

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

კ. თავართქილაძე, ე. ელიზბარაშვილი,
დ. მუმლაძე, ჯ. კაჩნაძე

საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელი

აკადემიკოს გ. სვანიძისა და
ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორ ნ. ბეგალიშვილის
რედაქციით

თ ბ ი ლ ი ს ი
1999

რეცენზენტები: ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი, პროფ. ზ. ზედელიძე,
გეოგრ. მეცნ დოქტორი, პროფ. ზ. ჭავჭავაძე

რეგიონალური კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელი ასახავს კლიმატის ძირითადი ელემენტების ცვლილების მიმართულებასა და სიდიდეს. ამ ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დადგენის ერთ-ერთი ეფექტური გზაა ~~კლიმატის~~ ენერგო-ბალანსური მოდელის ~~აგება~~ ადინამური მოდელების აგება განსაკუთრებით დიდ სიძნელეებს აწვდის რთული რელიეფის, დაკვირვების პუნქტების არათანაბარი განაწილების და დაკვირვების პერიოდის მკვეთრი არაერთგვაროვნების მქონე რეგიონებისთვის. საქართველოს ტერიტორია ასეთი რეგიონის კლასიკურ ნიმუშს წარმოადგენს. ნაშრომში განხილულია რეგიონალური კლიმატის ცვლილების ემპირიული და ენერგო-ბალანსური მოდელების აგების სქემები; ემპირიული მოდელის სქემა პრაქტიკულადაა გამოყენებული საქართველოში მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების დასადგენად.

ემპირიული მოდელის ასაგებად გამოყენებულია საქართველოს 90 დაკვირვების პუნქტისთვის არსებული მიწისპირა ტემპერატურის მონაცემები 1906-1995 წლებში. ტემპერატურული ველის ასაგებად შესწავლილია კორელაციური კავშირები დაკვირვების პუნქტებს შორის, ხოლო დაკვირვების პერიოდის ერთგვაროვნების აღსადგენად გამოყენებულია მრავალგანზომილებიან სივრცეში შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდი.

თბილისის მაგალითზე დადგენილია არაახსნადობიანი, ბუნებრივი ფაქტორით გამოწვეული ტემპერატურის ცვლილების ციკლური ვარიაციები 22,4 წლიანი პერიოდით. შესწავლილია ადინამური ციკლის გავლენა კლიმატის განმსაზღვრელ სხვა მეტეოროლოგიურ ელემენტებზე და განსაზღვრულია ამ ელემენტების ცვლილებათა მიმართულებები და სიდიდეები. დამუშავებულია ტემპერატურის პროგნოზირების სქემა ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდის გამოყენებით.

წიგნი გამიზნულია კლიმატის ცვლილებით დაინტერესებული მეცნიერებისთვის და ამ ცვლილებით გამოწვეულ ეკოლოგიურ, ეკონომიკურ და სოციალურ პრობლემებზე მომუშავე სპეციალისტების ფართო წრისათვის.

The territory of Georgia represents a classical example of Region with complex relief which complicates the revealing of the causes and trends of Climate Change. The monograph deals with the schemes for the construction of empirical and energy-balance models of the Regional Climate Change. The air-temperature data of 90 stations on the territory of Georgia for the period of 1906-1995 are used for the working out of empirical model. Relevant statistical methods are used for the filling of existing gaps in observational material.

On the example of Tbilisi the cyclic variations of air temperature, due to natural factors, are investigated.

The book is intended for scientists interested in the problem of Climate Change and for the large circle of specialists working in the related fields of ecology, economics and social sciences.

შესავალი	33-4
თავი 1. რეგიონალური კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგების მეთოდი	9
1.1. კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელი	11
1.2. კლიმატის ცვლილების ენერგო-ბალანსური მოდელი ...	18
თავი 2. გამოყენებული ემპირიული მასალების დახასიათება და მისი სრულყოფის გზები.	28
2.1. გამოყენებული ემპირიული მასალების ობიექტური ანალიზი	28
2.2. ემპირიულ მასალებში გამოტოვებული მოკლე პერიოდის (3 თვემდე) აღდგენის მეთოდი.	29
2.3. ემპირიული მასალების დაკვირვების რიგების ერთიან პერიოდზე მიყვანის მეთოდი.	31
თავი 3. მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილება	38
3.1. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლის თავისებურებანი	46
3.2. ტემპერატურული ველის შიდაწლიური ვარიაციები კლიმატის ცვლილების სხვადასხვა ეტაპზე	69
3.3. ტემპერატურული ველის ცვლილება	72
3.3.1. საშუალო წლიური ტემპერატურები	73
3.3.2. იანვრის ტემპერატურები.	76
3.3.3. ივლისის ტემპერატურები.	79
3.3.4. ცივი პერიოდის ტემპერატურები.	82
3.3.5. თბილი პერიოდის ტემპერატურები	85
თავი 4. ციკლური პროცესი ტემპერატურის ვარიაციებში და მისი ასახვა კლიმატური ელემენტების ცვლილებებში თბილისის მაგალითზე	88
4.1. ემპირიული მასალების დახასიათება და კორელაციური კავშირები მათ შორის	89
4.2. კლიმატური ელემენტების საუკუნეობრივი სვლა და ციკლური პროცესები მასში	91
4.3. კლიმატის პროგნოზირება ციკლურობის გათვალისწინებით	115
ლიტერატურა	118

შესავალი

დედამიწაზე მიმდინარე ბიოლოგიური და ფიზიკური პროცესების ხასიათი, ინტენსიურობა და რაც მთავარია, ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა, მჭიდროდ არის დაკავშირებული ბუნების ისეთ მნიშვნელოვან კომპონენტთან, როგორიც კლიმატია. ამასთან, ეს უკანასკნელი მსოფლიოს ეკოსისტემების მდგომარეობის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩასიათებელია. ამიტომ, ბუნებრივია ის დიდი ინტერესი, რომელსაც ადამიანი იჩენს კლიმატის ცვლილების მიმართ.

თანამედროვე კლიმატოლოგიაში კლიმატის ცვლილების შესწავლას სამი ძირითადი მიმართულება განსაზღვრავს: კლიმატის ცვლილების დადგენა ანუ კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის შექმნა; მომავლის კლიმატის პროგნოზირება; კლიმატის ცვლილების გავლენა ბიოსფეროზე, კერძოდ ეკოსისტემებზე და ამ უკანასკნელის რეაქცია (ანუ შეგუება) კლიმატის მიმდინარე ცვლილებებზე. სწორედ ამიტომ, ისე როგორც არსად, ეკოლოგიური პროცესები და მასთან დაკავშირებული პრობლემები მჭიდროდ უკავშირდება კლიმატის თანამედროვე ცვლილებით გამოწვეულ პრობლემებს და უფრო აქტუალურს ხდის მის შესწავლას.

კლიმატის თანამედროვე ცვლილებას მრავალი ფაქტორი განაპირობებს, რომელთა სიმრავლე და ერთდროული მოქმედება ართულებს ამ პროცესის შესწავლას. ამ ფაქტორებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანია მზის აქტივობა, ატმოსფეროს გაზური შემადგენლობის ცვალებადობა და ქვეფენილი ზედაპირის ცვლილება. პირველი ფაქტორი ბუნებრივია, ხოლო მეორე და მესამე ძირითადად ადამიანის ინტენსიური სამეურნეო საქმიანობის შედეგია (ანთროპოგენური ფაქტორი). თითოეული ფაქტორი განსაკუთრებულ როლს ასრულებს და, ამავე დროს, თავისი კორექტივები შეაქვს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების საერთო ტენდენციის ჩამოყალიბებაში.

ამჟამად მსოფლიოში განსაკუთრებით გააქტიურდა ანთროპოგენური ფაქტორი, რომელიც ოთხმა ძირითადმა მიზეზმა განაპირობა: ადამიანის მიერ გამოუმუშავებულმა ენერგიამ (ანთროპოგენური სითბო); ქვეფენილი ზედაპირის დაუნდობელმა ექსპლოატაციამ (ტყეების ჩეხვა, ნიადაგების ეროზია და სხვ.); ატმოსფეროში აეროზოლების კონცენტრაციის ზრდამ და "სათბურის ეფექტის" გამომწვევი აირების, განსაკუთრებით ნახშირორჟანგის მნიშვნელოვანმა მატებამ. ცნობილია, რომ უკანასკნელი რამოდენიმე ათწლეულის განმავლობაში ატმოსფეროში გლობალური მასშტაბით ნახშირორჟანგის რაოდენობა 40%-ით გაიზარდა. თუ ზრდის ასეთი ტემპი კვლავაც გაგრძელდება, მეცნიერთა აზრით CO₂ -ის

გაზრდილი რაოდენობა 21-ე საუკუნის პირველ ნახევარში გამოიწვევს პა-
ერის ტემპერატურის 2-3°C-ით მომატებას. არც თუ ძნელი წარმოსადგე-
ნია თუ რა კატასტროფული შედეგები მოყვება ტემპერატურის ასეთ
ზრდას. დედამიწის არსებობის ისტორიაში კლიმატის გლობალური ცვლი-
ლების რამოდენიმე ფაქტია აღრიცხული. ბუნებრივი პროცესებით გამოწ-
ვეული კლიმატის ცვლილებები, რომლებიც არსებული ბიოსფეროს სრულ
გადაშენებას იწვევდა, საუკუნეების განმავლობაში გრძელდებოდა. თანა-
მედროვე ანთროპოგენური ფაქტორის მოქმედება მხოლოდ რამოდენიმე
ათეულ წელს ითვლის. ეს პერიოდი თვალნათლივ გვარწმუნებს, რომ ადა-
მიანმა თავისი ენერგიული ჩარევით ბუნებრივ პროცესებში, თუნდაც ლან-
დშაფტური გარემოს შეცვლის გზით, შეიძლება კლიმატის ისეთი დიდი
მასშტაბის ცვლილებები გამოიწვიოს, რომ გაუტოლდეს კიდევ გეოლო-
გიურ, მით უმეტეს ისტორიული ეპოქების მანძილზე მომხდარ კლიმა-
ტურ ცვლილებებს (კატაკლიზმებს).

ამრიგად, კაცობრიობის წინაშე ჯერ არ ყოფილა ისეთი პრობლე-
მა, რომელსაც ამდენი საფიქრებელი და საზრუნავი გაენინოს, როგორც
კლიმატის ანთროპოგენურ ცვლილებას. არც თუ დიდი ხნის წინ ბუნების
ეს ფენომენი მხოლოდ და მხოლოდ მეცნიერების განსჯის საგანი იყო.
ამიტომაც მისი პოლიტიკური რეზონანსი ერთობ სუსტი იყო. ახლა კი,
როდესაც მეცნიერულ-ტექნიკურ პროცესებს მოჰყვა ადამიანის მიერ ატ-
მოსფეროს მნიშვნელოვანი დაბინძურება და წარმოიშვა საშიშროება
კლიმატის მნიშვნელოვანი ცვლილებების გამო, ეს პრობლემა გამოვიდა
ცალკეული ქვეყნების ეროვნული პრობლემების ჩარჩოებიდან და საერ-
თაშორისო ხასიათი მიიღო. ამის ნათელ მაგალითს 1992 წლის ზაფხულ-
ში რიო-დე-ჟანეიროში გამართული საერთაშორისო სიმპოზიუმი (სახელ-
წოდებით "გარემოს დაცვა და განვითარება") წარმოადგენს, სადაც მსოფ-
ლიოს გამოჩენილ მეცნიერებთან ერთად, 150-ზე მეტი ქვეყნის მეთაურიც
მონაწილეობდა. აღსანიშნავია, რომ ამ კონგრესზე ყველაზე აქტუალურ
საკითხს წარმოადგენდა ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის ზრდასთან და-
კავშირებული კლიმატის თანამედროვე ცვლილება და მსოფლიო ეკოსის-
ტემების რეაქცია ამ ცვლილებებზე.

კლიმატის ცვლილების პროცესი მეცნიერებმა საუკუნის 60-იანი
წლების დასაწყისში შენიშნეს. იმთავითვე ნათელი გახდა თუ რა კატას-
ტროფული შედეგები შეიძლება მოჰყოლოდა ამ პროცესს თუ იგი კვლავაც
გაგრძელდებოდა. აუცილებელი შეიქმნა ამ პროცესის გამომწვევი მიზეზე-
ბის დადგენა და მათი აღკვეთა. ჯერ კიდევ იმ დროს დასახელებული კლი-
მატის ცვლილების სავარაუდო მრავალი მიზეზებიდან მხოლოდ ორი აღ-
მოჩნდა საფუძვლიანი: ატმოსფეროს გაზური შემადგენლობის ცვლილება
(მ.ბუდიკო, ს.მანაბე) და ქვეფენილი ზედაპირის ცვლილება (თ.დავითაია).

ორივე პროცესს უკვე შეეძლო მზიდან მიღებული ენერგიის გარდაქმნა, ისე რომ მზე-დედამიწის ენერგეტიკული წონასწორობა დარღვეულიყო. ეს კი დედამიწის ზედაპირისა და გარემომცველი ატმოსფეროს თერმული წონასწორობის რეჟიმის დარღვევას, ანუ კლიმატის ცვლილებას გამოიწვევდა. თუ პირველი მათგანი შეცვლიდა მზის სხივური ენერგიისა და დედამიწის ზედაპირისა და ატმოსფეროს სითბურ გამოსხივებათა შორის თანაფარდობას, მეორე გადამწყვეტ ზეგავლენას მოახდენდა სხივური ენერგიის სითბურ ენერგიად გარდაქმნის პროცესზე უშუალოდ დედამიწის ზედაპირზე. ორთავე პროცესი შეიძლება მხოლოდ ანთროპოგენური ზეგავლენის შედეგი ყოფილიყო, რაც შემდგომში სრულიად დაადასტურა გლობალური კლიმატის ცვლილების თანამედროვე მოდელებმა.

კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე უაღრესად რთულია რეგიონალური კლიმატის ცვლილების შესწავლა და მისი გამომწვევი მიზეზების დადგენა. მითუმეტეს თუ რეგიონი ისეთი რთული ბუნებისაა როგორიც საქართველოა. სუბტროპიკული და ზომიერი განედების საზღვარზე ყოფნა, დასავლეთით თბილი შავი ზღვის და ჩრდილოეთით 1500 კმ-იანი განედური გაერცელების ძლიერი მთიანი სისტემის - კავკასიონის მეზობლობა, რთული რელიეფი და კლიმატწარმომქნელი ფაქტორების სიმრავლე, მათ შორის რთული ურთიერთკავშირები განაპირობებენ საქართველოს შედარებით მცირე ტერიტორიაზე (69 ათასი კვ.კმ) კლიმატის მრავალი ტიპის ჩამოყალიბებას - დასავლეთ საქართველოს ნოტიო სუბტროპიკული და აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპური, კონტინენტურიდან დაწყებული, კავკასიონის მარადი თოვლისა და მყინვარების კლიმატით დამთავრებული.

მიუხედავად სირთულისა, საქართველოში კლიმატური რეჟიმი მნიშვნელოვანწილად შესწავლილია. არის კლიმატის ცვლილების გამომწვევი ცალკეული ფაქტორებისა და მათი გამომწვევი მიზეზების შესწავლის ცდებიც. მაგრამ, უნდა აღინიშნოს, რომ თანამედროვე კლიმატოლოგიაში, განსაკუთრებით რეგიონალური კლიმატის ცვლილების დადგენისა და მისი გამომწვევი მიზეზების შესწავლის გზები სადღესოდ მხოლოდ ძიების პროცესშია. კლიმატის ფორმირების შესწავლის კლასიკური მეთოდებისგან განსხვავებით, კლიმატის ცვლილების შესწავლის მეთოდოლოგია სრულიად სხვა პრინციპებს ემყარება. 90-იანი წლების შემდგომში არსებული ლიტერატურული წყაროები მოწმობენ, რომ კლიმატის ცვლილების პროცესის კომპლექსური, ზუსტი აღწერა და მათი გამომწვევი მიზეზების დადგენა მხოლოდ ფიზიკური, სტატისტიკური და მათემატიკური მოდელირებით შეიძლება.

წინამდებარე ნაშრომი, რომლის მიზანია მიწისპირა ტემპერატურული ველის სივრცეში და დროში ცვლილების შესწავლა, წარმოადგენს

კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის შექმნის პირველ ცდას საქართველოში. უფრო სწორად, მასში აღწერილია ავტორთა ჯგუფის მიერ ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც შემდგომში საქართველოში კლიმატის ცვლილების კომპლექსურ ემპირიულ მოდელში ჰპოვებს ასახვას.

პირველ თავში ჩამოყალიბებულია ის ძირითადი მიდგომა, რომელმაც საქართველოში კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგების მეთოდი განსაზღვრა.

მეორე თავი ეძღვნება არსებული ემპირიული მასალების გამოყენების შესაძლებლობებსა და მისი სრულყოფის გზებს.

კლიმატის ცვლილების ძირითადი მიმართულება და ინტენსიურობა მიწისპირული ტემპერატურული ველის ცვლილების შესწავლამ შეიძლება გამოავლინოს. ამ საკითხისადმი მიძღვნილი ნაშრომის მესამე თავი, რომელშიაც წინა თავებში დამუშავებული მეთოდების გამოყენებით დადგენილია საქართველოში ტემპერატურის წლიური, სეზონური და თვიური ცვლილებების ტენდენციები უკანასკნელი 90 წლის განმავლობაში და აგებულია საქართველოში ტემპერატურული ველის ცვლილების რუკები.

მეოთხე თავში განხილულია არაანთროპოგენური, ბუნებრივი ფაქტორებით გამოწვეული შესაძლო ციკლური პროცესების არსებობა ტემპერატურის ცვლილების ვარიაციებში თბილისის მაგალითზე, დადგენილია 22.4 – წლიანი ციკლის არსებობა და განსაზღვრულია მისი პარამეტრები, შესწავლილია აღნიშნული ციკლის გავლენა სხვა მეტეოროლოგიურ ელემენტებზე და დამუშავებულია ტემპერატურის პროგნოზირების სქემა ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდის გამოყენებით.

ნაშრომის 1 და 2 თავები შედგენილია ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორის კ.თავართქილაძის მიერ; მე-3 თავის ავტორებია გეოგრ. მეცნიერებათა დოქტორი, პროფ. ე.ელიზბარაშვილი, გეოგ. მეცნიერებათა კანდიდატი დ. მუმლაძე და ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა კანდიდატი ჯ.ვაჩნაძე; მე-4 თავი შეადგინა კ. თავართქილაძემ. მასალების დამუშავებაში და მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ამსახველი რუკების შედგენაში ავტორთა მთელი კოლექტივი მონაწილეობდა.

საქართველო მიუერთდა გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციას 1994 წელს. ამ თარიღიდან ქვეყანაში ფართოდ გაიშალა საქართველოს კლიმატის ცვლილების შესწავლის სამუშაოები. კერძოდ, ქვეყნის პრეზიდენტის მიერ 1996 წ. დამტკიცდა კლიმატის ცვლილების ეროვნული პროგრამა, რომლის ხელმძღვანელობა დაევალა

თ.გზირიშვილს; ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტში ჩამოყალიბდა კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრი, სადაც შესრულდა ქვეთემა “საქართველოში ტემპერატურის ცვლილების ემპირიული მოდელი”, რომელსაც ხელმძღვანელობდა კ.თავართქილაძე. აღნიშნული ქვეთემის შედეგები სრული სახით აისახა მონოგრაფიაში.

ავტორთა კოლექტივი გულწრფელ მადლობას უცხადებს აკადემიკოს გ.სვანიძეს და ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორს ნ.ბეგალიშვილს რედაქტირების რთული და მნიშვნელოვანი სამუშაოსათვის.

ავტორები თავის მოვალეობად მიიჩნევენ მადლობა გადაუხადონ ყველას ვის დახმარებასაც ისინი მუდმივად გრძნობდნენ – კლიმატის კვლევის ეროვნული პროგრამის კოორდინატორს საქართველოში, ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორს თ.გზირიშვილს, მის მოადგილეს – გეოგრაფიულ მეცნ. დოქტორს ბ.ბერიტაშვილს, კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის დირექტორს, ფიზ. – მათ. მეცნ. კანდიდატს გ.ლაზრიევს, ამავე ცენტრის განყოფილების უფროსს ფიზ.-მათ. მეცნ. კანდიდატს პ.ჯანელიძეს და ინჟინერ რ.ბატონისაშვილს.

რეგიონალური კლიმატის სვლილების ეპიკრიული მოდელის აგების მეთოდი

მიმდინარე საუკუნის შუა წლებში გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედების მასშტაბები იმდენად გაიზარდა, რომ მან წლების განმავლობაში ჩამოყალიბებული დედამიწის ენერგეტიკული დონის წონასწორობის დარღვევა გამოიწვია. ამას კლიმატის გლობალური ცვლილება მოჰყვა. საჭირო გახდა გლობალური კლიმატური სისტემის ფუნდამენტური შესწავლა ახლებური მეთოდებით. ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანების შექმნამ და გამოყენებითი მათემატიკის სწრაფმა განვითარებამ ხელი შეუწყო და შესაძლებელი გახდა ატმოსფეროში მიმდინარე ურთულესი პროცესების, განსაკუთრებით დედამიწის ენერგო-ბალანსური სისტემის, ფიზიკო-მათემატიკური მოდელირება.

პირველივე მიახლოებითი მოდელები, რომლებიც ატმოსფეროში მხოლოდ ნახშირორჟანგის ტენდენციური ზრდის ფაქტორს ითვალისწინებდნენ, დედამიწის ენერგო-ბალანსური სისტემის მკვეთრ დარღვევაზე მიუთითებდნენ /18,108/, მითუმეტეს ასეთი დარღვევის ფაქტები კლიმატის ფორმირების ცალკეული პროცესების შესწავლისას უკვე შემჩნეული იყო. მაგალითად, შემჩნეული იყო კავკასიონის ფერდობებზე მყინვარების უკან დახევა /30/, პოლარულ აუზში ტემპერატურის ცვლილება /37/, საშუალო განედურ ზონაში ტემპერატურის ცვლილება /69/, გამომჩნეა მინიშნება გლობალური ტემპერატურის ცვლილების შესახებ /111/ და სხვ.

კლიმატის ცვლილება მხოლოდ სამ ფაქტორს შეეძლო გამოეწვია: მზიდან მოსული სხივური ენერგიის ცვლილებას; ატმოსფეროს გაზური შემადგენლობის ცვლილებას და დედამიწის ზედაპირის ლანდშაფტურ გარდაქმნას, რასაც მისი ოპტიკური თვისებების შეცვლა მოჰყვებოდა. თუ კლიმატის ცვლილება ტენდენციურ სახეს მიიღებდა, ბიოსფეროს არსებობას საფრთხე დაემუქრებოდა. ამ პრობლემამ ატმოსფეროს ფიზიკის წინაშე ორი ძირითადი ამოცანა დასვა. პირველ რიგში უნდა დადსტურებულიყო კლიმატის გლობალური ცვლილებების ფაქტი. მიუხედავად იმისა, რომ მსოფლიოს მთელ რიგ რეგიონებში არსებობდა მეტეოროლოგიური დაკვირვებების 100-წლიანი და მეტი პერიოდის მქონე ფაქტიური მონაცემები, ისინი საკმარისი არ აღმოჩნდა გლობალური კლიმატის ცვლილების შესაფასებლად. ვერც ზელოვნური თანამგზავრები იძლეოდნენ კლიმატის ცვლილების შეფასების შესაძლებლობას. აუცილებელი გახდა მეტეოროლოგიური ქსელის საგრძნობლად გაფართოება (იგულის-

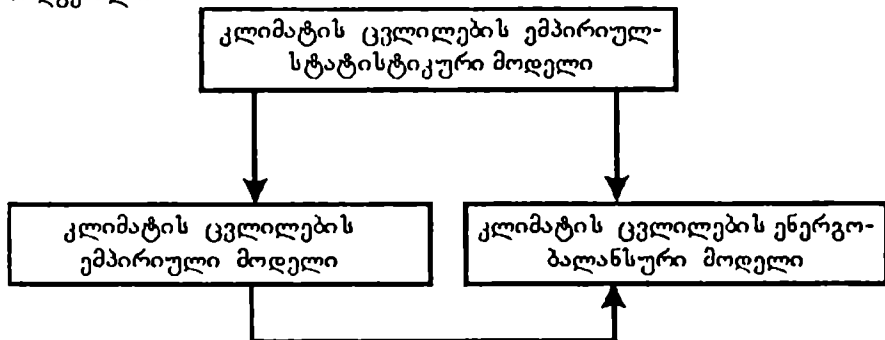
ხმება არსებული მეტეოროლოგიური ქსელი, რომელთა მონაცემები კლიმატის ცვლილების დასადგენად უნდა გამოყენებულიყო). ამან მოითხოვა მოკლე პერიოდიანი დაკვირვებების რიგების გაგრძელება თეორიული გამოთვლებით ისე, რომ ისინი კლიმატის ცვლილების დასადგენად გამომდგარიყო. ამასთან ერთად, ზუსტად უნდა განსაზღვრულიყო გამოთვლების შედეგად მიღებულ მნიშვნელობებში ე.წ. "ხმაურის" სიდიდე და დადგენილიყო კლიმატის ცვლილების რა ფარგლებში შეიძლებოდა გამოყენებული მეთოდით სარგებლობა. აღნიშნული ამოცანის გადაჭრის გზები, რომლებიც არსებულ ლიტერატურულ წყაროებში ფართოდაა წარმოდგენილი, კლიმატის ცვლილებების ემპირიული მოდელის სახელწოდებით ერთიანდება. მეორე ამოცანის გადაჭრის, ანუ კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დადგენის შესაძლებლობას ე.წ. ენერგო - ბალანსური მოდელი ქმნის. იგი საშუალებას იძლევა კომპლექსურად წარმოვადგინოთ ყველა ის ენერგეტიკული ნაკადი, რომელსაც დედამიწის ზედაპირი მზიდან იღებს და შემდეგ სითბური გამოსხივებით კოსმოსურ სამყაროში აბნევს. ამ ენერგიათა შორის სხვაობა ქმნის დედამიწის ზედაპირის ენერგეტიკულ ბალანსს, რომელიც ცალსახად განაპირობებს ზედაპირის თერმოდინამიკურ მდგომარეობას (წონასწორობას, ვარიაციებს ან ტენდენციურ ცვლილებას). კლიმატის ცვლილებას მხოლოდ ენერგეტიკული ბალანსის დარღვევა განსაზღვრავს. ყველა ის პროცესი, რომელიც კლიმატის ცვლილებას ახასიათებს ან თან მოსდევს, მხოლოდ დედამიწის ენერგეტიკული ბალანსის ცვლილების შედეგია.

ამჟამად კლიმატის ცვლილების პრობლემა მსოფლიოს ყურადღების ცენტრშია. გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის (გაერო) ინიციატივით მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ შემუშავდა კლიმატის ცვლილებების შესწავლის ჩარჩო კონვენცია, რომელსაც მსოფლიოს უმეტესი ქვეყნები, მათ შორის საქართველოც შეუერთდა. დღეს ცნობილია რომ კლიმატის გლობალური ცვლილებების მიზეზები ატმოსფეროს გაზური შემადგენლობისა და ქვეყნული ზედაპირის ანთროპოგენური ცვლილებების შედეგია. ეს ცვლილებები ეკონომიკური პირობების გაუმჯობესებისადმი სწრაფვამ განაპირობა, რაც გარემოზე მიზანშეუწონელი, ზედმეტი ზემოქმედების ხარჯზე ხდებოდა. ამიტომ, კონვენცია გარემოზე ზემოქმედების ოპტიმალური რეჟიმის განსაზღვრისას პირველ რიგში ითვალისწინებს იმ პროცესებს, რომლებიც გლობალურ ცვლილებაზე ახდენენ გავლენას. ზოლო შემდეგ, მიზნად ისახავს რეგიონალური კლიმატის ცვლილების პრობლემების შესწავლას, რასაც ძირითადად რეგიონალური მნიშვნელობა აქვს.

კონვენციიდან გამომდინარე, საქართველოში კლიმატის ცვლილებისა და მისი გამომწვევი მიზეზების შესასწავლად შეიქმნა ეროვნული

პროგრამა, რომლის ერთერთი ნაწილი ითვალისწინებს კლიმატის ცვლილების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის შექმნას.

კლიმატის ცვლილების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი ორი ნაწილისაგან შედგება. მისი მარტივი ბლოკ-სქემა სურ.1.1-ზეა წარმოდგენილი.



სურ.1.1 კლიმატის ცვლილების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის ბლოკ-სქემა

ამასთან ერთად, კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის დამუშავება იძლევა რა საქართველოში კლიმატის ცვლილების ტენდენციისა და ინტენსიურობის განსაზღვრის შესაძლებლობას, იგი აუცილებელია კლიმატის ცვლილების ენერგო-ბალანსური მოდელის აგებისათვის ანუ კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დასადგენად.

1.1 კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელი

საქართველო ზღვასთან მიმდებარე მთაგორიანი ქვეყანაა. მისი ფართობი 69 ათასი კვადრატული კილომეტრია. ზღვის სიახლოვე და მუდმივი თოვლითა და ყინულებით დაფარული მაღალმთიანი სისტემის ერთობლიობა საქართველოს ტერიტორიაზე კლიმატის ნაირსახეობის ბუნებრივ ლაბორატორიას ქმნის /2,3/. საქართველოში კლიმატური სისტემის რეჟიმი კარგადაა შესწავლილი. სხვადასხვა თაობის ქართველი კლიმატოლოგების ფუნდამენტური შრომებია ამ საკითხისადმი მიძღვნილი. რაც შეეხება კლიმატის ცვლილების პრობლემას, აღნიშნული შრომების იშვიათი

გამონაკლისი ეხება მას. ასეთ გამონაკლისს წარმოადგენს თ.დავითაიას გამოკვლევები, რომლებშიც არა მარტო საქართველოს, არამედ მსოფლიოს კლიმატური სისტემის ცვლილების შესწავლის ორიგინალური კონცეფციაა ჩამოყალიბებული. სამწუხაროდ, მისი განხორციელება დღემდე ვერ მოხერხდა ატმოსფერული აეროზოლების ოპტიკური თვისებების შესწავლებლობის გამო. კლიმატური სისტემის ცვლილების შესწავლის თეორია მთელ რიგ მკაცრ მოთხოვნებს აყენებს ამოცანის დასმისა და ემპირიული მასალების დამუშავების მიმართ /22, 25, 61, 117 და სხვ./. მაგრამ, კლიმატის განმსაზღვრელი ცალკეული პარამეტრებისა თუ პროცესების შესწავლა ამ მოთხოვნების გარეშეცაა შესაძლებელი. კერძოდ მაშინ, როცა პარამეტრისა თუ პროცესის ცვლილების ინტენსიურობა იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ შემთხვევითი ვარიაციებით გამოწვეულ "ხმაურს" აჭარბებს, ზოლო დაკვირვების პერიოდი გრძელვადიანია. ასეთი სახის შრომებს მიეკუთვნება /1, 5, 6 და სხვ./, რომლებიც ახასიათებენ კლიმატის ცვლილების მკვეთრად გამოხატულ ფაქტორებს.

უპირველესი ამოცანა, რომელმაც უნდა განსაზღვროს რა შეიძლება მივიჩნიოთ კლიმატური სისტემის, განსაკუთრებით რეგიონალური კლიმატური სისტემის ცვლილებების ფაქტად, მდგომარეობს იმაში, რომ დავადგინოთ რა პრინციპებით უნდა აიგოს კლიმატის ცვლილების დამახასიათებელი პარამეტრების უწყვეტი ველები.

ლიტერატურულ წყაროებში კლიმატის ცვლილების დადგენის სხვადასხვა მიდგომაა გამოყენებული, რომლებიც პირობითად სამ პროცედურად შეიძლება დაგვით:

1. დაკვირვების გრძელვადიანი პერიოდიდან შერჩეულია ცალკეული წლები ან წლების თანმიმდევრული მონაკვეთი, როცა კლიმატის განმსაზღვრელი ამა თუ იმ პარამეტრის გაზრდა ჩვეულებრივი ნორმიდან გარკვეულ კრიტიკულ ზღვარს სცილდება. კრიტიკული ზღვრის დადგენა პირობითია და დამოკიდებულია კონკრეტული მწკრივის დისპერსიაზე. მიღებულ ამონაკრებთა შედარება მწკრივის მთლიან ნორმასთან განსაზღვრავს კლიმატის ცვლილების ტენდენციას. ასეთი მიდგომა, კერძოდ ტემპერატურისთვის, შედარებით კარგ შედეგებს იძლევა დაბალი ტემპერატურების დროს და იგი გამოიყენება ტემპერატურის ცვლილების დასადგენად არქტიკულ ზონაში.

2. დაკვირვების გრძელვადიანი რიგიდან გარკვეული კრიტერიუმებით გამოყოფილია ორი პერიოდი - ნორმიდან დადებითი და უარყოფითი გადახრები (ტემპერატურების შემთხვევაში თბილი და ცივი პერიოდი), თითოეული მათგანი მოიცავს თანმიმდევრულად რამდენიმე წელს. მათი შედარება იძლევა კლიმატის ცვლილების დადგენის შესაძლებლობას. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი მიდგომით მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღებუ-

ლი /104, 111/, კრიტერიუმების სუბიექტური შერჩევის გამო იგი არასრულყოფილად უნდა ჩაითვალოს.

3. დაკვირვების გრძელვადიანი რიგებიდან განისაზღვრება ნორმიდან ექსტრემალურად დადებითი (თბილი) და ექსტრემალურად უარყოფითი (ცივი) პერიოდები, რომელთა შედარებამ უნდა განსაზღვროს კლიმატის ცვლილების ტენდენცია აღნიშნულ რეგიონში. ასეთი მიდგომა ხელსაყრელია ძირითადად იმ მოდელებისათვის (იგულისხმება ენერგობალანსური მოდელი), სადაც მხოლოდ ნახშირორჟანგის გავლენაა გათვალისწინებული და კლიმატის ცვლილების არასრულყოფილი შეფასების გამო მათ ტემპერატურის ცვლილების მაქსიმალური (ან მინიმალური) მნიშვნელობათა ცვლილების დაჭერა შეუძლიათ /115,123/. როგორც ჩვენმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, თბილისის მაგალითზე /121/, ექსტრემალური ტემპერატურების ტენდენციებს ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულება შეიძლება გააჩნდეთ და, რა თქმა უნდა, ისინი ვერ გამოხატავენ რეგიონალური კლიმატური სისტემის ცვლილების საერთო სურათს.

ამ ბოლო დროს, განსაკუთრებით რეგიონალური კლიმატური სისტემის ცვლილების შესწავლისას, ხშირად მიმართავენ ზემოთ ჩამოთვლილი პროცედურებიდან განსხვავებულ მიდგომას. გრძელვადიანი დაკვირვებების რიგებიდან, ერთი და იგივე პერიოდისთვის განისაზღვრება ტემპერატურული (ან სხვა პარამეტრის) ანომალიების საშუალო მნიშვნელობები პერიოდის დასაწყისში და პერიოდის ბოლოს. გასაშუალების პერიოდი უნდა იყოს იმდენად დიდი, რომ შესაძლო მოკლევადიანი ციკლური პროცესები გამოირიცხოს. ეს მოითხოვს მწკრივთა სისტემის ერთიან, დაახლოებით 100-წლიან პერიოდს. მათი სხვაობა გვაძლევს კლიმატური სისტემის ცვლილების ტენდენციებსაც და ინტენსიურობასაც. ძირითადად, ასეთი მიდგომით იყო შესწავლილი რეგიონალური კლიმატური სისტემის ცვლილებები აშშ-ში /90/, ავსტრალიაში /122/, სამხრეთ ამერიკაში /101/, იტალიაში /114/ და სხვ. ასეთი მიდგომის სირთულე იმაში მდგომარეობს, რომ უწყვეტი ველების ასაგებად იგი აუცილებლად მოითხოვს მოკლევადიანი მწკრივების მიყვანას გრძელვადიან პერიოდამდე ისე, რომ მიყვანის სიზუსტე აპრიორულად იყოს ცნობილი. აღსანიშნავია, რომ ასეთი მიდგომა არაა აუცილებელი კლიმატის განმსაზღვრელი ცალკეული პარამეტრების ტრენდების აგებით კლიმატის ცვლილებაზე მსჯელობისას. არსებობს უამრავი გამოკვლევა, სადაც კლიმატის ცვლილებას ახასიათებენ საკმაოდ გრძელპერიოდის ტრენდების ან გარკვეული მათი მონაკვეთების ცვლილებების ტენდენციებით, რომელთა განსაზღვრა ტრენდის ან მისი ცალკეული მონაკვეთის წრფივი თუ უფრო მაღალი რიგის აპროქსიმაციით ტარდება (ასეთ მიდგომას ხშირად იყენებენ ქალაქის ან ლოკალიზებული ადგილის კლიმატის ცვლილების აღსა-

წერად). მაგრამ, კლიმატური სისტემის ცვლილების უწყვეტი ველების ასაგებად იგი მიზანშეუწონელია, რადგან "ხმაურის" ეფექტს მნიშვნელოვნად ზრდის.

კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის ასაგებად ხშირად მიმართავენ გამარტივებულ სქემებს, რომლის დროსაც კლიმატური სისტემის ცვლილების აღსაწერად შემოისაზღვრებიან ერთი ან რამდენიმე პარამეტრის განხილვით ასეთი პარამეტრების (პრედიქტორების) შერჩევა ზდება სპეციალურად შემუშავებული სტატისტიკური პროცედურით, რომელმაც უნდა განსაზღვროს რა სიზუსტითაა შესაძლებელი პრედიქტორის ვარიაციებში (დისპერსიაში) კლიმატის სხვა პარამეტრების წვლილის დადგენა (აღნიშნული მიდგომითაა შესრულებული ნაშრომი /110/). მართლაც, მეტეოროლოგიურ ელემენტებს შორის არსებობს კორელაციური კავშირები და ეს კავშირები გაელენას ახდენენ პრედიქტორების ვარიაციების ჩამოყალიბებაზე. მაშასადამე, სტატისტიკური პროცედურა ისე უნდა შეირჩეს, რომ შესაძლებელი იყოს საერთო დისპერსიიდან ცალკეული ფაქტორების განსაზღვრა. ეს შესაძლებელია მრავალგანზომილებიანი კორელაციური კავშირების შესწავლის გზით. მაგრამ, როგორც /60/ ნაშრომიდან ჩანს, საერთო ვარიაციებიდან ცალკეული ფაქტორის გამოყოფა ყველაზე ზუსტად შესაძლებელია ემპირიული ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლით. აღნიშნული მეთოდი მეტეოროლოგიაში ხშირად გამოიყენება. პრაქტიკული მაგალითები გვიჩვენებენ, რომ პრედიქტორი შედარებით ზუსტად აღწერს მხოლოდ ერთ პარამეტრს. კერძოდ იმას, რომელსაც პრედიქტორთან მაღალი კორელაციური კავშირი აქვს /58, 59, 76, 77, 82, 91, 104 და სხვ./. ამასთან ერთად, საკმაოდ რთულია თვით პარამეტრის სახის დადგენა. მიგვაჩნია, რომ გამარტივებული მოდელების აგება კლიმატური სისტემის ცვლილების აღწერისას საკმაოდ მცირე ინფორმაციას იძლევა და მისი გამოყენება მიზანშეუწონელია მხოლოდ კერძო ამოცანების გადასაჭრელად, მაგალითად დაკვირვების რიგების აღსადგენად, რაზედაც ქვემოთ დაწვრილებით შევჩერდებით.

