

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია

პიღრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

ალადაშვილი თინათინი ზაურის ასული

თბილისის კლიმატის რეაქცია კოსმოსური და ცირკულაციური

ფაქტორების საუკუნოვანი რყევადობის მიმართ

დ ი ს უ რ ტ ა ც ი ა

გეოგრაფიულ მეცნიერებათა კანდიდატის

სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად

სამეცნიერო ხელმძღვანელი

გეოგრაფიულ მეცნიერებათა დოქტორი,

პროფესორი ე. ელიშბარაშვილი

თბილისი

1999

შესავალი	4
თავი I. საკითხის თანამედროვე მდგომარეობა	8
1.1. თბილისის ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათება	8
1.2. კლიმატის ცვლილების და რყევადობის ძირითადი ფაქტორები	9
1.3. გამოკვლევების განვითარების ისტორია	14
თავი II. კლიმატის ცვლილება და მრავალწლიანი რყევადობა	22
2.1. პაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების ტენდენციები	22
2.1.1. პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი ცვლილების ტენდენციები	22
2.1.2. ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ცვლილების ტენდენციები	29
2.2. პაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა	35
2.2.1. პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა	35
2.2.2. ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა	47
თავი III. კლიმატის რეაქცია ჰზის აქტივობის რყევადობის მიმართ	52
3.1. აქტიური მოვლენები მზებზე, მისი ენერგეტიკული მახასიათებლები და კავშირი კლიმატის ციკლებთან	52

3.2. კლიმატის რყევადობა მზის აქტიუობის საუკუნეობრივი ციკლის ფონზე ————— 61

3.3. კორელაციური კავშირები მზის აქტიუობის რითმებსა და კლიმატის რყევადობას შორის ————— 64

თავი IV. კლიმატის რეაქცია ატმოსფეროს ცირკულაციური პროცესების მიმართ ————— 69

4.1. ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი პროცესების თავისებურება ამიერკავკასიაში ————— 69

4.2 ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობათა რყევადობა ————— 71

4.3. კლიმატის რყევადობა ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფაქტორების ეპოქალური პერიოდების განმავლობაში ————— 78

4.4. კორელაციური კავშირები ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობასა და კლიმატის რყევადობას შორის ————— 81

თავი V. კლიმატის ცვლილების და ციკლური რყევადობის კვლევის შედეგების გამოყენება თბილისის კლიმატის რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების ამოცანებში ————— 85

5.1. ფონური კლიმატური პროგნოზი ————— 85

5.2. კლიმატის რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების ცდები მზის აქტიუობის რყევადობის გათვალისწინებით ————— 86

5.3. კლიმატის პროგნოზირების ცდები ატმოსფეროს ცირკულაციური ფაქტორების ცვლილების გათვალისწინებით ————— 91

დასკვნა ————— 93

ლიტერატურის სია ————— 97

დანართი ————— 104

დედამიწის და მისი ცალკეული რეგიონის კლიმატის ცვლილებისა და რყევადობის პრობლემა თანამედროვეობის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პრობლემაა. კლიმატის ცვლილება უშუალოდ ეხება ადამიანს, მის სამეურნეო საქმიანობას, მომავალს, განსაზღვრავს კაცობრიობის ხვალისდელ დღეს. კლიმატის ცვლილება იწვევს ბუნებრივი მონების გადაადგილებას, ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის პროფილის შეცვლას.

