changes in the North-Western Italian Alps from 1961 to 2010. Theoretical and Applied Climatology, ISSN 0177-798X, Elettronico, 122:3, 2015, pp. 619-634, DOI 10.1007/s00704-014-1316-7
22. Ahrens C.D., Henson R. Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment. 12th Edition, Cengage Learning. ISBN 9781337616669, 1337616664, 2019.
23. Amiranashvili A.G. On the Role of Cosmic and Radioactive Radiation on the Formation of the Secondary Aerosols in Atmosphere. Int. Conference “Near-Earth Astronomy 2007” Abstract, Terskol, Russia, 3-7 September 2007, p. 85.
24. Amiranashvili A. Connection Between the Characteristics of Thunderstorm Activity and Air Pollution in Kakheti Region of Georgia. Proc. of IX Int. Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Brazil, 26-30 November 2007.
25. Amiranashvili A. Statistical Models of Connection of Lightning Activity with Aerosol Pollution of Atmosphere. Proc. of X Int. Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 9-13 November 2009, pp. 261-266. https://scholar.google.ru/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=NtvBm-8AAAAJ&cstart=100&pagesize=100&sortby=pubdate&citation_for_view=NtvBm-8AAAAJ:ufrVoPGSRksC
26. Amiranashvili A. Connection of Lightning Activity with Air Electrical Conductivity in Dusheti. Proc. of the XIth Int. Symp. of Lightning Protection, SIPDA, Fortaleza, Brazil, October 3-7, 2011, http://109.205.44.60/bitstream/123456789/643/1/XI_SIPDA_2011_Amiranashvili_Article.pdf.
27. Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of

- Protection and Fight with Their Negative Consequences. Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp. 155-164. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
28. Amiranashvili A.G. History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia. In the book: Essays of the History of Weather Modification in the USSR and the Post-Soviet Territory, ISBN 978-5-86813-450-0, St. Petersburg, RSHMU, 2017, 352 pp., ill., pp. 234-254, (in Russian), <http://mig-journal.ru/toauthor?id=4644>.
 29. Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 86-90.
 30. Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global Warming in 1880-2021. II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, ISBN 978-9941-36-030-5, 2022, pp. 265-269. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10118>
 31. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Bachiasvili L.L., Bibilashvili T.N., Supatashvili G.D. Influence of the Anthropogenic Pollution of the Atmosphere and Thunderstorms on the Precipitations Regime and their Chemical Composition in Alazani Valley Conditions. Proc. 14th International Conference on Clouds and Precipitation , Bologna , Italy ,18-23 July 2004, 2_3_216.1-2_3_216.2.
 32. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili, V.A., Bakradze, T.S., Chikhladze, V.A., Glonti, N.Ya., Kharchilava, J.F., Tuskia, I.I. On the Influence of Cosmic Rays on the Secondary Aerosols Formation in the Atmosphere. 7th Int. Conference "Problems of Geocosmos", Abstract, St. Petersburg, Russia, 26 – 30 May, 2008.
 33. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P., Chumburidze Z.A. Some Characteristics of a Thunderstorm Activity in Georgia, Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, vol.1, 2003, pp. 711-714.
 34. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Bibilashvili T., Chumburidze Z., Gzirishvili T., Doreuli R., Nodia A., Khorguani F., Kolesnikov Yu. Distribution of Convective Clouds and Lightning Discharges of the Earth Surface in Kakheti Region of Georgia. Proc. 13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, vol. 2, 2000, pp. 1050-1052.
 35. 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 Sc., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.
 36. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kirkitadze D.D., Tavartkiladze K.A. Some Results of Investigation of Variations of the Atmospheric Aerosol Optical Depth in Tbilisi. Proc. 16th Int. Conf. on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, 416-419.
 37. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-Temporary Characteristics of Number of Days with a Hails in the

- Warm Period of Year in Georgia. Proc. 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004, 2_2_215.1-2_2_215.2.
38. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Nodia A., Kirkitadze D. Connection of Thunderstorm Processes Intensity with Aerosol Pollution of the Atmosphere. Proc. 13th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 13-18 August 2007.
 39. Amiranashvili A.G., Bakradze T. S., Berianidze N.T., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. Effect of Mean Annual Changeability of Air Temperature, Surface Ozone Concentration and Galactic Cosmic Rays Intensity on the Mortality of Tbilisi City Population. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.19B, Tbilisi, 2016, pp. 135-143.
 40. Amiranashvili A., Bakradze T., Erkomaishvili T., Ghlonti N., Tuskia I. On the Relationship of Annual Variations of the Intensity of Galactic Cosmic Rays with the Variability of Total Cloudiness, Atmospheric Precipitation and Air Temperature in Tbilisi in 1966-2015. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 64 – 71. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202731>
 41. Amiranashvili A., Bakradze T., Ghlonti N., Khazaradze K., Japaridze N., Revishvili A. Influence of Variations of the Annual Intensity of Galactic Cosmic Rays on the Mortality of the Population of Georgia. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 163 – 166.
 42. Amiranashvili A.G., Bakradze T.S., Ghlonti N.Ya., Khurodze T.V., Tuskia I.I. On the Connection Between Annual Variations of the Intensity of Galactic Cosmic Rays and the Changeability of Cloudiness and Air Temperature in Tbilisi. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.19B, Tbilisi, 2016, pp. 128-134.
 43. Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 164-168.
 44. Amiranashvili A.G., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P. Correlation Between Number of Thunder-Days and Duration of Thunderstorm Activity in Eastern Georgia. Proc. 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004, 2_1_214.1-2_1_214.4.
 45. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical Smog in Tbilisi. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, ISSN 1512-1135, vol. LXIII, 2012, 160 p., (in Georgian).
 46. Amiranashvili A., Bliadze T., Jamrlishvili N., Kekenadze E., Tavidashvili Kh., Mitin M. Some Characteristics of Hail Process in Georgia and Azerbaijan on May 28, 2019. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 22(2), 2019, pp. 40–54, <http://openjournals.gela.org.ge/index.php/GGS/>
 47. Amiranashvili A., Bliadze T., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015. Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 70, Tb., 2019, pp. 112-118, (in Russian).