კლიმატის ცვლილების მოდელის აგებისას ერთერთი მნიშვნელოვანი საკითხია მისი გამომწვევი პროცესების წონასწორული რეჟიმის დამყარების დროის განსაზღვრა, ანუ მათი ინერციის დადგენა. ითვალისწინებს რა კლიმატის ცვლილების პროცესში (ძირითადად თერმული ველის ცვლილებაში) წონასწორული რეჟიმის დამყარების გათვალისწინების მნიშვნელობას, ნაშრომში /122/ განხილულია ოკეანისა და კონტინენტის თერმული რეჟიმის ინერტულობა წონასწორულ რეჟიმში შეშუოთების შემოტანის შემდეგ. როგორც ნაშრომიდან ჩანს, ამ პროცესს გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს კლიმატის ცვლილების გარდამტეხ

პერიოდში, კერძოდ კლიმატის ცვლილების დინამიკურ მოდელებში. რაც შეეხება სტატისტიკურ მოდელებს, რომლებშიც კლიმატის ცვლილების განმსაზღვრელი პარამეტრების საშუალო წლიური მნიშვნელობების შემოტანა ხდება ცალკეული წლების მიხედვით, ინერციულობის გათვალისწინებას მნიშვნელობა არა აქვს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კლიმატის ცვლილების მოდელის აგებისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ემპირიული რიგების დროის ერთიდაიგივე პერიოდზე მიყვანას. კლიმატოლოგიურ გამოკვლევებში ასეთი საშუაოები ხშირად ტარდება, მაგრამ აღდგენის სიზუსტეს ნაკლები ყურადღება ეთმობა. კლიმატის ცვლილების მოდელები, განსაკუთრებით ენერგო-ბალანსური მოდელის აგება, დაკვირვების რიგის აღდგენის მაღალ სიზუსტეს მოითხოვს. ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, როგორც თეორიული შეფასებებით, ასევე პრაქტიკული მაგალითებიდან გამომდინარე, შემთხვევითი ვარიაციის უაღბათესი მნიშვნელობის აღდგენა ემპირიული ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლით შეიძლება განხორციელდეს. ამ მეთოდის გამოყენების არეალი სულ უფრო და უფრო ფართოვდება ატმოსფერული პროცესების შესწავლისას. რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, იგი პირველად ჯერ კიდევ 50-იანი წლების ბოლოს ნ.ბაგროვმა გამოიყენა ბარიული ველების ვარიაციების შესწავლისას /13/. შემდგომში ა.ობუხოვმა განავითარა იგი და აჩვენა, რომ ბუნებრივი ორთოგონალური ვექტორების სისტემა მისი შემთხვევითი ვექტორების აღდგენას ოპტიმალურად ახორციელებს სხვა სისტემებთან შედარებით /60/. მეთოდი განსაკუთრებით კარგი ეფექტურობით ხასიათდება, როცა ავტოკორელაციური მატრიცის ელემენტებს შორის კარგი კორელაციური კავშირებია. იგი წარმატებით იქნა გამოყენებული ხელოვნური თანამგზავრებიდან გაზომილი რადიაციული ტემპერატურის მნიშვნელობიდან მისი ვერტიკალური პროფილის აღდგენისას /43/, რადიაციის სპექტრული შემადგენლობის განსასაზღვრავად /59/, აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდეთა სპექტრის ფართო დიაპაზონში აღსადგენად კონტინენტური /76/ და ზღვისმიერი წარმოშობის აეროზოლებისათვის /77/, რადიაციული ნაკადების ვერტიკალური სტრუქტურის დასადგენად /98/, დიდი ტბების რაიონში (ჩრდ. ამერიკის კონტინენტი) ტემპერატურისა და მოსული ნალექების მეშვეობით წყლის მარაგის დადგენისას /89/ და სხვა მთელი რიგი სრულიად განსხვავებული ატმოსფერული პროცესების შესწავლისას. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ამ ბოლო დროს ორუდოლფის (თანავტორებთან) გამოქვეყნებული შრომა /117/, რომელშიც კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელისთვის დაკვირვების გრძელ პერიოდზე

რიგების მისაყვანად შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდი ყველაზე ეფექტურად იქნა აღიარებული.

ამრიგად, საქართველოში კლიმატის ცვლილების მოდელის შესაქმნელად გამოვიყენებთ მრავალგანზომილებიან სივრცეში ემპირიული ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდს. იგი აღდგენის ეფექტურობასთან ერთად საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროდ აღდგენის სიზუსტე და საჭიროების შემთხვევაში გავზარდოთ იგი ავტოკორელაციური მატრიცის რანგის გაზრდის გზით, რაც ახალი მასივების შემოტანით შეიძლება განხორციელდეს. ეს ართულებს გამოთვლის პრაქტიკულ პროცედურას, მაგრამ დიდი სიზუსტით აღდგენის შესაძლებლობას იძლევა.

აჭარის ტერიტორიის დაკვირვების პუნქტებისთვის, რომელთაც ტემპერატურაზე დაკვირვების სხვადასხვა პერიოდები ჰქონდათ, მეთოდის გამოცდის მიზნით აღდგენის სამუშაოთა ციკლი ჩავატარეთ. ავტოკორელაციური მატრიცის შედგენისას დამატებით შემოვიტანეთ გრძელვადიანი, შედარებით ახლოს მდებარე მეტეოსადგურების სამტრედიის, აბასთუმნის, ბახმაროს და ანასეულის მონაცემები (იხ. ცხრილი 1.1).

ცხრილი 1.1

საშუალო მიწისპირა ტემპერატურების ავტოკორელაციური მატრიცა აჭარის და მისი მეზობელი მეტეოროლოგიური სადგურებისთვის

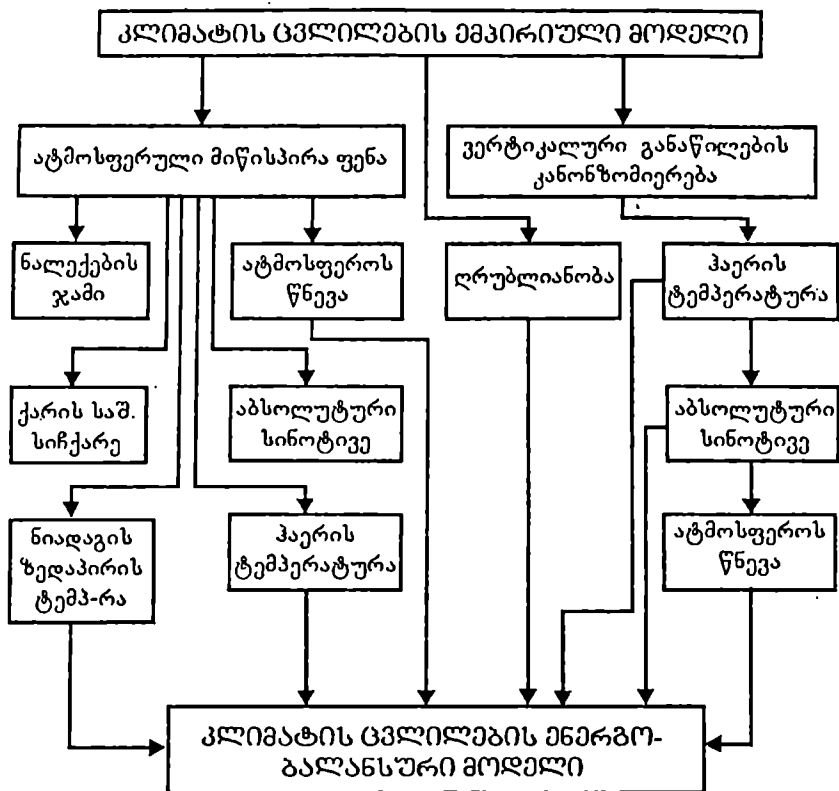
მეტ.სადგური	სამტრ.	აბასთ.	მწკონც.	ჩაქვი	ქედა	ზულო	ბახმარ.	ანას.
სამტრედია	1	0.86	0.92	0.86	0.92	0.91	0.92	0.86
აბასთუმანი		1.00	0.81	0.83	0.82	0.82	0.92	0.75
მწკ.კონცხი			1.00	0.85	0.86	0.81	0.83	0.78
ჩაქვი				1.00	0.80	0.82	0.85	0.79
ქედა					1.00	0.89	0.87	0.81
ზულო						1.00	0.93	0.92
ბახმარო							1.00	0.83
ანასეული								1.00

ცხრილში მოყვანილ სადგურებს 56 წლის ერთდროული დაკვირვების მონაცემები აღმოაჩნდათ. მიუხედავად მკვეთრი ოროგრაფიული არაერთგვაროვნებისა, კორელაციური კავშირები დაკვირვების პუნქტებს შორის მაღალი იყო. ერთი საკუთრივი ვექტორის გამოყენება საკმარისი აღმოჩნდა საშუალო წლიური ტემპერატურების 80%-ის და მეტი სიზუსტით აღსადგენად.

ზემოგანხილულიდან გამომდინარე, მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელის ასაგებად ოპტიმალურად მივიჩნიეთ გამოვიყენოთ მეტეოროლოგიური სადგურების 90-წლიანი პერიოდის მონაცემები 1906- 1995 წლებში. დაკვირვების რიგების 90-წლიან პერიოდზე მისაყვანად ვისარგებლოთ მრავალგანზომილებიან სივრცეში შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდი, ხოლო ტემპერატურული ველის ცვლილების კრიტერიუმად მივიღოთ 1966-1995 და 1906-1935 წლებში ტემპერატურების ანომალიათა საშუალო მნიშვნელობების სხვაობები. რადგან აღნიშნული გზით აგებული ტემპერატურული ველის ცვლილებაში 1936-1965 წლების ანომალიები არ მონაწილეობენ, გადავწყვიტეთ პარალელურად ველის ცვლილება დაგვეხასიათებინა ანომალიათა ვარიაციების წრფივი აპროქსიმაციითაც, რაც ანომალიების ვარიაციებს სრულად ითვალისწინებს.

ამრიგად, საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელის ასაგებად გამოვიყენებთ როგორც ანომალიების სხვაობის, ასევე მათი წრფივი აპროქსიმაციის მეთოდებს.

სურ 1.2-ზე მოცემულია კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის ბლოკ-სქემა.



სურ.1.2 კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის ბლოკ-სქემა

1.2 კლიმატის ცვლილების ენერგო-ბალანსური მოდელი

კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელები, როგორც გლობალური, ასევე რეგიონალური, განსაზღვრავენ კლიმატური სისტემის ცვლილების ტენდენციებსა და ინტენსიურობებს, მაგრამ ისინი არ იძლევიან საშუალებას დავადგინოთ კლიმატის ცვლილებების გამომწვევი მიზეზები. საქმე იმაშია, რომ ემპირიულ მოდელებში არ ფიგურირებს ის პროცესები თუ პარამეტრები, რომელთაც კლიმატური სისტემის ცვლი-

ლება შეუძლიათ გამოიწვიონ. ამიტომ, ემპირიულ მოდელებს პრინციპულად არ შეუძლიათ დაადგინონ ის მიზეზები, რომლებიც კლიმატის ცვლილებას იწვევენ, ისინი მხოლოდ ცვლილების ფაქტს აფიქსირებენ.

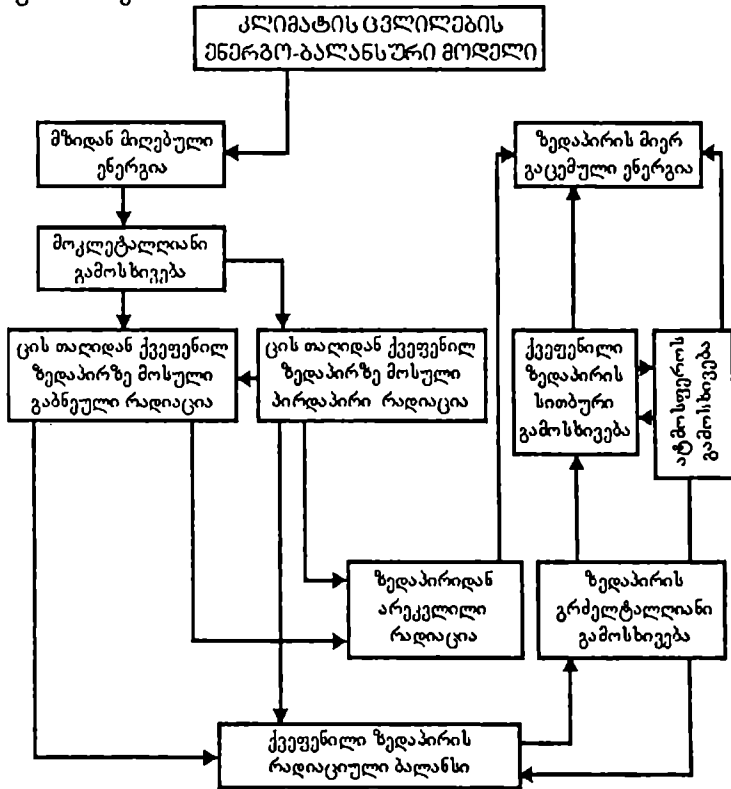
მიუხედავად ამისა, ლიტერატურულ წყაროებში ვხვდებით საკმაოდ მრავალრიცხოვან მცდელობებს ემპირიული მოდელებით განისაზღვროს კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზები. პრინციპი ასეთი მიდგომის მარტივია. ემპირიული მოდელით განისაზღვრება გლობალური თუ რეგიონალური კლიმატის ცვლილების ტენდენცია. მისგან დამოუკიდებლად, იგივე პერიოდში, დგინდება კლიმატის განმსაზღვრელი რომელიმე პარამეტრის ან პროცესის ტრენდი. ზდება მათი შედარება, მათ შორის კორელაციური კავშირების განსაზღვრა და კეთდება დასკვნა აღნიშნული პარამეტრისა თუ პროცესის გავლენის შესახებ კლიმატის ცვლილებაზე. ზოგიერთ შემთხვევაში მაღალი კორელაციური კავშირებიც შეიძლება იქნას მიღებული, მაგრამ ეს ადასტურებს იმ ფაქტს, რომ აღებული პარამეტრი თუ პროცესი მართლაც ახდენს გავლენას კლიმატის ცვლილებაზე, გავლენის წვლილს კი ვერ განსაზღვრავს. როგორც აღვნიშნეთ, ლიტერატურული წყაროების მიხედვით გამოკვლევები ამ მიმართულებით საკმაოდ ინტენსიურად ტარდება (ამას ადასტურებს რეგიონალური კლიმატის ცვლილების თეირანის პირველ საერთაშორისო კონფერენციაზე წარმოდგენილი შრომების უმრავლესობა), განსაკუთრებით გამოკვლევები კლიმატის ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდის გავლენის შესაფასებლად. ასეთი შრომების მნიშვნელობა შემდეგშია: თუ რაიმე ფაქტორის გავლენას კლიმატის ცვლილებაზე შეუძლია ერთდროულად გამოიწვიოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ეფექტი, მაშინ აღნიშნული გზით შეიძლება მიახლოებით დადგინდეს ამ ფაქტორის მოქმედების მიმართულება. მაგალითად, ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების გავლენამ კლიმატზე შეიძლება გამოიწვიოს როგორც დათბობა, ისე აცივება. ზემოხსენებული გზით შეიძლება დადგინდეს ზემოქმედების მიმართულება მხოლოდ დროის გარკვეულ მონაკვეთში /1, 4, 12, 28, 30, 45 და სხვ./. გარკვეულ ინტერესს იწვევს კლიმატის ცვლილებაზე ცალსახა კავშირის ძიება იმ ორმაგი მოქმედების პარამეტრებისათვის, რომლებიც თითქმის შეუსწავლელია. ასეთია, მაგალითად, ქვეფენილი ზედაპირის არეკვლის უნარიანობა. მხოლოდ ქვეფენილი ზედაპირის ფიზიკური მდგომარეობის კლიმატის ცვლილებაზე გავლენის შესწავლისას დადგინდა, რომ საკმარისია ნიადაგის ტენიანობა შეცვალო და ზედაპირის კლიმატის ცვლილებაზე გავლენის მიმართულება იცვლება /126/. კლიმატის ცვლილების პრობლემის სახელმწიფო-თაშორისო კომიტეტის ჯგუფმა საეჭვოდ მიიჩნია კლიმატზე ნახშირორჟანგის გავლენის მტკიცება, თუ ეს ფაქტი დამოწმებულია

მხოლოდ მისი რაოდენობისა და ტემპერატურის ტრენდების შედარებით /116/.

აღსანიშნავია, რომ არსებული მოდელური გათვლები შესრულებულია წრფივ მიახლოებაში. რეალობაში კი - ატმოსფეროში, როგორც ფიზიკურ სისტემაში, მოსახლეობის სამეურნეო მოღვაწეობის ინტენსიურობის მკვეთრად გაზრდის შედეგად ფუნქციონირებენ არაწრფივი სათბური წყაროები, რომელთა გათვალისწინება აუცილებელია შემდგომი კვლევითი პროგრამების ჩამოყალიბების დროს /7/.

ზემოთ მოყვანილი მოკლე მიმოხილვა იმით გვინდა დავამთავროთ, რომ ლიტერატურულ წყაროებში (მათ შორის საქართველოშიც) ფართოდაა წარმოდგენილი გამოკვლევები, რომლებიც კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების ახსნას მარტივი მიდგომით ცდილობენ. ასეთი გზით კლიმატის ცვლილების შეფასება არასაიმედოა. კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ისეთი სისტემური მოდელის შექმნით, რომელიც კომპლექსურად გაითვალისწინებს კლიმატის ფორმირების ყველა პარამეტრს, კლიმატის ფორმირების ფაქტორებზე მათი ზემოქმედების კანონზომიერებებს და მათი რაოდენობრივი თუ თვისობრივი ცვლილებებით გამომწვეულ შედეგებს. ამის საშუალებას იძლევა ენერგო-ბალანსური მოდელი /45, 48, 82, 105, 114 და სხვ./. იგი კომპლექსურად აღწერს ყველა სახის რადიაციულ ნაკადებს, რომლებიც დედამიწის ზედაპირამდე აღწევენ მზიდან და ატმოსფეროდან, განსაზღვრავს რადიაციის რაოდენობას, რომელიც დედამიწის ზედაპირზე ენერგეტიკულ დონეს ქმნის, მხედველობაში იღებს ზედაპირის მიერ გაცემული ენერგიის რაოდენობას და აფიქსირებს ზედაპირის ენერგეტიკულ ბალანსს. ენერგეტიკული ბალანსია უშუალო ფაქტორი, რომელიც განაგებს კლიმატის ფორმირებას და მის ცვლილებას, ხოლო მისი რაოდენობრივი მნიშვნელობა დამოკიდებულია მზის ენერგიაზე, ატმოსფეროს გაზურ შემადგენლობაზე და ქვეფენილი ზედაპირის ფიზიკო-გეოგრაფიულ თვისებებზე.

ენერგო-ბალანსური მოდელის გამარტივებული ბლოკ-სქემა მოცემულია სურ.1.3-ზე.



სურ.1.3 კლიმატის ცვლილების ენერგო-ბალანსური მოდელის ბლოკ-სქემა მოწმენდილი ცის პირობებში

აღსანიშნავია, რომ ენერგო-ბალანსურ მოდელში შემავალი ყველა რადიაციული ნაკადების ინტეგრალური მნიშვნელობები სისტემატურად იზომება მსოფლიოს აქტინომეტრიული ქსელის მიერ. მათი უშუალო გამოყენებით შეიძლება დავადგინოთ კლიმატის ცვლილების ტენდენცია და ინტენსიურობა. მაგრამ, მათ ამ მიზნით არ იყენებენ, რადგან იგივე გაცილებით მარტივად და, რაც მთავარია, კლიმატის განმსაზღვრელი ცალკეული ფაქტორების გათვალისწინებით შეილება ემპირიული მოდელით. ენერგო-ბალანსური თეორიული მოდელი, საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ის მიზეზები, რომლებმაც კლიმატის ცვლილება გამოიწვიეს.

ამისათვის საჭიროა მოდელის სრული სისტემის შექმნა, რომელიც გააერთიანებს მისი ცალკეული შემადგენლების თეორიული გამოთვლის შედეგებს. თეორიული გამოთვლა აუცილებელია იმიტომ, რომ მხოლოდ ამ შემთხვევაში იქნება უშუალოდ გათვალისწინებული კლიმატზე ზემოქმედების ყველა პარამეტრის რაოდენობრიობა. როცა ცნობილია ამ რაოდენობრივობათა განაწილება დროის მიხედვით, მაშინ მოდელს შეუძლია განსაზღვროს ყველა პარამეტრის წვლილი კლიმატის ცვლილებაში. რადიაციული ნაკადების თეორიული გამოთვლა მხოლოდ მოწმენდილი ცის პირობებში შეიძლება. ამის გამო მოდელის აგება ორ ეტაპად იყოფა. ჯერ აიგება მოდელი მოწმენდილი ცის პირობებში და შემდეგ განისაზღვრება ღრუბლიანობის გავლენა მოდელზე. აგებული მოდელით მიღებული შედეგები შედარდება აქტინომეტრიული ქსელის მონაცემებთან და განისაზღვრება მოდელის მგრძნობიარობა. ამის შემდეგ მოდელში კლიმატის ზემოქმედების ცალკეული პარამეტრების ტრენდების კომპლექსური შეტანით დადგინდება ამ პარამეტრის წვლილი კლიმატის ცვლილებაზე.

ამრიგად, ენერგო-ბალანსური მოდელის აგების პროცედურა შემდეგ ეტაპებს ითვალისწინებს: მოდელის აგება მოწმენდილი ცის პირობებში; ღრუბლიანობის გავლენა მოდელზე; მოდელის მგრძნობიარობის შეფასება და კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დადგენა.

განვიხილოთ ისინი ცალკალკე.

ენერგო-ბალანსური მოდელის აგება მოწმენდილი ცის პირობებში. მონოქრომატიული რადიაციული ნაკადების გამოთვლა მოწმენდილი ცის პირობებში ხდება ატმოსფეროში მზის სხივური ენერგიის გადატანის ინტეგრო-დიფერენციალური განტოლებიდან [8].

$$\frac{\cos \vartheta}{\rho} \frac{dI}{dz} = kE + \frac{1}{4\pi} \int_0^\infty I\sigma(z, r') \chi(z, r', r) dw' - (k + \sigma)I, \quad (1.1)$$

სადაც I - მზის პირდაპირი რადიაცია; E - ატმოსფეროს სითბური გამოსხივება; z - ვერტიკალური კოორდინატი; ϑ - კუთხე გამოსხივების მიმართულებასა და ვერტიკალს შორის; ρ - ჰაერის სიმკვრივეა z სიმაღლეზე; k - შთანთქმის კაეფიციენტი; σ - გაბნევის კოეფიციენტი და $\chi(z, r', r)$ გაბნევის ინდიკატრისა. ინტეგრირება ხდება ყველა მიმართულებიდან ცის თალის ნახევარსფეროზე. განტოლებაში შემავალი ყველა პარამეტრი დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე (λ), რომლის მიხედვით, განტოლების ამოხსნის შემდეგ, ხდება ინტეგრირება. განვიხილოთ ცალკეული ნაკადების მიხედვით განტოლების ამოხსნის გზები.

მზიდან ქვეყნულ ზედაპირზე მოსული მონოქრომატიული პირდაპირი რადიაციის გამოთვლისას (1.1) განტოლება შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$\frac{\cos \vartheta}{\rho} \frac{\partial I}{\partial z} = -(k + \sigma) I, \quad (1.2)$$

თუ გავითვალისწინებთ საწყის პირობებს (როცა $z \rightarrow \infty$, $I = I_0$, სადაც I_0 -მზის სპექტრული მუდმივაა) (1.2) განტოლების ფორმალური ამოხსნიდან ინტეგრალური ნაკადისათვის შემდეგ გამოსახულებას მივიღებთ:

$$I(z) = \int_0^\infty I_0(\lambda) \exp\left\{-\frac{1}{\cos(\vartheta)} \int_0^\infty \rho[k(\lambda) + \sigma(\lambda)] dz\right\} d\lambda \quad (1.3)$$

(1.3) ინტეგრალის გამოსათვლელად საჭიროა ოზონის, წყლის ორთქლის, ნახშირორჟანგის და აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრივის საერთო რაოდენობის და მათი ვერტიკალური განაწილების ცოდნა.

აღსანიშნავია, რომ გამოთვლების გამარტივების მიზნით ატმოსფეროს ზოგიერთი სტანდარტული პირობებისათვის (1.3) ინტეგრალი გამოთვლილია და ცხრილების ან გრაფიკების სახითაა მოცემული (მაგ. /8, 31/ და სხვ.). მათი გამოყენება, რა თქმა უნდა, მიღებული შედეგის სიზუსტეს ამცირებს. მიუხედავად ამისა მოდელეში მსგავს მაგალითებს ვხვდებით. უფრო მეტიც, /88/ ნაშრომის ავტორი ამტკიცებს, რომ ინტეგრალის მნიშვნელობა შეიძლება განვსაზღვროთ, თუ გვეცოდინება ე.წ. მზის ნათების ინდექსი. ამ მიზნით შესწავლილი აქვს კავშირი აღნიშნულ ინდექსსა და გამოთვლილ მნიშვნელობებს შორის და შედეგები შედარებული აქვს აქტინომეტრიული ქსელის ფაქტიურ მონაცემებს. მგავსი ცდები საქართველოშიც იყო. რეგიონალური ატმოსფეროს სტრატოფიკაციის თავისებურებებიდან გამომდინარე /70, 71/, განისაზღვრა (1.3) ინტეგრალის სტანდარტული მნიშვნელობები /31/ და შედარდა იგი ფაქტიურ მონაცემებს /10, 11/. რა თქმა უნდა ასეთი მიდგომა კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დასადგენად არ გამოდგება.

არასტანდარტულ, ჩვეულებრივ პირობებში (1.3) ინტეგრალის გამოსათვლელად საჭიროა ოზონის, წყლის ორთქლის და ნახშირორჟანგის შთანთქმის ფუნქციები გამოსხივების მოკლელტალდიან უბანში. ისინი კარგადაა ცნობილი ლიტერატურული წყაროებიდან /41, 48, 78, 95, 120/, ამიტომ მათი გამოყენება უშუალოდ შეიძლება გამოთვლის პროცესში.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრა. დასაწყისში ენერგო-ბალანსურ მოდელებში აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრეები შედიოდა მხოლოდ გამარტივებული, სტანდარტული აეროზოლური მოდელების სახით /43, 74, 75, 87, 95, 97, 102 და სხვ./. შემდგომში იქმნებოდა აეროზოლური მოდელები

ატმოსფეროს სხვადასხვა სტრატოფიკაციის მიხედვით: ატმოსფეროს ქიმიური შემადგენლობის გათვალისწინებით /44/, ქვეფენილი ზედაპირების ნაირსახეობის მიხედვით, რომელთაც სხვადასხვა ტიპის აეროზოლები შეედგენ წარმოქმნათ /46, 50, 51, 52, 53 და სხვ./. ჩამოთვლილი მოდელები ძირითადად მხოლოდ გაბნეული სხივური ენერგიის გამოთვლის შესაძლებლობას იძლეოდნენ. ამასთან ერთად ყალიბდებოდა მოსაზრება აეროზოლების შთანთქმის ფუნქციის შემოტანის შესახებ /42, 56, 57/, მაგრამ არ იყო განსაზღვრული სრულად იმ პარამეტრთა სისტემა, რომლებიც ენერგიის აეროზოლური შთანთქმის გამოთვლას პრაქტიკულად შესაძლებელს გახდიდა. ბოლომდე ვერ იქნა მიყვანილი გ.როზენბერგის ფუნდამენტური თეორია აეროზოლების "in situ" წარმოქმნისა და განვითარების შესახებ /65, 66/. ამრიგად, ვერ გამოიკვეთა აეროზოლების შთანთქმის ფუნქციის კონკრეტული სახე ენერგო-ბალანსურ მოდელში შესატანად. ნაკლებად იყო ცნობილი აეროზოლების ვერტიკალური განაწილების კანონზომიერებაც /14, 15, 63, 73 და სხვ./, რაც (1.3) ინტეგრალის გამოთვლის პრაქტიკულ შესაძლებლობას ზღუდავდა.

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტში წლების განმავლობაში მუშავდებოდა თეორია აეროზოლების ე.წ. ოპტიკურ-მეტეოროლოგიური მოდელების შესაქმნელად. აეროზოლების ოპტიკურ-მეტეოროლოგიური მოდელი წარმოადგენს სისტემას, რომელიც აერთიანებს აეროზოლების ოპტიკურ თვისებებს, აღწერს მის ცვალებადობას ტალღის სიგრძის მიხედვით და ითვალისწინებს ატმოსფეროს მეტეოროლოგიურ სიტუაციას. მაშასადამე, იგი საშუალებას იძლევა მოწმენდილი ცის ნებისმიერი მდგომარეობის დროს განისაზღვროს ენერგიის შთანთქმაც და გაბნეაც (მისი შესწავლით დაინტერესებული იყვნენ და კვლევით სამუშაოებს 1980-91 წლებში აფინანსებდნენ ყოფილი საბჭოთა კავშირის სამეცნიერო დაწესებულებები: ვავილოვის სახ. სახელმწიფო ოპტიკური ინსტიტუტი, კოსმოსური გამოკვლევების ინსტიტუტი, ოკეანოლოგიის ინსტიტუტი). 80-იანი წლების ბოლოს ჩამოყალიბდა მოდელის პირველადი სახე /79, 80, 81, 82/, რომელმაც გამოყენება ჰპოვა მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ზელოვნური თანამგზავრებით ბუნებრივი რესურსების ძიების დროს. როგორც ავლნიშნეთ, ოპტიკურ-მეტეოროლოგიური მოდელები ითვალისწინებს ენერგიის გაბნევისა და შთანთქმისა. იმის შესაფასებლად თუ რამდენად აუცილებელია კლიმატის ცვლილების პროცესზე აეროზოლების გავლენის გათვალისწინება, შეიძლება მოვიშველიოთ უკანასკნელ დროს გამოქვეყნებული ნაშრომები /93, 96/, რომლებშიც ნაჩვენებია ატმოსფეროში ენერგეტიკული გარდაქმნებისას აეროზოლების როლი. ზოლო, თუ რამდენად სწორად შეუძლია აღნიშნულმა მოდელმა დაახასიათოს სინამდვილე, შეიძლება მოვიყვანოთ

1993 წელს გამოქვეყნებული ნაშრომი /113/. მისი ავტორები ჩრდილოეთ ამერიკის პირობებში მიღებულ აეროზოლურ მოდელს ადარებენ საქართველოში მიღებულ მოდელთან და ასე აფასებენ თავიანთი მოდელის სიზუსტეს.

ორი სხვადასხვა სისტემით, სხვადასხვა დროს შედგენილი აეროზოლური მოდელის შედარებისას თანხვედრა იმაზე მაინც მეტყველებს, რომ ორთავე ჭეშმარიტებასთან ახლოსაა.

ინტეგრალის პრაქტიკული გამოთვლისას საჭიროა საქართველოსთვის ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრების განსაზღვრა.

ცის თალიდან ქვეფენილ ზედაპირზე მოსული გაბნეული რადიაცია.
ცის თალიდან ერთჯერადი გაბნევის შემდეგ ზედაპირზე მოსული ენერგიის ნაკადს (1.1) განტოლებაში ტოლობის მარჯვნივ მეორე წევრი განსაზღვრავს. მისი გამოთვლისას ძირითადი პრობლემები კვლავ აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრასთანაა დაკავშირებული. ამ პრობლემის გადაჭრის შესახებ ჩვენი მოსაზრება უკვე გამოვთქვით და აღარ გავიმეორებთ. ავლნიშნავთ მხოლოდ, რომ გაბნევის ინდიკატრისის დასადგენად განზრახული გვაქვს გამოვიყენოთ ლიტერატურული წყაროები /23, 32, 35, 41, 64, 78, 88, 94, 127/. ეს შრომები საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ინდიკატრისის მნიშვნელობები მოწმენდილი ცის ნებისმიერი მდგომარეობისას, თუ ცნობილი იქნება აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრივე.

ამრიგად, უშუალოდ მზიდან მოწმენდილი ცის პირობებში ქვეფენილ ზედაპირზე მოსული სხივური ენერგიის რაოდენობის დასადგენად გამოსხივების ამა თუ იმ სპექტრულ უბანში საჭიროა ატმოსფეროში შემოსვლამდე მზის სხივური ენერგიის სპექტრული განაწილების ანუ ე.წ. მზის სპექტრული მუდმივის ცოდნა და იდეალურად სუფთა ატმოსფეროსა და აეროზოლების მიერ გაბნეული რადიაციის რაოდენობის და ატმოსფეროში წყლის ორთქლის, ოზონის, ნახშირორჟანგის და სხვა მცირე კონცენტრაციების მქონე მინარევების მიერ შთანთქმული რადიაციის განსაზღვრა გამოსხივების მოკლეტალღიან უბანში (ივლისისხმება მზის გამოსხივების სპექტრული დიაპაზონი 0.2 - 5.0 მკმ -ის ფარგლებში).

ზედაპირიდან არეკვლილი რადიაცია. არეკვლილი რადიაციის განსაზღვრა შეიძლება მას შემდეგ, როცა პირდაპირი და გაბნეული რადიაცია გამოითვლება. დასადგენი რჩება მხოლოდ ქვეფენილი ზედაპირის ალბედო, რომელსაც ქვეფენილი ზედაპირის ლანდშაფტური შემადგენლობა და მისი ფიზიკური მდგომარეობა განსაზღვრავს. ამის შესაძლებლობას საქართველოს ტერიტორიის ლანდშაფტური რუკები იძლევა.

ქვეფენილი ზედაპირის სითბური გამოსხივება და ატმოსფეროს უკუგამოსხივება. დედამიწის ზედაპირი გამოსხივების გრძელტალღიან უბანში ოპტიკური თვისებებით აბსოლუტურად შავ სხეულს უახლოვდება. უფრო სწორედ წარმოადგენს აბსოლუტურად რუხ სხეულს და მასზე ვრცელდება აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების კანონები. ამ პირობებში გათვალისწინებული უნდა იქნას გრძელტალღიანი ალბედო, რომელიც ტალღის სიგრძეზე არაა დამოკიდებული და აბსოლუტურად შავი სხეულისაგან დაახლოებით 5%-ით განსხვავდება.

დედამიწის ზედაპირის სითბური გამოსხივების დიდი ნაწილი ატმოსფეროში შთანთქმება მცირე კონცენტრაციების მქონე ატმოსფერული გაზების მიერ (წყლის ორთქლი, ნახშირორჟანგი და სხვ.). შთანთქმული ენერგია გადადის სითბურ ენერგიაში, იწვევს ტემპერატურის ზრდას და ატმოსფეროშივე ჩნდება გამოსხივების დამატებითი, მეორადი წყარო. ენერგიის ნაწილი გამოსხივების ამ მეორადი წყაროდან კვლავ უბრუნდება დედამიწის ზედაპირს უკუგამოსხივების სახით (ე.წ. "სათბურის ეფექტი"). მისი განსაზღვრა (1.1) განტოლებიდან შეიძლება. კერძოდ, ატმოსფეროს უკუგამოსხივების გამოთვლისას (1.1) განტოლება შემდეგ სახეს ღებულობს /72/:

$$\begin{aligned} \frac{\cos \vartheta}{\rho} \frac{\partial A}{\partial z} &= k(A - U), \\ \frac{\cos \vartheta}{\rho} \frac{\partial B}{\partial z} &= k(U - B), \end{aligned} \quad (1.4)$$

სადაც A და B -შესაბამისი მონოქრომატული დაღმავალი და აღმავალი ნაკადებია, ხოლო U-ქვეფენილი ზედაპირის სითბური გამოსხივებაა.

(1.4) კერძოწარმოებულიან განტოლებათა სისტემის საწყისი პირობებია:

$$\begin{aligned} A &= 0, & \text{როცა } z \rightarrow \infty \\ B &= \delta U + (1 - \delta) A, & \text{როცა } z = 0, \end{aligned}$$

სადაც δ -ზედაპირის გრძელტალღიანი ალბედოა.

(1.4) განტოლების ამოხსნის გზა ცნობილია /72/, ხოლო იმ პარამეტრებს, რომლებიც ამოხსნის დროსაა საჭირო, ლიტერატურულ წყაროებთან ერთად კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელები განსაზღვრავენ.

ღრუბლიანობის გავლენა ენერგო-ბალანსურ მოდელებზე. მოწმენდილი ცის პირობებში აგებული ენერგო-ბალანსურ მოდელებზე ღრუბლიანობის გავლენის დადგენა აქტინომეტრიული ქსელის ფაქტიური მონაცემების გამოყენებით შეიძლება.

ვირგება მხოლოდ პირდაპირ რადიაციაზე). არსებული ემპირიული მასალა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ რადიაციული ნაკადების ემპირიული მნიშვნელობები, როგორც მოწმენდილი, ისე ღრუბლიანი ცის პირობებში. შესაბამისად განისაზღვრება მოღრუბლულობის მნიშვნელობები და ღრუბლების ძირითადი ფორმების განმეორადობათა ალბათობები. ეს საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ ემპირიული კავშირები მოღრუბლულობასა და რადიაციულ ნაკადებს შორის. მიღებული ემპირიული კავშირებით (კანონზომიერებით) და მოწმენდილი ცის პირობებში გამოთვლილი რადიაციული ნაკადებით შეიძლება რადიაციული ნაკადების ფაქტიური მნიშვნელობების დადგენა.

ენერგო-ბალანსური მოდელის მგრძნობიარობის შეფასება. ზემოთ აღწერილი გზით აგებული ენერგო-ბალანსური მოდელი საკმაოდ მრავალრიცხოვან ანალიზურ კანონზომიერებებს და ატმოსფერულ პარამეტრებს გააერთიანებს. თითოეული მათგანის მოქმედებისა თუ განსაზღვრის სიზუსტე სხვადასხვაა. ასეთ შემთხვევაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს აგებული მოდელის მგრძნობიარობას და სიზუსტის განსაზღვრას. ეს მნიშვნელოვანი ეტაპი აქტინომეტრიული ქსელის მონაცემების გამოყენებით ჩატარდება. კერძოდ, გამოთვლილი და გაზომილი რადიაციული ბალანსების შედარებით. ეს საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ მოდელის სიზუსტე და შევაფასოთ მისი მგრძნობიარობა.

კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დადგენა. აგებულ მოდელში კლიმატის განმსაზღვრელი ფაქტორების ტრენდების შეტანით შეიძლება განისაზღვროს თითოეული მათგანის წვლილი კლიმატის ცვლილებაზე.

გაყოფილებული ემპირიული მასალების დახასიათება და მისი სრულყოფის გზები

გლობალური კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგებისას ძირითად პრობლემას წარმოადგენს დაკვირვებათა უქონლობა ოკეანეებისა და ზღვების აკვატორიებში და ნაწილობრივ კონტინენტების მაღალმთიან სისტემებში. მაშასადამე, დედამიწის ზედაპირის 4/5-ზე მეტ ტერიტორიაზე კლიმატის ცვლილების დასადგენად თითქმის არაერთი ემპირიული მასალა არ მოიპოვება. ამ შემთხვევაში ძირითადი ამოცანაა არსებული ემპირიული მონაცემების ტერიტორიული და სივრცული განზოგადოება. სამაგიეროდ, ამ დროს ემპირიული მასალების შერჩევის ფართო შესაძლებლობაა და, როგორც წესი, არჩევანი ჩერდება გრძელპერიოდიათი, უწყვეტი რიგის მქონე, პირველხარისხოვანი დაკვირვების პუნქტების მონაცემებზე.

სხვა პრობლემა დგება რეგიონალური კლიმატის ცვლილების შესწავლისას. ხმელეთის უმეტეს რეგიონებში ქსელი საკმაოდ ზშირია, მაგრამ დაკვირვების პერიოდები წყვეტილი და არათანაბარია. აქ პირველ პლანზე ემპირიული მონაცემების ერთიან პერიოდზე მიყვანის ანუ დროითი განზოგადოების პრობლემა გადმონაცვლებს. კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგება ამ პრობლემის გადაჭრაზე უშუალოდ დამოკიდებულია.

ქვემოთ აღწერილია ის მეთოდები, რომელთა მეშვეობით საქართველოში კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგებისას დაკვირვების მასალების ობიექტური ანალიზი, გამოტოვებული მოკლეპერიოდიათი (3 თვემდე) ინტერვალის აღდგენა და მონაცემთა ბაზის ერთიან პერიოდზე მიყვანა განხორციელდა.

2.1. გაყოფილებული ემპირიული მასალების დახასიათება და ობიექტური ანალიზი

საქართველოში მეტეოროლოგიური დაკვირვებები 1844 წლიდან დაიწყო. 1980-იანი წლების ბოლოსთვის მეტეოროლოგიური პუნქტების რიცხვმა 400-ს ვადააჭარბა. ამჟამად მეტეოროლოგიური ქსელის არქივში ინახება დაკვირვების უმდიდრესი მონაცემები საქართველოში კლიმატის ცვლილების შესასწავლად. მაგრამ, მათი გამოყენების შესაძლებლობა

ქსელის არათანაბარი განაწილების, დაკვირვების სხვადასხვა პერიოდებისა და ხშირი წყვეტების გამო დიდ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. ჩვენ შევეცადეთ შეგვეჩვია შედარებით გრძელვადიანი და ტერიტორიულად თანაბრად განაწილებული დაკვირვების 90-მდე პუნქტი. ამ პუნქტებიდან მხოლოდ ორია (თბილისი, საქარა) ისეთი, რომელსაც 1906-1995 წლების მანძილზე დაკვირვების უწყვეტი პერიოდი გააჩნია. დანარჩენი პუნქტებისთვის აუცილებელი გახდა ემპირიულ რიგებში გამოტოვებული პერიოდების აღდგენა, ასევე 90-წლიან პერიოდზე მათი მიყვანა.

დაკვირვების მასალის დამუშავება განხორციელდა პერსონალურ კომპიუტერზე ელექტრონული ცხრილების, კერძოდ სისტემის Super-Calk-ის გამოყენებით.

ყოველი პუნქტისთვის ფაქტიური საშუალო თვიური მონაცემების მიხედვით ხდებოდა საშუალო წლიური სიდიდისა და შესაბამისი საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრა. საერთო ცხრილიდან ამოირჩეოდა ის მონაცემები, რომელთა საშუალოდან გადახრა საშუალო კვადრატული გადახრის გაორმაგებულ სიდიდეს აჭარბებდა და ხდებოდა მათი შედარება ახლომდებარე, მეზობელი დაკვირვების პუნქტების მონაცემებთან. თუ სუბიექტური შეფასებით გადახრის ტენდენცია ეჭვს იწვევდა, იგი აღიქმებოდა როგორც წუნდებული და ხდებოდა მისი აღდგენა (აღდგენის მეთოდი იხ. ქვემოთ). მიუხედავად იმისა, რომ დაკვირვების მასალას მეტეოროლოგიურ ქსელში მოქმედი წესდების მიხედვით ტექნიკური შემოწმების პროცედურები გავლილი ჰქონდა, საკმაოდ ხშირი იყო წუნდებული მონაცემები, რომლებიც როგორც ჩანს ძირითადად ამა თუ იმ მექანიკური შეცდომების შედეგად ჩნდებოდა.