დედამიწის კლიმატი იცვლებოდა დედამიწის არსებობის მთელი ისტორიის მანძილზე. ცვლილებებს სხვადასხვა მასშტაბი ჰქონდა, რომელთაგან უდიდესი შეესაბამება გამყინვარების პერიოდებს (10^8 წლამდე), ხოლო უმცირესი – კლიმატის თანამედროვე ცვლილებებს. განსაკუთრებული სიმუსკით კლიმატის რყევადობის შესწავლა შესაძლებელი გახდა მეტეოროლოგიურ პარამეტრებზე ინსტრუმენტული დაკვირვებების დაწყების შემდეგ, რომლებიც, საზოგადოდ, XIX საუკუნიდან გარდება. საქართველოში, კერძოდ, ჩვენს დედაქალაქში, ინსტრუმენტული დაკვირვებები გარდება 1844 წლიდან. მეტეოროლოგიურმა დაკვირვებებმა, კლიმატურ ელემენტთა რიგების სათანადო დამუშავებამ და ანალიზმა გამოაეღინა კლიმატის სერიოზული ცვლილებების არსებობა დროის ამ შედარებით მოკლე ინტერვალში. აღნიშნული ცვლილებებიდან მსოფლიოს მასშტაბით ყველაზე მნიშვნელოვანია გასული საუკუნის მიწურულს დაწყებული ე.წ. “არქტიკის დათბობა”, რომელიც განსაკუთრებული ინტენსივობით ჩრდილოეთ განედების ატლანტიკურ სექტორში გამოეღინდა და მაქსიმუმს მეოცე საუკუნის 30-იან წლებში მიაღწია.

უკანასკნელმა დათბობამ მსოფლიოს მეცნიერთა ყურადღება მიიპყრო. აღნიშნულ დათბობას, ძირითადად, ადამიანის საქმიანობას უკავშირებენ და “ანთროპოგენულს” უწოდებენ. მაგრამ, კლიმატი იცვლებოდა დედამიწის არსებობის მთელი ისტორიის მანძილზე და განიცდიდა ძირეულ გარდაქმნებს წარსულში. ამასთან, თანამედროვე დათბობის მსგავსი ტენდენცია დაიკვირვებოდა საქართველოში XII-XIII საუკუნეებში, როდესაც ადამიანის საქმიანობა არ იყო იმდენად აქტიური.

წარსულში კლიმატის ცვლილებას ბუნებრივი კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორები განსაზღვრავდნენ. რომლებიც განუწყვეტლივ მოქმედებდნენ და ახლაც მოქმედებენ გლობალური კლიმატის ჩამოყალიბებაზე. ასეთ ფაქტორებს, უპირველეს ყოვლისა, მიეკუთვნება კოსმოსური და ცირკულაციური ფაქტორები.

დედამიწის ატმოსფეროზე კოსმოსური ზემოქმედების ძირითად წყაროს წარმოადგენს მზე ჩვეულებრივი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გარდა მზე ასხივებს კორპუსკულარულ ნაკადს – მზის ქარს, რომლის სიმკვრივე და ენერჯია მნიშვნელოვნად იზრდება მზის გააქტიურების დროს. ამავე დროს იცვლება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრალური შემადგენლობაც –

იმრდება ულტრაიისფერი რადიაციის გამოსხივება, რომელიც თავის მხრივ გავლენას ახდენს ოზონის კონცენტრაციაზე და ატმოსფეროს სითბურ ბალანსზე.

ატმოსფეროს ქვედა ფენების ცირკულაციაზე მზის აქტივობის ენერჯის გავლენის საკითხი რთული და ნაკლებად შესწავლილია. ამასთან, კლიმატური ელემენტების სელაზე მზის აქტივობისა და ატმოსფეროს ცირკულაციის გავლენა განსხვავებულ გეოგრაფიულ პირობებში სხვადასხვა ხასიათითა და ინტენსივობით ვლინდება. ეს კიდევ უფრო ართულებს ამ მოვლენებს შორის მიზეზობრივი კავშირების ახსნას. აქედან გამომდინარე, კლიმატის ისტორიულ და თანამედროვე ცვლილებაში კოსმოსური და ცირკულაციური ფაქტორების გავლენის როლის საფუძვლიანი შეფასება მნიშვნელოვანი სამეცნიერო ამოცანაა, რომლის საბოლოო გადაწყვეტა ნათელს მოჰყენს კლიმატის ცვლილების პრობლემაში არსებულ მრავალ, ჯერ კიდევ ამოუცნობ საკითხებს. ამით განისაზღვრება თემის აქტუალობა.