48. Amiranashvili A., Bolashvili N., Gulashvili Z., Jamrlishvili N., Suknidze N., Tavidashvili Kh. Distribution of Hail by Mean Max Size on the Territories of Municipalities of the Kakheti Region of Georgia. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 84 – 87.
49. Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Gulashvili Z.M., Jamrlishvili N.K., Suknidze N.E., Tavidashvili Kh.Z. Modeling the Distribution of Hailstones by Mean Max Sizes on the Territory of Kakheti (Georgia) using Data of the Freezing Level in the Atmosphere and Radar Measurements. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(1), 2021, pp. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212881>
50. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Matzarakis A., Kartvelishvili L. Tourism Climate Index in the Coastal and Mountain Locality of Adjara, Georgia. International Scientific Conference “Sustainable Mountain Regions: Make Them Work”. Proceedings, Borovets, Bulgaria, ISBN 978-954-411-220-2, 14-16 May, 2015, pp. 238-244, http://geography.bg/MountainRegions_Sofia2015
51. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Trofimenko L. Dynamics of the Thirty-Year Moving Average Values of the Air Temperature in Tbilisi and St.-Petersburg with 1851 to 2010 and their Extrapolation to 2051-2080. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 12-16, <http://icae-2015.tsu.ge/>
52. Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary Results of a Study of the Relationship Between the Variability of the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Landslide Processes in Georgia. Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 202-206. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8809/1/Eco_2020_3.33.pdf
53. Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary Results of a Study of the Relationship Between the Monthly Mean Sum of Atmospheric Precipitation and Landslide Cases in Georgia. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 37 – 41. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202726>
54. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Some Results of a Study of the Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Landslide Cases in Georgia Taking into Account of Climate Change. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225959>
55. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
56. Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili

- Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
57. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh. Some Characteristics of Hail Processes in Kakheti (Georgia) According to Radar Observations into 2016-2019. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 23(2), 2020, pp. 50 – 56. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202729>
 58. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the Role of Artificial Ice Forming Reagents and Radioactive Intermixtures in the Variation of Convective Clouds Thunderstorm and Hail Activity. *Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation*, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, pp. 267-270.
 59. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Investigation of the Variations of Electrical and Radar Parameters of Thunderclouds. *Proc. 8th Int. Conf. On Atmospheric Electricity*, Uppsala, Sweden, 13-16 June, 1988, pp. 388-391.
 60. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Variation of Thunderclouds Electrical and Radar Parameters as a Result of Artificial Modification. *Pap. Subm. to the 5th WMO Sc. Conf. on Weather Modification and Appl. Cloud Physics*, Beijing, China, vol.1, WMO/TD-No 269, 8-12 May 1989, 357-358.
 61. Amiranashvili A., Jamarishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Statistical Analysis of the Daily Wind Speed in Tbilisi in 1971-2016. *Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 159-163. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10250>
 62. Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Changeability of the Monthly Mean Values of Air Effective Temperature on Mtskheta in Batumi in 1956-2015. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 25(2), 2022, pp. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225960>
 63. Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Preliminary Results of a Study on the Impact of Some Simple Thermal Indices on the Spread of COVID-19 in Tbilisi. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 25(2), 2022, pp. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225961>
 64. Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Megrelidze L., Khazaradze K. Statistical Characteristics of the Monthly Mean Values of Air Effective Temperature on Mtskheta in the Autonomous Republic of Adjara and Kakheti (Georgia). *Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. LXIX, 2018, pp. 118-138, (in Russian).
 65. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L. G. Long-Term Variations of Air Effective Temperature in Tbilisi. *Trans. of the Institute of Hydrometeorology*, vol. 115, ISSN 1512-0902, Tb., 2008, pp. 214–219, (in Russian).
 66. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G. Holiday Climate Index in Kakheti (Georgia). *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(1), 2021, pp. 44-62. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212883>
 67. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Holiday Climate Index in Some Mountainous Regions of Georgia. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth*,

- Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(2), 2021, pp. 92 – 117. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213327>
68. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Holiday Climate Index in Different Mountainous Regions of Georgia in 1956-2015. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(2), 2021, pp. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>
 69. Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. On the Connection of Monthly Mean of Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index with the Mortality of the Population of Tbilisi City Apropos of Cardiovascular Diseases. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 21(1), Tbilisi, 2018, pp.48 -62. <http://www.jl.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2489>
 70. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Changeability of the Holiday Climate Index (HCI) in Tbilisi. *Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 129-137.
 71. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Tbilisi. *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 424-427.
 72. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Megrelidze L.D. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index in Adjara and Kakheti (Georgia). *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 77-94.
 73. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Saakashvili N.M., Chikhladze V.A. Long-Term Variations of Air Effective Temperature in Kutaisi. “Modern Problems of Using of Health Resort Resources”, *Collection of Scientific Works of International Conference, Sairme, Georgia, June 10-13, 2010*, ISBN 978-9941-0-2529-7, Tbilisi, 2010, pp. 152-157, (in Russian).
 74. Amiranashvili A., Kereselidze Z., Mitin M., Khvedelidze I., Chikhladze V. Alarming Factors of the Microclimate of the Vere River Valley and their Influence on the Floods Intensity. *Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. 69, Tb., 2018, pp. 196 – 210, (in Georgian). http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/7517/1/IG_T_69_2018_Red_20.pdf
 75. Amiranashvili A.G., Kirkitadze D.D., Kekenadze E.N. Pandemic of Coronavirus COVID-19 and Air Pollution in Tbilisi in Spring 2020. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 23(1), 2020, pp. 57-72. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202654>
 76. Amiranashvili A., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh., Chikhladze V. Some Results of Anti-Hail Works in Kakheti into 2016-2020. *Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 123-128. (in Georgian). http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8934/1/15_Tr_72_2020.pdf
 77. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate Change in Georgia: Statistical and Nonlinear Dynamics Predictions, *Journal of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth*, ISSN: 1512-1127, v. 15a, 2011-2012, pp. 67-87.

78. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumburidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of Number of Hail and Thunderstorm Days in the Regions of Georgia with Active Influence on Atmospheric Processes. *Bull. of the Georgian Acad. of Sciences*, 172, N3, 2005, 484-486.
79. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Variability of Monthly and Seasonal Air Temperature in Tbilisi and Kislovodsk in 1931-2020. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 27 – 30.
80. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Tourism Climate Index and the Holiday Climate Index in the North Caucasus. *Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. LXXIII, 2021, pp. 96-113, (in Russian).
81. Amiranashvili A.G., Revishvili A.A., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Connection of Holiday Climate Index with Public Health (on Example of Tbilisi and Kakheti Region, Georgia). *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24 (1), 2021, pp. 63-76. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212884>
82. Araci S.F. S., Demiroglu O. C., Pacal A., Hall C. M., Kurnaz, M. L. Future Holiday Climate Index (HCI) Performances of Urban and Beach Destinations in the Mediterranean. *EGU General Assembly 2021*, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-13217, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13217>, 2021.
83. Arnold N.F., Robinson T.R. Solar Magnetic Flux Influences on the Dynamics of the Winter Middle Atmosphere. *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, N 12, 2001, pp. 2381-2384.
84. Ayers G.P., Bigg K.K., Turvey D.E. Aitken Particle and Cloud Condensation Nucleus Fluxes in the Plume from an Isolated Industrial Source. *J. Appl. Meteor.*, vol. 18, No 4, 1979, pp. 449-459.
85. Barriopedro D., García-Herrera R., Lupo A.R et al. A Climatology of Northern Hemisphere Blocking. *Journal of Climate* 19, 2006, pp.1042-1063.
86. Baur G. et al. *Nuclear Physics*, A 729, 2003, pp. 787–808.
87. Beglarashvili N., Chikhladze V., Janelidze I., Pipia M., Tsintsadze T. Strong Wind on the Territory of Georgia in 2014-2018. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 19 – 22.
88. Beglarashvili N., Gorgijanidze S., Kobakhidze N., Pipia M., Chikhladze V., Janelidze I., Jincharadze G. Heavy Snow and Avalanches on the Territory of Georgia in 2014-2018. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 25(2), 2022, pp. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225957>
89. Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Hail Storms in Kakheti (Georgia) in 2014-2018. *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 176-179.
90. Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Heavy Rainfall, Floods and Floodings in Kakheti (Georgia) in 2014-2018. *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 180-184.

91. Biqiang Zh., Weixing W., Libo L., Igarashi K., Yumoto K., Baiqi N. Ionospheric Response to the Geomagnetic Storm on 13-17 April 2006 in the West Pacific Region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 71, Iss. 1, 2009, pp. 88-100. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009JASTP..71...88Z/abstract>
92. Bliadze T., Amiranashvili A., Chkhitunidze M., Laghidze L. Statistical Analysis of Angstrom Fire Index for Kutaisi, Georgia. II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 270-274. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10119>
93. Bliadze T., Povolotskaya N., Senik I. Comparison of Angstrom Fire Index for Tbilisi (Georgia) and Kislovodsk (Russia). International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021, pp. 158-162.
94. Bochnůček J., Hejda P., Bucha V., Pycha J. Possible Geomagnetic Activity Effects on Weather. *Ann. Geophysicae* 17, 925±932 (1999) Ó EGS. Springer-Verlag 1999.
95. BSR/ASHRAE Standard 55P, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy 2/24/03 Most Current Draft Standard, 2003, 50 p.
96. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Inyskirveli L., Kuchava T., Gurgenidze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, Georgia’s Initial National Communication on Under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Project GEO/96/G31, Tbilisi, 1999, pp. 33-45.
97. Burns A. G., Killeen T. L., Deng' W., Carignan G.R. Geomagnetic Storm Effects in the Low – to Middle-Latitude Upper Thermosphere. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, N A8, 1995, pp. 14673-1691.
98. CALIPSO Studies Aerosols and Clouds Using Innovative Observation Methods. NASA. Science Mission Directorate. 2008
99. Carrillo J., González A., Pérez J. C., Expósito F. J., Díaz, J. P. Impact of Climate Change on the Future of Tourism Areas in the Canary Islands, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-11981, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11981>, 2021.
100. Chikhladze V., Amiranashvili A., Gelovani G., Tavidashvili Kh., Laghidze L., Jamrshvili N. Assessment of the Destructive Power of a Tornado on the Territory of the Poti Terminal on September 25, 2021. II Int. Sc. Conf. “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, ISBN 978-9941-36-030-5, 2022, pp. 275-281, (in Georgian). <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10120>
101. Chikhladze V., Jamrshvili N., Tavidashvili Kh. Tornadoes in Georgia. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 23 – 26.
102. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. <http://www.ipcc.ch>.

103. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 41 p., <https://www.ipcc.ch>
104. Connor H.K., Zesta E., Fedrizzi M., Shi Y., Raeder J., Codrescu M.V., Fuller-Rowell T. J. Modeling the Ionosphere-Thermosphere Response to a Geomagnetic Storm Using Physics-Based Magnetospheric Energy Input: Open GGCM-CTIM Results. *Journal Space Weather Space Clim.*, 6, A25, 2016. DOI: 10.1051/swsc/2016019
105. Daglis I.A. Advanced Study Institute on Space Storms and Space Weather Hazards. National Observatory of Athens, 2000.
106. Davitashvili T., Kutaladze N., Megrelidze L., Mikuchadze G., Gogichaishvili G., Samkharadze I., Qvatadze R. Evaluation of Multi-Model Hindcasts for Land Surface Air Temperature over Georgia. *Annals of Agrarian Science* 18, no 4, 2020, pp. 507–520.
107. Davitashvili T., Megrelidze L., Qvatadze R., Samkharadze I., Gogichaishvili G., Kutaladze N., Mikuchadze G. Future Scenarios of Air Temperature Maximums and Minimums for Georgia Based on Statistical Downscaling. *Annals of Agrarian Science* 18, no 3, 2020, pp. 314-331.
108. Davitashvili T., Samkharadze I., Sharikadze M. Modeling of Extreme Events and Regional Climate Variability on the Territory of the Caucasus (Georgia) *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, Vol. 334, 2020, pp. 61-82. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56356-1_5
109. Dessens J., Fraile R., Sanchez J.L. Weekly Distribution of Hailfalls and Hailstone Size Distributions in Southwestern France, Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, Vol. 2, 2000, pp.1061-1064.
110. Didan K., Huete A. MODIS Vegetation Index Product Series Collection 5 Change Summary. TBRs Lab., The University of Arizona, 2006.
111. Earthdata.nasa.gov
112. Energetic Particle Precipitation Interconnection with Climate. Natural Environment Research Council European Union, 2018. https://cordis.europa.eu/result/rcn/60754_en.html
113. False Claims of a Coming Ice Age — <https://climatefeedback.org/false-claims-coming-ice-age-ecosystem-unreliable-news-sites-blogs-social-media-accounts/>
114. Förster M., Namgaladze A.A., Yurik R.Y. Thermospheric Composition Changes Deduced from Geomagnetic Storm Modeling. *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, N 16, 1999, pp. 2625-2628, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>
115. Fox N., Collier Ch. Physical Disaggregation of Numerical Model Rainfall. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 4, 2000, pp. 419–424. <https://doi.org/10.5194/hess-4-419-2000>
116. Freitas C. R., Grigorieva E. A. A Comprehensive Catalogue and Classification of Human Thermal Climate Indices. *Int. J. Biometeorol*, 59, 2015, pp. 109–120, DOI 10.1007/s00484-014-0819-3
117. Gannon J.L., Love J.J. USGS 1-MinDst Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73, 2011, pp. 323–334.
118. Gaprindashvili G., Westen C.V. Generation of a National Landslide Hazard and Risk Map for the Country of Georgia. *Nat Hazards*, 80(1), 2016, pp. 69–101. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-19585>
119. Geneve R., La grele, Paris, 1961, 82 p.
120. Ghanbari S., Karimi J. The Review of Changes in Tourism Climate Index (TCI) Isfahan (2005-1976). *Journ. of Regional Planning*, vol. 3, No 12, Winter 2014, pp. 71 – 82.
121. Gruza G.V., Meshcherskaya A.V. *Izmemenia klimata v Rossii za period instrumentalnih nabliudeni*, 2008, <http://climate2008.igce.ru/v2008/v1/vI-3.pdf>.