ამრიგად, პირველადი ობიექტური ანალიზის მიზანს მექანიკური შეცდომების მიგნება და აღმოფხვრა შეადგენდა.

2.2. ემპირიულ მასალაში გამოტოვებული მოკლე პერიოდის (3 თვეამდე) აღდგენის მეთოდი

როგორც შემდეგ პარაგრაფში ვნახავთ, ემპირიული მასალების გრძელ პერიოდზე მიყვანის სიზუსტეზე დიდ გავლენას ახდენს დაკვირვების პუნქტების მონაცემთა შორის კორელაციური კავშირების დადგენის სიზუსტე და, განსაკუთრებით, კორელაციის კოეფიციენტების განსაზღვრა საშუალო წლიურ სიდიდეებს შორის. მეორე მხრივ კორელაციური კავშირის დადგენის სიზუსტეზე დიდი გავლენა აქვს შემთხვევათა

რიცხვს. რაც მეტია შემთხვევათა რიცხვი, მით უფრო სარწმუნოა კორელაციური კავშირი. ემპირიულ მონაცემებში საკმაოდ ხშირია შემთხვევები, როცა სხვადასხვა მიზეზების გამო გამოტოვებულია ერთი ან რამოდენიმე თვე. ცხადია, ასეთ შემთხვევაში საშუალო წლიური სიდიდის განსაზღვრა შეუძლებელია და აღნიშნული წელი კორელაციური კავშირის დადგენაში არ მონაწილეობს, ე.ი. მცირდება შემთხვევათა რიცხვი. დაკვირვების მასალების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ბუნებრივი პროცესი, რომელიც მათემატიკური მოლოდინიდან შემთხვევით გადახრას იწვევს საკმაოდ დიდი ხნის მანძილზე (რამოდენიმე თვემდე) გრძელდება. მიგვაჩნია, რომ ასეთი სიდიდის აღდგენა საკმაოდ ზუსტად და მარტივად შეიძლება თუ მხედველობაში მივიღებთ გამოტოვებული პერიოდის საწყის და ბოლო ეტაპებს. ასეთი აღდგენით გამოწვეული მცირე უზუსტობა საშუალო წლიური სიდიდის განსაზღვრაზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენს. რადგან ასეთი შემთხვევები საკმაოდ ხშირია, იგი საგრძნობლად ამცირებს შემთხვევათა რიცხვს და აუხეშებს კორელაციური კავშირის დადგენის შესაძლებლობას. გავითვალისწინეთ რა ყოველივე ეს დაკვირვების მასალებში ერთიდან სამ თვემდე გამოტოვებული შემთხვევები აღვადგინეთ შემდეგი წესით. ვთქვათ, მოცემული გვაქვს შემთხვევით რიცხვთა თანმდევობა მატრიცის სახით:

$$\|t_{i,j}\|, \quad (2.1)$$

სადაც i -წელთა თანმიმდევრობაა, ხოლო j - თვეებია 1-დან 12-მდე. დავუშვათ i -ური წლის j თვეა გამოტოვებული, მაშინ მას განვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულით:

$$t_{i,j} = \bar{t}_j \frac{t_{i,j-1} + t_{i,j+1}}{t_{j-1} + t_{j+1}}, \quad (2.2)$$

სადაც

$$\bar{t}_j = \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{k=1}^{j-1} t_{k,j} + \sum_{k=j+1}^n t_{k,j} \right\}, \quad (2.3)$$

$$\bar{t}_{j\pm 1} = \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{k=1}^{j-1} t_{k,j\pm 1} + \sum_{k=j+1}^n t_{k,j\pm 1} \right\}, \quad (2.4)$$

ხოლო n - აღებული წლების საერთო რიცხვია. ადვილი მისახვედრია, რომ როცა $j=1$ ან $j=12$ (იანვარი ან დეკემბერი), პერიოდი შესაბამისად გადადის წინა წლის დეკემბერში (ე.ი. როცა $j=1$, $t_{i,j-1}=t_{i-1,12}$) ან შემდეგი წლის იანვარში (ე.ი. როცა $j=12$, $t_{i,j-1}=t_{i+1,1}$).

ანალოგიურად ზდება აღდგენა, როცა თანმდევობით ორი ან სამი თვეა გამოტოვებული. მაგალითად, ვთქვათ, გამოტოვებულია i -ური წლის დეკემბერი (ე.ი. $j=12$) და $i+1$ წლის იანვარი და თებერვალი ($j=1,2$), მაშინ გამოტოვებული თვეების აღსადგენი ფორმულები შემდეგ სახეს მიიღებენ:

$$\bar{t}_{i,12} = \bar{t}_{12} \frac{t_{i,11} + t_{i+1,3}}{\bar{t}_{i,11} + \bar{t}_{i+1,3}},$$

$$t_{i+1,1} = \bar{t}_1 \frac{t_{i,11} + t_{i+1,3}}{\bar{t}_{i,11} + \bar{t}_{i+1,3}},$$

$$t_{i+1,2} = \bar{t}_2 \frac{t_{i,11} + t_{i+1,3}}{\bar{t}_{i,11} + \bar{t}_{i+1,3}}.$$

მაშასადამე, ემპირიული მასალის დამუშავების მეორე ეტაპი ითვალისწინებდა ერთიდან სამ თვემდე გამოტოვებული დაკვირვების საკუთარ მნიშვნელობათა აღდგენას.

2.3. ემპირიული მასალის დაკვირვების რიგების ერთიან პერიოდზე მიყვანის მეთოდი

როგორც უკვე აღნიშნული იყო, რეგიონალური კლიმატის ემპირიული მოდელის აგებისას ძირითად პრობლემას ქმნის ემპირიული მასალების არაერთგვაროვნობა ანუ არასრული, სხვადასხვა ან გამოტოვებული პერიოდების არსებობა ფაქტიურ მონაცემებში. რეგიონალური კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგების სიზუსტე ამ პრობლემის სწორად გადაჭრასთანაა დაკავშირებული.

ემპირიული მასალების ერთგვაროვნობის შემოწმებასა და აღდგენას კლიმატოლოგიაში დიდი ხანია მიმართავენ და ამისათვის შესაბამისი მეთოდებიც საკმაო რაოდენობითაა დამუშავებული. როგორც წესი, აღდგენილ დაკვირვების მასალებს ადრე იყენებდნენ ძირითადად ამა თუ იმ რეგიონის კლიმატური რეჟიმის შესასწავლად. კლიმატური რეჟიმის შესწავლისას აღდგენის სიზუსტეს გადამწყვეტი მნიშვნელობა არა აქვს. კლიმატის ცვლილების შესწავლის დროს, როცა საქმე გვაქვს არა რეჟიმულ, არამედ ნორმიდან გადახრის (ანომალიების) ვარიაციებთან, აღდგენის სიზუსტეს უკვე გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება.

ამ ბოლო დროს კლიმატოლოგიაში, კერძოდ კლიმატის ცვლილების შესწავლის სფეროში, სულ უფრო ხშირად მიმართავენ მათემატი-

კური სტატისტიკის ისეთ თანამედროვე მეთოდს, რომელიც შემთხვევითი ფუნქციის მრავალგანზომილებიან სივრცეში მდგენელებად დაშლასთანაა დაკავშირებული.

როგორც პირველ თავში უკვე აღვნიშნეთ, მეტეოროლოგიაში იგი პირველად ნ.ბაგროვმა გამოიყენა, როცა ბარიული ველის ანომალიებს სწავლობდა. შემდგომში მეთოდი განავითარა ა.ობუხოვმა, რომელმაც მკაცრად დაასაბუთა, რომ მოცემული სიმრავლის შემთხვევითი ვექტორებით ოპტიმალური აპროქსიმაცია, სხვა ორთოგონალური ვექტორების სისტემებთან შედარებით, ბუნებრივი ორთოგონალური ვექტორების სისტემებით შეიძლება განხორციელდეს.

აღნიშნული მეთოდის ძირითადი არსი და პრაქტიკული გამოყენების მაგალითები გადმოცემულია /8/ -ში. აქ მხოლოდ მოვიყვანოთ მოკლე ინფორმაციას, რომელიც საკმარისია მეთოდის არსში ჩაწდომის გარეშე პრაქტიკულად გამოვიყენოთ იგი.

ვთქვათ, მოცემულია შემთხვევით ფუნქციათა სიმრავლე, მაგალითად, ტემპერატურის საშუალო თვიური მნიშვნელობები წლების მიხედვით რომელიმე რეგიონის რამდენიმე დაკვირვების პუნქტისთვის (წლების რაოდენობაა n , ხოლო დაკვირვების პუნქტების რიცხვია m)

$$t_{ij}; \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m. \quad (2.5)$$

აქედან

$$j=1\text{-დან } j=m-1\text{-მდე } i=1,2,\dots,k,k+1,\dots,n,$$

ხოლო

$$j=m\text{-თვის } i=1,2,\dots,k,$$

სადაც

$$m < k < n.$$

ამ შემთხვევაში i -წლების თანმიმდევრობა, ხოლო j - დაკვირვების პუნქტებია. აქედან $j=m-1$ პუნქტისთვის წლების რაოდენობაა $n-i$, ხოლო $j=m$ პუნქტისთვის წლების რაოდენობაა $k < m$. ამოცანის მიზანია $j=m$ პუნქტისთვის $i=k+1$ -დან $i=n$ -მდე წლებში გამოტოვებული მნიშვნელობათა განსაზღვრა.

ვადგენთ მატრიცას,

$$\|t_{ij}\|, \quad i=1,2,\dots,k; \quad j=1,2,\dots,m; \quad m < k. \quad (2.6)$$

(2.6) მატრიცის მიხედვით ვადგენთ კორელაციურ (B_{ij}) და შესაბამის ავტოკორელაციურ (R_{ij}) მატრიცებს, სადაც

$$i, j=1,2,\dots,m,$$

განსაზღვრავთ კორელაციური მატრიცის საკუთრივ რიცხვებს $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$.

ავტოკორელაციური მატრიცის მიხედვით საკუთრივ რიცხვებს ვალაგებთ λ_m კორელაციის კოეფიციენტების კლების მიხედვით. შეფარდება

$$\frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}$$

განსაზღვრავს აღდგენის სიზუსტეს, როცა იგი ზდება ერთი დაკვირვების პუნქტის მონაცემების მიხედვით. როცა აღდგენა ზდება აღსადგენ პუნქტებიდან ყველაზე მაღალი კორელაციის მქონე k პუნქტების მონაცემების მიხედვით მისი სიზუსტე იქნება

$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}.$$

აღდგენა მხოლოდ ერთი პუნქტის მონაცემების გამოყენებით ზდება ფორმულით:

$$\begin{aligned} t_{k+1,m} &= \bar{f}_m - \frac{B_{m,1}}{B_{1,1}} (\bar{f}_1 - t_{k+1,1}), \\ t_{k+2,m} &= \bar{f}_m - \frac{B_{m,1}}{B_{1,1}} (\bar{f}_1 - t_{k+2,1}), \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$t_{n,m} = \bar{f}_m - \frac{B_{m,n}}{B_{n,n}} (\bar{f}_n - t_{n,1}).$$

ორი პუნქტის მონაცემებით აღდგენისას (მაგ. $j=1$ და $j=q$) ვიყენებთ ფორმულას:

$$t_{k+1,m} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \lambda_1 \left[\bar{f}_m - \frac{B_{m,1}}{B_{1,1}} (\bar{f}_1 - t_{k+1,1}) \right] + \lambda_2 \left[\bar{f}_m - \frac{B_{m,q}}{B_{q,q}} (\bar{f}_q - t_{k+1,q}) \right] \right\}. \quad (2.8)$$

ამ შემთხვევაში აღდგენის სიზუსტეა

$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}.$$

ეს პროცესი შეიძლება გავაგრძელოთ მანამდე, ვიდრე სასურველ სიზუსტეს არ მივაღწევთ. აღვილი მისახვედრია, რომ თუ გამოვიყენებთ აღდგენისას ყველა დანარჩენ პუნქტს, აღდგენის სიზუსტე იქნება

$$\frac{\sum \lambda_i}{\sum \lambda_i} = 1.$$

პრაქტიკული თვალსაზრისით აღნიშნული მეთოდის გამოყენება ეფექტურია როცა კორელაციური კავშირები მეტეოროლოგიურ სადგურებს შორის იმდენად მაღალია (დაახლოებით 0.80 და მეტი), რომ საკმარისია ერთი ან ორი პუნქტის მონაცემების გამოყენება.

საქართველოში დაკვირვების პუნქტებს შორის კორელაციური კავშირების შესწავლის პროცესში დავრწმუნდით, რომ როცა ისინი ერთმანეთთან ახლოს არიან განლაგებული, მათ შორის კორელაციის კოეფიციენტები როგორც ვნახეთ (იხ. ცხრილი 1.1) მაღალია. მოვიყვანოთ კიდევ ერთი მაგალითი. ცხრილში 2.1 მოცემულია ნორმირებული კორელაციის კოეფიციენტები კახეთის 5 დაკვირვების პუნქტს შორის.

ცხრილი 2.1

საშუალო მიწისპირა ტემპერატურების ავტოკორელაციური მატრიცა კახეთის ზოგიერთი მეტეოროლოგიური სადგურებისათვის

დაკვირვების პუნქტები	გომბორი	საგარეჯო	თელავი	გურჯაანი	ყვარელი
გომბორი	1.00	0.94	0.93	0.92	0.89
საგარეჯო		1.00	0.94	0.94	0.90
თელავი			1.00	0.95	0.94
გურჯაანი				1.00	0.93
ყვარელი					1.00

ცხრილში მოყვანილ პუნქტებს დაკვირვების ერთიანი პერიოდი აღმოაჩნდა 1941-დან 1987 წლის ჩათვლით, 1943 წლის გამოკლებით. ე.ი. ამ პუნქტებისთვის სინქრონული დაკვირვების წელთა რიცხვი $n=46$. როგორც ცხრილიდან ჩანს, ყველაზე მაღალი კორელაციური კავშირია გურჯაანსა და თელავს ($R=0.95$), ხოლო ყველაზე ცუდი გომბორსა და ყვარელს შორის ($R=0.89$). თუ გომბორის გამოტოვებულ რომელიმე წელს მხოლოდ ყვარლის მონაცემებით აღვადგენთ (ყველაზე ცუდი ვარიანტი), აღდგენის სიზუსტე 93%-ზე მეტია

$$\frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} = 0.932,$$

(რა თქმა უნდა ეს შესაძლებელია, როცა აღსადგენი წლისთვის ყვარელში დაკვირვების მონაცემები არსებობს).

აღდგენის სიზუსტის შემოწმების მიზნით მოვიყვანოთ ორი პრაქტიკული მაგალითი.

მაგალითი 1. აბასთუმნის 21 წლიანი პერიოდისთვის საშუალო წლიური ტემპერატურის მნიშვნელობები აღვადგინოთ სამტრედიის მონაცემებით.

აბასთუმანსა და სამტრედიას ტემპერატურაზე დაკვირვების ერთდროული 71 წლიანი პერიოდი გააჩნიათ 1923-დან 1993 წლის ჩათვლით. ფაქტიურ მონაცემებთან აღდგენილი მნიშვნელობების შედარებისთვის დაეუსვათ აბასთუმანში 1972 წლიდან დაკვირვებები არ ტარდებოდა და აღდგენისთვის შესაძლებელია მხოლოდ სამტრედიის მონაცემების გამოყენება. ე.ი. დაკვირვების ერთიანი პერიოდი მოიცავს 1923-1972 წლებს ანუ $n=50$. 1923-1972 წლების მიხედვით განსაზღვრული კორელაციური მატრიცის B_{ij} -ის სახეა ($i=1,2,\dots,50$; $j=1,2$):

	0.445	0.334
		0.372
	1	0.821
		1

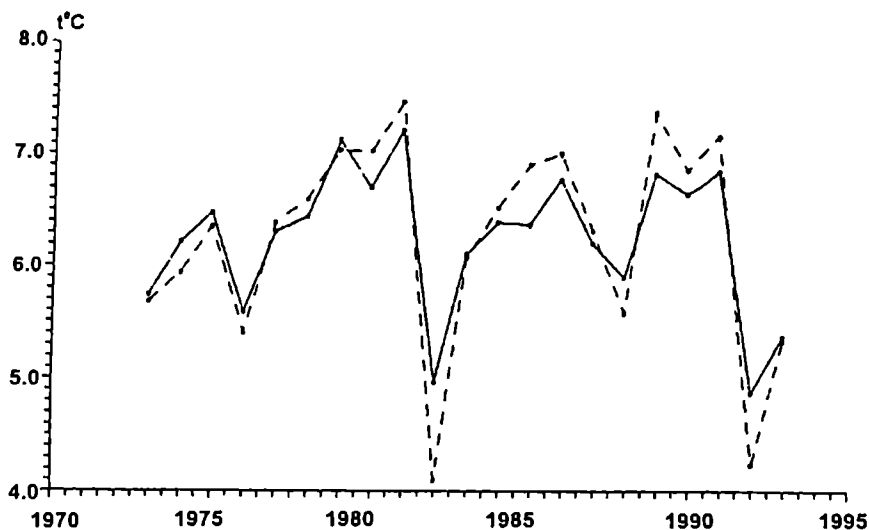
ხოლო, შესაბამისი ნორმირებული ავტოკორელაციური მატრიცა (R_{ij})

	0.445	0.334
		0.372
	1	0.821
		1

ე.ი. მათ შორის კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობაა $R=82.1\%$, ხოლო აღდგენის სიზუსტე ანუ $\lambda_1/(\lambda_1 + \lambda_2)=91.1\%$ -ს შეადგენს.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ აღებული პერიოდისთვის $t_{\text{სა}}=6.461^{\circ}\text{C}$ და $t_{\text{სამ}}=14.468^{\circ}\text{C}$, (2.7) ფორმულით შეიძლება გამოვთვალოთ აბასთუმნის საშუალო წლიური ტემპერატურები 1973-1993 წლებისთვის.

სურ.2.1ა-ზე დატანილია აღდგენილი (წყვეტილი) და ფაქტიური ტემპერატურების ცვლილება 1973-1993 წლებში (როგორც აღვნიშნეთ, აღდგენის საშუალო სიზუსტე 91.1%-ს შეადგენს).



სურ. 2.1ა. აბასთუმნის ფაქტიური და სამტრედიის მონაცემებით აღდგენილი (წყვეტილი ხაზი) საშუალო წლიური ტემპერატურები

მაგალითი 2. რადიონოვკის 21 წლიანი პერიოდისთვის საშუალო წლიური ტემპერატურები აღვადგინოთ ახალქალაქის მონაცემებით. რადიონოვკასა და ახალქალაქის ტემპერატურაზე დაკვირვების ერთდროული 46 წლიანი პერიოდი გააჩნიათ, 1948-დან 1993 წლის ჩათვლით. 25 წლის სინქრონული დაკვირვებების მიხედვით (1948-1972 წწ) ახალქალაქის მონაცემებით აღვადგინოთ რადიონოვკის 21 წლის მონაცემები 1973-1993 წწ.). ე.ი. $n=25$; $i=1,2,\dots,25$; $j=1,2$.

B_{ij} მატრიცას ასეთი სახე აქვს:

	0.838	0.705
		0.620

ხოლო R_{ij} -ს

	1	0.978
		1

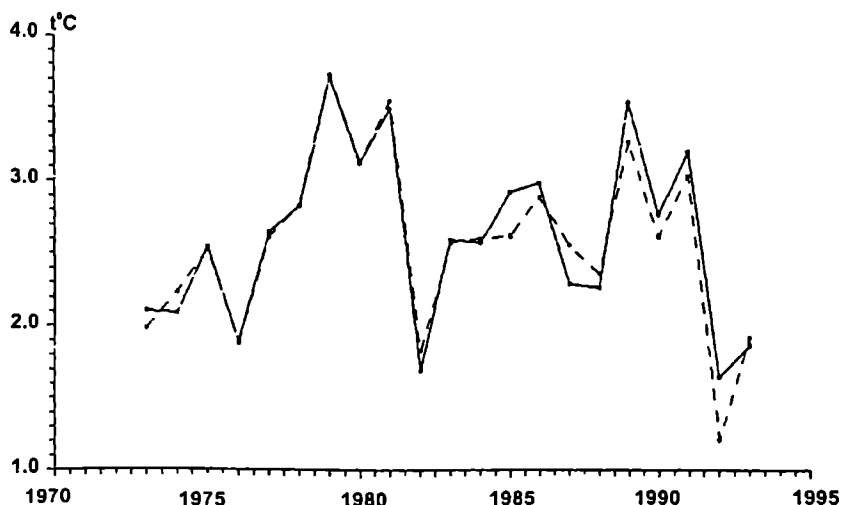
$t_{\text{კლ}}=2.833^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{კ}}=5.228^{\circ}\text{C}$, აღდგენის სიზუსტე ამ შემთხვევაში 98.9%-ია.

აღდგენილი და ფაქტიური მონაცემები დატანილია სურ.2.1ბ-ზე.

მოყვანილი მაგალითები ერთხელ კიდევ გვარწმუნებს ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად შემთხვევითი ფუნქციის დაშლის მეთოდის მაღალ ეფექტურობაში.

ამგვარად, ზემოდ აღწერილი მეთოდით განხორციელდა საქართველოში კლიმატის ცვლილების ემპირიული მოდელის ასაგებად გამოყენებული ყველა პუნქტისთვის დაკვირვების გამოტოვებული პერიოდების აღდგენა და მათი მიყვანა ერთიან 90-წლიან პერიოდამდე.

იგივე გზით და ყოველი დაკვირვების პუნქტის შიგაწლიური განაწილების კანონზომიერების გათვალისწინებით შეიძლება განხორციელდეს სხვა მეტეოროლოგიური ელემენტების აღდგენა და მიყვანა ერთიან 90-წლიან პერიოდამდე.



სურ. 2.1ბ. რადიონოვკის ფაქტიური და ახალქალაქის მონაცემებით აღდგენილი (წყვეტილი ხაზი) საშუალო წლიური ტემპერატურები

მინისაირა ტემპერატურული ველის სვლილება

დედამიწის მთლიანად ან მისი ცალკეული რეგიონების კლიმატის ცვლილების პრობლემა თანამედროვეობის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პრობლემაა. კლიმატის ცვლილება უშუალოდ ეხება ადამიანს, მის სამეურნეო საქმიანობას, მომავალს, ე.ი. განსაზღვრავს მის ზვალინდელ დღეს. ჰავის ცვლილება იწვევს ბუნებრივი ზონების გადაადგილებას, ადამიანის სამეურნეო პროფილის შეცვლას და მასთან დაკავშირებულ ნეგატიური პროცესების განვითარებას.

არსებული მრავალრიცხოვანი თანამედროვე ლიტერატურული წყაროების თანახმად უახლოეს ათწლეულებში კლიმატის ცვლილებას ძირითადად ანთროპოგენური ფაქტორები განსაზღვრავს, რაც XXI საუკუნის პირველ ნახევარში გამოიწვევს დათბობას საშუალოდ 2°C -ით. ამავე საუკუნის მე-2 ნახევარში დათბობა გაძლიერდება ენერგიის წარმოების ზრდის ხარჯზე /17/.

კლიმატის თანამედროვე ცვლილების შემთხვევაში ემპირიული მონაცემებიდან გამომდინარე, დათბობისას ტემპერატურის ზრდა ოკეანური არქტიკული მყინვარების ზონაში ზაფხულის პერიოდში შეადგენს ჩრდილო ნახევარსფეროს ტემპერატურის ზრდის 100%-ს, ხოლო ზამთარში მას აღემატება 4-5ჯერ. შესაბამისად ტემპერატურის ზრდას 2°C -ით არქტიკულ ზონაში შეესაბამება დათბობა ზაფხულში 2°C -ის, ხოლო ზამთარში $8-10^{\circ}\text{C}$ -სიდიდის.

ასეთ პირობებში ყინულის საფარის საშუალო სიმძლავრე შემცირდება 3 მ-ით, რის შემდეგაც განვითარდება დამატებითი დათბობა, გამოწვეული მაღალ განედებში დედამიწის ზედაპირის ალბედოს შემცირებით. ეს კი მიიყვანს მყინვარებს სრულ დნობამდე, რაც გამოიწვევს მსოფლიო ოკეანის დონის აწევას. მ. ბუდიკოს /20,21/ თანახმად ეს მოსალოდნელია უკვე 2025 წლისთვის. თუმცა პროცესი შეიძლება დაჩქარდეს ან შენეიდეს ატმოსფეროს გამჭვირვალობის რყევადობის გამო.

მიმდინარე პროცესი შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ბიოსფეროს "გაახალგაზრდაება", ე.ი. ყველა განედებზე თბილი ჰავის ბუნებრივი პირობების აღდგენა, პოლარული მყინვარული საფარის არ არსებობა. ასეთი კლიმატური პირობების ჩამოყალიბება რომ მიმდინარეობდეს ნელი ტემპით, შეიძლება ჩაითვალოს კაცობრიობისთვის კეთილსასურველადაც კი. მაგრამ, პროცესის დიდი სიჩქარე ქმნის რიგ პრობლემებს, რომელთა გადაწყვეტაც საკმაო სიძნელეებს აწყდება.

ტემპერატურის ასეთი ზრდა თავის მხრივ განაპირობებს ნალექების და მდინარეთა ჩამონადენის რეჟიმების ცვლილებას, ზოგიერთ რაიონებში მტკნარი წყლის რესურსების შემცირებას, რაც გამოიწვევს მძიმე ეკონომიკურ შედეგებს.

ამდენად კლიმატის თანამედროვე დათბობა კაცობრიობის გლობალური პრობლემაა და ის სათანადო ყურადღებას იმსახურებს. დედამიწის საშუალო ტემპერატურის ცვლილება შეიძლება განხილული იქნას როგორც სამი მდგენელის ჯამი. პირველი მათგანი კლიმატის ბუნებრივი ცვლილების შედეგია, რაც მზის ენერგიის ან ატმოსფეროს ოპტიკური თვისებების ბუნებრივმა ცვლილებამ შეიძლება გამოიწვიოს. მეორე წარმოადგენს კლიმატურ ზმაურს, რაც განაპირობებულია ატმოსფეროს ცირკულაციის შემთხვევითი რყევებით, ხოლო მესამეს განსაზღვრავს ანთროპოგენური ფაქტორები.

ანთროპოგენურ ფაქტორებს მიეკუთვნება ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა - სხვადასხვა სახის სათბობის წვით გამოწვეული ნახშირორჟანგის (CO_2) კონცენტრაციის ზრდა ატმოსფეროში, ქვეფენილი ზედაპირის შეცვლა და სხვა. ადამიანი თავის სამეურნეო საქმიანობაში იყენებს სხვადასხვა სახის ენერგიის წყაროს-ნავთობს, ნახშირს, ბუნებრივ აირს, ატომურ ენერგიას და ა. შ. ყოველივე ეს გადაიქცევა სითბოდ, რაც საერთო ჯამში განაპირობებს დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურის მომატებას. დამატებითი სითბო განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია განვითარებული სამრეწველო რაიონებისთვის და მ. ბუდიკოს /19,21/ გამოთვლებით შეადგენს 1.0-1.5 კკალ/სმ²-ს წლის განმავლობაში.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ უკანასკნელი 100 წლის განმავლობაში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდით გამოწვეული გლობალური ტემპერატურული ნაზრდი შეადგენს 0.5 °C--ს /20, 21, 109/.

გლობალურ ტემპერატურაზე გავლენას ახდენს ქვეფენილი ზედაპირის შეცვლა. არსებული გამოკვლევების თანახმად უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა სავანების განადგურებას, მათ გარდაქმნას უდაბნოებად და, აგრეთვე, ტროპიკული ტყეების გაჩეხვას. ამ პროცესების შედეგად სისტემა დედამიწა - ატმოსფეროს ალბედო გაიზარდა 0.006-ით, რასაც უნდა გამოეწვია საშუალო ტემპერატურის 1°C--ით დაცემა/116/. ამით შეიძლება აიხსნას ტემპერატურის დაცემა ჩვენი საუკუნის 30-60-იან წლებში.

სხვა ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა თანამედროვე გლობალურ კლიმატურ პირობებზე საკმაოდ შეზღუდულია.

კლიმატის თანამედროვე ცვლილების შესწავლას ინსტრუმენტული დაკვირვებების საფუძველზე ხანგრძლივი ისტორია გააჩნია. მისი ფეს-

ვები ჩნდება ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 70-იან წლებში და უკავშირდება ვ.კიოპენის /99/ სახელს. მან მთელი დედამიწისთვის დაადგინა ტემპერატურის 1°C -ით დაცემა. ამ გამოკვლევაში რა თქმა უნდა არ იყო გათვალისწინებული ოკეანეთა აკვატორიები. მიუხედავად ამისა და სხვა მეთოდოლოგიური ხასიათის უზუსტობებისა კიოპენის გამოკვლევა უნდა შეფასდეს, როგორც სერიოზული ცდა კლიმატის ცვლილების პრობლემის შესწავლაში. კიოპენის მონაცემები ჩვენი საუკუნის 30-იან წლებში გააგრძელა და სრულყო გ. ჰემფორსმა /100/.

მას შემდეგ მრავალი გამოკვლევა მიეძღვნა აღნიშნულ პრობლემას, რომელთაგანაც განსაკუთრებით აღსანიშნავია ე. რუბინშტიინის და ლ. პოლოზოვას /67,68/, ჯ. მიტჩელის /112/, გ. ლემის /106/, მ. ბუდიკოს /17-21/, თ. დავითაის /30/, კ. ვინიკოვის /25/, ბ. ძერძევესკის /34/ და სხვათა გამოკვლევები. ვ.ვილტმა /125/ შეაფასა პლანეტარული ტემპერატურის ცვლილების ტენდენცია 1880-1930 წლების პერიოდისთვის. მან მთელი დედამიწა დაყო 10° -იან განედურ სარტყლებად და თითოეულისთვის გამოიანგარიშა საშუალო ხუთწლიანი ტემპერატურები. ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე ვ.ვილტმა მიიღო საშუალო პლანეტარული ტემპერატურის 0.5°C -ით გაზრდა, ხოლო ზამთრის თვეების ტემპერატურისა - 1°C -ით ზრდა.

ჯ. მიტჩელმა /112/ პრაქტიკულად გააგრძელა ვ. ვილტის გამოკვლევა იგივე მეთოდიკის გამოყენებით. მან დაკვირვებათა რიგი შეავსო 1959 წლამდე და ააგო რუკები. მიტჩელმა ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე დაასკვნა, რომ ტემპერატურის მატება XX საუკუნის 40-იანი წლებიდან დაკლებით შეიცვალა.

მეთოდური თვალსაზრისით განსაკუთრებით აღსანიშნავია ე. რუბინშტიინის და ლ. პოლოზოვას /68/ მიერ შესრულებული შეფასებები. მათ გამოავლინეს ტემპერატურის სინქრონული რყევის რაიონები და დააკავშირეს ისინი ატმოსფეროს ცირკულაციასა და მზის აქტივობასთან.

ამ გამოკვლევათა სერიაში დადგენილ იქნა, რომ ჰავის ცვლილებები იყო არაერთგვაროვანი, როგორც დროში, ისე სივრცეში. ტემპერატურის ცვლილების ასეთი არაერთგვაროვანი ხასიათი განპირობებულია ატმოსფეროს ცირკულაციის რყევადობის შემთხვევითი ხასიათით, რაც არსებითად ართულებს კლიმატის ცვლილების მიმართულების დადგენასაც. ამასთან დაკავშირებით ტემპერატურის ანომალიების უფრო ზუსტი განსაზღვრისთვის მ. ბუდიკომ /14/ გამოიყენა არა ცალკეული სადგურების დაკვირვებები, არამედ ტემპერატურის ანომალიის რუკები.

ამის შედეგად მან მიიღო ტემპერატურის ანომალიების საუკუნე-ბრივი სვლა ჩრდილო ნახევარსფეროსთვის. დადგენილ იქნა, რომ XIX საუკუნის დასასრულს დაიწყო დათბობა, რამაც მიაღწია სუსტად გამოხა-

ტულ მაქსიმუმს გასული საუკუნის მიწურულს. შემდეგ დაიწყო ტემპერატურის რამდენადმე დაცემა, რაც შეცვალა მისმა სწრაფმა ზრდამ. ზრდის ინტენსივობა გაიზარდა 10-იანი წლების დასასრულს და 20-იანი წლების დასაწყისში. ტემპერატურის დადებითი ანომალია მაქსიმალური იყო 30-იანი წლების დასასრულს, ხოლო 40-იან წლებში დათბობის პროცესი შეცვალა აცივებამ. 60-იანი წლების შუაში ჩრდილო ნახევარსფეროს საშუალო ტემპერატურამ მიაღწია 10-იანი წლებისთვის დამახასიათებელ დონეს.

ამდენად, 70-იანი წლების დასაწყისში მიღებული იყო დასკვნა, რომ მიმდინარეობდა კლიმატის აცივება. ამ დროისთვის დამუშავებული იყო კლიმატის ცვლილების 20-ზე მეტი პროგნოზი, რომელთაგანაც თითოეული გულისხმობდა უახლოეს ათწლეულებში კლიმატის აცივების პროცესის გაგრძელებას. ამავე დროს ჰ.ლევი /105/ აღნიშნავდა, რომ არც ერთ ამ პროგნოზს არ გააჩნდა სათანადო მეცნიერული დასაბუთება, და სულ მალე მან გამოაქვეყნა ჰავის მოსალოდნელი დათბობის პირველი მონაცემები.

ასეთი დათბობა პირველად შემჩნეული იყო ატლანტის ოკეანის ჩრდილოეთი ნაწილისათვის /105/. ანალოგიური დასკვნები გამოაქვეყნა ვ. ვილელტმა /125/.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს თ. დავითაიას მიერ ჩამოყალიბებული ჰიპოტეზა, რომლის მიხედვით გლობალური კლიმატის ცვლილების პროცესზე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს ატმოსფეროს ანთროპოგენური გაჭუჭყიანების თანდათანობითი ზრდა /30/. ჰიპოთეზის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების თანდათანობითი ზრდა იწვევს ატმოსფერული აეროზოლების ინტენსიურ დალექვას ღედამიწის ზედაპირზე. აეროზოლების მნიშვნელოვანი ნაწილი ნახშირბადის შენაერთებისაგან შედგება, რომელთაც სხივური ენერგიის შთანთქმის დიდი უნარი გააჩნიათ. ეს იწვევს მზიდან მოსული სხივური ენერგიის შთანთქმის გაძლიერებას და შესაბამისად ღედამიწის ზედაპირის დათბობას. ამ პროცესმა განსაკუთრებული გავლენა მუდმივი თოვლითა და ყინულებით დაფარულ ზედაპირებზე უნდა მოახდინოს, ე.ი. ზედაპირებზე, რომელთაც მზის სხივური ენერგიის არეკვლის მაღალი უნარი გააჩნიათ. ჰიპოთეზის მიხედვით ეს პროცესი ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების გარკვეულ კრიტიკულ დონემდე შეიძლება მიმდინარეობდეს, რასაც შემდეგ გლობალური კლიმატის მკვეთრი აცივება უნდა მოჰყვეს. აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე გამოკვლევები კლიმატის მკვეთრი შესაძლო ცვლილების შესახებ, ბირთვული იარაღის გამოყენებით სახელმწიფოთა შორის ომების შემთხვევაში, ცალსახად ადასტურებს ჰიპო-

თეზის სისწორეს და იგი დღეს კარგადაა ცნობილი "ატომური ზამთრის" სახელწოდებით.

ამ სამუშაოთა შედეგებმა განსაზღვრეს კლიმატის შემდგომი ცვლილებების დეტალური გამოკვლევის აუცილებლობა. ტემპერატურათა რიგების უშუალო ანალიზის გარდა ფართოდ იქნა გამოყენებული ჰავის ცვლილების განსაზღვრის ისეთი ირიბი მაჩვენებელი, როგორც ზღვიური პოლარული მყინვარებია. რ. სანდერსონმა /119/ აჩვენა, რომ 1969 წლიდან 1974 წლამდე არქტიკის უმეტეს რაიონებში გამყინვარება მცირდება. ჩრდილო ყინულოვანი ოკეანის მყინვარული საფარის ფართობი გაიზარდა 10%-ით, ხოლო 60-იანი წლებიდან შემცირდა დაახლოებით ასევე 10%-ით /37/. არის მონაცემები, რომ მსგავსი ტენდენცია შემჩნეულ იქნა სამხრეთ ნახევარსფეროშიც.

დედამიწის კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ემპირიული გამოკვლევის ძირითადი შედეგები განაზოგადა კვინიკოვმა /25/. მან დაამუშავა გლობალური კლიმატური სისტემის ენერგეტიკული ბალანსის დიაგნოსტიკური არასტაციონალური მოდელი, რომლის საფუძველზეც შეაფასა ტემპერატურის ანთროპოგენური ზრდა CO_2 -ის გავლენით, დაწყებული 1880 წლიდან ასი წლის განმავლობაში 0.5°C -ის სიდიდით. ამ საერთო ფონზე გამოვლენილია ურთიერთსაწინააღმდეგო განვითარების მიმართულების პერიოდები.

განხილული გლობალური დათბობის საერთო ფონზე აღინიშნება რეგიონალური კლიმატური ვარიაციები. რეგიონალური კლიმატის ცვლილება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის უპირველეს ყოვლისა ზოგად ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებზე და ურბანიზაციის ღონეზე.

თბილისის ტემპერატურის რიგების პირველი სტატისტიკური ანალიზი ჩაატარა ი.ჭურდიანმა /6/. მან მუსტერის კრიტერიუმების გამოყენებით გამოავლინა 6, 11, 21 და 23 წლიანი პერიოდების არსებობა. აღსანიშნავია, რომ ი.ჭურდიანმა ეს ნაშრომი 50-იან წლებში შეასრულა მაშინ, როდესაც ელექტრონულ-გამოთვლითი ტექნიკა საქართველოში ჯერ კიდევ არ იყო სათანადოდ დანერგილი. ამიტომ მას მოუხდა შრომატევადი სამუშაოს ჩატარება.

მოგვიანებით გ.ჭირაქაძემ /86/ გამოაქვეყნა თბილისის ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლის კვლევის შედეგები მცოცავ საშუალოთა მეთოდის გამოყენებით.

ი. ცუცქირიძემ /85/ ყურადღება გაამახვილა ურბანიზაციის ეფექტზე. ამ მიზნით მან ჩაატარა თბილისის და გარდაბნის დაკვირვებათა ანალიზი. შედეგად მიიღო დასკვნა, რომ ტემპერატურის ზრდის პროგ-

რესულ ხასიათს ადგილი აქვს ორივე შემთხვევაში, რაც უარყოფს ურბანიზაციის გავლენას კლიმატის დათბობაზე.

უკანასკნელ წლებში რ.გვაზავს და ვ.ხორგუანის /28/ მიერ გაანალიზებული იყო თბილისის ტემპერატურის რიგები 100 წლის პერიოდისთვის. წლიური ტემპერატურის ნაზრდი მათ მიერ შეფასდა 0.6°C -ით.

80-იან წლებში ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიურ სამეცნიერო - კვლევით ინსტიტუტში ჩატარდა კავკასიის რეგიონის ჰავის რყევადობის გამოკვლევები. ამ გამოკვლევათა საფუძველზე ტემპერატურის რიგებში გამოვლენილია სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლები: 2-3; 5-8; 20-24 წლიანი, ნახევარსაუკუნოვანი და საუკუნოვანი ციკლები /26,27,62/.

საქართველოს ჰავის ცვლილების პრობლემას მიეძღვნა დ.მუმლაძის სპეციალური მონოგრაფია /5/. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე ტემპერატურის ზრდამ საქართველოში თავის მაქსიმუმს 1966-1975 წლებში მიაღწია და მრავალწლიან ნორმას 2°C -ით გადააჭარბა. მატება ძირითადად მიმდინარეობდა ზამთრის ტემპერატურის ზრდის ხარჯზე, რაც უკანასკნელი 150 წლის პერიოდისთვის შეადგენს 1.3° -ს. განსაკუთრებით დიდია იანვრის თვის ზვედრითი წილი. იანვარში ტემპერატურის ნაზრდი 2.1°C -ს შეადგენს.

საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება უკანასკნელი 140 წლის მანძილზე შეადგენს $0.5-0.6^{\circ}\text{C}$ -ს, თუმცა გარკვეულ პერიოდებში მკაფიოდ ვლინდება ტემპერატურის დაცემა.

ახლახან გამოსულ მონოგრაფიაში /47/ ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობების გარდა განხილულია მათი ექსტრემალური მნიშვნელობების დროითი სელაქ თბილისისთვის. დადგენილია საშუალო მინიმალური და საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურების ზრდის ტენდენციაც საშუალო ტემპერატურების მსგავსად.

საქართველოს და მთლიანად კავკასიის ჰავის ცვლილებაზე მიუთითებს აგრეთვე გლაციოკლიმატური გამოკვლევები, რომლებიც ემყარება კონტინენტური მყინვარების დინამიკის გამოკვლევებს. მაგალითად ვ.ხოგაკოვი /84/, ე.კოტილიაკოვი, ა.კენკე /54,55/ თ. დავითაია /30/ და სხვები მიუთითებენ კავკასიონზე მყინვარების შემცირებას გასული სა-უკუნის ბოლოდან და ბევრი მათგანის საერთოდ გაქრობას.