გამოკვლევის მიზანი იყო თბილისის კლიმატის რეაქციის შეფასება ძირითადი ბუნებრივი კლიმატწარმოქმნელი ფაქტორების საუკუნოვანი რყევადობის მიმართ გლობალური კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე.

მიზნის მისაღწევად დავისახეთ შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. თბილისის კლიმატის მრავალწლიანი ცვლილებისა და ციკლური რყევადობის ძირითადი კანონზომიერებების გამოკვლევა;
2. თბილისის კლიმატის საუკუნოვანი სელის რეაქციის შეფასება მზის აქტივობის მიმართ მისი მოქმედების სხვადასხვა ციკლის ფონზე;
3. თბილისის კლიმატის საუკუნოვანი სელის რეაქციის შეფასება ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების რყევადობის მიმართ;
4. გამოვლენილი კანონზომიერებების საფუძველზე თბილისის კლიმატის რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების ცდა.

მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს სამეცნიერო დებულებათა ოთხი ჯგუფის შემუშავებაში, რომლებიც წარმოადგენენ დაცვის საგანს:

1. თბილისის კლიმატის ძირითადი ელემენტების მრავალწლიანი ცვლილების ტენდენციებისა და სიჩქარეების დადგენა და მრავალწლიანი რყევადობის ძირითადი ციკლებისა და ფაზების გამოვლენა;
2. მზის აქტივობის რყევადობის მიმართ თბილისის კლიმატის რეაქციის კვლევის შედეგები, კორელაციური კავშირები მზის აქტივობის რითმებსა და კლიმატის რყევადობის ციკლებს შორის;
3. ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების საუკუნოვანი რყევადობის მიმართ თბილისის კლიმატის რეაქციის კვლევის შედეგები, კორელაციური კავშირები ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობასა და კლიმატური ელემენტების რყევადობას შორის;
4. თბილისის კლიმატური პირობების რეკონსტრუირებული და პროგნოზირებული სცენარები.

ფაქტობრივი მასალა და კვლევის მეთოდები. ფაქტობრივ მასალად გამოყენებული იყო პაერის ტემპერატურასა და აგმოსფერულ ნალექებზე 150-წლიანი დაკვირვებების მონაცემები თბილისისათვის (1844-1994წწ.), ასევე ეოლფის რიცხვების მნიშვნელობები იგივე პერიოდისათვის და ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში აგმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობათა რიგები.

კვლევაში გამოყენებული იყო კლიმატოლოგიაში აპრობირებული კლიმატოლოგიური ინფორმაციის სტატისტიკური დამუშავების მეთოდები: 11-წლიან მსოცავ საშუალოთა მეთოდი; ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდთა მეთოდი; წრფივი აპროქსიმაციის მეთოდი. ასევე გამოიყენებოდა მოგადგეოგრაფიული; კლიმატოლოგიური და მათემატიკური დამუშავების მეთოდები.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. ჩატარებული კვლევის შედეგებმა ასახვა პოეეს “კლიმატის ცვლილების კვლევის ეროვნულ პროგრამაში”, აგრეთვე ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტის დაკვეთით შესრულებულ სამეცნიერო ანგარიშში.

კვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მთელი რიგი სამეურნეო, ტაქტიკური და სტრატეგიული ამოცანების დაგეგმვისა და განხორციელებისას, რომლებიც ითვალისწინებენ კლიმატის ცვლილებას, მის მიმართ მოწყვლადობის, ადაპტაციის და შეგუების პოლიტიკის შემუშავებას.

მიღებული შედეგები შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს გრძელვადიანი პელიოკლიმატური პროგნოზების შემუშავებას.