122. Hajcek P. A New Approach to Quantum Measurement Problem: Cluster Separability. *Journal of Physics: Conference, Series* 306, 2011, 012035 doi:10.1088/1742-6596/306/1/012035
123. Hajra R., Tsurutani B.T., Echer E., Gonzalez W.D., Gjerloev J.W. Super Substorms (SML<_2500nT): Magnetic Storm and Solar Cycle Dependences. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 2016, doi:10.1002/2015JA021835
124. Harada Y., Goto A., Hasegawa H., Fujikawa N. A Major Stratospheric Sudden Warming Event in January 2009. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 67, 2009.
125. Hasted D. *Physics of Atomic Collisions*, 1965.
126. Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J. Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *SCIENCE*, Vol. 194, Iss. 4270, 1976, pp. 1121-1132. DOI: 10.1126/science.194.4270.1121.
127. Heliophysics Science and the Moon Potential Solar and Space Physics Science for Lunar Exploration. Subpanel for Heliophysics Science and the Moon. Report to the NASA Advisory Council Heliophysics Subcommittee. 2007, 70 pp. https://science.nasa.gov/science-pink/s3fs-public/atoms/files/Final_508Compliant_MoonRpt.pdf
128. Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S. G. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. Boston, MA, Houghton Mifflin Company, ISBN: 0618124055; 9780618124053, 2003, 756 p.
129. Horvath A. Anisotropy of Water Cloud Reflectance: A Comparison of Measurements and 1D Theory. Department of Atmospheric Sciences, The University of Arizona, USA. 2004. <https://doi.org/10.1029/2003GL01838>
130. Horvath A., Davies R. Comparison of Microwave and Optical Cloud Water Path Estimates from TMI, MODIS and MISR. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 11, 2007. <https://doi.org/10.1029/2006JD007101>
131. Horvath A., Soden B. Lagrangian Diagnostics of Tropical Deep Convection and its Effect Upon Upper-Tropospheric Humidity. *American Met. Society*, 2008, pp. 1013–1028. DOI: <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1786.1>
132. <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html>
133. <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>
134. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
135. <https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2>
136. Huete A., Justice C., van Leeuwen W. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document Version 3. University of Arizona. University of Virginia Department of Environmental Sciences, 1999
137. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013)
138. IPCC AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis (from the 6th Assessment report by the IPCC), 2021.
139. Jakob C. Accelerating Progress in Global Model Development – Challenges, Opportunities and Strategies. School of Mathematical Sciences, Monash University, Melbourne, Australia. 2009, 8 pp.
140. Jakob C. The Representation of Cloud Cover in Atmospheric General Circulation Models. Dissertation der Fakultät für Physik der Ludwig – Maximilians – Universität München. München, den 19. Oktober 2000, 201 pp. https://edoc.ub.uni-muenchen.de/328/1/Jakob_Christian.pdf
141. Jamrlishvili N., Tavidashvili Kh. Effect of Climate Change on the Freezing Level in Kakheti. *Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”*.

- Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, 2019, pp. 91-95.
142. Javakhishvili N., Kekenadze E., Mitin M., Samkharadze I. Storm Wind in Tbilisi and Rustavi Cities on 21 September 2019. Analysis of Data of Radar, Aerological and Ground-Based Measurements. *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 172-175.
 143. Kamide Y., Kusano K. No Major Solar Flares but the Largest Geomagnetic Storm in the Present Solar Cycle. *Space Weather*, 13 (6), 2015, pp. 365–367. doi:10.1002/2015SW001213
 144. Karinen A., Mursula K. Correcting the Dst Index: Consequences for Absolute Level and Correlations. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, A08207, 2006. doi:10.1029/2005JA011299
 145. Kauffman Ph., Ruiz-Columbié A. Artificial Atmospheric Ionization: A Potential Window for Weather Modification. *Physics, Environmental Science*, 2004, 19 pp.
 146. Klein S.A., Pincus R., Xu K.-M. Using Cloud Resolving Model Simulations of Deep Convection to Inform Cloud Parameterizations in Large-Scale Models. Twelfth ARM Science Team Meeting Proceedings, St. Petersburg, Florida, April 8-12, 2002. https://www.arm.gov/publications/proceedings/conf12/extended_abs/klein-sa.pdf
 147. Kobisheva N., Narovlianski G. Climatological Processing of the Meteorological Information, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 294 p., (in Russian).
 148. Kutaladze N., Megrelidze L., Kordzakhia G. Evaluation of Multi-Model Hindcasts of Overland Precipitation for Georgia. In: Vitková, J., Botyanszká, L. (eds.), *Interdisciplinary Approach in Current Hydrological Research*. IH SAS, E-Book, Bratislava, ISBN: 978- 80-89139-53-8, 2022, pp. 174-187.
 149. Kutiev I., Tsagouri I., Perrone L., et al. Solar Activity Impact on the Earth’s Upper Atmosphere. *J. Space Weather Space Clim.*, 3, 2013, A06. DOI: <https://doi.org/10.1051/swsc/2013028>
 150. Lam M.M., Tinsley B.A. Solar Wind-Atmospheric Electricity-Cloud Microphysics Connections to Weather and Climate. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* Vol. 149, 2016, pp. 277-290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2015.10.019>
 151. Landau L.D., Lifshic E.M. *Quantum Mechanics*. Vol. 3, 1989
 152. Landsberg H.E. The Assessment of Human Bioclimate. A Limited Review of Physical Parameters. Technical Note No 123, WMO, No 331, 1972, 37 p.
 153. Landscheidt T. Solar Eruptions Linked to North Atlantic Oscillation. Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity, Canada. <http://www.johndaly.com/theodor/solarnao.htm>
 154. Laštovička J. Laštovička J. Effects of Geomagnetic Storms in the Lower Ionosphere, Middle Atmosphere and Troposphere. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Vol. 58, N 7, 1996, pp. 831-843. DOI: 10.1016/0021-9169(95)00106-9
 155. Le Mouél J-L., Blanter E., Shnirman M., Courtillot V. On Secular Changes of Correlation Between Geomagnetic Indices and Variations in Solar Activity. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, A09103, 2012. doi:10.1029/2012JA017643
 156. Lockett J., Krumm D. Cloudsat Education Network. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 19 pp. [cloudsat education network – Ams.Confex.Com](http://cloudsat.educationnetwork.com).
 157. Lukić T., Marić P., Hrnjak I., Gavrilov M. B., Mladjan D., Zorn M., ... & Stojšavljević R. Forest Fire Analysis and Classification Based on a Serbian Case Study. *Acta geographica Slovenica*, 57 (1), 2017, pp. 51-63.

158. Malki K., Bounhir A., Benkhaldoun Z., Makela J.J., Vilmer N., Fisher D.J., Kaab M., Elbouyahyaoui Kh., Harding B.J., Laghriyeb A., Daassou A., Lazrek M. Ionospheric and Thermospheric Response to the 27-28 February 2014 Geomagnetic Storm. *Ann. Geophys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/angeo-2018-24>
159. Malvil B., Srivastav P.S., Mansoori A.A., Atulkar R., Bhardwaj S., Purohit P.K. Morphological Investigation of Disturbed Ionosphere during Intense Geomagnetic Storms. *Journal of Physics: Conference Series* 759, 2016, 012067 doi:10.1088/1742-6596/759/1/012067
160. Manninen P. <http://www.chem.helsinki.fi/~manninen/mqm06.html> manninen@chem.helsinki.fi
161. Marusek J.A. *Solar Storm Threat Analysis*. Impact, Bloomfield, Indiana 47424, 2007, 29 p. http://www.breadandbutter-science.com/Solar_Storm_Threat_Analysis.pdf
162. Matzarakis A. *Climate, Thermal Comfort and Tourism. Climate Change and Tourism-Assessment and Coping Strategies*, 2007, pp.139-154.
163. McCarthy D.D. Precision time and the rotation of the Earth. *International Astronomical Union*. 2004, pp.180-196. doi:10.1017/S1743921305001377
164. McCarthy D. D., Seidelmann, P. K. *Time: From Earth Rotation to Atomic Physics*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, ISBN 978-3-527-40780-4, 2009, 351 pp. <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/1.3529005>
165. McLean J. Late Twentieth-Century Warming and Variations in Cloud Cover. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014, 4, pp. 727-742. <http://www.scirp.org/journal/acs>. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.44066>
166. Meladze M., Tatsishvili M., Mkurnalidze I., Kaishauri M. Carbon Sequestration for Deforestation and Forest Degradation Reduction using Satellite Technologies. *International Scientific-Practical Journal "Forestry Bulletin"*, vol.8, 2014.
167. Meladze M., Tatsishvili M., Mkurnalidze I., Kaishauri M. Climate Change Mitigation Modern Techniques for Forest Ecological Monitoring. *Bulletin of Academy of Agricultural Sciences of Georgia*, Vol.32, ISSN 1512-2743, 2013, pp. 247-251.
168. Mieczkowski Z. The Tourism Climate Index: A Method for Evaluating World Climates for Tourism. *The Canadian Geographer* 29, 1985, pp. 220-233.
169. Mihăilă D., Piticar A., Briciu A. E., Bistricean P. I., Lazurca L. G., Puțuntică A. Changes in Bioclimatic Indices in the Republic of Moldova (1960–2012): Consequences for Tourism. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 77, 2018, pp. 521–548. doi: 10.21138/bage.2550
170. Milan S. E., Clausen L. B. N., Coxon J. C. et al. Overview of Solar Wind–Magnetosphere–Ionosphere–Atmosphere Coupling and the Generation of Magnetospheric Currents. *Space Science Reviews*, 206, 2017, pp. 547-573. DOI 10.1007/s11214-017-0333-0
171. Mkurnalidze I., Kapanadze N., Khutsishvili E. Lightning and its Effects on Humans. *Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 151-153.
172. Mlynczak M.G., Hunt L.A., Marshall B.T., Russell J.M. III, Mertens C.J., Thompson R.E., Gordley L.L. A Combined Solar and Geomagnetic Index for Thermospheric Climate. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 2015, pp. 3677–3682. doi: 10.1002/2015GL064038.
173. Mlynczak M.G., Hunt L.A., Russell M.J. III, Marshall B.T. Thermosphere Climate Indexes: Percentile Ranges and Adjectival Descriptors. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.04.004>