ნ.ბერუჩაშვილმა ჩაატარა კლიმატის ცვლილების კომპიუტერული ექსპერიმენტები, ლანდშაფტური სტრუქტურის უცვლელობის გათვალისწინებით. განხილულია სცენარები ტემპერატურის გაზრდის ან შემცირებისა 2° -ით წლიური ნალექების უცვლელობის დაშვებით. კომპიუტერული ექსპერიმენტების მიზანი იყო კავკასიის თანამედროვე ლანდშაფტების რეაქციის შეფასება გლობალური ტემპერატურის იმ გაზრდაზე, რასაც ვარაუდობენ XXI საუკუნის დასაწყისისთვის. მიღებულია

რაოდენობრივი მაჩვენებლები თოვლის საფარის, ნიადაგის ტენის, ალბედოს, ფიტომასის მოსალოდნელი ცვლილებების შესახებ.

ლიტერატურა კლიმატის ცვლილების პრობლემის ირგვლივ ძალზე მრავალრიცხოვანია. ამ პრობლემით დაინტერესებულია მსოფლიოს ქვეყნების უმრავლესობა. ამიტომ გამოკვლევების რაოდენობა სისტემატურად მატულობს. ამის გამო, ბუნებრივია, რომ შეუძლებელია არსებული ლიტერატურის რამდენადმე სრულფასოვნად განხილვა. ჩვენ შემოვიფარგლეთ მხოლოდ იმ ძირითადი შედეგებით რაც დღეს მიღებულია გლობალური კლიმატის ცვლილების შესახებ და იმ ნაშრომებით, რომლებიც ასახავენ საქართველოს კლიმატის ცვლილების საკითხებს.

კლიმატის ცვლილების ქვეშ ივლისსხმება ერთი მხრივ კლიმატური პირობების შეცვლა ერთი გარკვეული მიმართულებით, ხოლო მეორე მხრივ რხევითი ხასიათის კლიმატური ცვლილებები. ინსტრუმენტული დაკვირვებების პერიოდისთვის, რომელიც მოიცავს არაუმეტეს 200 წელს ძნელია მათი ერთმანეთისაგან მკაცრად გამოყოფა. ამიტომ ამ ცვლილებების შესწავლის მეთოდებიც მრავალფეროვანია. ისინი შეიძლება გაერთიანდეს 2 ჯგუფად. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ვიზუალური შეფასების მეთოდები: გრაფიკები, მცოცავი საშუალოები, ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდები. მეორეს - დროითი რიგების ობიექტური ანალიზის მეთოდები: ავტოკორელაციური ფუნქცია, სპექტრული სიმკვრივე, კოპერენტობის მაჩვენებლები, პერიოდოგრამანალიზის სხვადასხვა მეთოდები, აგრეთვე წრფივი და არაწრფივი ტრენდები.

კლიმატის ცვლილების შესწავლის უძველესი ტრადიციული მეთოდი არის საშუალო მცოცავ რიგთა მეთოდი. მისი მეთოდოლოგიური საფუძვლები შემუშავებულ იქნა ო. დროზდოვის მიერ /9/. მეთოდი ითვალისწინებს მოკლეპერიოდიანი რყევების შესუსტების და ხანგრძლივი ხასიათის კანონზომიერი ცვლილებების გამოვლენას. მისი პრაქტიკული გამოყენება ფართოდ არის ასახული მრავალრიცხოვან ლიტერატურაში /5, 26, 28, 47, 62, 68, 85, 86, 112, 124 და სხვ./. მეთოდის ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ როდესაც დაკვირვებათა რიგში ყველა მნიშვნელოვანი რყევა რეალური არ არის, მრუდის გაგლეჯებას ზოგჯერ მცდარ დასკვნებამდეც მიყვავართ. ამიტომ მცოცავთა მეთოდის გამოყენებისას საჭიროა გათვალისწინებული იქნას დაკვირვებათა რიგის თავისებურებანი.

ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდების უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ განიხილება მოდულური კოეფიციენტები და მიუხედავად ელემენტების არაერთგვაროვნობისა და ცვალებადობისა, სხვადასხვა პირობებში მიღებული მრუდების შედარება ფაქტიურად საერთო მნიშვნელის გათვალისწინებით ხდება. ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდების მეთოდის განვითარებაში დიდი წვლილი მიუძღვის აგრეთვე ო. დროზდოვს /38,39/.

მანვე გაამაზვილა ყურადღება ამ მეთოდის ნაკლოვანებებზე. ო. დრო-ზღოვმა /36/ აჩვენა, რომ ინტეგრალურ-სხვაობითი მეთოდით გარდა-ქმნილი საწყისი რიგის წევრები შუა ნაწილში დიდი დისპერსიით ხასი-ათდებიან და შემთხვევით ცდომილებათა ხშირი გამოვრება მნიშვნელო-ვნად ზრდის რყევათა ამპლიტუდას ამ ნაწილში.

ავტოკორელაციური ფუნქცია ახასიათებს კავშირს რიგის წევ-რებს შორის შერჩეული დროითი ბიჯის გათვალისწინებით. იმ შემ-თხვევაში თუ საწყის რიგში არის პერიოდული მდგენელი, ავტო-კორელაციური ფუნქცია აგრეთვე პერიოდულია და გააჩნია იგივე პერიოდი. ამის გამო ავტოკორელაციური ფუნქციების საშუალებით ადვილია ფარული პერიოდების გამოვლენა /24, 37, 40/. ფარული პერიოდების გამოვლენა ხდება აგრეთვე სპექტრული სიმკვრივისა და პერიოდოგრამების გამოყენებით. პირველი მათგანისთვის მეთოდური რე-კომენდაციები გამოაქვეყნა მსოფლიო მეტეოროლოგიურმა ორგანი-ზაციამ ჯერ კიდევ 1966 წელს /92/. კარგი რეკომენდაციებია მოცემული აგრეთვე წიგნში /33/. სპექტრულ სიმკვრივეს აქვს ის უპირატესობა, რომ მისი საშუალებით შეიძლება შეფასდეს მიღებული შედეგების საიმედოობა უზრუნველყოფის სხვადასხვა დონეზე. ამავე დროს სპექტრი არ იძლევა არავითარ ინფორმაციას რყევის ამპლიტუდის შესახებ. სამაგიეროდ რყე-ვის ფაზაც და ამპლიტუდაც კარგად დგინდება ა. შუსტერის მეთოდით, რაც წარმატებით გამოიყენა თბილისის ტემპერატურის რიგებისათვის ი.ქურდიანმა /6/. საერთოდ ეს ორი მეთოდი მიზანშეწონილია გამო-ყენებული იქნას კომბინაციაში. ეს ერთის მხრივ უზრუნველყოფს კარგ ურთიერთკონტროლს, ხოლო მეორე მხრივ-საშუალებას იძლევა მივიღოთ ყველა საჭირო სიდიდე /40/.

უკანასკნელ წლებში კლიმატის მსვლელობის დასახასიათებლად გამოიყენებოდა კლიმატური ტრენდები. ამისათვის მიმართავდნენ და-კვირებათა რიგების აპროქსიმაციას ალგებრული პოლინომებით. აპ-როქსიმაციისთვის უმთავრესად გამოიყენებოდა პირველი ხარისხის პო-ლინომები, თუმცა იყო უფრო მაღალი - მეორე და მესამე ხარისხის პოლინომების გამოყენების ცდებიც /29, 99 და სხვ./. ამავე დროს მაღალი რიგის ტრენდების ინტერპრეტაცია დაკავშირებულია რიგ სიმძნელებთან, ამიტომ კლიმატის ცვლილების ტენდენციის დასადგენად დროის რაიმე მონაკვეთზე კ. ვინოკოვი საკმარისად მიიჩნევს წრფივ ტრენდებს /25/.

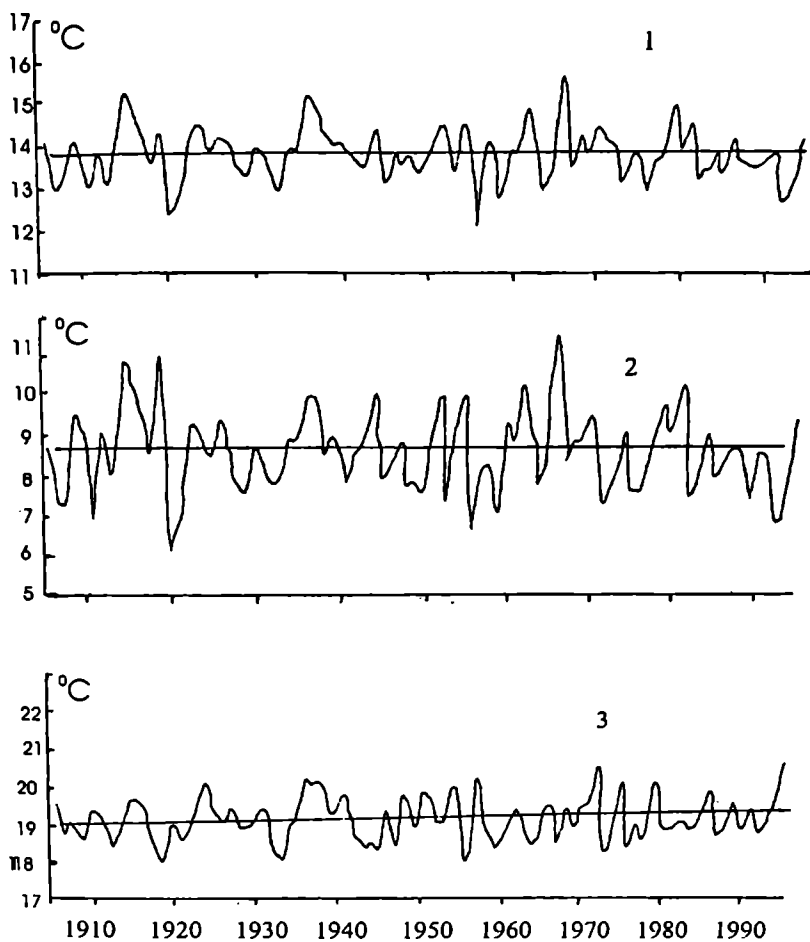
წრფივი ტრენდების შეფასების მეთოდოლოგიური საკითხები თან-მიმდევრულად განიხილა ი.პოლიაკმა. მან დაასაბუთა წრფივი ტრენდის პარამეტრების შესაფასებლად უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენება. ასეთი მიდგომით ხერხდება კლიმატის ცვლილების სიჩქარის შეფასება.

სწორედ ეს უკანასკნელი მეთოდი, ოცდაათწლიანი პერიოდების საშუალო ტემპერატურათა სხვაობის განსაზღვრასთან ერთად კომპლექსში იქნა გამოყენებული ჩვენს მიერ ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლის შესაფასებლად საქართველოს 90-მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებათა მონაცემების მიმართ. ქვემოთ განვიხილავთ ჩატარებული კვლევის ძირითად შედეგებს.

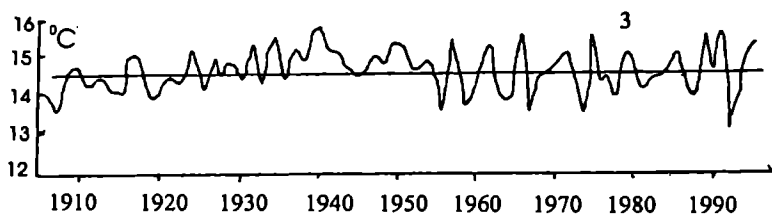
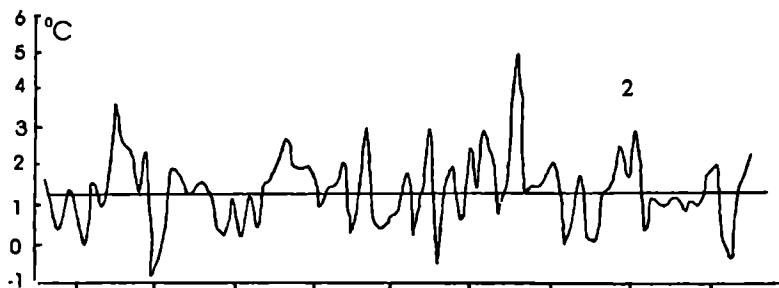
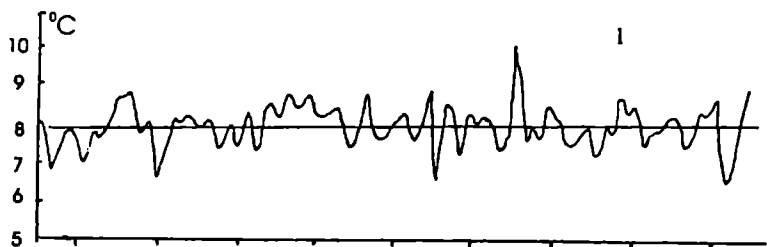
3.1. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლის თავისებურებანი

მონაცემების ბანკის შექმნისათვის გამოყენებული იყო საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული 90 მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებები. დაკვირვებები მიყვანილ იქნა ერთ პერიოდზე (1906-1995 წწ.) და შემოწმებულ იქნა ერგვაროვნობაზე (იხ. 2.1). ამ მასალის საფუძველზე ხდებოდა ტემპერატურათა რიგის ანალიზი, როგორც ცალკეულ პუნქტებისათვის, ისე მათი განზოგადოება მთელ სივრცეში ტემპერატურათა ცვლილების სიჩქარეების და ანომალიების ველების სახით. მოცემულ პარაგრაფში განვიხილავთ ტემპერატურათა რიგების მრავალწლიან სვლას, უფრო ზუსტად ამ სვლის ძირითად ტენდენციებს საშუალო წლიური, ცივი და თბილი პერიოდებისთვის, რომლებიც გაანგარიშებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით.

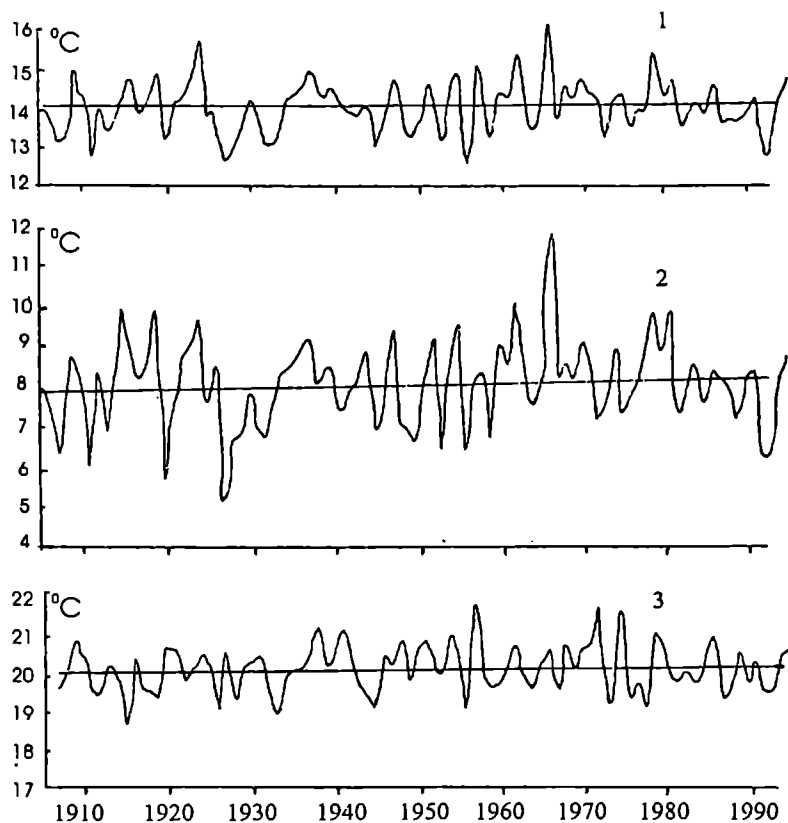
მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მიუხედავად ტემპერატურის (როგორც წლიური, ისე სეზონური) წლიდან წლამდე მნიშვნელოვანი რყევადობისა, მთელი პერიოდის განმავლობაში (1906-1995წწ) შეიმჩნევა მისი კანონზომიერი ზრდა, კლება ან მდგრადობა. მაგალითად, ტემპერატურული ფონის ზრდა კარგად არის გამოხატული თბილისში, გარდაბანში და თელავში; შედარებით ნაკლებად - საქარაში, ფასანაურში, წიფაში და ზუგდიდში. დანარჩენ სადგურებზე კი შენარჩუნებულია მდგრადობა, ან ტემპერატურის უმნიშვნელო ცვლილება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ტენდენციების მიმართულებით. ტემპერატურის სვლის განსხვავებული ინტენსივობები შეიმჩნევა სხვადასხვა სეზონშიც და მითუმეტეს ცალკეულ თვეებში. ყოველივე ეს მიუთითებს საქართველოში ტემპერატურის საუკუნეობრივი ცვლილების ძალზე რთულ ხასიათზე. ის აზრი, რომ ჰავის თანამედროვე დათბობას გლობალური ხასიათი აქვს საქართველოს რთულ გეოგრაფიულ პირობებში არ დასტურდება. ტემპერატურის ცვლილების ხასიათი ყოველ კონკრეტულ პუნქტში თავისი განსაკუთრებული თავისებურებებით გამოირჩევა.



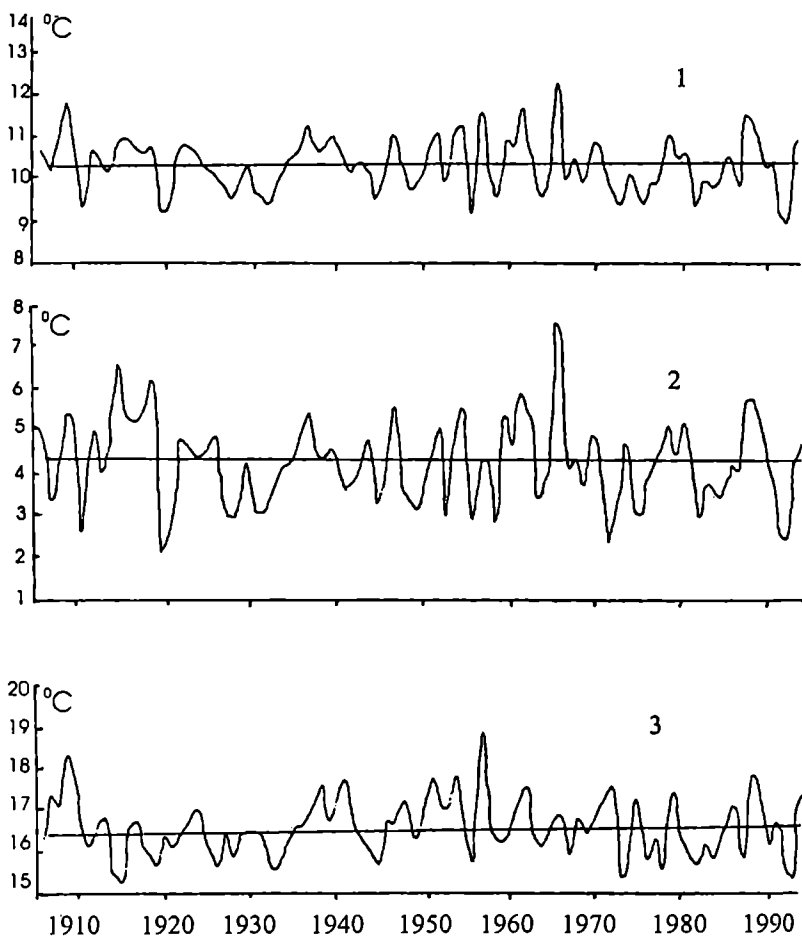
სურ. 3.1. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სელა და წრფივი ტრენდი,
ზუგდიდი (1 - საშუალო წლიური, 2 - ცივი პერიოდი,
3 - თბილი პერიოდი)



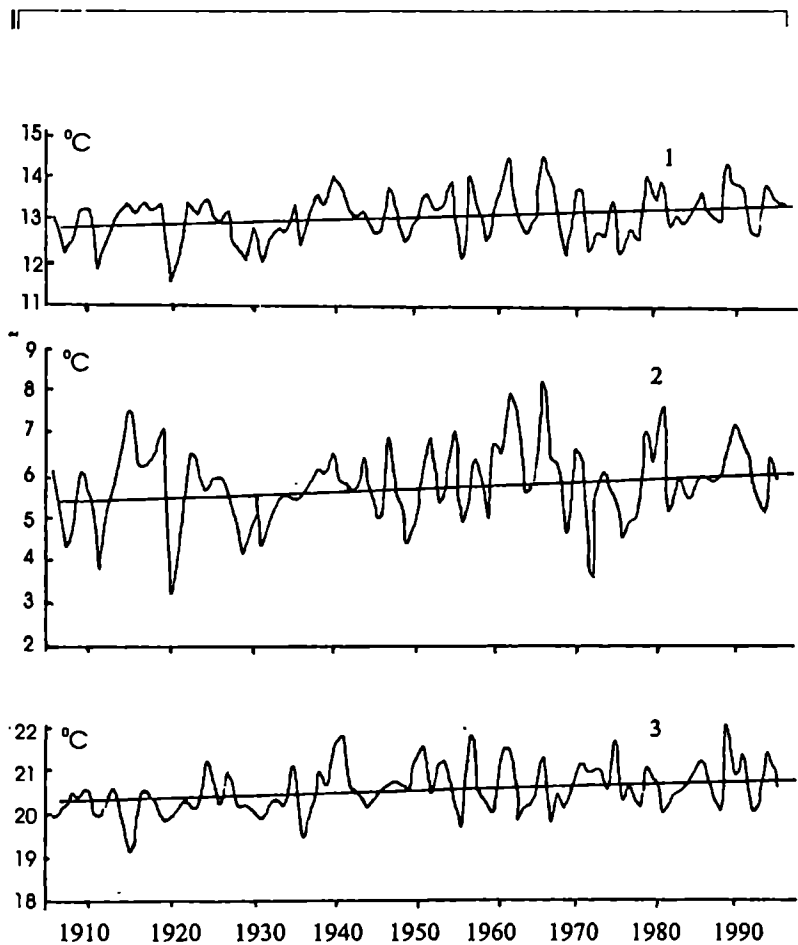
სურ. 3.2. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, ფასანაური (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



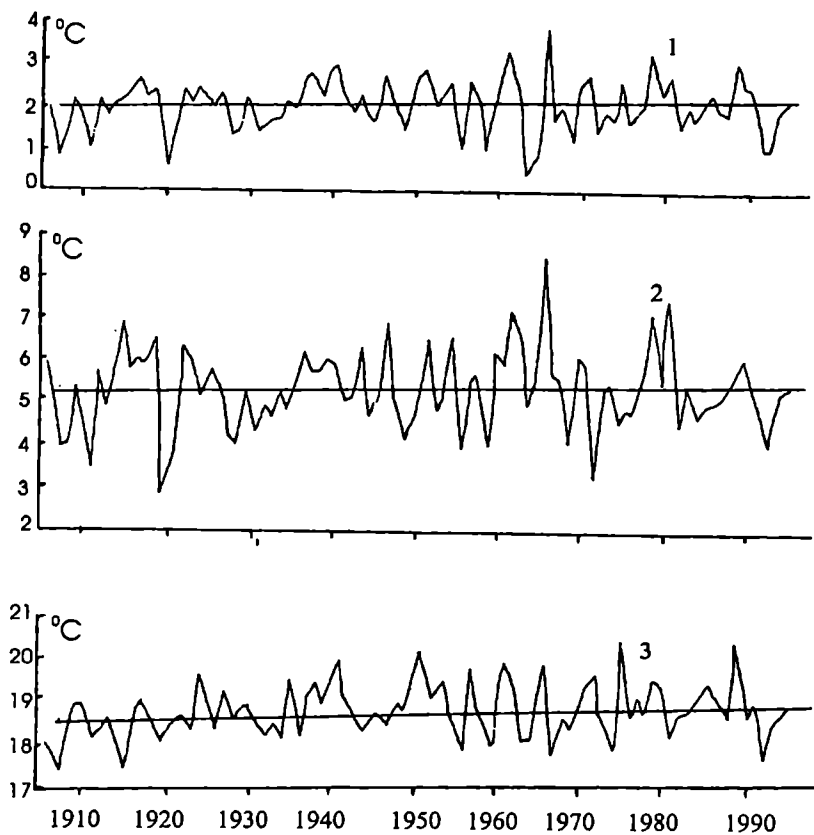
სურ. 3.3. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, საქარა (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



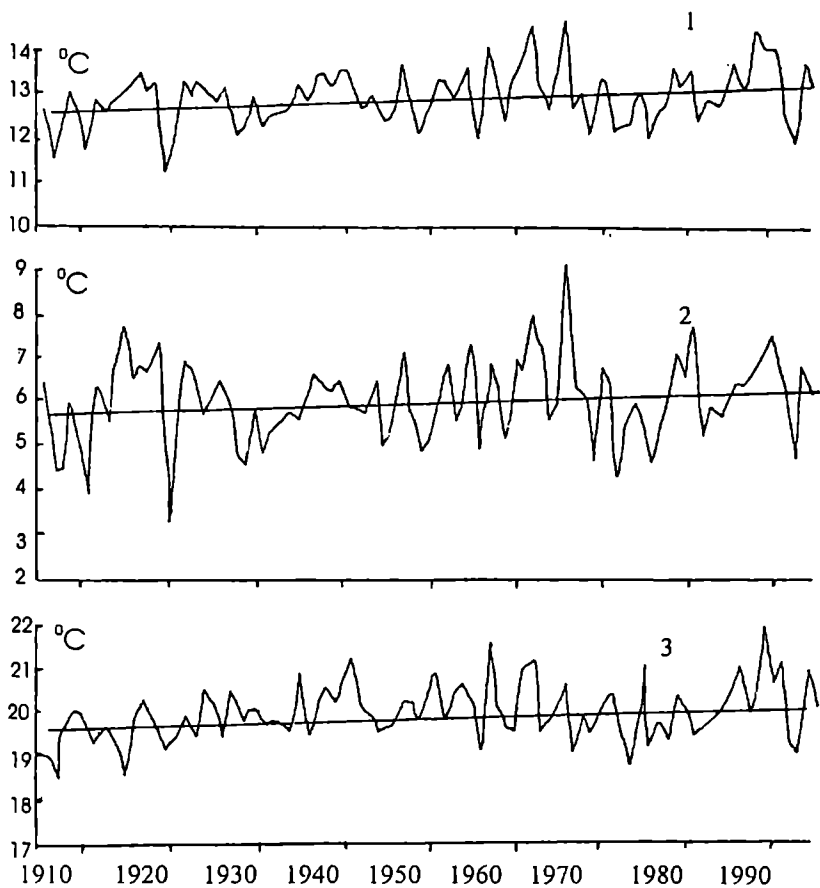
სურ. 3.4. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, წიფა (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



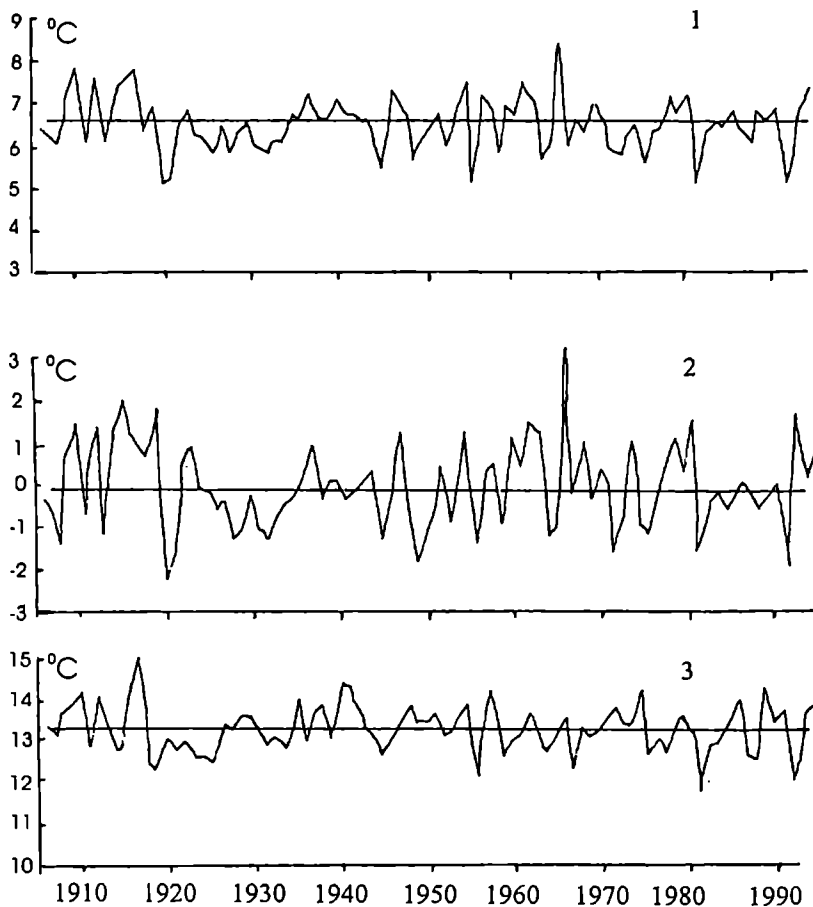
სურ. 3.5. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, გარდაბანი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



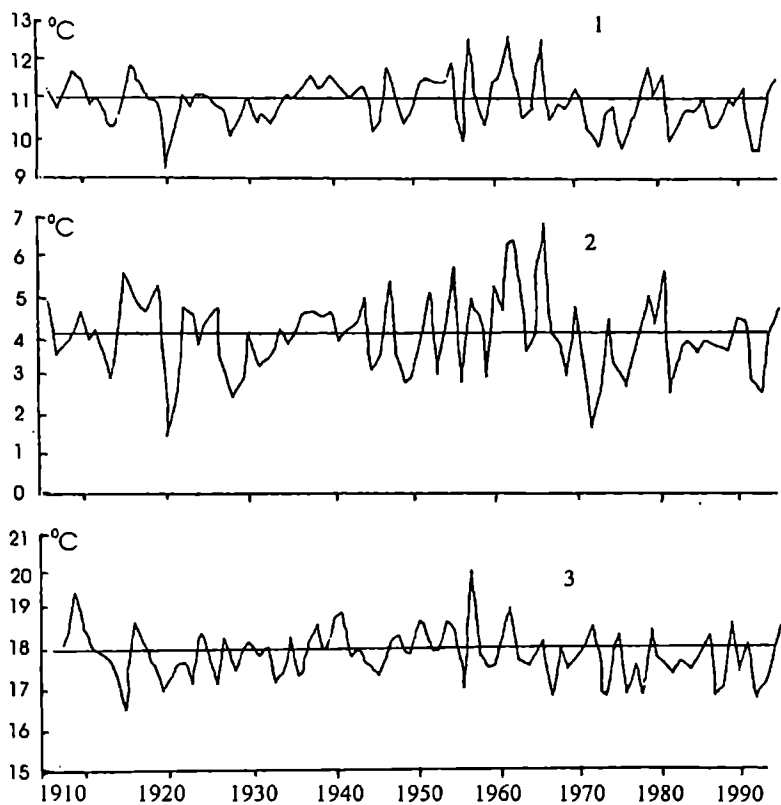
სურ. 3.6. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, თელავი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



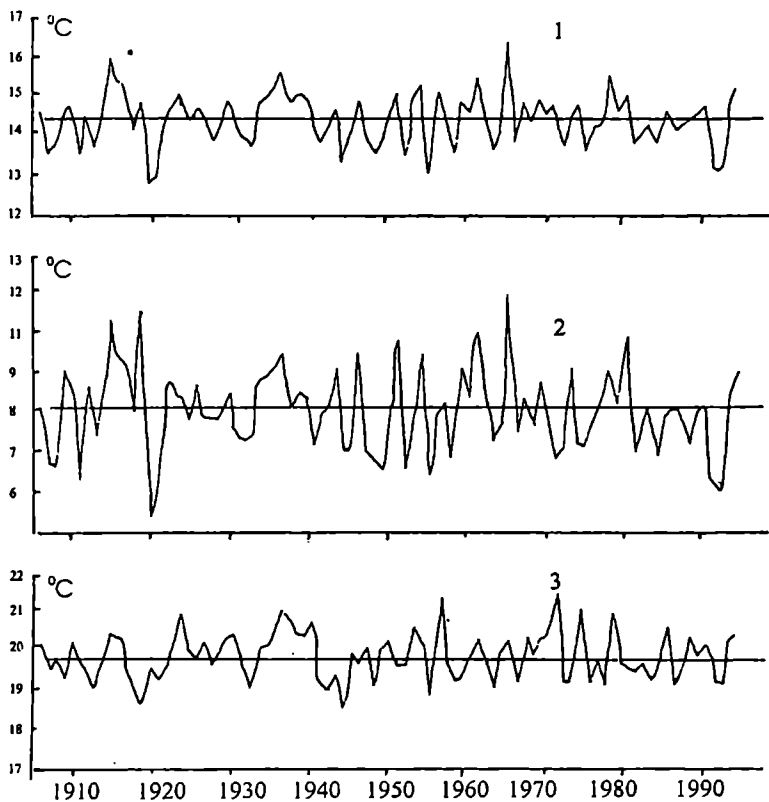
სურ. 3.7. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, თბილისი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



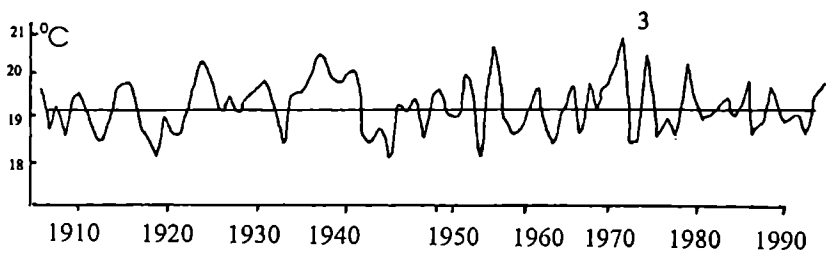
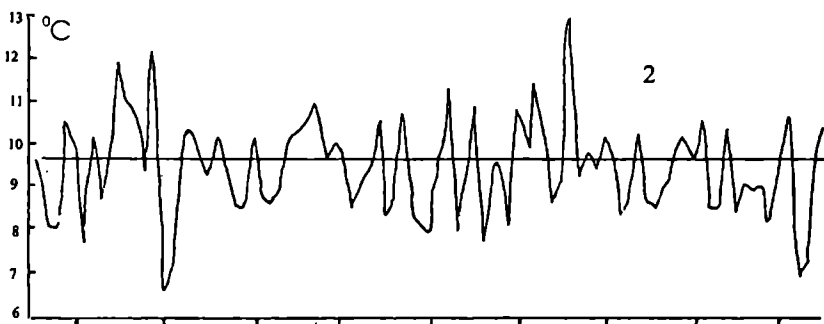
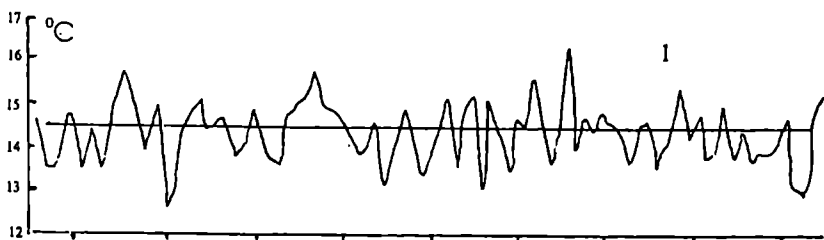
სურ. 3.8. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, აბასთუმანი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



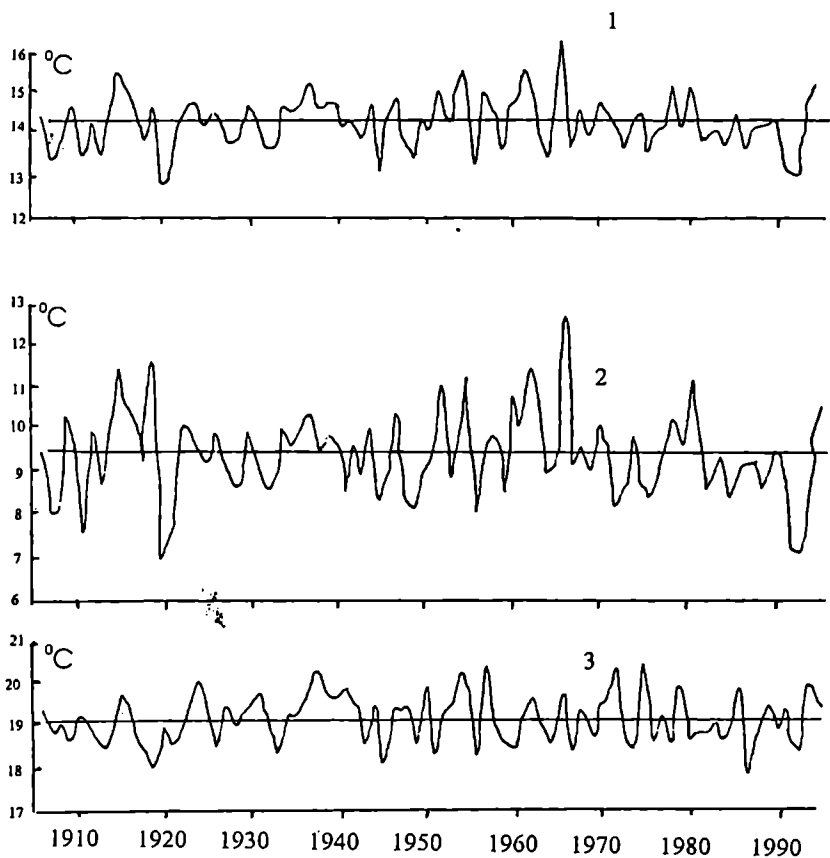
სურ. 3.9. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, გორი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



სურ. 3.10. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სელა და წრფივი ტრენდი, სამტრედია (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



სურ. 3.11. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი,
სოხუმი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)



სურ. 3.12. ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა და წრფივი ტრენდი, ფოთი (აღნიშვნები იხ. სურ. 3.1)

ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლის სიჩქარე საქართველოს ტერიტორიაზე დიდ საზღვრებში მერყეობს. ამას ადასტურებს გამოთვლებით მიღებული ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე 90 მეტეოროლოგიური სადგურისთვის, როგორც საშუალო წლიური ტემპერატურების, ისე სეზონური და თვიური ტემპერატურებისათვის. ამ მასალების სივრცითი განზოგადოება მომდევნო პარაგრაფებში მოხდება, ამიტომ მათ დეტალურ ანალიზზე ამჯერად არ შევეჩერდებით.

აღსანიშნავია, რომ ტემპერატურული რიგების ცვლილება სინამდვილეში არ არის მკაცრად წრფივი. დროის განმავლობაში პერიოდულად შეიმჩნევა როგორც სითბოს, ისე სიცივის ტალღების ზემოქმედება, რომელთა გამოც ცალკეულ პერიოდებში (მაგალითად ათწლეულებში) ტემპერატურები მნიშვნელოვნად გადაიხრებიან ნორმალური მდგომარეობიდან. მაგალითად, აბასთუმანში ყველაზე მაღალი ტემპერატურული ფონი განხილული პერიოდის განმავლობაში აღნიშნულია 1906-1916 წლებში, ყველაზე დაბალი-1926-1936 წლებში. დაწყებული 1936 წლიდან მომდევნო ათწლეულში ტემპერატურული ფონის მნიშვნელოვანი ცვლილება არ შეიმჩნევა. თბილისში ყველაზე მაღალი ტემპერატურული ფონი უკანასკნელ ათწლეულშია დაფიქსირებული (1986-1995 წწ). მათ შუალედებში მოთავსებულ ათწლეულებში ტემპერატურათა ფონი ძირითადად იზრდებოდა; თუმცა ცალკეულ გამონაკლისებში აღინიშნებოდა დაცემა. განსხვავებული სურათები აღინიშნებოდა სხვა გეოგრაფიულ პუნქტებში.

ამრიგად, ტემპერატურის საუკუნეობრივი სვლა, მისი მიმართულება და ტრენდი, აგრეთვე მისი რყევადობა ცალკეული პერიოდების განმავლობაში კონკრეტული პუნქტის გეოგრაფიულ პირობებზეა დამოკიდებული.