ნაშრომის აპრობაცია და პუბლიკაციები. დისერტაციის კვლევის შედეგები მოხსენებული იყო ვ. ბაგრატიონის დაბადების 300-წლისთავისადმი მიძღვნილ მისის 44-ე რესპუბლიკურ სამეცნიერო სესიაზე 1997 წელს; საქართველოს დამოუკიდებლობის აღდგენის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილ მისის 45-ე რესპუბლიკურ სამეცნიერო სესიაზე 1998 წელს; რესპუბლიკურ სამეცნიერო სესიაზე “პავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში” 1998 წელს.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია ექვს ნაშრომში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, ხუთი თავისა და დასკვნისაგან. გამოყენებული ლიტერატურის სია შეიცავს 119 დასახულებას. ნაშრომი შეიცავს 105 ნაბეჭდ გვერდს, მათ შორის 55 ნახაზს, 33 ცხრილს და ორ დანართს.

დისერტაციის პირველ თავში განხილულია საკითხის თანამედროვე მდგომარეობა – მოყვანილია თბილისის ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათება, წარმოდგენილია კლიმატოლოგიური გამოკვლევების განვითარების ისტორია და კლიმატის რყევადობის კვლევის თანამედროვე შეფასებები. ასევე, განხილულია კლიმატის ცვლილების განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორები და მოყვანილია მათი კლასიფიკაცია.

დისერტაციის მეორე თავში წარმოდგენილია თბილისის კლიმატის მრავალწლიანი რყევადობის გამოკვლევის შედეგები. ეერძოდ, დადგენილია

ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების ტენდენციები და გამოვლენილია მათი მრავალწლიური რყევადობის ციკლური ხასიათი.

დისერტაციის შესაბამე თავეში განხილულია მზის აქტივობის რყევადობაზე დედამიწის კლიმატის რეაქციის საკითხი. გამოკვლეულია თბილისის კლიმატის რყევადობა მზის აქტივობის საუკუნოვანი ციკლის ფონზე. განსაზღვრულია კორელაციის კოეფიციენტები კლიმატის ძირითად ელემენტებსა (ჰაერის ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები) და მზის აქტივობის რითმებს შორის და შეფასებულია მათი სტატისტიკური ნიშნადობა მიღებულია შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები.

დისერტაციის მეოთხე თავეში განხილულია კლიმატის რეაქცია ატმოსფეროს ზოგად ცირკულაციურ პროცესებზე, გამოკვლეულია ძირითადი ცირკულაციური ფორმების მრავალწლიანი რყევადობა, გამოვლენილია ეპოქალური პერიოდები და შესწავლილია თბილისის კლიმატის რყევადობა ამ ეპოქალურ პერიოდებში. დადგენილია კორელაციის კოეფიციენტები კლიმატურ ელემენტებსა და ცირკულაციური ფორმების განმეორებადობებს შორის, შეფასებულია მათი სტატისტიკური ნიშნადობა და ნიშნადი კორელაციებისთვის მიღებულია რეგრესიის განტოლებები.

დისერტაციის მეხუთე თავეში მოყვანილია თბილისის კლიმატის რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების ცდები მზის აქტივობისა და ცირკულაციური ფაქტორების ცვლილების გათვალისწინებით. ასევე მოყვანილია კლიმატის ფონური პროგნოზი.

დისერტაციის დასკვნაში წარმოდგენილია კვლევის ძირითადი შედეგები.

საკითხის თანამედროვე მდგომარეობა

1.1. თბილისის ფიზიკურ - გეოგრაფიული დახასიათება

თბილისი მსოფლიოს ერთ-ერთი უძველესი ქალაქია. მისი ხელსაყრელი გეოგრაფიული მდებარეობა ამიერკავკასიის ცენტრალურ ნაწილში ხელს უწყობდა ქალაქის განვითარებას. აქ თავს იყრიან ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ და დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მიმავალი გზები. თბილისი საავტომობილო გზებით უკავშირდება მეზობელ ქვეყნებს - რუსეთს, სასომხეთს, აზერბაიჯანსა და თურქეთს. ძირითად საავტომობილო მაგისტრალს წარმოადგენს საქართველოს სამხედრო გზა.