174. Mlynczak M.G., Hunt L.A., Russell J. M. III, Marshall B.T., Mertens C.J., Thompson R.E. The Global Infrared Energy Budget of the Thermosphere from 1947 to 2016 and Implications for Solar Variability. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11, 2016, pp. 11934–11940. doi: 10.1002/2016GL070965
175. Mukherjee S. Cosmic Influence on the Sun-Earth Environment. *Sensors*, 8, 2008, pp. 7736-7752. DOI: 10.3390/s8127736
176. Muraleedharan T.S., Subba Ramu M.S., Vohra K.G. Experimental Studies of the Formation of Aitken Nuclei in the Atmosphere, Proc. 11th Int. Conf. on atmospheric aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Budapest, Hungary, 3-8 September, vol.1, 1984, pp. 52-57.
177. Mysteries of the Sun. Nasa's Heliophysics Division of the Science Mission Directorate. 2012.
178. Namgaladze A.A., Förster M., Yurik R. Y. Analysis of the Positive Ionospheric Response to a Moderate Geomagnetic Storm Using a Global Numerical Model. *Ann. Geophysicae* 18, 461±477 (2000) Ó EGS ± Springer-Verlag 2000.
179. NASA Science Mission Directorate. <https://science.nasa.gov>
180. NOAA. Office of Satellite and Product Information. National Environmental Satellite, Data and Information Service.
181. NOAA/SWPC, Boulder, Co, USA. spaceweatherlive.com
182. Olsson P.Q., Meyers M.P. Development and Testing of an Aerosol-Stratus Cloud Parametrization Scheme for Middle and High Latitudes. Colorado State University. https://www.arm.gov/publications/proceedings/conf05/extended_abs/olsson_pq.pdf
183. Padmashri S. Global Thermospheric Response to Geomagnetic Storms. All Graduate Theses and Dissertations. 5001. 2016. <https://digitalcommons.usu.edu/etd/5001>
184. Palmer T.N. Quantum Reality, Complex Numbers and the Meteorological Butterfly Effect. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Shinfield Park, RG2 9AX, Reading .UK. Bulletin of the American Meteorological Society”, April 2005.
185. Perelman M.E., Badinov I.Ia. Model of Cloud Formations. *Bulletin of Georgian Academy of Sciences*, Vol. 131, N2, 1988.
186. Phan T.D., Eastwood J.P., Shay M.A. et al. Electron Magnetic Reconnection without Ion Coupling in Earth's Turbulent Magnetosheath. *Nature* 557, 2018, pp. 202–206. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0091-5>
187. Phillips V.T.J., Donner L.J., Garner S.T. Nucleation Processes in Deep Convection Simulated by a Cloud-System-Resolving Model with Double-Moment Bulk Microphysics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 64, Iss. 3, 2007, pp. 738–761. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAS3869.1>
188. Pidwirny M. Causes of climate change. *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition, 2006.
189. Pipia M., Elizbarashvili E., Amiranashvili A., Beglarashvili N. Dangerous Regions of Blizzard in Georgia. *Annals of Agrarian Science*, ISSN 1512-1887, vol. 17, No 4, 2019, pp. 403 – 408.
190. Progress Report on the Implementation of the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC 2004-2008.
191. Rangarajan G. K., Iyemori T. Time Variations of Geomagnetic Activity Indices Kp and Ap: an Update. *Ann. Geophysicae* 15, 1271±1290, Ó EGS ± Springer-Verlag 1997.
192. Reconnection Tames the Turbulent Magnetic Fields Around Earth (2018, May 9). <https://phys.org/news/2018-05-reveals-energy-dissipates-earth-magnetic.html>
193. Rohli R.V., Vega A.J. *Climatology*. 4th Edition. ISBN:9781284119985, 2018, 418 pp.

194. Roshan G., Yousefi R., Fitch J.M. Long-Term Trends in Tourism Climate Index Scores for 40 Stations Across Iran: The Role of Climate Change and Influence on Tourism Sustainability. *Int. J. Biometeorol.*, 2015, DOI 10.1007/s00484-015-1003-0
195. Rybak O. O., Rybak E. A. Application of Climatic Indices for Evaluation of Regional Differences in Tourist Attractiveness. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, №121(07), 2016, 24 p., <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/16.pdf>, (in Russian).
196. Rybak O. O., Rybak E. A. Changes in the Regime of Air Temperature and Precipitation Rate in the Black Sea Region in the 20th Century. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. – Krasnodar: KubGAU, – №90 (06), 2013, 21 p., <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/15.pdf>, (in Russian).
197. Sastri J.H. Effect of Magnetic Storms and Substorms on the Low- Latitude/Equatorial Ionosphere. *ILWS Workshop 2006, GOA, February 19-24, 2006.*
198. Scott D., Mc Boyle G. Using a “Tourism Climate Index” to Examine the Implications of Climate Change for Climate as a Tourism Resource. *International Society of Biometeorology, Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation.* Retrieved from <http://www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws/ report.htm>, 2001.
199. Scott D., Ruttly M., Amelung B., Tang M. An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. *Atmosphere* 7, 80, 2016, 17 p., doi:10.3390/atmos7060080www.
200. sdo.gsfc.nasa.gov
201. Selvam A. M. A General Systems Theory for Chaos, Quantum Mechanics and Gravity. *Apeiron* 11, 2004, pp., 134-146, <http://redshift.vif.com/JournalFiles/V11NO3PDF/V11N3SEL.PDF> <http://arxiv.org/html/physics/0211066>, 2004
202. Shim J. S., Tsagouri I., Goncharenko L., Rastaette, L., Kuznetsova M., Bilitza D., et al. Validation of Ionospheric Specifications during Geomagnetic Storms: TEC and foF2 During the 2013 March Storm Event. *Space Weather*, 16, 2018. <https://doi.org/10.1029/2018SW002034>.
203. Stankevich S.A., Titarenko O.V, Svideniuk M.O. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weight-of-evidence modelling in central Georgian regions. *Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“*, Proceedings, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 187-190.
204. Stocker, T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). *IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 29 p.
205. Tatishvili M. Some Peculiarities of Mathematical Simulation of Cloud Microstructure. *Transactions of the Institute of Hydrometeorology*, Vol. 114, 2009.
206. Tatishvili M. Developing Weather Forecasting System in Georgia. *Ecology & Environmental Sciences* 2 (7), 2017. DOI:10.15406/mojes.2017.02.00046.
207. Tatishvili M. Energy Transformation in Clouds According Quantum Principles. *International Scientific Journal. Journal of Environmental Science.* vol 3. ISBN- 13: 978-1499721980; ISBN -10: 1499721986, Vienna, Austria 2014. pp. 7-9.
208. Tatishvili M. On Some Considerations of Cloud Particles and Photons Interaction. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127 *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(2), 2022. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213324>