ტემპერატურის ცვლილება 1906 - 1995 წლებში

№	დაკვირვების პუნქტი	სიმაღლე ზღვის დონიდან,მ	ინტენსიურობით ცვლილება (გრ. C/წელი)				ცვლილება სხვაობით (გრ. C/ 90წელი)					
			იანვარი	ივლისი	წლიური	ცივი	თბილი	იანვარი	ივლისი	წლიური	ცივი	თბილი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	აბასთუმანი	1265	0.000	0.000	-0.003	-0.003	-0.003	0.049	0.120	-0.81	-0.069	-0.138
2	ალაზანი	290	0.010	0.005	0.004	0.003	0.005	0.562	0.445	0.255	0.204	0.291
3	ამბროლაუ.	544	0.003	0.007	0.003	0.002	0.005	0.451	0.614	0.321	0.285	0.384
4	ანაკლია	5	0.002	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.144	0.072	0.007	-0.109	0.088
5	ანასეული	158	0.000	0.000	-0.002	-0.004	0.000	0.012	0.106	-0.057	-0.179	0.087
6	აკანა	196	0.001	0.000	-0.001	-0.004	0.001	0.099	0.188	-0.008	-0.191	0.144
7	ახალქალ.	1716	0.011	0.002	-0.001	-0.002	-0.001	1.050	0.275	0.086	0.0106	-0.049
8	ახალციხე	982	-0.002	-0.005	-0.005	-0.006	-0.007	-0.027	-0.139	-0.186	-0.173	-0.357
9	ახმეტა	567	0.011	0.011	0.007	0.005	0.010	0.648	0.810	0.477	0.362	0.607
10	ბათუმი	2	0.000	-0.001	-0.001	-0.003	0.001	0.101	0.092	0.067	-0.061	0.173
11	ბარისაზო	1325	-0.007	0.005	0.002	-0.004	0.007	-0.255	0.483	0.233	-0.050	0.498
12	ბაზმარი	1926	-0.004	-0.001	-0.004	-0.005	-0.002	-0.120	-0.179	-0.096	-0.145	0.010
13	ბიჭვინთა	4	-0.001	-0.002	-0.002	-0.004	-0.001	-0.002	-0.055	-0.033	-0.145	-0.024
14	ბოლნისი	534	0.012	0.018	0.006	0.003	0.011	0.708	1.266	0.451	0.216	0.703
15	ბორჯომი	789	0.018	0.011	0.012	0.013	0.012	1.204	0.875	0.892	0.968	0.831
16	გაგრა, ქელი	1644	0.001	0.002	0.001	-0.001	0.003	0.093	0.296	0.151	0.049	0.326
17	გალი	63	-0.001	0.003	0.000	-0.002	0.003	0.043	0.324	0.163	0.015	0.281
18	გარდაბანი	300	0.014	0.006	0.007	0.008	0.006	0.837	0.496	0.432	0.501	0.361
19	გომბორი	1085	0.015	0.005	0.006	0.006	0.006	0.959	0.416	0.393	0.441	0.327

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
20	გორი	588	0.006	-0.003	-0.003	-0.003	-0.004	0.338	-0.061	-0.162	-0.108	-0.220
21	გუდაური	2194	-0.006	-0.004	-0.003	-0.004	-0.003	-0.450	-0.222	-0.174	-0.242	-0.122
22	გურჯაანი	415	0.010	0.005	0.004	0.002	0.005	0.667	0.461	0.271	0.220	0.307
23	დაბლა-ციხ	221	-0.004	0.001	-0.004	-0.009	0.001	-0.118	0.199	-0.228	-0.544	0.148
24	დიდი-ჭყონ	345	0.002	-0.001	-0.002	-0.004	-0.001	0.185	0.026	-0.024	-0.133	0.054
25	დიმი	200	0.002	-0.002	-0.001	-0.003	0.000	0.126	-0.008	-0.021	-0.116	0.036
26	დმანისი	1256	0.014	0.009	0.007	0.007	0.007	0.933	0.672	0.438	0.465	0.449
27	დვრიფეში	0.205	0.001	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.115	0.040	-0.012	-0.110	0.054
28	დუშეთი	922	-0.002	-0.004	0.000	-0.001	0.000	-0.019	-0.160	0.039	0.075	-0.011
29	ევგენოვკა	2121	0.015	0.009	0.005	0.004	0.007	0.680	0.675	0.336	0.298	0.391
30	ზუგდიდი	117	-0.002	0.000	-0.001	-0.003	0.001	0.010	0.138	0.062	-0.051	0.154
31	თბილისი	403	0.017	0.005	0.007	0.007	0.006	1.013	0.390	0.365	0.439	0.289
32	თეთრი-წყ.	1140	0.010	0.002	0.003	0.003	0.003	0.611	0.275	0.243	0.281	0.169
33	თელავი	568	0.008	0.004	0.003	0.002	0.004	0.560	0.352	0.270	0.225	0.299
34	თიანეთი	1099	0.010	0.002	0.004	0.004	0.004	0.738	0.277	0.304	0.354	0.242
35	იფალითო	700	0.013	0.003	0.005	0.005	0.005	0.828	0.292	0.296	0.349	0.239
36	კარსანი	659	0.013	0.003	0.005	0.005	0.005	0.796	0.294	0.285	0.310	0.218
37	კარწახი	1863	0.013	0.007	0.006	0.005	0.007	1.015	0.529	0.378	0.377	0.392
38	კოჯორი	1338	0.002	-0.001	0.000	0.000	0.001	0.211	0.083	0.068	0.62	0.67
39	ლაგოდეხი	435	0.009	0.008	0.006	0.004	0.008	0.634	0.780	0.427	0.303	0.546
40	ლათა	299	0.000	-0.001	-0.003	-0.004	-0.001	0.143	0.003	-0.090	-0.148	-0.011
41	ლენტეხი	760	-0.008	0.15	0.002	-0.005	0.009	-0.550	0.843	0.135	-0.242	0.484
42	ლესელიძე	6	0.002	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.144	0.021	-0.019	-0.103	0.042
43	მაძისკად.	2854	-0.003	0.003	-0.002	-0.004	0.001	-0.173	0.177	-0.084	-0.146	0.069

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
44	მანგლისი	1194	0.009	0.008	0.006	0.004	0.008	0.645	0.6464	0.470	0.343	0.585
45	მარნეულის	432	0.016	0.005	0.006	0.006	0.006	0.953	0.367	0.343	0.413	0.272
46	მესტია	1441	0.000	-0.004	-0.004	-0.005	-0.004	0.053	-0.191	-0.201	-0.190	-0.212
47	მუხრანის	550	0.011	0.007	0.005	0.003	0.007	0.618	0.536	0.318	0.255	0.390
48	მუხრანის	260	0.002	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.170	0.024	-0.022	-0.122	0.049
49	მწ. კონცხი	94	0.002	0.017	0.005	-0.003	0.011	0.204	1.377	0.438	-0.066	0.908
50	ნაფთაველი	423	0.007	0.009	0.005	0.002	0.008	0.481	0.687	0.337	0.216	0.496
51	ომალო	1880	0.004	0.005	0.002	0.000	0.005	0.336	0.402	0.191	0.082	0.308
52	ონი	788	-0.006	0.011	-0.002	-0.007	0.004	-0.444	0.712	-0.058	-0.359	0.256
53	ორმოცი	1150	0.004	-0.003	-0.003	-0.003	-0.004	0.292	-0.053	-0.140	-0.094	-0.190
54	ორჯონიკ.	280	0.002	-0.001	-0.002	-0.005	0.000	0.142	0.023	-0.049	-0.203	0.070
55	რადიონოვ.	2100	0.011	0.005	0.004	0.004	0.005	0.858	0.434	0.302	0.313	0.308
56	საგარეჯო	802	0.011	0.003	0.002	0.002	0.003	0.850	0.324	0.143	0.168	0.109
57	საირმე	910	0.002	0.001	0.000	-0.003	0.003	0.073	0.147	0.048	-0.119	0.211
58	სამტრედიის	25	0.003	-0.001	-0.002	-0.004	0.000	0.207	0.030	-0.027	-0.148	0.060
59	საქარა	148	0.007	-0.006	0.002	0.004	0.001	0.907	0.349	0.327	0.393	0.259
60	სკრა	607	0.006	-0.004	-0.004	-0.003	-0.004	0.319	-0.053	-0.158	-0.120	-0.200
61	სოხუმი	116	0.002	-0.001	-0.002	-0.004	0.000	0.202	0.042	-0.065	-0.172	0.079
62	ტყეობული	535	0.008	-0.011	-0.003	-0.004	-0.003	0.572	-0.528	-0.154	-0.160	-0.178
63	ფასანაური	1070	0.003	0.000	0.001	0.001	0.002	0.207	0.045	0.146	0.129	0.145
64	ფოთი	3	0.002	-0.003	-0.001	-0.003	0.000	0.126	-0.082	-0.017	-0.125	0.058
65	ფსხუ	685	0.002	0.000	-0.002	-0.003	-0.002	0.131	0.047	-0.050	-0.072	-0.054
66	ქედი	256	-0.001	-0.001	-0.002	-0.007	0.002	-0.082	0.064	-0.009	-0.335	0.230
67	ქვეზანი	266	0.000	0.002	0.000	-0.003	0.003	0.124	0.190	0.053	-0.087	0.232

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
68	ქვემო-აყარ	595	0.002	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.180	0.026	-0.023	-0.129	0.052
69	ქობოლელი	793	0.006	0.001	0.002	0.000	0.004	0.461	0.250	0.241	0.133	0.324
70	ქუთაისი	114	-0.002	0.000	-0.003	-0.005	0.000	0.000	0.131	-0.136	-0.236	0.037
71	ყაზბეგი	3653	0.001	0.002	0.000	-0.004	0.003	0.110	0.108	0.027	-0.143	0.185
72	ყვარელი	449	0.009	0.008	0.004	0.003	0.005	0.624	0.590	0.259	0.222	0.289
73	ყორულდ.	1943	0.004	0.002	0.001	-0.001	0.003	0.296	0.239	0.100	0.015	0.216
74	შირაქი	555	0.008	-0.002	0.003	0.004	0.001	0.664	0.062	0.233	0.341	0.105
75	შრომა	150	0.002	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.152	0.114	0.010	-0.111	0.105
76	წაქეი	30	0.000	-0.001	-0.01	-0.003	0.001	0.106	0.096	0.070	-0.064	0.181
77	ცეში	1117	0.004	-0.003	0.001	0.000	0.002	0.332	-0.006	0.162	0.103	0.197
78	ცხაკაია	40	0.000	0.001	-0.001	-0.004	0.002	0.069	0.109	-0.045	-0.206	0.105
79	ცხინვალი	862	0.012	0.009	0.007	0.006	0.008	0.813	0.802	0.486	0.446	0.514
80	წალენჯიხა	222	0.003	0.000	0.000	-0.003	0.001	0.206	0.166	0.072	-0.080	0.155
81	წალკა	1457	0.009	0.004	0.003	0.002	0.005	0.739	0.299	0.258	0.239	0.261
82	წიფა	637	0.002	-0.002	0.000	-0.002	0.002	0.229	-0.015	0.086	-0.004	0.148
83	წულუკიძე	114	-0.003	-0.005	-0.001	-0.002	0.000	-0.116	-0.167	-0.014	-0.027	0.094
84	ბაიზი	730	-0.004	-0.001	-0.002	-0.004	-0.001	-0.283	0.115	-0.083	-0.135	0.021
85	ხეთა	29	0.001	-0.002	-0.001	-0.002	0.000	0.073	-0.059	0.005	-0.053	0.031
86	ხულო	823	-0.001	0.002	-0.002	-0.004	0.001	-0.013	0.158	-0.074	-0.189	0.049
87	ჯავა	1109	-0.007	0.013	0.001	-0.005	0.007	-0.500	0.742	0.070	-0.269	0.376
88	ჯვრის გად.	2395	0.006	-0.001	0.003	0.004	0.001	0.290	-0.037	0.256	0.264	0.129
89	ჯოჯოლო	663	0.015	0.004	0.005	0.006	0.005	0.907	0.349	0.327	0.393	0.259

ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობები ათწლეულებში

ლაკვირების პუნქტი		თვეები															
აიწლეუ ლეგი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	X-III	IV-IX		
ზუგდიდი	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	1905-15	4.51	5.68	8.84	12.0	16.9	20.5	22.4	22.8	19.8	15.0	10.9	6.86	13.8	8.62	19.0	
	1916-25	5.26	5.20	9.52	13.0	17.0	20.3	22.4	22.1	19.2	14.9	11.2	6.80	13.9	8.80	19.0	
	1926-35	4.74	4.64	7.86	12.2	17.3	20.0	22.0	22.5	19.6	15.8	11.1	6.10	13.7	8.38	18.9	
	1936-45	5.32	6.18	7.54	12.4	17.0	20.3	23.2	23.3	19.6	15.6	11.3	7.3	14.1	8.87	19.3	
	1946-55	5.17	5.96	8.24	12.5	17.4	21.2	22.9	22.8	19.1	14.4	10.8	6.96	13.9	8.59	19.3	
	1956-65	5.18	5.61	7.7	12.5	16.9	20.4	22.3	22.4	18.5	13.6	10.4	7.68	13.6	8.36	18.8	
	1966-75	5.14	6.21	8.95	13.6	17.4	20.2	22.5	22.4	19.4	15.4	11.0	6.5	14.1	8.85	19.3	
	1976-85	5.22	5.83	8.78	12.9	17.1	20.1	21.9	22.0	19.4	14.3	10.5	6.99	13.7	8.61	18.9	
ფსანაური	1986-95	4.17	4.94	8.23	13.4	16.4	20.4	22.8	23.1	19.7	15.5	10.1	6.20	13.7	8.19	19.3	
	1905-15	-4.0	-2.0	2.27	7.22	11.5	15.3	18.5	18.1	14.3	8.85	3.28	-1.5	7.64	1.17	14.1	
	1916-25	-3.1	-2.4	2.82	8.10	12.5	15.6	18.5	18.3	14.2	8.67	4.36	-1.9	7.96	1.14	14.5	
	1926-35	-4.6	-3.4	1.15	7.61	12.6	15.5	18.9	18.9	15.0	10.2	4.18	-1.9	7.85	0.949	14.8	
	1936-45	-3.5	-1.6	1.11	8.1	12.8	15.9	19.3	18.8	15.1	9.91	4.93	-0.79	8.35	1.69	15.0	
	1946-55	-3.5	-2.1	1.94	7.84	13.0	16.0	19.1	18.8	14.7	9.16	3.83	-1.9	8.07	1.25	14.9	
	1956-65	-2.8	-1.8	1.67	7.51	12.5	15.6	18.2	18.2	14.1	8.56	3.48	-0.39	7.89	1.46	14.3	
	1966-75	-3.7	-1.9	2.25	8.56	13.0	15.6	18.6	18.2	14.2	9.6	4.14	-1.7	8.06	1.45	14.7	
	1976-85	-3.6	-2.0	2.28	8.3	12.5	15.4	18.6	17.9	14.7	8.48	3.79	-1.10	7.95	1.32	14.6	
1986-95	-3.7	-2.4	2.69	8.65	12.1	15.9	18.8	17.8	14.6	9.43	3.13	-2.20	7.89	1.15	14.6		

i	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
საქარა	1905-15	3.18	4.86	8.29	12.1	17.7	21.1	23.7	23.5	20.1	14.7	9.92	5.76	13.7	7.78	19.7
	1916-25	4.37	4.34	9.26	13.6	18.2	21.5	23.5	23.4	20.3	15.4	10.7	6.39	14.2	8.40	20.1
	1926-35	3.13	3.5	7.25	12.9	18.8	20.8	23.0	23.2	19.6	15.0	9.80	5.04	13.5	7.29	19.7
	1936-45	3.89	5.12	7.19	12.9	17.7	20.9	23.9	24.3	20.6	15.7	11.1	6.17	14.1	8.20	20.1
	1946-55	3.67	4.5	7.92	12.9	18.4	21.8	23.8	24.1	20.5	15.0	10.5	5.91	14.1	7.92	20.2
	1956-65	4.59	5.06	7.54	13.2	17.9	21.4	23.4	23.7	19.9	14.6	10.2	6.85	14.0	8.14	19.9
	1966-75	4.32	5.01	8.89	14.3	18.5	21.0	23.5	23.5	20.4	15.9	11.0	5.78	14.3	8.48	20.2
	1976-85	4.43	5.15	8.67	13.5	17.9	21.0	22.7	22.9	20.3	14.8	10.5	6.77	14.1	8.39	19.7
	1986-95	3.49	4.15	8.39	14.0	17.3	20.8	23.3	23.7	20.2	15.6	9.68	5.45	13.8	7.79	19.9
	1905-15	0.04	1.26	4.80	9.13	14.5	17.7	20.5	20.5	17.0	11.6	6.92	2.45	10.5	4.51	16.5
წილა	1916-25	0.643	0.362	5.15	9.67	14.2	17.4	20.0	19.8	16.8	11.8	6.97	2.10	10.4	4.51	16.3
	1926-35	-1.20	-0.41	3.11	8.71	14.6	17.1	19.6	20.2	16.5	12.2	6.85	1.31	9.88	3.65	16.1
	1936-45	-0.06	0.95	3.22	9.35	14.2	17.6	20.6	20.9	17.2	12.1	7.28	2.34	10.5	4.30	16.6
	1946-55	-0.08	0.72	3.95	9.64	15.0	18.4	20.7	21.0	17.1	11.5	6.60	1.92	10.5	4.10	17.0
	1956-65	0.71	1.11	3.53	9.72	14.6	18.1	20.3	20.4	16.5	10.9	6.12	2.73	10.4	4.18	16.6
	1966-75	-0.07	0.62	4.54	10.1	14.7	17.3	20.1	20.1	16.5	12.0	6.33	1.74	10.3	4.19	16.5
	1976-85	-0.03	0.53	4.28	9.85	13.8	17.2	19.3	19.6	16.7	10.7	6.23	1.92	10.0	3.94	16.1
	1986-95	0.28	0.92	5.09	10.3	14.1	18.1	20.6	20.6	17.6	12.5	6.62	1.76	10.7	4.53	16.9
	1905-15	0.69	1.87	7.08	11.8	17.7	21.7	25.4	24.6	19.8	13.1	7.40	2.75	12.8	5.48	20.2
	1916-25	1.58	2.04	7.66	12.7	18.1	21.9	25.0	24.6	20.1	13.1	8.09	2.19	13.1	5.77	20.4
გარდაბანი	1926-35	-0.59	1.07	5.95	12.4	18.0	21.5	24.7	25.1	20.3	14.3	8.02	2.16	12.7	5.15	20.3
	1936-45	0.919	3.15	6.14	12.5	17.9	22.0	25.7	25.1	20.6	14.4	8.20	2.95	13.3	5.95	20.6
	1946-55	1.06	3.03	6.88	12.5	18.4	22.5	26.1	25.5	20.5	13.9	7.61	2.13	13.3	5.76	20.9
	1956-65	2.08	3.58	6.76	12.6	18.4	22.3	24.9	24.7	20.1	13.5	7.87	3.34	13.4	6.19	20.5
	1966-75	0.66	2.32	7.06	13.2	18.4	22.0	25.5	24.5	20.0	14.5	8.29	3.30	13.3	6.02	20.6
	1976-85	1.46	2.47	7.01	13.4	17.9	21.6	25.2	24.5	20.7	13.3	7.81	2.56	13.2	5.76	20.5
	1986-95	2.06	2.74	7.47	13.5	17.5	22.5	25.8	25.0	20.7	13.8	7.55	3.09	13.5	6.13	20.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
თელავი	1905-15	0.47	2.15	6.12	10.7	15.3	19.5	23.0	22.7	18.2	12.2	6.63	2.87	11.7	5.08	18.2
	1916-25	1.56	1.63	6.72	11.7	16.4	20.0	22.8	18.5	13.2	7.75	2.32	12.0	12.0	5.38	18.7
	1926-35	-0.66	1.03	5.23	11.3	16.4	19.4	22.7	23.3	18.8	13.6	7.44	2.38	11.7	4.84	18.6
	1936-45	0.96	2.75	5.15	11.7	16.2	20.0	23.5	23.2	19.0	13.5	8.08	3.42	12.3	5.65	18.9
	1946-55	1.30	2.65	5.79	11.4	16.7	20.3	23.6	23.5	18.7	12.9	7.31	2.47	12.2	5.40	19.0
	1956-65	1.84	2.75	5.52	11.4	16.6	20.1	22.6	22.6	18.2	12.2	7.21	3.44	12.0	5.49	18.6
	1966-75	0.61	1.72	5.96	12.2	16.9	20.1	22.9	22.8	18.4	13.1	8.13	2.88	12.1	5.40	18.9
	1976-85	1.20	1.79	6.31	12.3	16.4	19.8	23.2	22.4	18.5	12.1	7.43	3.64	12.1	5.41	18.8
	1986-95	1.24	1.19	6.37	12.4	15.8	20.4	23.5	22.3	18.6	12.7	6.88	2.52	12.0	5.15	18.8
	1905-15	0.89	2.87	6.97	11.3	16.2	20.7	24.3	23.8	19.4	13.0	7.01	3.15	12.5	5.67	19.3
თბილისი	1916-25	2.20	2.28	7.65	12.4	17.4	21.2	24.1	23.9	19.7	13.1	8.27	2.53	12.9	6.01	19.8
	1926-35	-0.34	1.47	5.99	12.1	17.5	21.0	24.0	24.7	20.0	14.7	8.15	2.62	12.6	5.44	19.9
	1936-45	1.39	3.41	5.84	12.3	17.2	21.3	24.9	24.5	20.3	14.1	8.43	3.32	13.1	6.09	20.1
	1946-55	1.60	3.19	6.7	12.1	17.9	21.7	25.0	24.5	19.7	13.4	7.68	2.76	13.0	5.89	20.2
	1956-65	2.78	3.68	6.64	12.5	18.1	21.7	24.2	24.1	19.5	13.2	7.96	3.75	13.2	6.33	20.0
	1966-75	1.14	2.46	6.71	12.7	17.6	21.1	24.4	23.5	19.1	14.1	8.28	3.44	12.9	6.02	19.7
	1976-85	1.88	2.54	6.76	12.8	17.2	20.7	24.1	23.6	19.9	13.1	7.97	3.74	12.8	6.00	19.7
	1986-95	2.86	3.01	7.53	13.3	17.1	21.8	25.1	24.4	20.4	13.8	7.8	3.49	13.4	6.42	20.3
	1905-15	-4.80	-3.00	0.34	5.50	10.8	14.3	17.6	17.6	14.2	8.09	2.89	-2.50	6.76	0.189	13.3
	1916-25	-4.00	-3.90	0.790	6.31	10.7	13.6	16.9	16.9	13.2	8.13	2.35	-2.40	6.48	0.150	12.9
აბასთუმანი	1926-35	-5.90	-4.50	-0.50	5.62	11.3	14.2	16.6	17.3	13.3	8.31	1.69	-3.50	6.16	-0.73	13.1
	1936-45	-5.10	-3.10	-0.63	6.10	11.1	14.2	17.6	17.5	13.4	8.02	2.98	-2.70	6.61	-0.09	13.3
	1946-55	-4.80	-3.80	0.21	6.08	11.5	14.6	17.5	17.4	13.1	7.46	2.07	-3.00	6.53	-0.32	13.4
	1956-65	-4.30	-3.20	0.14	5.87	11.1	1.2	17.2	16.8	12.6	6.75	2.35	-2.20	6.45	-0.08	13.0
	1966-75	-5.00	-3.70	0.983	6.69	11.1	13.8	17.2	16.7	12.8	8.04	2.28	-2.90	6.50	-0.05	13.0
	1976-85	-4.90	-3.50	0.76	5.96	10.6	13.6	17.0	16.5	13.2	7.02	2.23	-2.60	6.32	-0.16	12.8
	1986-95	-4.70	-4.40	0.62	6.81	10.5	13.6	17.3	17.1	13.2	7.88	1.39	-3.10	6.34	-0.38	13.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
გორი	1905-15	-1.10	0.780	4.78	10.2	15.5	19.3	22.2	22.3	18.2	12.0	6.53	1.86	11.1	4.14	18.0
	1916-25	0.311	0.252	5.65	10.7	15.5	19.0	21.7	21.9	18.0	11.5	6.36	0.517	10.9	4.10	17.8
	1926-35	-2.30	-0.61	4.09	10.4	15.9	18.8	21.6	22.3	18.1	13.0	6.49	0.77	10.7	3.57	17.8
	1936-45	-0.62	1.37	4.19	10.36	15.2	19.1	22.5	22.5	18.6	12.6	7.00	1.65	11.2	4.36	18.1
	1946-55	-0.43	0.84	4.81	10.5	16.2	19.7	22.4	22.4	18.2	12.1	6.15	0.96	0.96	4.06	18.2
	1956-65	0.770	1.47	4.73	10.7	15.9	19.6	22.1	22.2	17.7	11.6	6.21	1.81	11.2	4.44	18.0
	1966-75	-1.1	0.52	4.77	11.0	15.7	18.9	22.0	21.4	17.3	12.2	5.64	1.03	10.8	3.85	17.7
	1976-85	-0.56	0.47	5.17	11.1	15.5	18.5	21.4	21.2	17.7	11.0	5.71	1.36	10.7	3.85	17.6
	1986-95	-0.45	0.09	5.23	11.3	14.7	18.8	21.9	21.6	17.7	11.6	5.36	0.822	10.7	3.78	17.6
	1905-15	4.53	5.79	9.35	12.5	17.5	21.1	22.9	23.4	20.7	15.8	11.5	7.04	14.3	8.99	19.7
სამტრედიო	1916-25	5.32	5.28	10.1	13.6	17.6	20.9	22.9	22.7	20.0	15.7	11.8	6.98	14.4	9.18	19.6
	1926-35	4.68	4.92	8.51	13.1	18.3	21.0	23.0	23.3	20.4	16.9	11.8	6.56	14.4	8.89	19.9
	1936-45	5.14	6.27	8.07	12.9	17.6	21.0	23.6	24.1	20.5	16.3	11.9	7.39	14.6	9.18	20.0
	1946-55	4.76	5.72	8.62	12.9	18.0	21.4	23.2	23.5	20.3	15.4	11.8	6.92	14.4	8.87	19.9
	1956-65	5.61	6.07	8.26	13.1	17.6	21.2	23.1	23.1	19.6	15.0	11.2	8.01	14.3	9.02	19.6
	1966-75	5.19	5.98	9.23	14.2	18.3	21.0	23.3	23.2	20.2	16.2	11.5	6.65	14.6	9.11	20.0
	1976-85	5.32	5.91	9.13	13.5	17.8	20.9	22.6	22.6	20.1	15.0	11.0	7.23	14.2	8.92	19.6
	1986-95	4.64	5.36	8.91	14.1	17.1	20.8	23.0	23.4	20.1	15.8	10.4	6.32	14.2	8.59	19.8
	1905-15	5.31	6.44	9.11	11.6	16.6	20.5	22.5	23.1	20.4	15.7	12.1	8.32	14.3	9.49	19.1
	1916-25	6.15	5.90	9.87	12.8	16.7	20.3	22.5	22.4	19.6	15.6	12.4	8.26	14.4	9.70	19.0
სოხუმი	1926-35	5.47	5.51	8.22	12.3	17.4	20.4	22.5	23.0	20.2	16.8	12.4	7.81	14.4	9.38	19.3
	1936-45	5.96	6.95	7.75	12.1	16.7	20.3	23.2	23.9	20.2	16.3	12.5	8.70	14.6	9.69	19.4
	1946-55	5.55	6.37	8.33	12.0	17.1	20.8	22.8	23.2	20.0	15.3	12.4	8.19	14.4	9.36	19.3
	1956-65	6.46	6.74	7.95	12.3	16.7	20.5	22.7	22.8	19.3	14.9	11.7	9.36	14.3	9.52	19.0
	1966-75	6.18	6.86	9.08	13.5	17.2	20.4	22.8	22.9	20.1	16.2	12.3	7.65	14.6	9.70	19.5
	1976-85	6.07	6.69	8.98	13.1	17.1	20.1	22.3	22.3	19.5	15.1	11.6	8.03	14.2	9.40	19.1
	1986-95	5.28	5.61	8.48	13.0	16.2	20.1	22.5	23.1	19.9	15.5	10.7	8.19	14.1	8.94	19.1

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
egmon	1905-15	5.39	6.49	9.08	11.3	16.0	20.6	22.7	23.1	20.4	15.8	11.1	7.98	14.2	9.31	19.0
	1916-25	6.10	6.03	9.72	12.3	16.2	20.4	22.7	22.5	19.7	15.7	11.4	7.92	14.2	9.49	19.0
	1926-35	5.49	5.65	8.32	11.9	16.7	20.5	22.7	23.0	20.1	16.7	11.4	7.47	14.2	9.18	19.2
	1936-45	5.70	7.12	7.86	12.1	16.3	21.3	23.5	23.7	19.6	15.7	11.3	8.66	14.4	9.38	19.4
	1946-55	6.03	6.65	8.56	11.9	15.9	21.0	23.5	23.6	20.5	16.3	11.8	7.91	14.5	9.54	19.4
	1956-65	6.42	6.94	8.29	12.2	16.2	20.4	22.8	23.0	19.6	15.2	11.7	8.86	14.2	9.57	19.0
	1966-75	5.81	6.57	8.97	12.9	16.8	20.3	22.8	22.8	20.0	16.2	11.7	7.48	14.4	9.46	19.3
	1976-85	6.06	6.33	8.82	12.6	16.4	20.0	22.3	22.4	19.8	15.1	11.4	7.81	14.1	9.24	18.9
	1986-95	5.48	5.89	8.52	12.6	15.8	20.4	22.6	23.2	20.1	16.0	10.1	7.51	14.0	8.91	19.1

3.2. ტემპერატურული ველის შიდაწლიური ვარიაციები კლიმატის სეზონულობის სხვადასხვა ეტაპზე

განვიხილოთ, თუ როგორ იცვლებოდა ტემპერატურის შიდაწლიური ვარიაციები სხვადასხვა ათწლეულებში. ამ საკითხის შესასწავლად გამოყენებული იყო 12 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემები, რომლებიც სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ და ლანდშაფტურ პირობებში მდებარეობენ. ამ სადგურებისათვის ცალცალკე ათწლეული პერიოდებისათვის შეფასებული იყო ჰაერის საშუალო ტემპერატურა, მისი საშუალო კვადრატული გადახრა და წლიური ამპლიტუდა. ჩატარებული გამოთვლების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.3.

ათწლეულების საშუალო ტემპერატურების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ იმ პუნქტებისთვის, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია დათობა (მაგალითად თბილისი, საქარა და ა.შ.) პირველი ათწლეულის საშუალო ტემპერატურა აშკარად ნაკლებია ბოლო ათწლეულის ტემპერატურაზე. საწინააღმდეგო მიმართულებით ტემპერატურის ცვლილების პუნქტებში კი შებრუნებული სურათი აღინიშნება.

თუ რამდენად მნიშვნელოვანია სხვაობები სხვადასხვა ათწლეულების საშუალო ტემპერატურებს შორის შეიძლება შემოწმდეს სტატისტიკური კრიტერიუმის გამოყენებით:

$$t = \frac{|T_1 - T_2|}{\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2}$$

სადაც T_1 და T_2 - ტემპერატურებია შესაბამისად პირველ და მეორე ათწლეულებში, σ_1 და σ_2 - მათი საშუალო კვადრატული გადახრებია, $n_1 = n_2 = 10$ წელს.

თუ t კრიტერიუმის გამოთვლილი მნიშვნელობა აღემატება მისსავე კრიტიკულ მნიშვნელობას, მაშინ სხვაობა შეიძლება ჩაითვალოს არსებითად უზრუნველყოფის მოცემულ დონეზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში სხვაობა ტემპერატურებს შორის უმნიშვნელოა.

მაგალითად თბილისისათვის 1906-1915 და 1986-1995 ათწლეულების საშუალო ტემპერატურების შედარებისას კრიტერიუმი გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$t = \frac{13,4 - 12,5}{0,58^2 / 10 + 0,76^2 / 10} = 2,977$$

ცხრილი 3.3

პაერის ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობა ($\bar{T}$), საშუალო კვადრატული გადახრა (σ_i) და წლიური ამპლიტუდა (A_i) ათწლეულების მიხედვით

სადგური	1906-1915			1916-1925			1926-1935		
	$\bar{T}$	σ_i	A_i	$\bar{T}$	σ_i	A_i	$\bar{T}$	σ_i	A_i
აბასთუმანი	6.76	0.691	22.4	6.48	0.835	20.9	6.16	0.335	23.2
გორი	11.1	0.485	23.4	10.9	0.717	21.6	10.7	0.336	24.6
ბორჯომი	8.65	0.599	21.7	8.54	0.662	21.0	8.36	0.357	22.8
თიანეთი	7.40	0.651	22.6	7.76	0.740	21.7	7.38	0.407	24.9
სამტრედია	14.3	0.724	18.9	14.4	0.815	17.6	14.4	0.441	18.6
წიფა	10.5	0.689	20.5	10.4	0.637	19.6	9.88	0.371	21.4
საქარა	12.7	0.643	20.5	14.2	0.655	19.2	13.5	0.530	20.1
თბილისი	12.5	0.577	23.3	12.9	0.702	21.9	12.6	0.385	25.0
ჩაქვი	14.0	0.737	16.3	13.9	0.616	15.9	13.8	0.418	16.7
გურჯაანი	12.2	0.500	22.9	12.6	0.367	21.5	12.4	0.367	24.1
ტყიბული	12.3	0.676	18.7	11.7	0.580	20.2	12.1	0.355	19.4
თეთრი-წყარო	8.51	0.489	21.0	8.85	0.644	20.8	8.59	0.336	22.4

სადგური	1936-1945			1946-1955			1956-1965		
	$\bar{T}$	σ_i	A_i	$\bar{T}$	σ_i	A_i	$\bar{T}$	σ_i	A_i
აბასთუმანი	6.61	0.448	22.7	6.53	0.564	22.3	6.45	0.753	21.5
გორი	11.2	0.423	23.1	11.1	0.58	22.8	11.2	0.870	21.4
ბორჯომი	9.24	0.395	22.0	9.31	0.552	21.8	9.26	0.792	20.8
თიანეთი	8.02	0.668	23.9	7.93	0.494	22.9	7.65	0.766	21.1
სამტრედია	14.6	0.691	19.0	14.4	0.659	18.7	14.3	0.745	17.5
წიფა	10.5	0.500	21.0	10.5	0.585	21.1	10.4	0.828	19.7
საქარა	14.1	0.519	20.4	14.1	0.624	20.4	14.0	0.821	19.1
თბილისი	13.1	0.429	23.5	13.0	0.449	23.4	13.2	0.788	21.4
ჩაქვი	14.3	0.619	16.7	14.2	0.578	16.3	14.1	0.668	15.6
გურჯაანი	12.8	0.535	22.7	12.7	0.460	22.5	12.8	0.727	21.3
ტყიბული	17.3	0.594	19.3	12.4	0.687	19.2	12.5	0.956	17.6
თეთრი-წყარო	9.15	0.673	21.4	8.99	0.457	21.5	8.95	0.727	20.0

სადგური	1966-1975			1976-1985			1986-1995		
	$\bar{T}$	σ_i	A_i	$\bar{T}$	σ_i	A_i	$\bar{T}$	σ_i	A_i
აბასთუმანი	6.50	0.755	22.2	6.32	0.632	21.9	6.16	0.713	22.0
გორი	10.8	0.787	23.1	10.7	0.643	21.9	10.7	0.615	22.4
ბორჯომი	9.47	0.681	21.7	9.35	0.503	20.9	9.35	0.647	21.3
თიანეთი	14.6	0.785	22.6	7.80	0.642	22.3	7.89	0.648	23.3
სამტრედია	7.77	0.726	18.1	14.2	0.598	17.3	14.2	0.653	18.8
წიფა	10.3	0.815	20.2	10.0	0.571	19.7	10.8	1.67	20.8
საქარა	14.3	0.760	19.2	14.1	0.585	18.5	13.8	0.635	20.2
თბილისი	12.9	0.800	23.3	12.8	0.528	22.2	13.4	0.756	22.2
ჩაქვი	14.3	0.738	16.1	13.9	0.544	15.0	13.8	0.532	17.8
გურჯაანი	12.7	0.885	23.3	12.6	0.526	22.3	12.7	0.462	22.1
ტყბული	12.3	0.910	17.8	11.7	0.635	17.7	11.7	0.631	18.9
თეთრი-წყარო	9.08	0.795	21.1	8.74	0.573	20.5	8.87	0.523	20.90

ამ შემთხვევაში თავისუფლების ხარისხი $k=10+10-2=18$. ალბათობის ცხრილის საფუძველზე 99% უზრუნველყოფის დონეზე სტატისტიკური კრიტერიუმის კრიტიკული მნიშვნელობა უდრის 2.845 ე.ი. $t > 2.845$, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ჩვენს მიერ განხილულ ათწლეულებში ტემპერატურები არსებითად განსხვავებულნი არიან. ეს კიდევ ერთხელ ადასტურებს თბილისში დათბობის ეფექტს. ასეთივე მიდგომით შეიძლება დადასტურდეს ამა თუ იმ ათწლეულების ტემპერატურათა ფონების თანაფარდობა. ცხადია, რიგ შემთხვევაში კრიტერიუმის პირობა სრულდება, ხოლო რიგ შემთხვევაში არ სრულდება. ამრიგად ზოგიერთი ათწლეულები ხასიათდებიან განსხვავებული ტემპერატურული ფონით, ხოლო ზოგიერთი - მსგავსი ტემპერატურული ფონით. მაგალითად, თბილისისთვის განსხვავებული ტემპერატურული ფონებია 1986-1995 და სხვა ათწლეულებს შორის-1906-1915 წწ; 1926-1935 წწ, მსგავსი ტემპერატურული ფონებია 1916-1925 და 1966-1975 ათწლეულებში და ა.შ. ისმის კითხვა - ახდენს თუ არა გავლენას განსხვავებული ტემპერატურული ფონები ტემპერატურის შიდაწლიურ ვარიაციებზე. ამის გასარკვევად საკმარისია შევადაროთ ერთმანეთს ტემპერატურის შიდაწლიური ვარიაციის გამომხატველი ამპლიტუდები სხვადასხვა ათწლეულებში. მაგალითად მსგავსი ტემპერატურული ფონები შეინიშნება 1916-1925 და 1966-1975 ათწლეულებში როგორც თბილისში, ისე ზოგიერთ სხვა პუნქტებში. კერძოდ ამ ათწლეულებში საშუალო ტემპერატურები ტოლია, მისი საშუალო კვადრატული გადახრებიც ახლოს არის ერთმანეთთან, ამპლიტუდებს შორის კი არის სხვაობა. იგივე ათწლეულებში საქარაში

საშუალო ტემპერატურებიც და ამპლიტუდებიც ტოლია ერთმანეთის. შეიძლება ბევრი მაგალითის მოყვანა ცხრილ 3.3-დან იმის შესახებ, რომ ათწლეულებში, რომლებიც განსხვავებული ტემპერატურული ფონებით ხასიათდებიან, ამპლიტუდები შეიძლება ტოლი იყოს ერთმანეთის, ან არსებითად განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან. ამდენად ტემპერატურის შიდაწლიური ვარიაციები პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული კლიმატის ცვლილების ეტაპზე.

ნათქვამი შეიძლება აიხსნას შემდეგნაირად. წლიური ტემპერატურის გაზრდა (ან შემცირება) შეიძლება გამოწვეული იყოს 4 მიზეზით:

1. ტემპერატურის წლიური სვლის საერთო გაზრდით (ან შემცირებით), რამაც შეიძლება საერთოდ არ მოახდინოს გავლენა ტემპერატურის წლიურ ამპლიტუდაზე;

2. ზაფხულის ტემპერატურების გაზრდით (ან შემცირებით) ზამთრის ტემპერატურების მუდმივი ფონის შენარჩუნებით, რაც იწვევს ამპლიტუდის გაზრდას (ან შემცირებას);

3. ზამთრის ტემპერატურების გაზრდით (ან შემცირებით) ზაფხულის ტემპერატურების მუდმივი ფონის შენარჩუნებით, რაც იწვევს ამპლიტუდის შემცირებას (გაზრდას);

4. ერთდროულად ზამთრის ტემპერატურების გაზრდით (ან შემცირებით) და ზაფხულის ტემპერატურების შემცირებით (ან გაზრდით), რაც იწვევს ტემპერატურის წლიური ამპლიტუდების შემცირებას (გაზრდას).

ამიტომ სხვადასხვა ათწლეულებში, რომლებიც განსხვავებული ტემპერატურული ფონებით ხასიათდებიან, ამპლიტუდები ნებისმიერ თანაფარდობაში შეიძლება იყვნენ ერთმანეთთან, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ტემპერატურის შიდაწლიური ვარიაცია ცალსახად არ არის დამოკიდებული ჰავის ცვლილებაზე.

3.3. ტემპერატურული პეიზის სვლილება

ტემპერატურის ცვლილება საქართველოს ტერიტორიაზე წარმოდგენილია რუკათა 2 სერიის სახით. პირველი მათგანი გამოსახავს ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეს უკანასკნელი 90-წლის განმავლობაში, ხოლო მეორე - ტემპერატურის ცვლილებას 1906-1935 და 1966-1995 ოცდაათწლეულებს შორის.

რუკების აგებისას მიღებული იყო გრადაციები, რომლებიც პირობითად გამოხატავდნენ დათბობის, აცივების და უცვლელ მდგომარეობას. ჩავთვალეთ, რომ ტემპერატურის ცვლილებას ადგილი არ ჰქონდა, თუ მი-

სი ცვლილების სიჩქარე მერყეობდა დიაპაზონში -0.1° -დან $+0.1^{\circ}\text{C}$ -მდე 90°C -ზე. თუ ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე აღემატება $0.1^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$, მაშინ ჩათვალეთ, რომ ადგილი აქვს დათბობას. დათბობის პირობებში გამოყოფილია 3 გრადაცია, რომლებიც გამოხატავენ პროცესის ინტენსივობას. ანალოგიურად თუ ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე ნაკლები იყო მინუს $0.1^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ -ზე, მაშინ მივიჩნიეთ აცივება. ამ შემთხვევაში ინტენსივობის მხრივ გამოყოფილია 2 გრადაცია.