თბილისი მდებარეობს 41°43' ჩრდილოეთ განედის და 44°48' აღმოსავლეთის გრძედის გადაკვეთაზე. ქალაქის ცალკეული უბნების სიმაღლე ზღვის დონიდან მერყეობს 380 მ-დან 727 მ-მდე დედაქალაქის კვარტალები იარუსებად აღის მთათა ფერდობებზე

თბილისის გარეუბნები განლაგებულია ორი მსხვილი გეომორფოლოგიური უბნის - აღმოსავლეთ საქართველოს მთათაშორისი ბარის (შიდა ქართლის და ქვემო ქართლის ვაკეები) და სამხრეთ საქართველოს მთიანეთის, კერძოდ მისი ჩრდილოეთი მხარის - თრიალეთის ნაოჭა სისტემის, საზღვარზე [42].

თრიალეთის ქედს ჩრდილოეთიდან, ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან და აღმოსავლეთიდან ესაზღვრება მდინარე მტკვრის ხეობა. მდინარის მარჯვენა ნაპირი ხასიათდება სიმაღლით და კულისურად განლაგებული განედური ქედებით. მარცხენა ნაპირი შედარებით დაბალია და მთლიანად დაკავებულია განიერი, მდინარის მიმართულებით დაღმავალი პლატოებით და მცირე შემადგენლებით (600 მ-მდე) უმაღლეს წერტილს წარმოადგენს მთა მახათა(648 მეტრი ზღვის დონიდან) მის მახლობლად მდებარეობს ხელოვნური წყალსაცავი - თბილისის ზღვა, რომლის შემდეგ ვრცელდება სამგორის სტეპი.

თბილისის ქვაბულს ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან ესაზღვრება საგურამოს ქედის ტყიანი ფერდობები, რომელიც აღმოსავლეთში მთელ სიგრძეზე ერწყმის იალნოს ქედს და ქმნის საგურამო-იალნოს საშუალო სიმაღლის ქედს.

თბილისის ქვაბულს აღმოსავლეთიდან ესაზღვრება მდინარე მტკვრის კალაპოგისაკენ სუსტად დაქანებული ქაშვენ-ცელობანის პლატო.

სამხრეთ-დასავლეთიდან თბილისს ესაზღვრება თელეთის ქედი, რომელიც თავის მხრივ თრიალეთის სისტემის აღმოსავლეთის დაბოლოების ერთ-ერთი რგოლია. თელეთის ქედის ძირში განლაგებულია განიერი ბრტყელდონიანი ქვაბული, რომელიც უკავია კუმისის ტბას.

თბილისის ცენტრალურ კვარტალებს დასავლეთიდან მთაწმინდა გადმოჰყურებს, ხოლო სამხრეთიდან - სოლოლაკის ქედი და მთა გობორი.

თბილისის ტერიტორია, თავისი ოროგრაფიული, პიდროგრაფიული და პიდროლოგიური პირობებით მჭიდროდ არის დაკავშირებული სხვა რაიონებთან მდინარეთა წყალშემკრები აუზების ფარგლებში (ჩრდილოეთში

მდ. გლდანი და მდ. ლოკინი და სამხრეთში მდ. დიდმისწყალი და მდ. ვერე). წყალმემკრები აუზის ფართობი, დაახლოებით, 3000 კვ. კმ.-ია, რაც დაახლოებით 25-ჯერ აღემატება ქალაქის ფართობს.