209. Tatishvili M., Bolashvili N., Palavandishvili A. Impact of Short-Term Geomagnetic Activity on Meteorological Parameters Variability on The Middle Latitude Region. *Georgian Geographical Journal*, Vol. 2, 2022. <https://doi.org/10.52340/ggj.2022.756> 2022
210. Tatishvili M., Elizbarashvili E., Meskhia R., Sh.Elizbarashvi Sh. Natural Hydrometeorological Disasters, their Causes and Prevention Measures. The Macrotheme Review. A multidisciplinary Journal of Global Macro Trends, A Macrotheme Capital Management, LLC Academic Publication, France, ISSN 1848-4735, Vol. 2, Iss. 1, 2013, pp. 148-154.
211. Tatishvili M.R., Khvedelidze Z.V., Demetrashvili D.I. On some Weather Forecasting Models in Georgia. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN: 1512-1127, v. 23(2), 2020.
212. Tatishvili M., Khvedelidze Z., Mkurnalidze I., Samkharadze I., Kokosadze Kh. The Connection of Geomagnetic Activity and Weather Formation in Georgian Region. *International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“*, Proceedings, Vol. 6, ISSN 1512-1976, Kutaisi, Georgia, 2018.
213. Tatishvili M., Mkurnalidze I., Samkharadze I., Chinchaladze L. Application of Satellite Imaginary in Forestry for Georgia. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v.21(1), 2018, pp.18 -25 <https://openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/2484>. 2018
214. Tatishvili M., Mkurnalidze I., Samkharadze I., Tsintsadze N. Impact of Solar Coronal Mass Ejections (CME) on Formation of Earth Climate and Weather Pattern. *International Scientific Journal. Journal of Environmental Science*. Vol.7, Iss 1, ISBN -13:978-1721539185, 2018, pp. 1-5.
215. Tatishvili M.R., Palavandishvili A.M. Impact of Short-Term Geomagnetic Activity on Weather and Climate Formation in Georgian Region. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN: 1512-1127, v. 23(2), 2020.
216. 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. Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Tbilisi, 2006, 177 p., (in Georgian).
217. Tsereteli E.D., Bolashvili N.R., Gaprindashvili, G.M., Gaprindashvili M.V., Machavariani N.G. Risk of Natural Hazards in Georgia. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512- 1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(2), 2021, pp. 22 – 29.
218. Tsuda T., Shepherd M., Gopalswamy N. Advancing the Understanding of the Sun–Earth Interaction-the Climate and Weather of the Sun–Earth System (CAWSES) II program. *Prog. in Earth and Planet. Sci.* 2, 28, 2015. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0059-0>
219. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia. *Natural Hazards*, Vol. 64, Number 3, 2012, pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>.
220. Williams E.R. Lightning and Climate: A Review, *Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity*, Versailles, France, 9-13 June, vol.2, 2003, pp. 665-668.
221. Wood R., Field P.R. Relationships between Total Water, Condensed Water, and Cloud Fraction in Stratiform Clouds Examined Using Aircraft Data. *Journal of the Atmospheric*

- Sciences, Vol. 57, 1999, pp. 1888-1905.
<https://www.atmos.washington.edu/~robwood/papers/cfpaper/cfpaper.pdf#14>.
222. Wu X., Moncrieff M., Emanuel K. Evaluation of Large-Scale Forcing Dring TOGA COARE for Cloud-Resolving Models and Single Column Models. *American Met. Soc.*, Vol. 57, 2000, pp. 2977-2985. <https://texmex.mit.edu/pub/emanuel/PAPERS/wuetal2000.pdf>
223. www.spaceweather.gov
224. Yang J., Dettori R., Nunes J.P.F. et al. Direct Observation of Ultrafast Hydrogen Bond Strengthening in Liquid Water. *Nature* 596, 2021, 531–535.
<https://doi.org/10.1038/S41586-021-03793-9>
225. Zossi de Artigas M., Fernandez de Campra P., Zotto, E. M. Geomagnetic Disturbances Analysis Using Discrete Wavelets. *Geofisica Internacional*, 47(3), 2008, pp. 257–263.
<https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2008.47.3.88>
226. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 508 с.
227. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.
[http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/5264/1/Аджиев,Амиранашвили,Чаргазия_Докл_Нальчик_2014%20\(2015\).pdf](http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/5264/1/Аджиев,Амиранашвили,Чаргазия_Докл_Нальчик_2014%20(2015).pdf)
228. Амиранашвили А. Г. Исследование грозо-градовых процессов в Грузии и их связей с аэрозольным загрязнением атмосферы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Тбилиси, 2006, 53 с., http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/4920/1/Amiranashvili_Avtoreferat_2006.pdf
229. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. *Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа*, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 160-177.
http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/697/1/Tom-64_Amiranashvili.pdf
230. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвишвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. *Тр. Института гидрометеорологии*, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб.:, 2002, с. 249-260.
231. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвишвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. *Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии*, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб.:, 2013, с. 144 – 152.
232. Амиранашвили А.Г., Богачук В.С., Гзиришвили Т.Г., Нехотина Л.М., Трофименко Л.Т. Исследование взаимосвязей между радиолокационными и электрическими параметрами грозowych облаков и оценка эффективности воздействия на них. *Сб. Атмосферное электричество*, Тр. 3-го Всесоюз. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, Л., Гидрометеиздат, 1988, с. 116-119.

233. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Мкурналидзе И.П. Характеристики грозовой активности в Грузии. Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008а, с. 284–290. <http://109.205.44.60/bitstream/123456789/9759/1/115-35.pdf>
234. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.:, 18-19 ноября, 2008b, с. 427–433. <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/743/1/Setqva-Tb-Konf08Ru.pdf>
235. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 145-150. http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/726/1/Геофиз_80_Амиранашвили_град.pdf
236. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, т. 65, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2015, с. 77-100. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/5286/1/Geoph_v.65_2015_8.pdf
237. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2004а, с.133-141.
238. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг, Труды Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, 2004b, 127-132.
239. Ахвеледиани Я.Р., Ломая О.В., Саркисова Л.С. Градовые явления в Алазанской долине по данным метеорологических станций. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб., ”Мецниереба”, 1967, с. 65-74.
240. Балабуев А.Г. Грозы Закавказья. Тр. Тбил. Геоф. Ин-та, т.4, 1939.
241. Балабуев А.Г. Анализ данных о градовых явлениях в районе долин рек Иори и Алазани. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб., ”Мецниереба”, 1967, с. 56-64.
242. Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Тр. ЗакНИГМИ, вып.67(73), 1978, с. 73-82.
243. Бердзенишвили Н.М., Киркитадзе Д.Д. Обзор некоторых исследований градовых и грозовых процессов в Грузии. Труды Института геофизики им. Михаила Нодия, ISSN 1512-1135, т. LXXV, 2022, с. 57 – 75, <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10301>
244. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии. Сб. статей, Вопросы физики облаков, Облака, осадки и грозовое электричество, ГГО им. А.И.Воейкова, Гидрометеоиздат, Санкт-Петербург, 2004, 155-168.
245. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1975, 448 с.
246. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. М., ИЛ, 1960, 434 с.

247. Гавашели Ш.Г. Радиоактивное загрязнение воздуха в г. Тбилиси и его зависимость от атмосферных осадков. В кн. Метеорологические аспекты радиоактивного загрязнения атмосферы, Л., Гидрометеиздат, 1975, с. 166-177.
248. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. Л., "Гидрометеиздат", 1960, 123 с.
249. Гигинеишвили В.М. О градобитиях в Восточной Грузии и о некоторых особенностях градовых процессов в Алазанской долине. Тр. Всесоюзн. научн. совещ. по активным воздействиям на градовые процессы, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб., 1964, с. 8 -18.
250. Гуния С.У. Грозовые процессы в условиях Закавказья. Л., Гидрометеиздат, 1960, 123 с.
251. Давитая Ф.Ф., Таваркиладзе К.А. Проблема борьбы с градобитием, морозами в субтропиках и некоторыми другими стихийными процессами. Тб., " Мецниереба", 1982, 220 с.
252. Климат и климатические ресурсы Грузии. Тр. ЗакНИГМИ, вып. 44(50), Гидрометиздат, Л., 1971, 384 с.
253. Курдиани И.Г. О грозах и градобитиях в Кахетии. Тбилиси, Груз. геогр. общ., 1935.
254. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л., Гидрометеиздат, 1983, 248 с.
255. Лободин Т.В., Разова Е.Н. Грозы и град в различных физико-географических условиях. Тр. ГГО, вып. 514, Л., Гидрометеиздат, 1989, 134-139.
256. Махарашвили П.И., Дореули Р.И. Исследование градовых явлений в районах Кахетии. Отчет по теме 074.081 "Изучение процессов образования и развития сложных метеорологических условий и опасных явлений погоды (град, грозы, туманы) и разработка методов воздействия на эти явления. Изучение водных ресурсов облаков и изыскание новых реагентов для искусственного воздействия на облака и туманы", часть 3, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб., 1975, 209 с.
257. Мествиришвили Ш.А. О причинах увеличения частоты градобитий в виноградарских районах. Сооб. Акад. Наук Грузии, 140, N 2, 1990.
258. МЭК 61024-1. Защита объектов от молнии. Часть 1. Общие принципы, 1990.
259. Пипиа М.Г. Об исследованиях современного изменения климата Грузии в институте геофизики им. М. Нодиа, ТГУ. Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, ISSN 1512-1135, т. LXXV, 2022, с. 93 – 116. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10299/1/11_Tr_IG_75_2022.pdf
260. Сванидзе Г.Г., Цуцкиридзе Я.А. (под ред.). Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Л., "Гидрометеиздат", 1980, 288 с.
261. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л., "Гидрометеиздат", 1967, 412 с.
262. Таваркиладзе К.А. Моделирование аэрозольного ослабления радиации и методы контроля загрязнения атмосферы. Тбилиси, Мецниереба, 1989, 203 с.
263. Тлисов М.И., Загидулин А.А., Хучунаев Б.М., Федченко Л.М. Аппаратура, методика и результаты наземных исследований физических характеристик града. Тр. Всес.конф. "Активн. возд. на гидромет. процессы", Нальчик, 22-25 октября 1991, Санкт-Петербург.: "Гидрометеиздат", книга 2, 1995, с. 24-30.
264. Тлисов М.И., Хучунаев Б.М. Исследование пространственного распределения зародышей града. Тр. Всес. семин. "Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий", Нальчик, 16-21 октября 1989, М.: "МО Гидрометеиздата", 1991, с. 61-74.
265. Хайруллин К.Ш., Яковлев Б.А. Влияние урбанизации на грозы и град. Тр. ГГО, вып. 527, Л., Гидрометеиздат, 1990, с. 44-50.

266. Хоргуани В.Г. Льдообразующая активность атмосферного аэрозоля и зарождение градовых частиц. Тр. Всес. конф. "Активн. возд. на гидромет. процессы", Нальчик, 22-25 октября 1991, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, книга 2, 1995, с. 140-144.
267. Царевич Вахушти. География Грузии. Записки Кавказского отдела императорского русского географического общества, книга 24, вып. 5. Введение, перевод и примечания М.Г. Джанашвили, Тифлис, 1904, 289 с.
268. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. Европейские географические исследования, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, www.ejournal9.com, 2014, с. 55-69. https://www.researchgate.net/profile/Mariam-Elizbarashvili/publication/270960401_Hailstorms_in_the_Territory_of_Georgia/links/551a37cb0cf2f51a6fea2d51/Hailstorms-in-the-Territory-of-Georgia.pdf
269. Элизбарашвили Э.Ш., Гонгладзе Н.Ш., Власова С.В., Алборова Б.Г., Попов А.А. О грозовой деятельности в Восточной Грузии. Изв. АН СССР, сер. Геогр., No 1, 1983, с. 104-110.
270. Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э. Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Тбилиси, Зеон, 2012, 104 с.

დამკავალონებელი
ნანა დუმბაძე



გამომცემლობა „უნივერსალი“
Publishing House “UNIVERSAL”

თბილისი, 0186, ა. პოლიტოვსკაია. 4, ☎: 5(99) 33 52 02 , 5(99) 17 22 30
4,A. Politkovskaia st., 0186, Tbilisi, Georgia ☎: 5(99) 33 52 02, 5(99) 17 22 30
E-mail: universali505@ymail.com; gamomcemlobauniversali@gmail.com