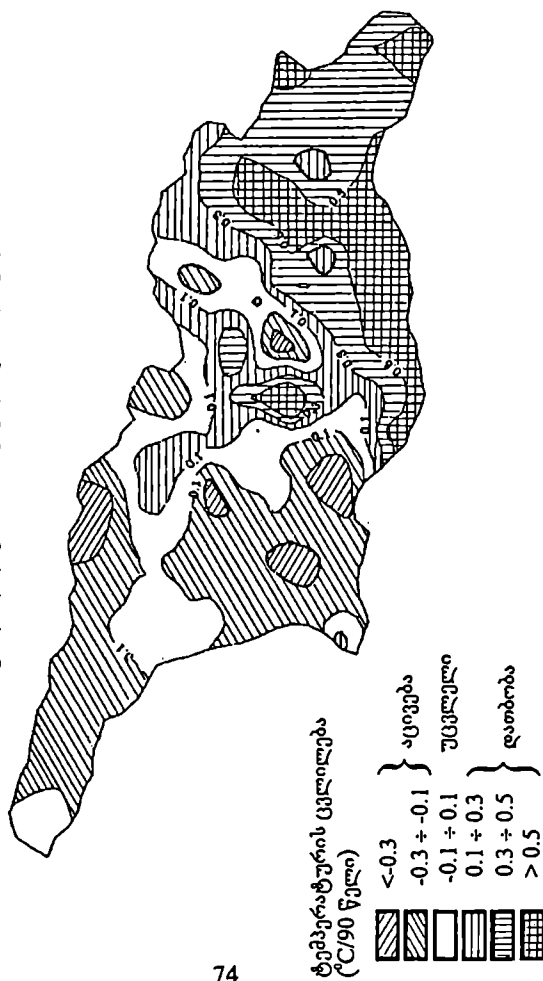
განვიხილოთ საშუალო წლიური, იანვრის, ივლისის, ცივი პერიოდის (ოქტომბერი-მარტი) და თბილი პერიოდის (აპრილი-სექტემბერი) ტემპერატურების ცვლილებები.

3.3.1. საშუალო წლიური ტემპერატურები

საშუალო წლიური ტემპერატურების ცვლილების რუკებიდან გამომდინარე (სურათები 3.13ა და 3.13ბ) ტემპერატურის ცვლილების დადებითი ტენდენციები, როგორც სიჩქარის, ისე ანომალიების მხრივ უფრო აღმოსავლეთ საქართველოში აღინიშნება, ვიდრე დასავლეთში. ტემპერატურის ცვლილების ყველაზე დიდი სიჩქარეები აღინიშნება ქვემო ქართლის ვაკეზე, ქართლისა და კახეთის ქედებზე, ლიხის ქედის აღმოსავლეთ კალთებზე და ბორჯომის ხეობაში. აქ სიჩქარის სიდიდე აღემატება $0.5^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ -ს. ამავე რაიონებში მაქსიმალურია ტემპერატურის ანომალიაც და მისი სიდიდე აღემატება 0.3°C -ს. ამავე დროს აღმოსავლეთ საქართველოში გამოიკვეთა უბანი, სადაც აღინიშნება ტემპერატურის დაკლება. ის მოიცავს ჯავახეთის ზეგანის ნაწილს, სამსარის ქედს, კვეთს შიდა ქართლის ვაკეს და გადადის ხარულის ქედზე. აქ ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე $-0.1^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ -დან $-0.3^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ -მდეა, ხოლო ზოგჯერ კი $-0.3^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ -ზე ნაკლებია. აღმოსავლეთ საქართველოს დანარჩენ რაიონებში აღინიშნება დათბობა, ოღონდ შედარებით ნაკლები ინტენსივობით ვიდრე ზემოდ განხილულ რაიონებში.

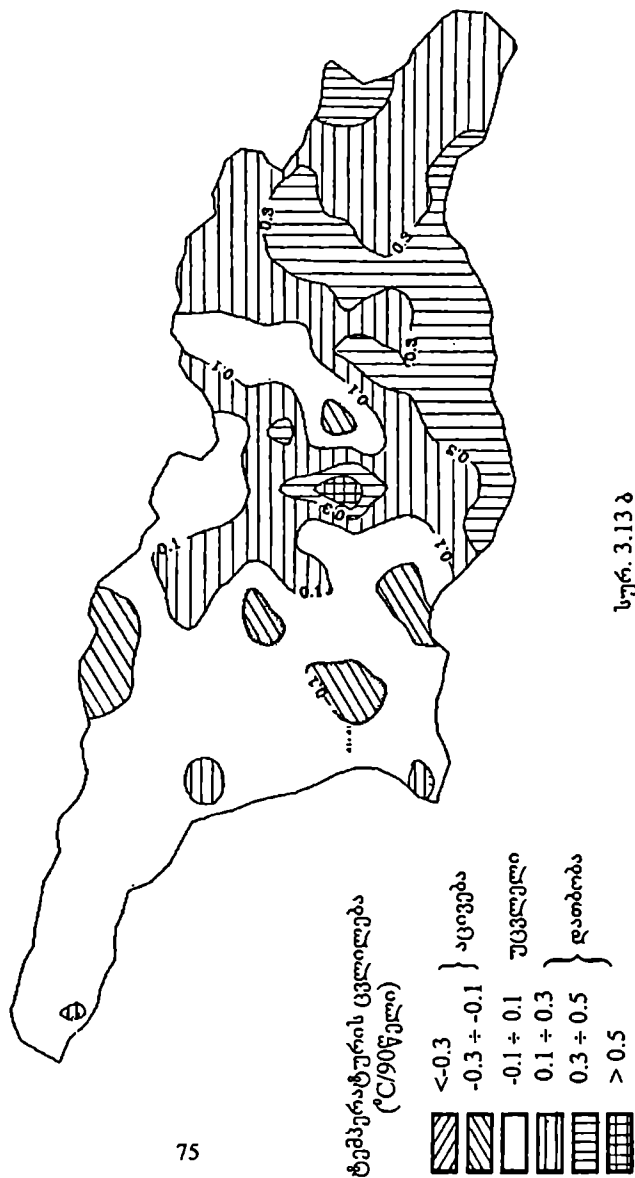
დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე ტემპერატურის ცვლილება არ შეინიშნება, ცალკეულ რაიონებში გამოიკვეთება აცივება, გამონაკლის შემთხვევაში კი - დათბობა. კერძოდ აცივება დამახასიათებელია კოლხეთის დაბლობის შიდა რაიონებისთვის, მესხეთის ქედის დასავლეთი ნაწილისა და მდინარე ენგურის ხეობის ზემო წელისთვის.

ჰაერიის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში
 აგებულია 1906 - 1995 წლებში ტემპერატურის
 საშუალო წლიური მნიშვნელობების წრფივი აპროქსიმაციით



სურ. 3.13 ა

კპარის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში
 აგებულია 1966 - 1995 და 1906 - 1935 წლებში
 საშუალო წლიურ ტემპერატურათა ანომალიების სხვაობით



დათობის ცალკეული კერა ჩნდება შავი ზღვის სანაპიროზე, აჭარაში ჩაქვის მახლობლად. დათობას შედარებით ვრცელი ტერიტორია უკავია იმერეთის მაღლობზე და რაჭის ქედზე.

3.3.2. იანვრის ტემპერატურები

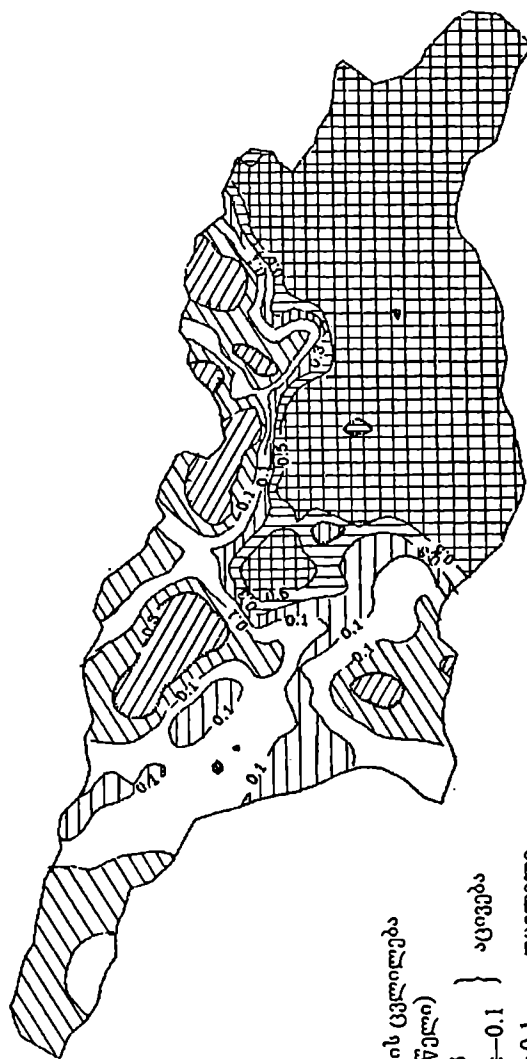
ტემპერატურის ცვლილების ძირითადი ნიშანი - დათობა აღმოსავლეთ საქართველოში და აცივება დასავლეთში, შენარჩუნებულია იანვარშიც, თუმცა საერთო სურათი გაცილებით რთული და მრავალფეროვანია ვიდრე საშუალო წლიური მნიშვნელობებისთვის (იხ. სურათები 3.14ა და 3.14ბ). აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე - ალაზნის ველზე, ცივ-გომბორის ქედზე, ივრის ზეგანზე, ქვემო ქართლის ვაკეზე, შიდა ქართლის ვაკეზე, ჯავახეთის და სამსარის ქედებზე და კახეთის კავკასიონზე, მიმდინარეობს ინტენსიური დათობა. დათობის სიჩქარე აქ აღემატება $0.5^{\circ}\text{C}/90\text{წ}$ შედარებით ნაკლები ინტენსივობით დათობა გამოხატულია კახეთის და ქართლის ქედებზე და შიდა ქართლის ვაკის დასავლეთ ნაწილში. აღმოსავლეთ საქართველოში გამოვლენილია აცივების კერებიც. მას მიეკუთვნება მთიულეთის ქედი და მისი მიმდებარე ტერიტორია.

დასავლეთ საქართველოში ტერიტორიის დიდ ფართობზე ჰავა უცვლელია. მცირე ინტენსივობის დათობა მიმდინარეობს შავი ზღვის სანაპირო ზოლში და კოლხეთის ბარში. აქ დათობის სიჩქარე არ აღემატება $0.1^{\circ}\text{C}/90\text{წ}-ს$. დათობის წლიური საშუალო სიდიდე უფრო მეტია იმერეთის მაღლობზე. ინტენსიური აცივება შეინიშნება სვანეთის და ლეჩხუმის ქედების საზღვრებში და მესხეთის ქედის ცენტრალური ნაწილის ჩრდილოეთ კალთებზე, სადაც ტემპერატურის ცვლილების საშუალო წლიური სიჩქარე მინუს $0.3^{\circ}\text{C}/90\text{წ}-ზე$ ნაკლებია.

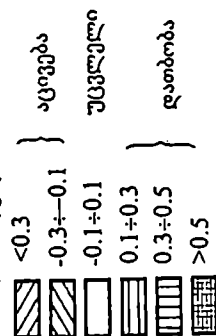
კაპრის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში

აგებულია 1906 - 1995 წლებში

იანვრის საშუალო ტემპერატურების წრფივი აპროქსიმაციით

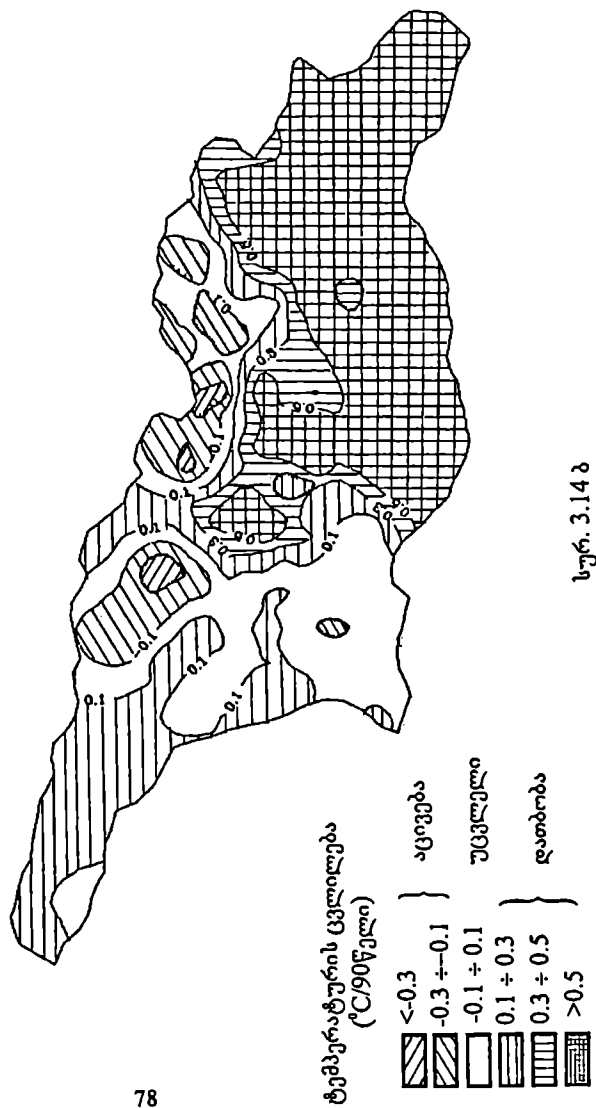


ტემპერატურის ცვლილება
($^{\circ}\text{C}/90\text{წელი}$)



სურ. 3.14 ა

კაპრის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში
 აგებულია 1966 - 1995 და 1905 - 1935 წლებში
 იანვრის საშუალო ტემპერატურათა ანომალიების სხეობით



3.3.3. ივლისის ტემპერატურები

ივლისის ტემპერატურების ცვლილების სიჩქარისა და ანომალიების რყევებიდან გამომდინარეობს, რომ ათბობა ამ შემთხვევაშიც ძირითადად აღმოსავლეთ საქართველოში მიმდინარეობს (სურათები 3.15ა და 3.15ბ). ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე მაქსიმალურია კახეთის კავკასიონზე, ალაზნის ველზე, ცივ-გომბორის ქედის დიდ ნაწილზე, ივრის ზეგანზე, ქვემო ქართლის ვაკეზე, სამსარის და ჯავახეთის ქედებზე, სადაც ის აღემატება 0.005°C ყოველ წელიწადში. შედარებით ნაკლებია ტემპერატურის ზრდის სიჩქარე კახეთის, ქართლის, გუდამაყრის და თრიალეთის ქედებზე. ტემპერატურის სელის უარყოფითი სიჩქარეები აღმოსავლეთ საქართველოში აღინიშნება ხარულის ქედზე და მის მიმდებარე შიდა ქართლის ვაკის ტერიტორიაზე, აგრეთვე შირაქის ვაკის უკიდურეს სამხრეთ აღმოსავლეთ ნაწილში.

ანომალიების რუკის შესაბამისად მაქსიმალური დათბობა დაფიქსირებულია ალაზნის ველსა და მის მიმდებარე კავკასიონზე, ქვემო ქართლის და შიდა ქართლის ცალკეულ რაიონებში. აქ ტემპერატურის ანომალია აღემატება $0.5^{\circ}\text{C}/90\text{წ-ს}$. კახეთის, ქართლის, ცივ-გომბორის, სამსარის და ჯავახეთის ქედებზე, ბორჯომის ხეობაში ანომალია 90 წლის მანძილზე შეადგენს $0.3-0.5^{\circ}\text{C}$ -ს, ხოლო ივრის ზეგანზე, შირაქის ვაკეზე და თრიალეთის ქედებზე ანომალიის სიდიდე კლებულობს.

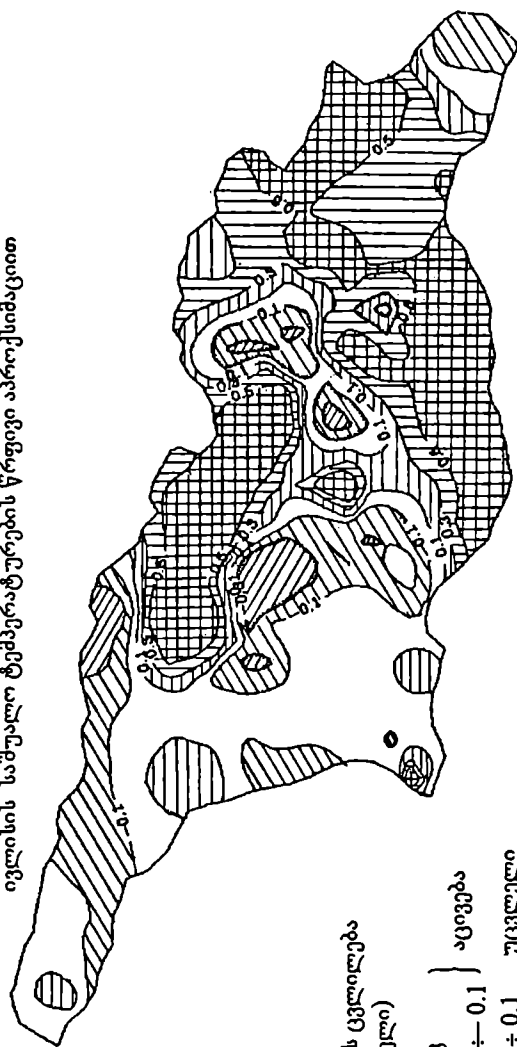
დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე, როგორც ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარის, ისე ანომალიის მხრივ, ცვლილებას ადგილი არა აქვს. დათბობის ყველაზე მაღალი სიჩქარე ($>0.5^{\circ}\text{C}/90\text{წ}$) ვრცელდება ძალიან მცირე ტერიტორიაზე ბათუმი-ჩაქვის ფარგლებში და ლეჩხუმის ქედის სამხრეთ კალთებზე. სუსტი ინტენსივობის დათბობას უკავია მესხეთის ქედის მიმდებარე ტერიტორიები, კოდორის ქედის სამხრეთი კალთები და ცალკეული კერები. ტემპერატურული ტრენდის უარყოფითი ტენდენცია აღინიშნება მესხეთის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილში, კოლხეთის ბარის შიდა რაიონებში, იმერეთის მაღლობზე, ენგურის ხეობის ზემო წელში და ფოთის მიმდებარე ტერიტორიაზე. აქ ზოგიერთ ადგილებში ტემპერატურის დაცემის სიჩქარე ნაკლებია $-0.3^{\circ}\text{C}/90\text{წ-ზე}$.

ტემპერატურის ანომალია აგრეთვე დაბალია ბათუმის მაზლობლად, ლეჩხუმის ქედის სამხრეთ კალთებზე და ლიხის ქედის ჩრდილოეთ ნაწილში. სუსტი დადებითი ანომალიები შეინიშნება აჭარის მთელ ტერიტორიაზე, კოდორის ქედის სამხრეთ კალთებზე, გაგრის ქედზე და კოლხეთის ბარის ცალკეულ რაიონებში. უარყოფითი ანომალიები დამახასიათებელია კოლხეთის ბარის შიდა და იმერეთის მაღლობის ზოგიერთი რაიონებისათვის და აგრეთვე ენგურის ზემო დინებაში.

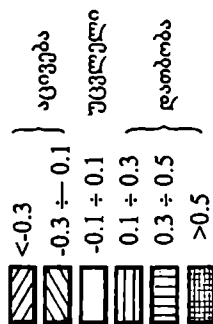
ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში

აგებულია 1906 - 1995 წლებში

ივლისის საშუალო ტემპერატურების წრფივი აპროქსიმაციით

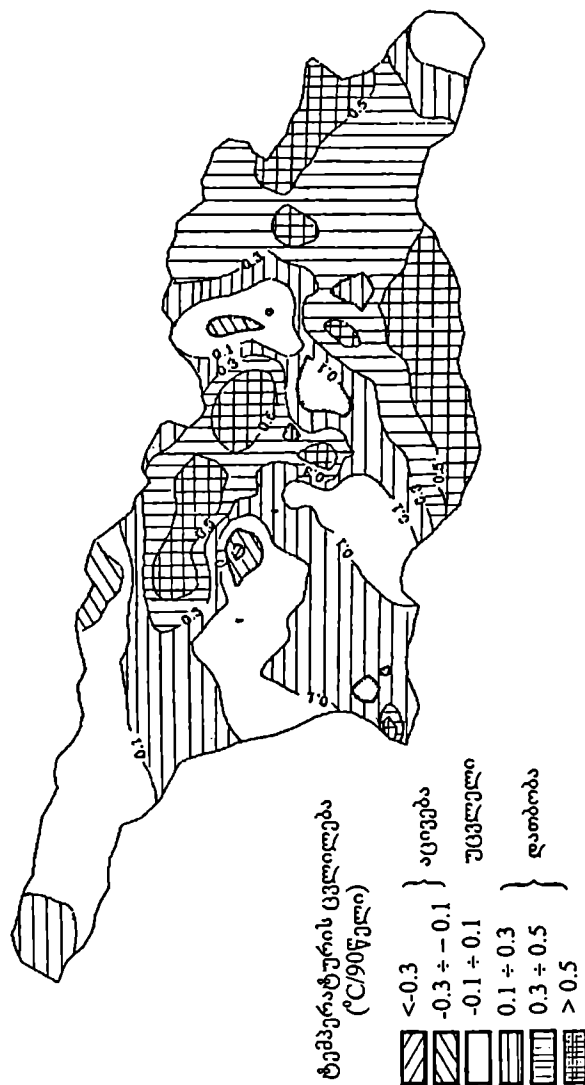


ტემპერატურის ცვლილება
($^{\circ}\text{C}/90\text{წელი}$)



სურ. 3.15 ა

კარიის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში
 აგებულია 1966 - 1995 და 1906 - 1935 წლებში
 ივლისის საშუალო ტემპერატურათა ანომალიის სხვაობით



სურ. 3.15 ბ

3.3.4. სხვი პერიოდის ტემპერატურები

წლის ცივი პერიოდის განმავლობაში ტემპერატურის ცვლილების დადებითი სიჩქარეები კვლავ აღმოსავლეთ საქართველოში ჭარბობს (სურათები 3.16ა და 3.16ბ). მაქსიმალური სიჩქარეები ($>0.5^{\circ}\text{C}/90\text{წ}$) გავრცელებულია ქვემო ქართლის ვაკეზე, საგურამო-იალნოს ქედებზე, აგრეთვე ცივ-გომბორის ქედის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში. თრიალეთის ქედის დიდ ნაწილზე, შიდა ქართლის ვაკის ცალკეულ უბნებში და ლიხის ქედის აღმოსავლეთ კალთებზე ტემპერატურის ცვლილება არ აღინიშნება. ტემპერატურის ცვლილების უარყოფითი სიჩქარეები დაფიქსირებულია შიდა ქართლის ვაკის ცენტრალურ ნაწილში და მთავარ კავკასიონზე მთიულეთის ქედის ჩრდილოეთით.

დასავლეთ საქართველოში ტემპერატურის ცვლილების დადებითი სიჩქარეები შენარჩუნებულია ლიხის ქედის დასავლეთ კალთებზე და იმერეთის მაღლობზე, დანარჩენ ტერიტორიაზე სიჩქარე უარყოფითია.

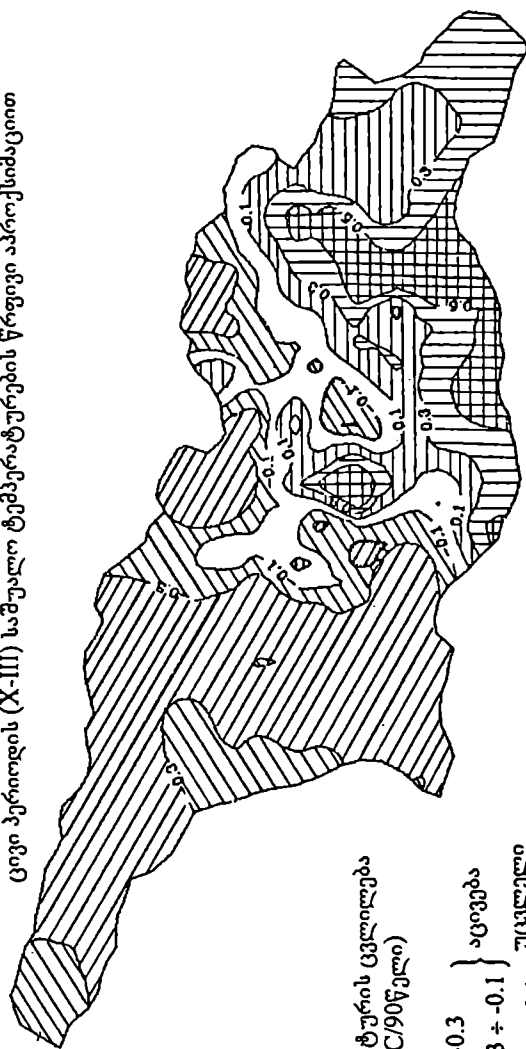
ტემპერატურის ანომალიები აგრეთვე დადებითია აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე. მაქსიმალური დათბობა ამ პარამეტრის მიხედვით კვლავ ქვემო ქართლის ვაკეზეა, საგურამო-იალნოს ქედზე, აგრეთვე ჯავახეთის ზეგანის სამხრეთ ნაწილში, ლიხის ქედზე ქართლის და კახეთის ქედებზე. აქ ანომალია განხილულ წლებში აღემატება 0.5°C -ს. ტემპერატურის უარყოფითი ანომალიები აღმოსავლეთ საქართველოში აღინიშნება ლიხის ქედის ჩრდილოეთ ნაწილში, მთიულეთის და ზარულის ქედებზე.

დასავლეთ საქართველოში დათბობას ადგილი არა აქვს. ცალკეულ უბნებში არის მდგრადი უცვლელი მდგომარეობა (გაგრის ქედი, ბზიფის ქედი, ეგრისის და კოდორის ქედების ცალკეული ადგილები, კახაბერის დაბლობი). დანარჩენ ტერიტორიაზე გაბატონებულია აცივება. ყველაზე დიდი ინტენსივობის აცივება მესხეთის ქედის უკიდურეს დასავლეთ ნაწილში და მდინარე რიონის სათავეშია აღნიშნული.

კაერის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში

საქართველო 1906 - 1995 წლებში

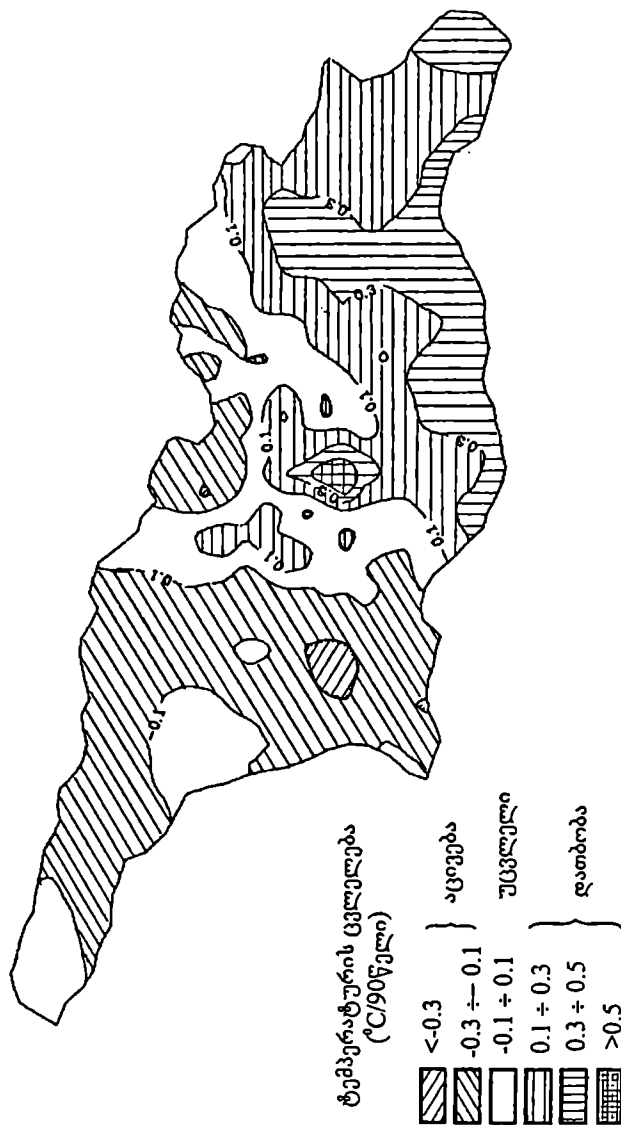
ცივი პერიოდის (X-III) საშუალო ტემპერატურების წრფევი აპროქსიმაციით



பகுதி 3.16

ტექნიკური ცვლილება
(აღნიშნული)

კარიის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის მანძილზე
 აგებულია 1966 - 1995 და 1906 - 1935 წლებში
 ცივი პერიოდის (X-III) ტემპერატურათა ანომალიების სხვაობით



სურ. 3.16 ბ

თბილი პერიოდის ტემპერატურების ცვლილების რუკები (სურათები 3.17ა და 3.17ბ) დიდი მოზაიკურობით გამოირჩევიან. აღმოსავლეთ საქართველოში გამოიკვეთა, როგორც დათბობის, ისე აცივების რაიონები. დათბობის მაქსიმალური საშუალო წლიური სიჩქარეები ($>0.005^{\circ}\text{C}$) აღინიშნება ქვემო ქართლის ვაკეზე, ბორჯომის ხეობაში, ჯავახეთის ზეგანის, აღმოსავლეთ ნაწილში, ქართლის და კახეთის ქედების სამხრეთ ნაწილში, კახეთის კავკასიონზე. აცივების მაქსიმალური საშუალო წლიური სიჩქარეები ($<-0.003^{\circ}\text{C}$) გავრცელებულია სამხრეთ საქართველოში-მდინარე მტკვრის ხეობაში, თრიალეთის ქედის დასავლეთ ნაწილში და შიდა ქართლის ვაკის ცენტრალურ რაიონებში.

დასავლეთ საქართველოში დათბობის დიდი სიჩქარეები მხოლოდ ცალკეულ კერებშია დაფიქსირებული-ბათუმი-ჩაქვას ტერიტორია, ლეჩხუმის ქედის დასავლეთი ნაწილი, კოლხეთის დაბლობის ცენტრალური ნაწილი. ინტენსიური აცივება მხოლოდ კავკასიონის მაღალმთიან ზონაშია. ამდენად, დანარჩენ ტერიტორიაზე მიმდინარეობს სუსტი დათბობა ან მდგრადი უცვლელი მდგომარეობა.

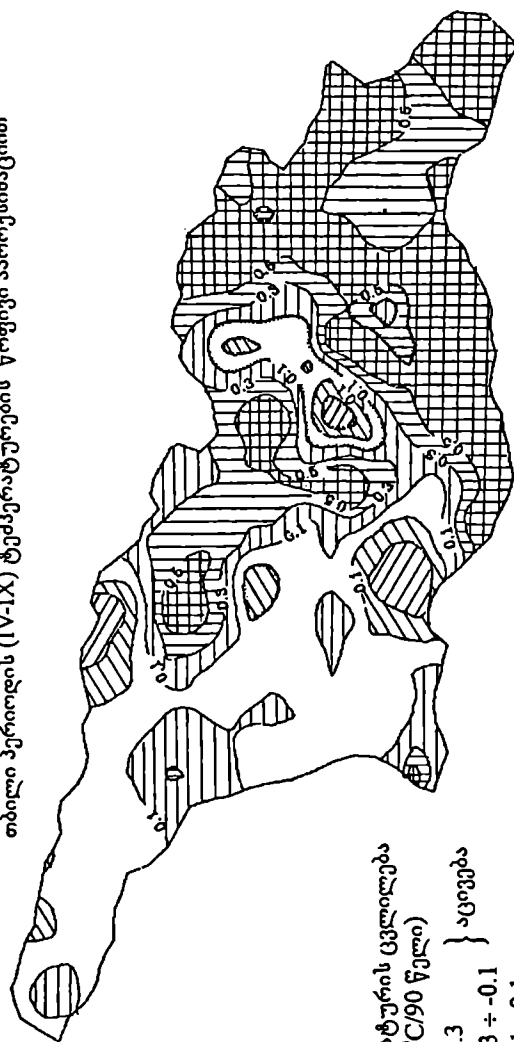
მეორე სერიის რუკების შესაბამისად აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე მიმდინარეობს დათბობა. ინტენსიური დათბობა მხოლოდ ცალკეულ კერებშია. სუსტი ინტენსივობის აცივებას უკავია ხარულის ქედი და მასთან მიმდებარე შიდა ქართლის მნიშვნელოვანი ტერიტორია.

დასავლეთ საქართველოში ინტენსიური დათბობა ლეჩხუმის ქედის დასავლეთ ნაწილში, სვანეთის ქედის სამხრეთის კალთაზე და ბათუმი-ჩაქვის მიმდებარე ტერიტორიაზე შეინიშნება. არის აგრეთვე აცივების ცალკეული კერები იმერეთის მაღლობზე და მთავარ კავკასიონზე. ტერიტორიის დიდ ნაწილზე კი შენარჩუნებულია ტემპერატურის მუდმივობა.

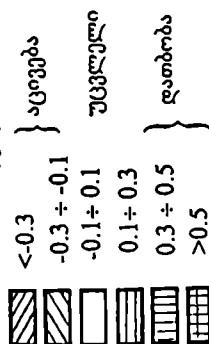
კაერის ტემპერატურის ცვლილება 90 წლის განმავლობაში

აგებულია 1906 - 1995

თბილისი პერიოდის (IV-IX) ტემპერატურების წრფივი აპროქსიმაციით



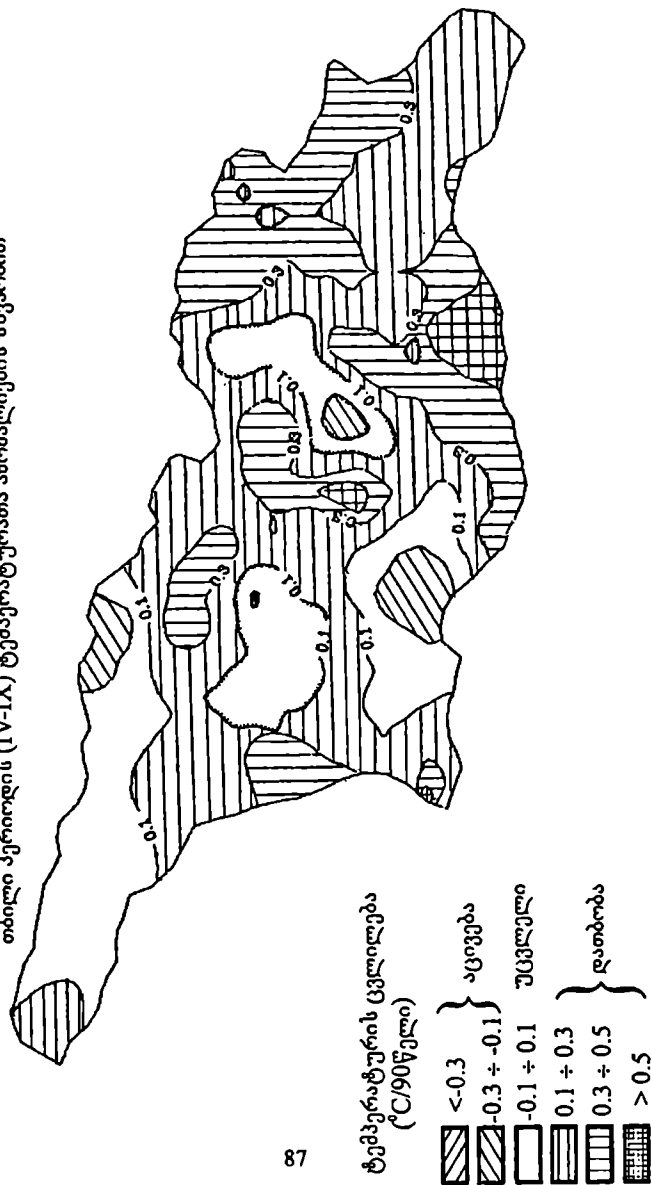
ტემპერატურის ცვლილება
($^{\circ}\text{C}/90$ წელი)



სურ. 3.17ა

აგებულია 1966-1995 და 1906-35 წლებში

თბილისი უნივერსიტეტის სტუდენტთა ანკედატების სტატისტიკა



სურ. 3.178

თავი 4

სიკლური პროცესი ტაქეპატარის პარიასიებში და მისი ასახვა კლიმატური ელემენტების სვლილებაში თბილისის მაგალითზე

კლიმატის გლობალური ცვლილების პროცესს, როგორც უკვე აღინიშნა, ძირითადად ატმოსფეროს გაზური შემადგენლობის ცვალებადობა განაპირობებს. რეგიონალური კლიმატის ცვლილებაში გადამწყვეტ როლს ლანდშაფტური გარდაქმნები თამაშობს. გაცილებით რთულია მიკროკლიმატური ან მჭიდროდ დასახლებული სამრეწველო ქალაქის კლიმატის ცვლილების განსაზღვრა და მისი გამომწვევი მიზეზების პოვნა.

საქართველოს მრავალფეროვანი კლიმატური რეჟიმი და კერძოდ თბილისის კლიმატი კარგადაა ცნობილი. ამას მნიშვნელოვნად შეუწყობდა ატმოსფერულ მოვლენებზე დაკვირვების პროცესმა, რომელიც უკვე ასორმოცდაათ წელზე მეტია სისტემატურად მიმდინარეობს. შესწავლილია აგრეთვე ატმოსფეროს ფიზიკური მდგომარეობის დამახასიათებელი ზოგიერთი პარამეტრის (მეტეოროლოგიური ელემენტის) ცვალებადობის კანონზომიერებებიც. ვისარგებლეთ რა ამ გამოკვლევების შედეგებით და არსებული მდიდარი ემპირიული მონაცემებით, შევეცადეთ შეძლებისდაგვარად სრულფასოვნად წარმოგვედგინა კლიმატის განმსაზღვრელი ძირითადი მეტეოროლოგიური ელემენტების ცვალებადობის კომპლექსური სურათი, დადგვედგინა თბილისის კლიმატის ცვლილების ტენდენცია ბოლო 100-150 წლის მანძილზე და გვეცადა იმ ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების განცალკევება, რომლებიც კლიმატის ცვლილებაში დიდ როლს თამაშობენ.

თბილისის კლიმატის ცვლილების შესწავლის დიდ ინტერესს კიდევ ერთი ფაქტორიც განაპირობებს. განსხვავებით საქართველოს კლიმატის ცვლილების შესწავლის პროცესისა, რომელიც აღდგენით მიღებულ ემპირიულ მონაცემთა ბაზის საკმაოდ სოლიდურ ნაწილს ეყრდნობა, თბილისის კლიმატის ცვლილების შესწავლისთვის გამოყენებული მონაცემთა ბაზა მხოლოდ ფაქტიურ დაკვირვების მასალებითაა დაკომპლექტებული.

უნდა აღინიშნოს, რომ ძირითადად ყურადღება გამახვილებულია კლიმატის ცვლილების ფაქტის დადგენაზე. რაც შეეხება მისი გამომწვევი მიზეზების განსაზღვრას, შემოვისაზღვრეთ მხოლოდ ანთროპოგენური და ბუნებრივი ფაქტორების განცალკევების ცდით. ამ საკითხის უფრო ღრმად შესწავლისთვის აუცილებელია მზე-ატმოსფერო-დედამიწის ზედაპირის

ენერგო-ბალანსური სისტემის (მოდელის) განხილვა, რაც მომავლის საკმეა.

4.1. ემპირიული მასალების დახასიათება და ქორელაციურ კავშირები მათ შორის

გამოყენებული ემპირიული მასალების დახასიათება. როგორც აღვნიშნეთ, თბილისში მეტეოროლოგიური დაკვირვებები 150 წლის წინათ დაიწყო, მაგრამ დაკვირვებები მხოლოდ მიწისპირა ტემპერატურასა და ატმოსფეროდან მოსულ ნალექებზე ტარდებოდა. შემდეგ, დროთა განმავლობაში, თანდათან ემატებოდა დაკვირვებები სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ ელემენტებზე. ამასთან იცვლებოდა დაკვირვების ვადები და თვით დაკვირვების ადგილიც კი. ყოველივე ეს გათვალისწინებულია და შეტანილია შესაბამისი შესწორებები ყოფილი საბჭოთა კავშირის პირობით მეტეოროლოგიური სამსახურის მიერ სხვადასხვა დროს გამოცემულ მეტეოროლოგიურ ცნობარებში, რომლებითაც ჩვენ ვსარგებლობდით. უკანასკნელად გამოცემული ასეთი ცნობარები შეიცავს ემპირიულ მონაცემებს 1965 წლამდე. ამ პერიოდიდან დაწყებული დაკვირვების ვადები მეტეოროლოგიურ ელემენტებზე არ შეცვლილა. შეიცვალა მხოლოდ თბილისში დაკვირვების მოედნის ადგილსამყოფელი. მაგრამ მისი გათვალისწინება დიდ სირთულეებთან არ იყო დაკავშირებული, რადგან წლების განმავლობაში ტარდებოდა პარალელური მეტეოროლოგიური დაკვირვებები ძველსა და ახალ მოედნებზე.