თბილისის ჰიდროგრაფიული ქსელი შედგება მდ. მტკვრისაგან, ასევე მდინარეებისაგან გლდანი, ხევედმარა, ორხევი, ლოკინი, დიდმისწყალი, ვერე, ლევთახევი, შინდისხევი და ე.წ. საკუთარი მდინარეებისაგან – ვარაზისხევი, ვაზისუნისხევი და სხვ. მდინარეთა საერთო სიგრძე (შენაკადებთან ერთად) ქალაქის ფარგლებში დაახლოებით 100 კილომეტრია, ხოლო მდინარეთა ქსელის სიხშირე საშუალოდ 0,8 კვ. კილომეტრს შეადგენს, რაც ახლოსაა აღმოსავლეთ კავკასიონისათვის დამახასიათებელ საშუალო სიხშირესთან.

თბილისში არის ორი გბა და ორი წყალსაცავი. ეს გბა მდებარეობს დასავლეთ ნაწილში, მთაწმინდის ჩრდილოეთ ფერდობზე, ზღვის დონიდან 690 მეტრ სიმაღლეზე. წყალმემკრები აუზის ფართობი 0,4 კვ. კილომეტრია, ხოლო სარკის ფართობი 0,0095 კვ. კილომეტრი. გბის სიგრძე 50 მეტრია, საშუალო სიღრმეა 1,7 მეტრი გბის მაქსიმალური სიღრმე 2,3 მეტრს აღწევს.

ლისის გბა მდებარეობს ქალაქის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში, ზღვის დონიდან 625 მეტრ სიმაღლეზე. წყალმემკრები აუზის ფართობია 16,1 კვ. კილომეტრი, სარკის ფართობია 0,47 კვ. კილომეტრი, საშუალო სიღრმეა 2,6 მეტრი, ხოლო მაქსიმალური სიღრმე – 4 მეტრი. გბის სიგრძე 1 კილომეტრია, მაქსიმალური სიგანე კი 0,8 კილომეტრი.

ორთაჭალას პესის დაბასთან აგებული წყალსაცავი არეგულირებს მდ. მტკვარის დღე-ღამურ ჩამონადენს. მისი რეჟიმი მუსტად ეთანადება მდინარის რეჟიმს. მეორე წყალსაცავია თბილისის ზღვა. წყალსაცავი აგებულია 1951 წელს ადრე განლაგებული სამი გბის კორომის ტერიტორიაზე მდ. იორის წყლებით კორომის დატბორვის გზით თბილისის ზღვა წყლით ქალაქის ერთ-ერთი ძირითადი მომმარაგებელია. ამის გამო წყალსაცავში წყალი დამატებითად ეინვალის წყალსაცავიდან ჩაედინება სპეციალურად აგებული ტინვალ-თბილისის წყალსადენის საშუალებით

თბილისი დაყოფილია შემდეგ ადმინისტრაციულ რაიონებად: სამგორის, კრწანისის, ისნის, მთაწმინდის, ჩუღურეთის, ნაძალადევის, დიდუბის, ვაკის, საბურთალოს და გლდანის.

1.2 კლიმატის ცვლილებას და რყევადობის ძირითადი ფაქტორები

დედამიწის კლიმატი განიცდიდა მნიშვნელოვან ცვლილებებს დედამიწის არსებობის მთელი ისტორიის განმავლობაში. ცნობილია, რომ მხოლოდ უკანასკნელი მილიონი წელიწადის განმავლობაში კლიმატის ცვლილებაში დაიკვირებოდა ათი გამყინვარების და გამყინვარებათაშორისო პერიოდი. ასევე ადგილი ჰქონდა კლიმატის მოკლევადიან რყევებსაც. კლიმატის ცვლილებებს სხვადასხვა დროითი მასშტაბები ჰქონდათ – 10¹-დან 10⁸ წლამდე. ბოლო მასშტაბი შეესაბამება გამყინვარების პერიოდებს, ხოლო პირველი – კლიმატის თანამედროვე რყევადობებს.