ამრიგად, ჩვენ საშუალება გვქონდა ჰაერის მიწისპირა ტემპერატურისა (t) და მოსული ნალექების (q) ცვლილება შეგვეფასებია დაახლოებით 150-წლიან პერიოდში (ტემპერატურა 1845-1995 წწ, ნალექები 1848-1995 წწ), ხოლო დანარჩენი განხილული მეტეოროლოგიური ელემენტებისთვის, კერძოდ საშუალო მინიმალური ($t_{\min}$) და აბსოლუტურად მაქსიმალური ($t_{\max}$) ტემპერატურების, ატმოსფეროს წნევის (p), წყლის ორთქლის დრეკადობისა (e) და ფარდობითი ტენიანობის (f), ნალექიან დღეთა რიცხვის (n_d), ქარის საშუალო სიჩქარისა (v) და მოწმენდილ ($n_{0.2}$) და მოღრუბლულ (n_{8-10}) დღეთა რიცხვისთვის აკველო 100-წლიანი პერიოდი.

კორელაციური კავშირები მეტეოროლოგიურ ელემენტებს შორის. ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებიდან ზოგიერთი ერთმანეთთან უშუალო კავშირშია, ნაწილი ერთმანეთთან ამ კავშირს არ ამჟღავნებს. მიუხედავად იმისა, რომ ეს პროცესები ერთი ფაქტორის, ქვეფენილი ზედაპირი-

სა და ატმოსფეროს ქვედა ფენების ენერგეტიკული მდგომარეობის შედეგია, რომელიც მხოლოდ მზიდან მიღებული სხივური ენერგიის ხარჯზე ფორმირდება, უადრესად რთული ურთიერთ კავშირების გამო მათ შორის არაერთგვაროვანი დამოკიდებულებაა. ამ დამოკიდებულებას გარემოს მრავალფეროვანი პირობები განსაზღვრავს. ამიტომ ეს კავშირები გარემოს სხვადასხვა გეოგრაფიულ პირობებში სხვადასხვანაირად ვლინდება.

იმისათვის, რომ გვეჩვენა როგორ ვლინდებიან ეს კავშირები თბილისის პირობებში, 100-წლიანი სინქრონული მონაცემების მიხედვით შევადგინეთ განხილული მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო წლიურ მნიშვნელობათა ავტოკორელაციური მატრიცა (ცხრილი 4.1).

ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მაქსიმალური კორელაციური კავშირები (კორელაციის კოეფიციენტები >0.8) თბილისის პირობებში ტემპერატურასა და მინიმალურ ტემპერატურას, მინიმალურ ტემპერატურასა და წყლის ორთქლის დრეკადობას შორისაა. შედარებით ნაკლები კავშირებია გამოხატული (კორელაციის კოეფიციენტები 0.6-დან 0.8- მდე) შემდეგ ელემენტებს შორის: ტემპერატურასა და წყლის ორთქლის

ცხრილი 4.1

ავტოკორელაციური მატრიცა მეტეოროლოგიურ ელემენტებს შორის თბილისისათვის

მეტეორ ელემენტ	t	t_{min}	e	t_{max}	f	q	n_{8-10}	p	n_q	v	n_{0-2}
t	1	0.81	0.67	0.13	0.07	-0.13	-0.15	-0.31	-0.34	-0.36	-0.40
t_{min}		1	0.80	-0.03	0.38	-0.05	-0.16	-0.22	-0.23	-0.58	-0.69
e			1	-0.06	0.60	0.21	-0.02	0.21	-0.04	-0.47	-0.71
t_{max}				1	-0.11	-0.08	0.11	-0.10	-0.02	0.24	-0.13
f					1	0.51	0.01	0.12	0.43	-0.37	-0.61
q						1	-0.08	0.04	0.54	-0.04	-0.13
n_{8-10}							1	-0.08	0.05	0.29	0.02
p								1	0.18	-0.02	0.01
n_q									1	0.26	-0.07
v										1	0.42
n_{0-2}											1

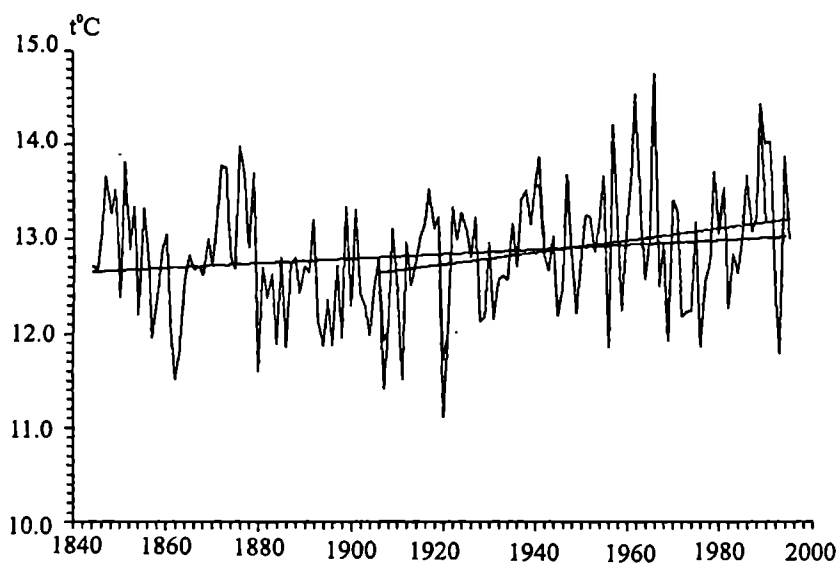
დრეკადობას, მინიმალურ ტემპერატურასა და მოწმენდილ ღღეთა რიცხვს, წყლის ორთქლის დრეკადობასა და ფარდობით ტენიანობას, ფარდობით ტენიანობასა და მოწმენდილ ღღეთა რიცხვს, წყლის ორთქლის დრეკადობასა და მოწმენდილ ღღეთა რიცხვს შორის. თანაც ამ უკანასკნელი ნეკროლისიკის კავშირი ფაჩიფიფიფი. დინიჩენ მახამეცრენს შიისიკ-

რელაციური კავშირები დაბალია. განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ქარის სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობის დამოკიდებულება დანარჩენ მეტეოროლოგიურ ელემენტებთან. იგი ძირითადად დაბალია, მაგრამ უმეტეს მეტეოროლოგიურ ელემენტებთან უარყოფით კავშირს გამოხატავს. თბილისი მდ. მტკვრის ორივე მხარეს გაშენებული, ქვაბულში მოთავსებული, მჭიდროდ დასახლებული სამრეწველო ქალაქია. მას შედარებით ჩრდილო-დასავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მხარეები აქვს გახსნილი. ქარიც სწორედ ამ მიმართულებებითაა გაბატონებული და ხელს უწყობს დაგროვილი ანთროპოგენური სითბოს გატანას. ეს განაპირობებს ტემპერატურის და განსაკუთრებით მინიმალური ტემპერატურის შემცირებას, წყლის ორთქლის დრეკადობის დაცემას და ზრდის მოწმენდილ დღეთა რიცხვს.

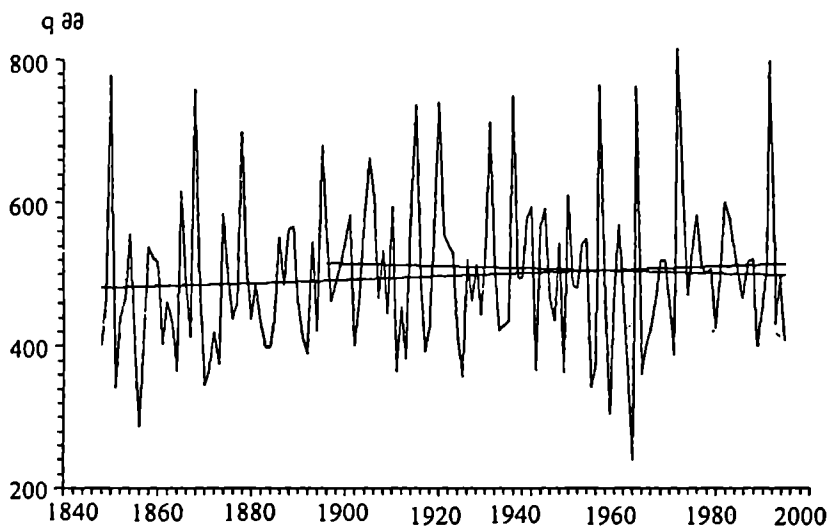
საერთოდ, მეტეოროლოგიურ ელემენტებს შორის კორელაციური კავშირები თბილისისთვის უფრო დაბალია, ვიდრე შედარებით გაშლილი ოროგრაფიის მქონე ქალაქებისთვის.

4.2. კლიმატური ელემენტების საუკუნოვნობის სკალა და სიძლური პროცენტები მათში

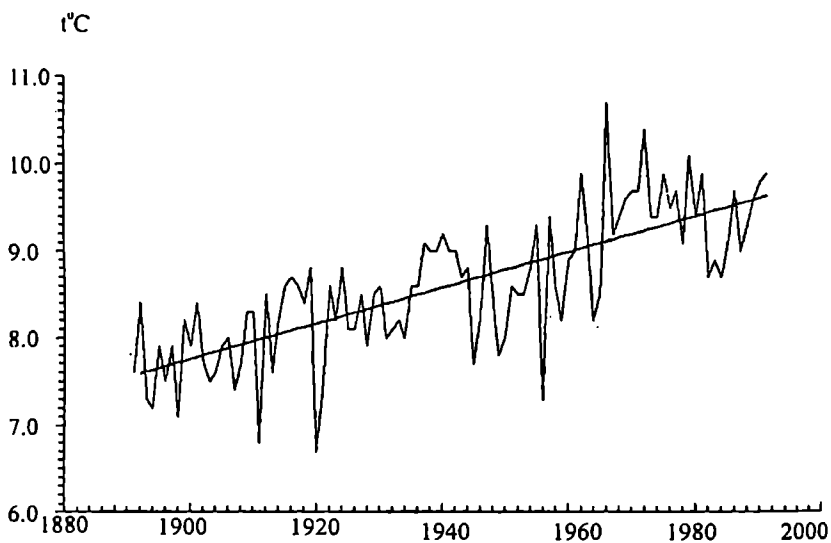
კლიმატის განმსაზღვრელი პარამეტრების ცვლილების ტენდენციები. კლიმატის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრების ყოველწლიურ მნიშვნელობათა ცვალებადობა საუკუნის განმავლობაში (ტემპერატურისა და ნალექებისთვის 1.5 საუკუნის განმავლობაში) მოცემულია სურათებზე 4.1-კ, რომლებზედაც ელემენტები განლაგებულია შემდეგი თანამიმდევრობით: ა-ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა; ბ-ნალექების წლიური ჯამი; გ-ჰაერის საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურა; დ-წელიწადში ნალექიან დღეთა რიცხვი; ე-წყლის ორთქლის დრეკადობა; ე-ატმოსფეროს წნევა; ზ-ფარდობითი ტენიანობა; თ-წყლის განმავლობაში დღეთა რაოდენობა მოწმენდილი ცის თაღით ანუ როცა ღრუბლების საერთო რაოდენობა 2 ბალს არ აჭარბებს; ი-ქარის საშუალო სიჩქარე; კ-წყლის განმავლობაში დღეთა რაოდენობა მოღრუბლული ცის თაღით ანუ როცა ღრუბლების საერთო რაოდენობა 8-დან 10 ბალამდეა. როგორც სურათებიდან ჩანს, თითქმის ყველა მეტეოროლოგიური ელემენტის ვარიაციები ცალკეულ წლებში იმდენად დიდია, რომ ცვალებადობის საერთო ტენდენციის დადგენა და მისი საშუალო ინტენსიურობის განსაზღვრა საკმაოდ რთულია, განსაკუთრებით თუ ცვლილების სიდიდე



სურ. 4.1.ა. ჰაერის ტემპერატურა

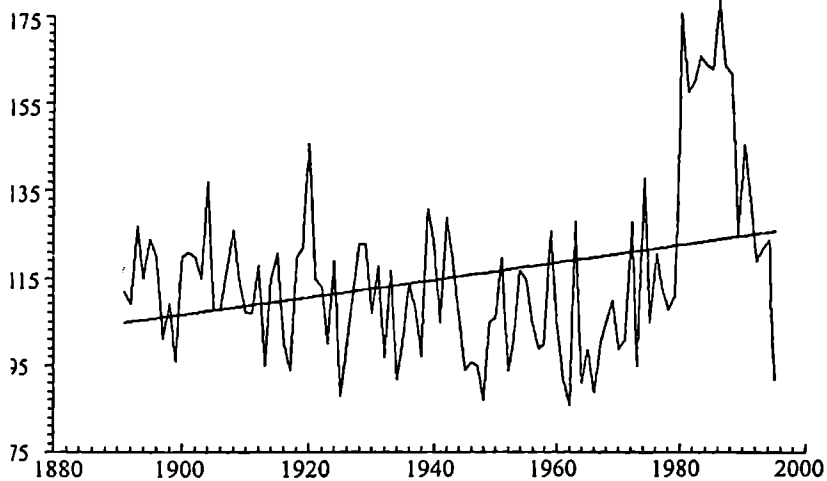


სურ. 4.ბ. ატმოსფერული წაღებები

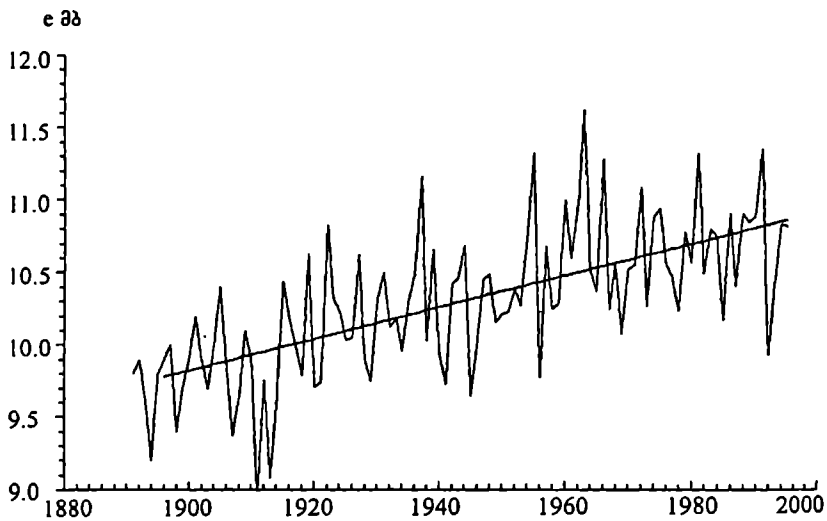


სურ. 4.1.გ. საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურა

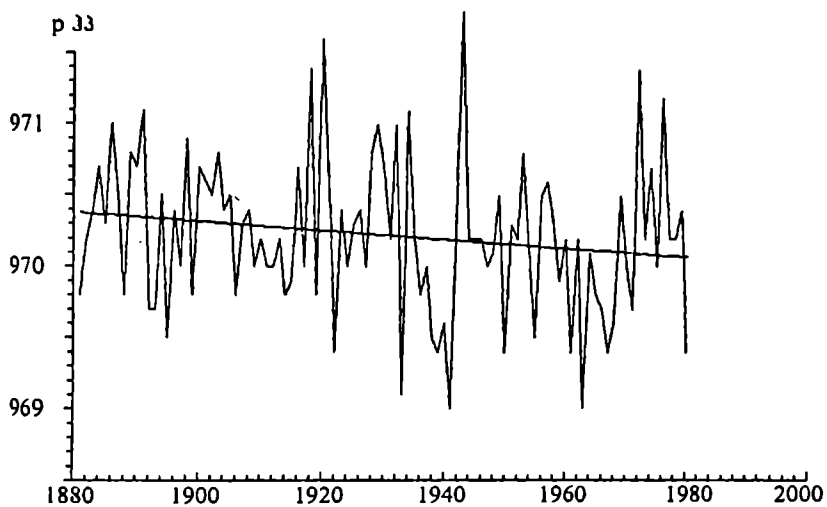
მ. ღლე



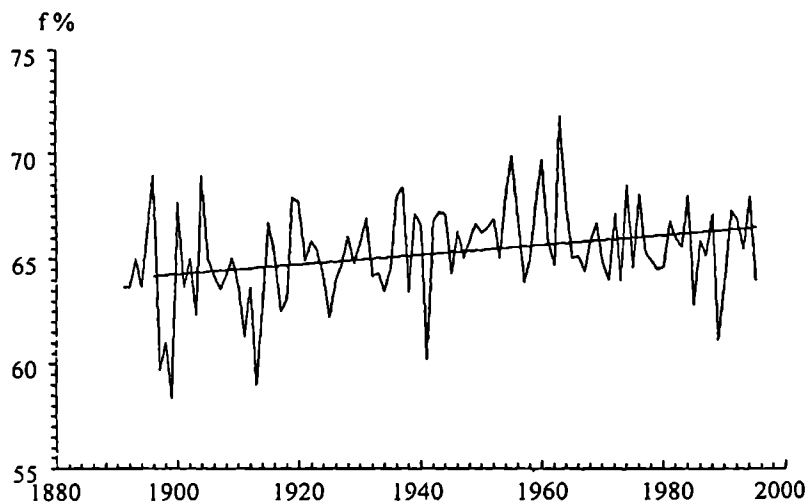
სურ. 4.1.დ. ნალექიან ღლეთა რიცხვი წელიწადში



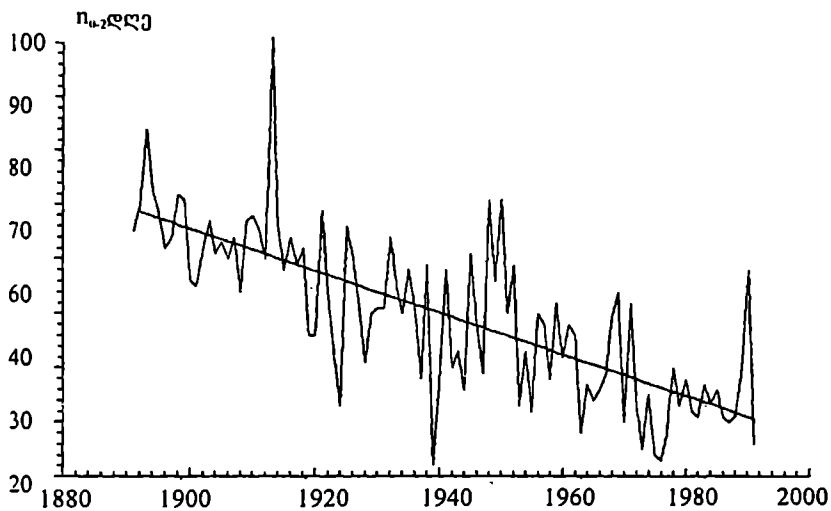
სურ. 4.1.ე. წყლის ორთქლის დრეკადობა



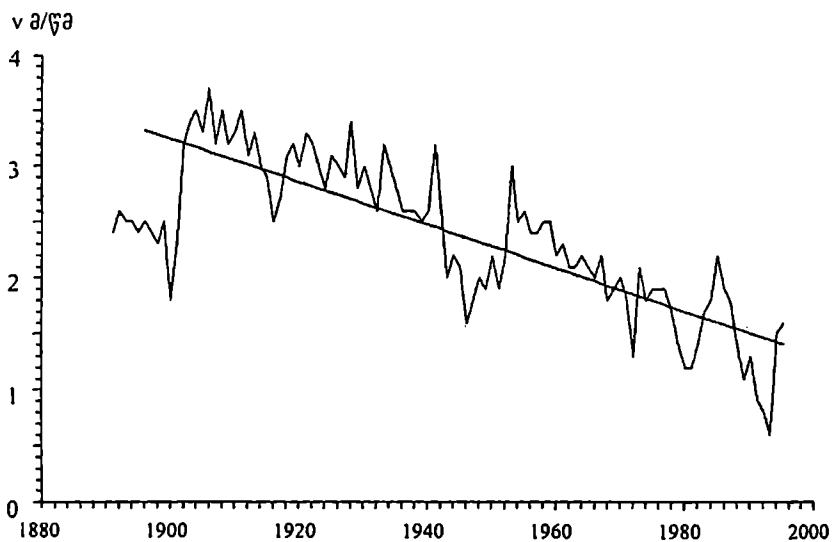
სურ. 4.1.3. პაერის წნევა



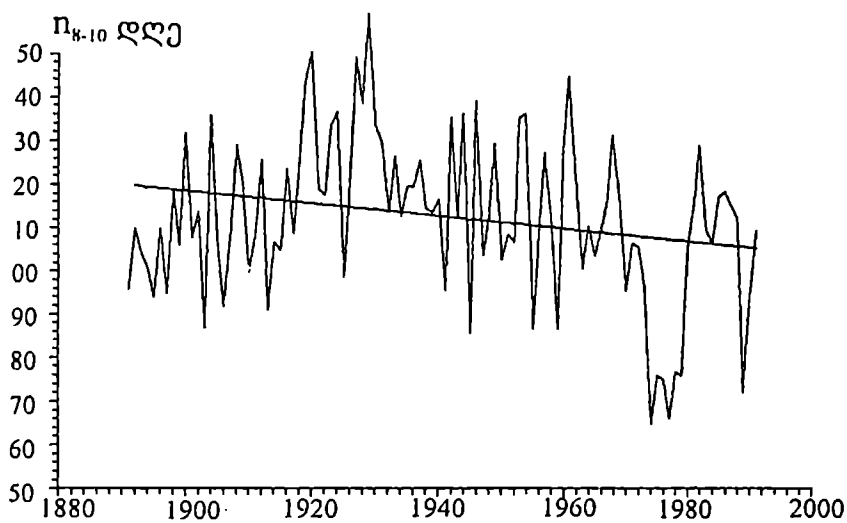
სურ. 4.1.ზ. ფარდობითი ტენიანობა



სურ. 4.1.თ. დღეთა რიცხვი მოწმენდილი ცის თაღით



სურ. 4.1.ი. ქარის საშუალო სიჩქარე



სურ. 4.1.კ. ღრუბლიან დღეთა რიცხვი

უმნიშვნელოა. თანამედროვე კლიმატოლოგიაში ამ მიზნით სხვადასხვა მეთოდურ მიდგომებს იყენებენ. ჩვენ არჩევანი შევაჩერეთ ე.წ. წრფივ აპროქსიმაციაზე, რომელიც პირველ მიახლოებას, მაგრამ დამაჯერებელ შედეგს იძლევა. მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ რომელიმე მეტეოროლოგიური ელემენტის (y) შემთხვევით სიდიდეთა თანმიმდევრობა რაიმე პარამეტრის, მაგალითად დროის მიმართ (x , სადაც x წლების რიგითი ნომერია) განისაზღვრება წრფის განტოლებით:

$$\begin{aligned} y_i &= ax_i + b \\ i &= 1, 2, \dots, \end{aligned} \quad (4.1)$$

ზოლო მასში შემავალი ემპირიული a და b კოეფიციენტები განისაზღვრება უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. მაგალითად, თუ გვაქვს (x_i, y_i) მონაცემები $i = 1, 2, \dots, N$ წლების მიხედვით და შემოვიღებთ აღნიშვნას

$$\eta = \sum_{i=1}^N (y_i - ax_i - b)^2 \quad (4.2)$$

მაშინ a და b კოეფიციენტების განსაზღვრა შეიძლება ორუცნობიანი განტოლებათა სისტემით, რომელიც η -ს a და b -თი გაწარმოებით მიიღება, ე.ი.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial a} &= 0; \\ \frac{\partial \eta}{\partial b} &= 0. \end{aligned} \quad (4.3)$$

ანუ

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N x_i \cdot a + Nb &= \sum_{i=1}^N y_i; \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot a + \sum_{i=1}^N x_i \cdot b &= \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i \end{aligned} \quad (4.4)$$

(4.4) განტოლებათა სისტემიდან განისაზღვრება ემპირიული კოეფიციენტები a და b . ამრიგად, y_i მნიშვნელობათა თანმიმდევრობის დისპერსია (4.4) სისტემიდან განსაზღვრული a და b კოეფიციენტებითა და (4.1) ფორმულით აგებულ წრფესთან მინიმალურია. ამასთან ერთად a კოეფიციენტის ნიშანი განსაზღვრავს ცვლილების ტენდენციას (ზრდა ან კლება), ზოლო სიდიდე - ცვლილების საშუალო ინტენსიურობას მთელ პერიოდში. სურ.4.1-ზე დატანილია აღნიშნული გზით მიღებული წრფეები. სურ.4.1ა და 4.1ბ-ზე დატანილია წრფეები როგორც მთელი

პერიოდისთვის (150-წლიანი პერიოდი), ასევე ბოლო 100-წლიანი მონაკვეთისთვის.

განხილული მეტეოროლოგიური ელემენტების ცვლილების მიმართულებები და ინტენსიურობები, რომელთაც გამოთვლილი a და b ემპირიული კოეფიციენტები განსაზღვრავენ, წარმოდგენილია ცხრილის სახით (ცხრილი 4.2), რომელიც უკანასკნელი ასი წლის მანძილზე თბილისში კლიმატის ცვლილების შეფასების შესაძლებლობას იძლევა.

კლიმატის ცვლილების განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრი პაერის ტემპერატურაა. იგი თბილისში ბოლო 100 წლის მანძილზე 0.73°C -ით გაიზადა, რაც მისი საწყისი მნიშვნელობის 5.6 %-ს შეადგენს. აღსანიშნავია, რომ თუ ბოლო 150-წლიან პერიოდს განვიხილავთ, ზრდის ტემპი საგრძნობლად ეცემა და 0.28°C -ს შეადგენს, რაც საწყისი ნორმის 2.2 %-ია. ეს ზაზს უსვამს ერთხელ კიდევ იმ გარემოებას, რომ თბილისში ინტენსიური დათბობის პროცესის საწყისად მიმდინარე საუკუნის დასაწყისი უნდა ჩავთვალოთ.

გაცილებით ინტენსიურად იცვლება მაქსიმალური და, განსაკუთრებით, მინიმალური ტემპერატურები, თანაც ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მაშინ, როცა აბსოლუტური მაქსიმალური ტემპერატურა 100 წლის განმავლობაში დაეცა 4.3°C -ით, რაც საწყისი მნიშვნელობის 12.9%-ს შეადგენს, მინიმალური აიწია 2.1°C -ით ანუ 27.6%-ით. მაშასადამე, საშუალო წლიური ტემპერატურის ზრდის ფონზე მცირდება შესაძლო ვარიაციების ამპლიტუდა.

თუ განვიხილავთ საშუალო თვიური და სეზონური ტემპერატურების ცვლილებებს, რაზედაც დაწვრილებით შემდეგ პარაგრაფში შევეჩერდებით, ტემპერატურის ზრდას ძირითადად ზამთრის სეზონში აქვს ადგილი. მაგალითად, თუ თბილისში ივლისის თვის საშუალო ტემპერატურა 1906-1995 წლების განმავლობაში 0.5°C -ით გაიზარდა, იანვრის თვეში (იგივე პერიოდში) ტემპერატურის ნაზრდმა 1.74°C შეადგინა. ამასთან ერთად, წლის თბილი პერიოდის ზოგიერთ თვეში უმნიშვნელო ინტენსიურობებით ტემპერატურის კლებასაც კი აქვს ადგილი.

კლიმატის განმსაზღვრელი ძირითადი მეტეოროლოგიური ელემენტების
ცვლილებების მაჩასიათებლები თბილისისათვის

მეტეოროლოგ ელემენტი	ცვლილ. 150 წლის მანძილზე				ცვლილ. 100 წლის მანძილზე			
	ნორმა 150წ. წინ	ცვლილ. ტენდ. ზრდა(+) კლ.(-)	აბსოლ- უტურ ერთეუ- ლებში	%- ში	ნორმა 100წ. წინ	ცვლილ. ტენდ. ზრდა(+) კლ.(-)	აბსოლ- უტურ ერთეუ- ლებში	%-ში
ჰაერის ტემპ.	12.6°C	+	0.28°C	2.2	12.5°C	+	0.73°C	5.6
ატმოს. ნალექ.	482 მმ	+	23.6მმ	4.9	517მმ	-	16.8მმ	3.2
საშ. მინ. ტემპ.					7.6°C	+	2.10°C	27.6
აბს. მაქს. ტემპ.					36°C	-	4.30°C	12.9
ნალ. დღ. რიცხ.					106დღ	+	20დღე	18.9
წყ. ორთ. დრეკ.					9.8მმ	+	1.1 მმ	11.2
ატმ. წნევა					970ჰა	-	0.31ჰა	0
ფარდ. ტენიან.					64%	+	2%	3.1
მოწმ. დღ. რიცხ.					69დღე		38დღე	55.1
ქარ. საშ. სიჩ.					3.34მ/წმ		1.93	57.8
მოლრ.დღ.რიცხ.					120დღე	-	14დღე	11.7

ამრიგად, მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურა თბილისში ზრდას განიცდის. ზრდის ინტერსიურობა ბოლო 100 წლის მანძილზე დაახლოებით სამჯერ გაიზარდა ვიდრე ბოლო 150 წლის მანძილზე, ე.ი. კლიმატის დათბობის სავარაუდო პერიოდი თბილისისთვის მიმდინარე საუკუნიდან იწყება. ზრდის მკვეთრი ტენდენცია ძირითადად გამოხატულია ზამთრის სეზონში. წლის თბილ პერიოდში ტემპერატურის ცვლილებას თითქმის არა აქვს ადგილი. შედარებით ძლიერ ცვლილებას განიცდის ექსტრემალური ტემპერატურები, მათ შორის მაქსიმალური - კლების, ხოლო მინიმალური - ზრდის მიმართულებით.

ტემპერატურის ცვლილებამ თითქოს გავლენა უნდა მოახდინოს ატმოსფეროდან მოსული ნალექების რაოდენობაზე. არსებული ემპირიული მასალა ასეთ გავლენას არ ამჟღავნებს. როგორც ცხრილი 4.2-დან ჩანს, ტემპერატურის მცირე ზრდის პერიოდში (ბოლო 150 წელი) ნალექების რაოდენობა უმნიშვნელოდ იზრდება, ხოლო ტემპერატურის შედარებით ინტენსიური ზრდის დროს (ბოლო 100 წელი) ნალექების მოსული რაოდენობა ასევე უმნიშვნელოდ მცირდება. მაშასადამე, ტემპერატუ-

რული კელის ცვლილება კლიმატის თანამედროვე დათბობის პერიოდში თბილისში მოსული ნალექების რაოდენობაზე გავლენას არ ახდენს. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს არ არის მოულოდნელი. ჯერ ერთი, ცხრილი 4.1-დან ჩანს, რომ თბილისში მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურასა და ატმოსფეროდან მოსულ ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი არ არსებობს. ხოლო შემდეგ, ნალექები თავისუფალ ატმოსფეროში ფორმირდება, სადაც ტემპერატურის ცვლილების ტენდენცია შეუსწავლელია. თავისუფალ ატმოსფეროში ტემპერატურის ცვლილებას სრულიად სხვა სახე შეიძლება ჰქონდეს, ვიდრე ჰაერის მიწისპირულ ფენაში. ნალექების წარმოქმნაზე ბევრი სხვა ფაქტორიც ახდენს გავლენას და ამ ფაქტორების როლი გეოგრაფიული გარემოს ცვლილებასთან ერთად მკვეთრად შეიძლება შეიცვალოს. ასეთი რთული ურთიერთდამოკიდებულების დროს შესაძლებელია, რომ თბილისში ჰაერის მიწისპირული ფენის ტემპერატურის ზრდის პროცესი ნალექების რაოდენობის ცვლილებაზე გავლენას არ ახდენდეს.

ატმოსფეროდან მოსული ნალექების უცვლელი რაოდენობის ფონზე მკვეთრად იზრდება ნალექიან ღლეთა რიცხვი. შესაბამისად ცხადია უნდა შემცირდეს ნალექების ინტენსიურობა, ანუ დროის ერთეულში მოსული ნალექების რაოდენობა. როგორც ცხრილი 4.2-დან ჩანს, თბილისში ბოლო 100 წლის მანძილზე საგრძნობლად შემცირებული როგორც მოწმენდილი, ისე მოღრუბლული ცის ალბათობები. მაშასადამე, გაიზარდა საშუალო მოღრუბლულობა. ამას ფაქტია უნდა მოჰყოლოდა მოსული ნალექების ინტენსიურობის შემცირება და ნალექების მოსვლის ხანგრძლივობის გაზრდა. ყოველივე ამას ადასტურებს ცხრილი 4.2-ის მონაცემები.

გარკვეულ ცვლილებას განიცდის თბილისში ჰაერის ტენიანობა, განსაკუთრებით წყლის ორთქლის დრეკადობა. ასი წლის მანძილზე იგი 11.2 %-ით გაიზარდა, ხოლო ფარდობით ტენიანობას თითქმის არ განუცდია ცვლილება. ეს სრულიად ბუნებრივია, რადგან ატმოსფეროში ტენშემცველობის გაზრდასთან ერთად პარალელურად ადგილი ჰქონდა მიწისპირა ტემპერატურის ზრდასაც. ამან გამოიწვია ატმოსფეროს წყლის ორთქლის გაჯერების დონის გაზრდა და ფარდობითი ტენიანობა უცვლელი დარჩა. ასევე, რაიმე მნიშვნელოვანი ცვლილება არ განუცდია მიწისპირულ ფენაში ატმოსფეროს წნეკას.

ყველაზე დიდი ცვლილება თბილისში ქარის სიჩქარემ და წლის განმავლობაში მოწმენდილ ღლეთა რიცხვმა განიცადა. ასი წლის მანძილზე თითოეული მათგანი ნახევარზე მეტად შემცირდა. ეს მჭიდროდ დასაზღველ საშუალებას ქალაქებისთვის ჩვეულებრივი მოვლენაა, რასაც განაშენიანება და მოსახლეობის სიმჭიდროვის ზრდა უწყობს ხელს.

ციკლური პროცესები კლიმატის ცვლილებაში. როგორც ცნობილია, ერთადერთ წყაროს, რომელიც როგორც გლობალურ, ასევე რეგი-

ონალურ კლიმატს აყალიბებს, მზის სხივური ენერგია წარმოადგენს. ფოტოსფეროში მიმდინარე პროცესები, რომლებიც მზის აქტივობის ვარიაციებს იწვევს, გარკვეული ციკლურობით ხასიათდება. საკითხი იმის შესახებ, თუ როგორ აისახება მზის აქტივობის ცვლილება ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებზე, კერძოდ ტროპოსფეროზე, სადაც ძირითადად ფორმირდება კლიმატი, წარმოადგენს რთულ ამოცანას და ჯერჯერობით იგი გადაუწყვეტელია. საქმე იმაშია, რომ ატმოსფეროში გავლის და გარდაქმნის შედეგად გამოწვეული მზის სხივური ენერგიის ვარიაციები რამდენჯერმე აჭარბებს აქტივობის ცვლილებით გამოწვეულ ვარიაციებს. არსებობს საკმაოდ დიდი რაოდენობის ლიტერატურული წყარო, რომლებიც როგორც ამტკიცებენ, ასევე უარყოფენ მზის აქტივობის გავლენას კლიმატზე. არსებული გამოკვლევების ძირითადი ნაკლი მათ მიერ გამოყენებული ციკლურობის დამდგენი კრიტერიუმების ნაკლებად საიმედოებაშია.

მეტეოროლოგიური ელემენტების ცვალებადობაში შესაძლო ციკლური პროცესების დადგენის მიზნით შემოთავაზებული იყო ახალი კრიტერიუმი /119/, რომლის პრაქტიკული შემოწმების მიზნით გამოყენებული იყო 145 წლიანი პერიოდის (1886-1990 წწ) თბილისის ემპირიული მონაცემები. აღნიშნულ შრომაზე დაყრდნობით განვიხილოთ თბილისის მეტეოროლოგიურ მონაცემებში შესაძლო ციკლური პროცესების არსებობა და მისი განსაზღვრის შესაძლებლობები.

ვთქვათ, გვაქვს N დამოუკიდებელი ელემენტებისაგან შემდგარი სტატისტიკური რიგი

$$t'_1, t'_2, \dots, t'_N, \quad (4.5)$$

რომლის ნორმა და დისპერსია აღნიშნოთ შესაბამისად t_0 და d_0 -ით. ეს პარამეტრები მოცემული სტატისტიკური რიგის ცვალებადობის ხასიათს აღწერენ ნულოვანი მიახლოვებით.

პირველ მიახლოვებად ჩავთვალოთ მოცემული სტატისტიკური რიგის წრფივი აპროქსიმაცია ფორმულით

$$t_1 = \alpha + \beta n, \quad (4.6)$$

სადაც n -რიგის ელემენტის ნომერია. ამ შემთხვევაში დისპერსია განისაზღვრება გამოსახულებით

$$d_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_{1i} - t'_1)^2, \quad (4.7)$$

სადაც t_{1i} -რიგის i -ური ელემენტის (4.6). ფორმულით გამოთვლილი მნიშვნელობაა. თუ $d_1 < d_0$ ეს ნიშნავს რომ (4.5) რიგის ელემენტების

თანმიმდევრობას აქვს ზრდის ან კლების ტენდენცია, რომელსაც β -ნიშანი განსაზღვრავს.

მეორე მიახლოებად მივიღოთ მოცემული რიგის ელემენტების ცვლილების აპროქსიმაცია პერიოდული ფუნქციით:

$$t_2 = t_1 + A \sin\left(\frac{2\pi n}{T} + F\right). \quad (4.8)$$

შესაბამისი დისპერსია იქნება

$$d_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_{2i} - t_1')^2 \quad (4.9)$$

სადაც t_{2i} ამჯერად (4.8) ფორმულით გამოთვლილი სიდიდეა.

თუ $d_2 < d_1$ ეს მოწმობს, რომ (4.5) რიგის ვარიაციებში ადგილი აქვს ციკლურობას. თუ რამდენად ამცირებს დისპერსიას პირველი და მეორე მიახლოება განისაზღვრება შეფარდებებით d_1/d_1 და d_2/d_2 . ამრიგად მოცემულ რიგში ციკლურობის შესამოწმებლად უნდა გამოვთვალოთ d_1 , d_1 და d_2 -და განვსაზღვროთ შეფარდებები d_1/d_1 და d_2/d_2 .

d_1 -ს გამოთვლა არ წარმოადგენს რაიმე სიძნელეს. ამისათვის საკმარისია განისაზღვროს α და β -ს მნიშვნელობები (იგი (4.1) ფორმულაში a და b კოეფიციენტების გამოთვლის ანალოგიურია).

გარკვეულ სიძნელეებს შეიცავს d_2 -ის გამოთვლის პროცესი, ანუ (4.8) ფორმულიდან A, T და F პარამეტრების განსაზღვრა. ამ პარამეტრების განსაზღვრა ასე შეიძლება.

აღვნიშნოთ

$$E(A, T, F) = \sum_{i=1}^N (t_{2i} - t_1')^2 \quad (4.10)$$

პირობა A, T და F პარამეტრების პოვნისა, რომლებიც E ფუნქციის მინიმალურ მნიშვნელობას შეესაბამება, შემდეგში მდგომარეობს:

$$\frac{\partial E}{\partial A} = 0; \quad \frac{\partial E}{\partial T} = 0; \quad \frac{\partial E}{\partial F} = 0 \quad (4.11)$$

ვღებულობთ სამუცნობიან ტრიგონომეტრიულ განტოლებათა სისტემას სამი უცნობით:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^N [(t'_i - t_{ii}) \cdot \sin(\frac{2\pi n_i}{T} + F)] - A \sum_{i=1}^N [\sin^2(\frac{2\pi n_i}{T} + F)] = 0; \\
& \sum_{i=1}^N [n_i (t'_i - t_{ii}) \cdot \cos(\frac{2\pi n_i}{T} + F)] - \\
& - A \sum_{i=1}^N [n_i \sin(\frac{2\pi n_i}{T} + F) \cdot \cos(\frac{2\pi n_i}{T} + F)] = 0; \\
& \sum_{i=1}^N [(t'_i - t_{ii}) \cdot \cos(\frac{2\pi n_i}{T} + F)] - A \sum_{i=1}^N [\sin(\frac{2\pi n_i}{T} + F) \cdot \cos(\frac{2\pi n_i}{T} + F)] = 0
\end{aligned} \tag{4.12}$$

(4.12) სისტემის ამოხსნა იტერაციული გზით შეიძლება. რადგან განტოლებათა სისტემა არამდგრადია, აუცილებელია უცნობი სიდიდეების ცვლილების შესაძლო საზღვრები წინასწარ დავადგინოთ. A და F -ის ცვლილების საზღვრების დადგენა სიძნელეს არ წარმოადგენს. რთულია T -ს ცვლილების შესაძლო საზღვრების დადგენა. T -ს მიახლოებითი მნიშვნელობის დასადგენად გამოვიყენეთ (4.5) რიგის კორელაციური ფუნქცია, რომელიც გამოხატავს კორელაციის კოეფიციენტების დამოკიდებულებას რიგის ცალკეულ მონაკვეთების სიგრძესთან, როცა ეს მონაკვეთები თანდათან იზრდება.

კორელაციური ფუნქციის ასაგებად (4.5) რიგიდან ავაგეთ მატრიცა

$$\begin{vmatrix} t'_1 & t'_2 & \dots & t'_m \\ t'_2 & t'_3 & \dots & t'_{m+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t'_j & t'_{j+1} & \dots & t'_N \end{vmatrix} \tag{4.13}$$

სადაც $m \leq j$.

გამოვთვალოთ ნორმირებული ავტოკორელაციური მატრიცა

$$\begin{aligned}
& |R(t'_i, t'_k)|; \\
& i, k = 1, 2, \dots, m, \\
& j = N - m
\end{aligned} \tag{4.14}$$

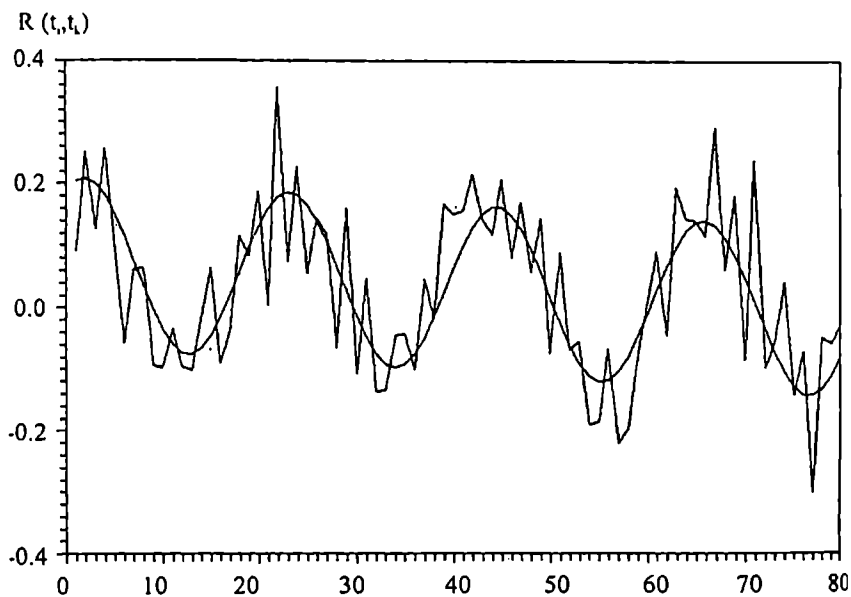
ადვილი მისახვედრია, რომ (4.14) მატრიცის ელემენტები წარმოადგენენ კორელაციის კოეფიციენტებს ყოველი ელემენტისა მომდევნო ელემენტთან, ყოველი ელემენტისა მისგან დაშორებულ მეორე ელემენტთან, შესაბამის ელემენტთან და ა.შ., ყოველი ელემენტისა მისგან დაშორებულ

მე-III-ე ელემენტთან. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გამოთვლები ტარდებოდა თბილისის 145-წლიანი რიგის ფაქტიური მონაცემებით, კერძოდ ტემპერატურის საშუალო წლიური მონაცემებით 1846-1990 წლებში. სურ. 4.2-ზე დატანილია (4.14) მატრიცის პირველი სტრიქონის მნიშვნელობები (ტეხილი მრუდი), ანუ ყოველი წლის კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მომდევნო წელთან, მესამე წელთან და ა.შ., $m=80$ წელთან. მიუხედავად იმისა, რომ კორელაციის კოეფიციენტები ძალზე დაბალია, მკვეთრად გამოხატული კოეფიციენტების ციკლური ცვლილება დაახლოებით 20-25 წლის პერიოდით. მაშასადამე, T პარამეტრას საორიენტაციო მნიშვნელობა სწორედ აღნიშნულ ფარგლებს შიგნით უნდა მდებარეობდეს. რაც შეეხება A და F პარამეტრების შესაძლო ცვლილების დიაპაზონებს, პირველი მათგანი (4.5) რიგის დისპერსიის (d_0) სიდიდეს არ უნდა აჭარბებდეს, ხოლო მეორეს ცვლილების დიაპაზონი 0-დან 2π -ის ფარგლებშია. გამოვიყენეთ რა (4.12) განტოლებათა სისტემა და უცნობებს მივანიჭეთ მიახლოებული მნიშვნელობები ცვლილებათა შესაძლო დიაპაზონიდან, იტერაციის გზით დავაზუსტეთ მათი მნიშვნელობები აპრიორულად განსაზღვრული სიზუსტის ფარგლებში.

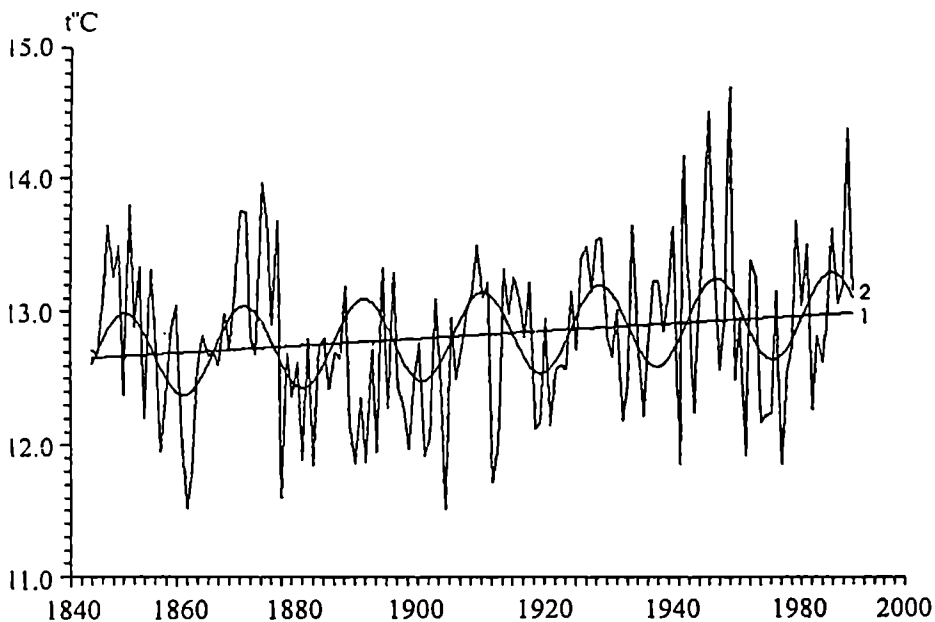
სურ.4.3-ზე მოცემულია თბილისის საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილება 1886-1990 წლებში. ნორმა და დისპერსია ნულოვანი, მიახლოებით შეადგენს $t_0=12.8^\circ\text{C}$ და $d_0=0.38^\circ\text{C}$. იგივე სურათზე დატანილია აპროქსიმაციით მიღებული შედეგები პირველი და მეორე მიახლოებებით. პირველი მიახლოებით მიღებული წრფის საკუთხო კოეფიციენტი $\beta=0.0025^\circ\text{C}/\text{წელი}$. ფორმულით (4.7) განსაზღვრულია d_1 და შემდეგ შეფარდება $d_1/d_0=1.032$. იტერაციული მიახლოების გზით განსაზღვრული უცნობი პარამეტრების მნიშვნელობებია $A=0.32^\circ\text{C}$, $T=22.4$ წელს და $F=336^\circ$. მათი გამოყენებით და (4.8) ფორმულით აგებულია მრუდი და განსაზღვრულია შეფარდება $d_1/d_0=1.195$.

ამრიგად პირველი მიახლოება, რომელიც წრფივ აპროქსიმაციას ითვალისწინებს, დისპერსიას ნორმასთან შედარებით ამცირებს 3.2 %-ით, ხოლო მეორე მიახლოება ანუ ციკლურობის გათვალისწინება დისპერსიას ამცირებს 19.5 %-ით. ეს მიუთითებს თბილისის ტემპერატურის საუკუნეობრივ სვლაში 22.4-წლიანი პერიოდის მქონე ციკლური ცვლილების არსებობის უდავო ფაქტზე.

იგივე 22.4-წლიანი პერიოდის მქონე ციკლური პროცესები სხვადასხვა ინტენსიურობით ვლინდება თბილისის საშუალო თვიური და სეზონური ტემპერატურების ვარიაციებში. ამ მიზნით ჩატარებული გამოთვლების შედეგები მოცემულია ცხრილში 4.3.



სურ. 4.2. კორელაციის კოეფიციენტები თბილისის საშუალო
წლიურ ტემპერატურებს შორის 1-დან 80 წლამდე
დაშორებით



სურ. 4.3. ტემპერატურის ცვლილება თბილისში 1886-1990 წლებში წრფივი აპროქსიმაციით (1) და 22.4-წლიანი ციკლის გათვალისწინებით (2)

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ციკლური პროცესი განსაკუთრებით მკვეთრად ზამთრის სეზონშია გამოხატული, რომელშიც ციკლურობის გათვალისწინებით დისპერსია 34.8 %-ით მცირდება.

განვიხილოთ როგორ ვლინდება ციკლური პროცესები კლიმატის განმსაზღვრელ სხვა მეტეოროლოგიურ ელემენტებში. ზემოდ აღწერილი მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა შეგვედგინა ცხრილი 4.4, რომელშიც ასახულია ციკლური პროცესების კვლევის შედეგები ცხრილში 4.2 მოყვანილი მეტეოროლოგიური ელემენტებისთვის.

ყველაზე დამაჯერებელი ციკლურობა ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილებაში ვლინდება, რომლისთვისაც ციკლურობის გათვალისწინებით დისპერსია 17.3 %-ით მცირდება. ციკლურობა თითქმის არ ჩანს ნალექების ჯამისა და მაქსიმალური ტემპერატურის ცვლილებაში. ცხრილის ბოლო სვეტში მოცემულია საწყისი ფაზების წანაცვლების სიდიდეები მეტეოროლოგიურ ელემენტებს შორის (dF წელი). აღსანიშნავია, რომ წანაცვლება დაახლოებით 3, 6 ან 12 წელს შეადგენს.

უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა თვეებისა და სეზონების კორელაციური ფუნქციების აგებისას შეიმჩნეოდა სხვა პერიოდის მქონე ციკლებიც ვიდრე 22.4 წელია. ისინი ძირითადად ვლინდებოდნენ 11 და 80 წლების მახლობლობაში. მიუხედავად იმისა, რომ განხილულ პერიოდში 11-წლიანი ციკლის საკმაოდ დიდი რაოდენობა თავსდებოდა და ეს მიღებული შედეგების საიმედოობას ზრდის, მისი გათვალისწინება დისპერსიას უმნიშვნელოდ ამცირებდა. რაც შეეხება 80-წლიანი ციკლისთვის, დისპერსიის შემცირება აქ გაცილებით მნიშვნელოვანი იყო ვიდრე ციკლური პროცესის დროს 22.4-წლიანი პერიოდით. მაგრამ მიღებული შედეგების საიმედოობა ამ დროს ძალიან დაბალია, რადგან განხილულ პერიოდში მხოლოდ ერთი ციკლი თავსდება. მაგალითად, მაქსიმალური ტემპერატურის საუკუნეობრივ სვლაში 80-წლიანი ციკლური ცვლილების გათვალისწინებით პირველმა და მეორე მიახლოებამ დისპერსიები შესაბამისად შემამცირა 43.3 და 92.8 %-ებით ანუ 80-წლიანი ციკლის გათვალისწინებით დისპერსია შემცირდა 49.5 %-ით, მაგრამ იგი მხოლოდ ერთი ციკლითაა განსაზღვრული და, მაშასადამე, ნაკლებად საიმედოა.

ამრიგად, მეტეოროლოგიური ელემენტების ცვლილებათა დახასიათება პირველი მიახლოებით (წრფივი აპროქსიმაციით) განხილულ პერიოდში მოცემული ელემენტის ტენდენციური ცვლილების მიმართულებას (კლება ან ზრდა) და ცვლილების საშუალო ინტენსიურობას იძლევა. კლიმატის გლობალური დათბობის პროცესი, როგორც ცნობილია, ანთროპოგენურმა ფაქტორებმა განაპირობეს. ე.ი. პირველი მიახლოებით მიღებულ ცვლილებებში გადამწყვეტი როლი ანთროპოგენურ ფაქტორებს

უჭირავთ და ბუნებრივი ფაქტორები მასში უმნიშვნელო როლს თუ თამაშობენ.

რაც შეეხება მეორე მიახლოებას (ციკლური პროცესების გათვალისწინება კლიმატის ცვლილებაში), იგი კლიმატზე ზემოქმედების მხოლოდ ბუნებრივი ფაქტორების შედეგი შეიძლება იყოს. საგულისხმოა, რომ კლიმატის ცვლილების ციკლური პროცესი მხოლოდ ბუნებრივი (არაანთროპოგენური) ფაქტორის გავლენით ხდება. თუ ეს ასეა, მაშინ ცხრილებში 4.3 და 4.4 მოცემული დისპერსიითა შეფარდებები ცალსახად მიჯნავენ ანთროპოგენური და ბუნებრივი ფაქტორების გავლენას კლიმატის ცვლილების პროცესზე, რაც ფრიად მნიშვნელოვანია კლიმატის ცვლილების გამომწვევი კონკრეტული ანთროპოგენური ფაქტორების შესწავლისთვის.

ციკლური პროცესების ასახვა თბილისის ტემპერატურის საუკუნეობრივ
სეგლაში (1886-1990 წწ)

თვეები, სეზონი	145-წლიანი პერიოდის ნორმა და დისპერსია		წრფივი მიახლოება $t_1 = \alpha + \beta n$			მიახლოება ციკლურობის გათვალისწინებით $t_2 = t_1 + A \cdot \sin(\frac{2\pi n}{T} + F)$			
	t_0 °C	d_0 °C	α °C	β °C/წლ	$\frac{d_1}{d_0}$	A °C	T წელი	F გრად	$\frac{d_2}{d_0}$
I	1.0	4.35	0.08	0.0145	9.6	1.05	22.4	336	27.5
II	2.6	4.03	2.07	0.0071	2.3	0.70	22.4	336	8.8
III	6.7	3.35	6.73	-0.0001	0	0.21	22.4	336	0.7
IV	12.1	2.71	11.65	0.0085	2.6	0.29	22.4	336	4.3
V	17.4	1.72	17.47	-0.0006	0	0.04	22.4	336	0.1
VI	21.2	1.54	21.17	0.0008	0.1	0.01	22.4	336	0.1
VII	21.4	1.37	24.42	0.0004	0	0.01	22.4	336	0
VIII	24.2	1.49	24.51	-0.0040	2.0	0.23	22.4	336	3.6
IX	19.6	2.21	19.46	0.0014	0.2	0.01	22.4	336	2.0
X	13.8	2.28	14.23	-0.0054	2.3	0.22	22.4	336	3.5
XI	7.8	2.21	7.47	0.0039	1.3	0.31	22.4	336	2.8
XII	3.2	2.76	2.74	0.0058	2.2	0.62	22.4	336	9.1
II-IV	12.1	1.06	11.95	0.0020	0.7	0.19	22.4	336	2.2
V-VII	23.3	0.64	23.36	-0.0010	0.2	0.05	22.4	336	0.5
VIII-X	13.7	1.02	13.72	-0.0001	0	0.25	22.4	336	3.1
XI-I	2.2	1.75	1.57	0.0092	9.4	0.83	22.4	336	34.8
IV-IX	19.8	0.53	19.53	0.0007	0.2	0.13	22.4	336	1.7
X-III	5.8	0.82	5.53	0.0042	4.2	0.52	22.4	336	24.6
I-XII	12.8	0.38	12.66	0.0025	3.2	0.32	22.4	336	19.5

ციკლური პროცესების ასახვა კლიმატის განმსაზღვრელი ძირითადი მეტეოროლოგიური ელემენტების საუკუნეობრივ სვლაში (1891-1990 წწ)

მეტეო-ელემენტი	100-წლ. პერ. წრფივი მიახლოება ნორმა და დისპ. $X_1 = \alpha + \beta n$					მიახლოება ციკლ. გათ. $X_2 = X_1 + A \cdot \sin(\frac{2\pi n}{22.4} + F)$			
	X_0	d_0	α	β	d_0/d_1	A	F	d_0/d_2	dF
ჯგმ	508	12066	489	0.199	0.4.	5.3	120	0.6	-14
$t_{\text{მო}}^{\circ}\text{C}$	8.6	0.66	7.45	0.023	159	0.15	27	168	3
$t_{\text{მა}}^{\circ}\text{C}$	34	14.3	35.9	-0.043	43.3	0.18	16	43.6	3
n_0 დღე	111	172	115	-0.119	6.3	1.55	250	8.5	-12
ე მბ	10.2	0.25	9.65	0.130	73.4	0.70	350	75.9	1
პპ	970	0.31	970	-0.003	2.1	0.14	239	7.1	-6
წ%	50	7.62	47.6	0.051	22.8	0.25	225	30.5	-7
$n_{0.2}$ დღე	52	216	70.2	-0.411	106	1.48	127	109	-13
v მ/წმ	2.5	0.30	3.17	-0.014	70.3	0.11	140	87.6	-12
$n_{\text{ჩ-10}}$ დღე	113	120	120	-0.151	4.2	4.80	295	7.9	-3

ზემოთ მიღებული შედეგები წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული კლიმატის პროგნოზირებისთვის. ქვემოთ მოყვანილია თბილისში ტემპერატურის პროგნოზირების პრაქტიკული მაგალითი 1986-1990 წლებში და იგი შედარებულია ტემპერატურის ცვლილების ფაქტიურ მონაცემებთან.

4.3. კლიმატის პროგნოზირება სიკლურობის გათვალისწინებით

ვისარგებლოთ ზემოთ აღწერილი კლიმატის ცვლილების ციკლური პროცესის ძიების და შემთხვევითი ფუნქციების ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდებით და ვცადოთ თბილისში ჰაერის მიწისპირა ტემპერატურის პროგნოზირება 1986-1990 წლებში.

პროგნოზირების არსი შემდეგში მდგომარეობს. არსებული გრძელვადიანი ფაქტიური დაკვირვების მასალებიდან განისაზღვრება ციკლურობის ამსახველი პარამეტრების A, T, F -ის და წრფივი აპროქსიმაციის კოეფიციენტების α, β -ს მნიშვნელობები. შემდეგ, იგივე მონაცემებით აიგება

ავტოკორელაციური მატრიცა მსგავსად (4.14)-სა და განისაზღვრება ამ მატრიცის საკუთრივი ვექტორები და საკუთრივი მნიშვნელობები. რადგან კორელაციური კავშირი მომდევნო თვეებს შორის უფრო მაღალია, ვიდრე მომდევნო წლებს შორის, კორელაციური მატრიცები დამოუკიდებლად უნდა აიგოს ყველა თვისთვის. ეს პროგნოზის სიზუსტეს საგრძნობლად გაზრდის. ფორმულით (4.8) გამოითვლება პროგნოზირებადი წლის მოცემული თვის ნორმა, ხოლო ნორმიდან სავარაუდო გადახრას (შეშფოთებას) განსაზღვრავს აღნიშნული თვის კორელაციური კავშირი წინა ერთ ან რამოდენიმე თვესთან, რაც ერთი ან რამოდენიმე საკუთრივი ვექტორის გამოყენებით შეიძლება განხორციელდეს. ყოველივე, ეს რა თქმა უნდა, საკმაოდ შრომატევად გამოთვლებს მოითხოვს, მაგრამ კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენების შესაძლებლობა გამოთვლის პროცედურებს საგრძნობლად ამარტივებს.

პროგნოზირებისთვის გამოვიყენეთ 1846-1985 წწ მონაცემები და ყოველი თვისთვის მხოლოდ წინა თვესთან კავშირი (ე.ი. ერთი საკუთრივი ვექტორი). პროგნოზირებისთვის საჭირო პარამეტრებიდან T არ შეგვიცვლია და ყველა წლის ყოველი თვისთვის ავიღეთ მისი მნიშვნელობა 22.4 წელი. დანარჩენმა პარამეტრებმა წლების მიხედვით მცირე ცვლილებები განიცადეს და ახლოს იყვნენ 4.3 ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებთან. რაც შეეხება პარამეტრებს თვეების მიხედვით, მათ შედარებით მნიშვნელოვანი ცვლილებები ჰქონდათ. გამოთვლების შედეგები მოცემულია ცხრილში 4.5. იქვეა მოცემული ტემპერატურების ფაქტიური მონაცემები და პროცენტებში გამოსახული განსხვავებების აბსოლუტური მნიშვნელობები.

როგორც 4.5 ცხრილიდან ჩანს დიდი განსხვავებები პროგნოზირებულ და ფაქტიურ ტემპერატურებს შორის ზამთრის სეზონზე მოდის. ამის მიზეზი ძირითადად ისაა, რომ დისპერსია ამ დროს ფაქტიურ მნიშვნელობებს უახლოვდება. რაც შეეხება საშუალო წლიურ ტემპერატურებს, ისინი ერთმანეთთან ახლოსაა (საშუალო წლიურ განსხვავებათა პროცენტული მნიშვნელობები გამოთვლილია არა წლიური მონაცემების მიხედვით, არამედ თვეებში მიღებული გადახრების გასაშუალების შედეგად).

მიღებული შედეგების შეფასებისთვის მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ პროგნოზირების მეთოდმა იწინასწარმეტყველა 1989 წლის დათბობის ტენდენცია წინა და მომდევნო წლებთან შედარებით, რასაც ცხრილში მოყვანილი ფაქტიური მონაცემები ადასტურებენ.

ცხრილი 4.5

1986-1990 წლებისთვის პროგნოზირებული საშუალო თვიური
ტემპერატურები 22.4-წლიანი ციკლის გათვალისწინებით და
მათი შედარება ფაქტიურ მნიშვნელობებთან

ტემპერატ., წელი	თვეები												საშ. წლ.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
პროგ.	2.8	3.0	6.7	12.8	17.4	20.6	24.7	23.7	20.2	14.4	8.0	4.2	13.2
ფაქტ.	3.4	3.5	5.8	14.7	15.5	21.2	25.4	26.1	22.6	14.0	8.0	3.8	13.7
გან.% 1986	18	14	16	13	12	3	3	9	11	3	0	1.1	9.4
პროგ.	2.9	3.4	7.2	12.8	16.6	21.6	24.9	23.7	19.5	13.7	7.4	4.1	13.2
ფაქტ.	4.0	5.0	5.4	10.7	18.9	22.3	25.7	23.5	18.6	11.5	7.6	4.0	13.1
გან.% 1987	28	32	33	20	12	3	3	1	5	19	3	3	13.4
პროგ.	2.9	2.8	6.4	13.3	17.2	20.7	24.8	23.6	19.4	13.9	8.0	4.0	13.1
ფაქტ.	2.1	2.4	7.7	14.1	16.1	21.7	25.3	23.3	19.3	14.4	7.1	5.3	13.2
გან.% 1988	38	17	17	6	7	5	2	1	1	3	13	25	11.1
პროგ.	2.4	2.8	6.7	13.8	17.6	21.5	25.0	23.8	20.2	14.2	9.7	4.3	13.4
ფაქტ.	1.7	3.1	10.4	16.7	18.6	22.9	26.5	26.1	20.6	13.9	8.5	4.4	14.4
გან.% 1989	41	10	36	17	5	6	6	9	2	2	14	2	12.5
პროგ.	2.8	3.5	7.1	13.6	16.3	20.9	25.0	23.8	19.4	13.0	8.0	4.5	13.2
ფაქტ.	3.0	4.8	8.9	9.3	16.4	22.5	25.8	23.5	15.3	14.3	9.9	4.7	13.2
გან.% 1990	7	27	20	46	1	7	3	1	27	9	19	4	14.3

ლიტერატურა

1. თავართქილაძე კ.ა. ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების გავლენა კლიმატზე.- საქ.დ.პ.უნ.შრ., ტ.3, 1995.
2. კორძაზია მ., ჭირაქაძე გ. საქართველოს კლიმატის შესწავლის ისტორიისათვის. - საქ. მეცნ. აკ. გეოგ. ინ. შრ., ფიზ.-გეოგრ. სერია, III, 1948.
3. კორძაზია მ. საქართველოს ჰავა.- თბ., მეცნიერება, 1961.
4. მამაცაშვილი მ., თავართქილაძე კ. ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების თანამედროვე პრობლემები. - საქ.ბუნების დაცვა, ტ. X, 1982.
5. მუმლაძე დ. საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება.- თბ., მეცნიერება, 1991.
6. ქურდიანი ი. ჰავის საუკუნეობრივი ცვალებადობის საკითხისათვის საქართველოში. - საქ.მეცნ.აკად.გეოფ.ინსტ.შრ., XV, 1956.
7. ხანთაძე ა., გზირიშვილი თ., ლაზრიევი გ. კლიმატის გლობალური დათბობის არაწრფივი თეორიის შესახებ. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი. №6, თბილისი, 1997.
8. Авасте О., Молдау Х., Шифрин К.С. Спектральное распределение прямой и рассеянной радиации. - Исслед. по физике атм., в.3, Тарту, 1962.
9. Алисов Б.П., Дроздов О.А., Рубинштейн Е.С., Климатология.- Л., Гидрометеиздат, 1951.
10. Асланикашвили Н.А. Вековой ход интенсивности прямой солнечной радиации. - Актином. и оптика атм., Л., Гидрометеиздат, 1969.
11. Асланикашвили Н.А. О вековом ходе солнечной радиации в Тбилиси. - Тр.ЗакНИГМИ, 35, 1979.
12. Ахмедов Ш.А., Давудов Ю.Д., Джалилов Ф.Г., Меликов С.Г. Статистические характеристики спектральной структуры атмосферной толщины при различном состоянии атмосферы. Исслед.Земли из косм., Т3, 1983.
13. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. - Тр. ЦИП, в.74, 1959.
14. Балабуев А.Г., Махарашвили А.З. Предварительные результаты

- наблюдений вертикального распределения аэрозолей над районами Восточной Грузии. - Сообщ. АН ГССР, т.40, №1. 1965.
15. Балабуев А.Г., Ломая О.В., Цинцадзе О.Г. Годовой и суточный ход концентрации атмосферных аэрозолей в городских условиях. - Сообщ. АН ГССР, т.69, №3, 1973.
16. Будыко М.И. Климат и жизнь. - Л., Гидрометеиздат, 1971.
17. Будыко М.И. Влияние человека на климат. - Л., Гидрометеиздат, 1972.
18. Будыко М.И. Изменение климата. - Л., Гидрометеиздат, 1974.
19. Будыко М.И. Современное изменение климата. - Л., Гидрометеиздат, 1977.
20. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. - Л., Гидрометеиздат, 1981.
21. Будыко М.И. Эволюция биосферы. - Л., Гидрометеиздат, 1981.
22. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин Л.Л. История атмосферы. - Л., Гидрометеиздат, 1985.
23. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. - М., Изд. Ин. литер., 1961.
24. Венцель Е.С. Теория вероятности. - М., 1962.
25. Винников К.Я. Чувствительность климата. - Л., Гидрометеиздат, 1986.
26. Гагуа В.П. Статистическая структура температуры воздуха на территории Закавказья. - Тр. ЗакНИИ, вып.74(80), 1980.
27. Гагуа В.П. Пространственно-временные закономерности многолетнего хода температуры воздуха в Закавказье. Тр. ЗакНИИ, вып.74(80), 1980.
28. Гвазава Р.А., Хоргуани В.Г. О вековом изменении приземной температуры воздуха в Тбилиси. - Метеор. и гидр., №11, 1989.
29. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Данные о структуре и изменчивости климата. Температура воздуха на уровне моря. Северное полушарие. - Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1979.
30. Давитая Ф.Ф. О возможном влиянии запыленности атмосферы на уменьшение ледников и потепление климата. - Изв. АН СССР, сер.геогр., №2, 1965.
31. Давитая Ф.Ф., Таварткиладзе К.А. Проблема борьбы с градобитием, морозами в субтропиках и некоторыми другими сти-

- хийными процессами.- Тб., Мецниереба, 1982.
32. Дейрменджан Л. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими частицами.- М., Мир, 1971.
 33. Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения.- Вып.1, 1971, вып.2, 1972.
 34. Дзердзеевский Б.А. Общая циркуляция атмосферы и климат. Избр. тр, М., Наука, 1975.
 35. Долидзе Д.Ш. Фотосинтетически активная радиация (ФАР) на склонах в условиях Анасеули. - Суб. культ., Анасеули, т5, 1974.
 36. Дроздов О.А. О свойствах интегрально-разностных кривых.- Тр. ГГО, вып.162, 1964.
 37. Дроздов О.А. Об изменении осадков северного полушария при изменении температуры полярного бассейна.- Тр.ГГО, в.198, 1966.
 38. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков над территорией СССР.- Л., Гидрометеониздат, 1971.
 39. Дроздов О.А. О фазах векового цикла количества осадков на территории Евразии.- Тр.ГГО, вып. 299, 1973.
 40. Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Космос-Земля. Прогнозы. - М., Мысль, 1974.
 41. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере, М., Сов.Радио, 1970.
 42. Иванов А.И., Каримова Л.М., Коровченко В.Н. Спектральные исследования поглощения спектральной радиации естественным аэрозолем.- Изв. АН СССР, ФАО, т.16,№8, 1980.
 43. Ивлев Л.С. Аэрозольная модель атмосферы.- Пр.физ.атм., в.7, Л., ЛГУ. 1969.
 44. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей.- Л., ЛГУ, 1982.
 45. Кароль И.Л., Пивоварова З.И. Связь изменений содержания стратосферных аэрозолей с колебанием солнечной радиации. - Мет. и гидр., №9, 1978.
 46. Кароль И.Л. Введение в динамику климата Земли.- Л., Гидрометеониздат, 1988.

47. Климат Тбилиси.- С.-Петербург, Гидрометеиздат, 1992.
48. Кондратьев К.Я., Бугрова М.П., Михайлов В.В., Гритечкин В.С. Исследование спектрального состава коротковолновой солнечной радиации.- Изв. АН СССР, ФАО, т.1, №9, 1965.
49. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата.- Л., Гидрометеиздат, 1980.
50. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Терзи В.Ф., Скворцова С.Я. Модели оптических характеристик атмосферного аэрозоля над континентами.- ДАН СССР, т.260, №1, 1981.
51. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Терзи В.Ф. Моделирование оптических характеристик атмосферного аэрозоля в прибрежных зонах.- ДАН СССР, т.262, №3, 1982.
52. Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В. Аэрозольные модели атмосферы.- М., Наука, 1982.
53. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферный аэрозоль.- Л., Гидрометеиздат, 1983.
54. Котляков В.М. Снежный покров Земли и ледники.- Л., Гидрометеиздат, 1968.
55. Котляков В.М., Кренке А.Н. Ледники, как индикаторы климата.- Изв. АН СССР, сер. физика атмосферы и океана, №11, 1982.
56. Лифшиц Н.Ш. Определение аэрозольного поглощения в ультрафиолетовой области спектра на основе двухслойной модели атмосферы.- Изв. АН СССР, ФАО, т.15, №9, 1979.
57. Любовцева Ю.С., Яскович Д.Г. Аэрозольное поглощение в области спектра 0.25-0.8 мкм.- Изв. АН СССР, т.18, №9, 1982.
58. Малкевич М.С. Оптические исследования атмосферы со спутников.- М., Наука, 1973.
59. Малкевич М.С., Георгиевский Ю.С., Чавро А.И., Шукуров А.Х. Статистические характеристики спектральной структуры ослабления радиации в приземном слое воздуха.- Изв. АН СССР, ФАО, т.13, №12, 1977.
60. Обухов А.М. О статистических ортогональных разложениях эмпирических функций. - Изв. АН СССР. сер. геофиз., Т3, 1960.
61. Поляк И.И. Многомерные статистические модели климата.- Мет.

и гидр., №5, 1982.

62. Прогноз гидрометеорологических условий Колхидской низменности после осушения.- Л., Гидрометеониздат, 1983.
63. Рабинович Ю.И. Вертикальное распределение аэрозольного ослабления в тропосфере.- Тр. ГГО, в.118, 1961.
64. Розенберг Г.В. Рассеяние света в земной атмосфере.- УФН, т.1, №2, 1960.
65. Розенберг Г.В. Возникновение и развитие атмосферного аэрозоля - кинетически обусловленные параметры.- изв. АН СССР, ФАО, т.19. №1, 1983.
66. Розенберг Г.В. Кинетическая модель обезвоженного тонкодисперсного аэрозоля в тропосфере.- Изв. АН СССР, ФАО, т.19, №3, 1983.
67. Рубинштейн Е.С. К проблеме изменений климата.- Тр. НИУ ГУГИС, 1946, сер.1, вып.22.
68. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современные изменения климата. - Л., Гидрометеониздат, 1966.
69. Рубинштейн Е.С. Средние широтные температуры воздуха на земном шаре и их связь с изменением климата.- Тр. ГГО, в. 269, 1970.
70. Таварткиладзе К.А. К вопросу определения запаса воды в атмосфере для районов Закавказья. - Тр.ЗакНИГМИ; в.14, 1963.
71. Таварткиладзе К.А. Некоторые особенности влагосодержания атмосферы в условиях Главного Кавказского хребта.- Тр. ЗакНИГМИ, в.22, 1966.
72. Таварткиладзе К.А. Учет влияния высоты местности при вычислении эффективного излучения. - Тр.ЗакНИГМИ, в.35, 1970.
73. Таварткиладзе К.А. Увеличение запыленности атмосферы над территорией СССР.-Мет. и гидр.,№5, 1970.
74. Таварткиладзе К.А. Определение коэффициента аэрозольного помутнения атмосферы.- Мет. и гидр., №11, 1973.
75. Таварткиладзе К.А. О расчете показателя аэрозольного ослабления.- Мет. и гидр.,№3, 1975.
76. Таварткиладзе К.А. О статистических характеристиках

- спектральной структуры оптической толщины атмосферы.- Изв. АН СССР, ФАО, т.12, №6, 1976.
77. Таварткиладзе К.А. Статистические характеристики спектральной оптической толщины атмосферы над морской поверхностью.-Изв. АН СССР, ФАО, т.15, №11, 1979.
 78. Таварткиладзе К.А. Влияние водяного пара на прозрачность безоблачной атмосферы.- Мет. и гидр., №11, 1982.
 79. Таварткиладзе К.А. Влияние влажности на формирование оптических свойств атмосферного аэрозоля.- Изв. АН СССР, ФАО, т.22, №10, 1986.
 80. Таварткиладзе К.А. Определение аэрозольной мутности атмосферы по прямой радиации Солнца.- Мет. и гидр., №4, 1985.
 81. Таварткиладзе К.А. Моделирование аэрозольного ослабления радиации и методы контроля загрязнения атмосферы.- Тб., Мецниереба, 1989.
 82. Таварткиладзе К.А., Мestiaшвили Г.А. Анализ аэрозольного ослабления радиации с учетом влагосодержания атмосферы.- Изв. АН СССР, ФАО, т.25, №1, 1989.
 83. Хмеленцев С.С. Изменение климата при использовании энерго-балансовых моделей.- Л., Гидрометеиздат, 1988.
 84. Ходаков В.Г. Снега и льды Земли.- М., Наука, 1969.
 85. Цуцкиридзе Я.А. Основные черты термического режима Грузии.- Тр. ЗакНИГМИ, вып.22, 1960.
 86. Чиракадзе Г.И. Основные черты климата Тбилиси и его окрестностей.- Тр.ТбилизНИГМИ, вып.6, 1959.
 87. Шифрин К.С. (ред.). Оптика океана и атмосферы. - М., Наука, 1981.
 88. Amato U., Andretta A., Bartoli B., Cuomo V., Serio C. Stochastic modelling of solar radiation data.- Nuovocim., 8, N3, 1985.
 89. Brinkmann W.A.R. Association between temperature and precipitation patterns over the Great Lakes.- J.Clim., 5, N2, 1985.
 90. Bruce Hewitson. Regional climates in the GJSS general circulation model: Surface air temperature.- J.Clim., 7, N2, 1994.
 91. Bultot F., Dupriez G.L., Gellens D. Estimated annual regime of energy-balance components, evapotranspiration and soil moisture for a drainage basis in the case of a CO₂ doubling.- Clim. Change, 12, N1,

93. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Edited by Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A. and Maskell K. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, 1996.
94. Das A.K., Iqbal M. Modification to an algorithm to compute diffuse solar spectral radiation under clear skies.- Rev. Int. Heliotechn., №2, 1984.
95. Fitzgerald J.W., Hoppel W.A., Vietti M.A. The size and scattering coefficient of urban aerosol particles at Washington, DC as a function of relative humidity. J. Alt. Sci., 39, №8, 1982.
96. Garratt J.R. Incoming shortwave fluxes at the surface. A comparison of GCM results with observations.- J. Clim., 7, №1, 1994.
97. Goroch A.K., Fairall C.W., Davidson K.L. Modelling wind speed dependence on marine aerosol distribution by a Gamma Function. - J. Appl. Met., 21, №5, 1982.
98. Grotjahn Richard. Three dimensional linear instability on a sphere: resolution experiments with a model using vertical orthogonal basis functions. - J. Atm. Sci., 44, №24, 1987.
99. Harley W.S. Trends and variations of mean temperature in the lower troposphere.- Mon. Wea. Rev., 106, №3, 1978.
100. Hampreys W.I. Physics of the air. - New York, 1929.
101. Horel J., Pechmann J.B., Hahmann A.N., Geoler G.E. Simulations of the Amazon basin circulation with a regional model.- J. Clim., 7, №1, 1994.
102. Kats M., Baille A., Mermier M. Atmospheric turbidity in a semirural site. Influence of climatic parameters.- Sol. Energy, 28, №4, 1982.
103. Koppen W. Über mehrjährige Perioden der witterung, insbesondere über die 11-jährige Periode der Temperature.- Zeit.d. oster gessellsch.f. Meteor., 8, 1873.
104. Labitzke K., van Loon H. Assotiations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere. Part.1. The troposphere and stratosphere in the Northern hemisphere in winter.- J. Atm. Phys., 50, 1988.
105. Lamb H.H., Malberg S.A., Colebrook I.M. Climatic reversal in northern North Atlantic.- Nature, 256, №517, 1975.
106. Lamb H.H. Climate: Present, Past and Future.- 2, London, 1977.

107. Luther F.M., Ellingson F.G., Fouquartz Y., Fels S., Scott N.A., Wiscombe W.J. Intercomparison of radiation codes in climate models.- *BAMS*, 69, N1, 1988.
108. Manabe S., Wetherald R.T. The effect of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model.- *J. Atmos.Sci.*, 32, N1, 1975.
109. Manabe S., Stouffer R. Sensitivity of a global climate model to an increase of CO₂ concentration in the atmosphere.-*J.Geophys.Res.*,85, N10,1980.
110. Michaelson J. Gross-validation in statistical Climate forecast models. *J.Clim. and Appl.Meteor.*, 26, N11, 1989.
111. Mitchell J.M. Recent secular changes of global temperature. *Ann.N.Y.Acad. Sci.*, 95, 1961.
112. Mitchell I.M. On the world-wide pattern of secular temperature change. *Changes of Climate Arid Zone Research*, 20, UNESCO, Paris, 1963.
113. O'Neill N.T., Rouer A., Cote P., McArthur L.J. Relations between optically derived aerosol parameters humidity and air- quality data in an urban atmosphere.- *J. Appl. Meteor.*, 32, N9, 1993.
114. Palmier S., Siani A.M., D'Agostino A. Climate fluctuations and trends in Italy within the last 100 year.- *Annal. Geoph.*, 9, N12, 1991.
115. Pittock A.B., Salinger J.M. Towards regional scenarios for a CO₂ warmed earth.- *Clim.Change*, 4,N1, 1982.
116. Report of the fourth session of the CAS/JSC working group on numerical experimentation. Downsview, Ontario, Canada, 26-30 September, 1988, WMO, WMO/TD-N 278, 1988.
117. Weber S.O., Madden R.A. Optimal averaging for the determination of global mean temperature: Experiments with model data.-*J.Climate*, 8, N3, 1995.
118. Sagan C., Toon O.B., Pollack I.B. Human impact on climate of global significance since the domestication of fire.- *Science*, 204, N4425, 1979.
119. Sanderson R.M. Changes in the area of Arctic sea ice 1966 to 1974.- *Met.Mag.*, 104, N1240, 1975.
120. Stull V.R., Wyatt P.J., Plass G.N. The infrared transmittance of carbon dioxide.- *Appl.Opt.*, 3, N2, 1964.
121. Tavartkiladze K.A. In reference to the cyclicity of the climate variations in Tbilisi.- *The First regional conf. on Climate Change*, Tehran, 1996.

122. Whetton P.H., Rauner P.J., Pittok A.B., Haylock M.R. An assosment of possible climate change in the Australian region based on intercomparison of general circulation modeling results. - J.Climate, 7, N3, 1994.
123. Wigley T.M.L., Jones P.D., Kelly P.M. Scenario for a warm, high-CO₂ world.- Nature, 283, 1980.
124. Wilett H.C. Temperature trends of the past century.-Royal meteorological Society, London, 1950.
125. Wiglett H. Do recent climatic fluctuations portend an imminent ice age.- Geophyc.Ins., 14, N4, 1974.
126. Wilson M.F., Henderson-Sellers A., Dickinson R.E., Kennedy P.Y. Sensitivity of the biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) to the inclusion of variable soile characteristics. J.Clim. and Appl.Met., 26, N3, 1987.
127. Zhanging L.,Whitlock C.H., Charlock T.P. Assesment of global monthly surface insolation estimated from sattelite measure-ments using global energy balance archive data.- J.Climate, 8,N2, 1995.

თავართქილაძე კუკური ანდროს ძე
ელიზბარაშვილი ელიზბარი შალვას ძე
მუმლაძე დალი გიორგის ასული
ვაჩნაძე ჯემალი ირაკლის ძე

ტექნიკური რედაქტორი და გამფორმებელი პ. ჯანელიძე
აიწყო კლიმატის კვლევის ეროვნულ ცენტრში
კომპიუტერული დიზაინი და დაკაბადონება რ. ბატონისაშვილი
დაისტამბა ბაკურ სულაკაურის გამომცემლობაში
ტირაჟი 500 ეგზ., ფასი შეთანხმებით