კლიმატის ცვლილების გენდენციების გამოვლენა, მათი დეტალური შესწავლა და ანალიზი შესაძლებელი გახდა ინსტრუმენტული დაკვირვებების დაწყების შემდეგ (უკანასკნელი 150 - 200 წელიწადი). ამ მოკლე პერიოდის

განმავლობაშიც კი დედამიწის კლიმატმა სერიოზული რყევები განიცადა, რომელთა შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ე.წ. “არქტიკის დათბობა”. კლიმატის ცვლილების ეს გენდენცია დაიწყო გასული საუკუნის მიწურულს და მაქსიმუმს მიაღწია ჩვენი საუკუნის 30-იან წლებში. დათბობა განსაკუთრებული სიძლიერით გამოიხატა ჩრდილოეთ განედების ატლანტიკურ სექტორში. უფრო ძლიერი აღმოჩნდა უკანასკნელი დათბობის გენდენცია, რომელმაც მსოფლიოს მეცნიერთა ყურადღება მიიპყრო.

კლიმატზე გარეშე ზემოქმედების განმსაზღვრელ მექანიზმებს, თვით კლიმატურ სისტემაში შიგა ურთიერთქმედებებთან ერთად, კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორები ეწოდებათ. ისინი ორ ჯგუფად იყოფა. პირველ ჯგუფს შეადგენენ გარეშე კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორები, ხოლო მეორეს – შიგა კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორები. გარეშე ფაქტორები თავის მხრივ ორ ჯგუფად იყოფა – ასტრონომიულ და გეოფიზიკურ ფაქტორებად [43].

კლიმატური სისტემის დინამიკა შიგა და გარეშე კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების ერთობლივი მოქმედებით განისაზღვრება. მაგალითად, ატმოსფეროს საზღვარზე მოსული მზის ენერჯის მუდმივობისას ატმოსფეროს ცირკულაციის ცვლილებას გეოგრაფიული ფაქტორები განსაზღვრავენ (ხმელეთის და ოკეანეების გადანაწილება, გეოგრაფიული განედების ცვლილება), რაც თავის მხრივ იწვევს კლიმატის ცვლილებასაც [56].

კლიმატის ცვლილების თეორიები ორ ჯგუფად იყოფა. თეორიათა პირველი ჯგუფი კლიმატის ცვლილების შესწავლისას განიხილავს კლიმატურ სისტემაზე გარეშე ფაქტორების ზემოქმედებას – მზის ელექტრომაგნიტური და კორპუსკულური გამოსხივების ცვლილება, ატმოსფეროს საზღვარზე მოსული რადიაციის გადანაწილება სემონების და განედების მიხედვით, დედამიწის გრავეიტაციული და მაგნიტური ველების ცვალებადობა, დედამიწის ბრუნვის სიჩქარის ცვალებადობა, ატმოსფეროში აეროზოლების შემცველობის და ქვეფენილი ზედაპირის ცვლილება ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით.

თეორიათა მეორე ჯგუფი შეისწავლის თვით კლიმატური სისტემის შიგა ელემენტების ცვალებადობას – თოვლის საფარის ცვალებადობა, მოღრუბლულობა, აორთქლება ოკეანეების ზედაპირიდან, ოკეანური ცირკულაციის ცვალებადობა.

მზიდან მოსული ენერჯის არასტაბილურობის იდეა კარგად არის დამუშავებული თეორიულად და მიიღო ექსპერიმენტული დასაბუთებაც. ვარსკვლავების ევოლუციის თეორიის მიხედვით მზის მუდმივა ერთი მილიარდი წელიწადის განმავლობაში 5%-ით იზრდება. მაღალი სიზუსტით ჩატარებულმა გამომეზება აჩვენეს მზის მუდმივას ინტეგრალური მნიშვნელობის ცვლილება 0,1%-ით მზგზე მსხვილი ლაქების გაჩენის დროს. მზის მუდმივას გრძელვადიან ცვალებადობაში დაიკვირვება გრენდი – 0,02% წელიწადში. მაქსიმუმები მოდის მზის აქტივობის რყევადობის 11-წლიანი ციკლების მაქსიმუმებში [87].

ტროპოსფეროსა და ქვედა სტრატოსფეროში ე.წ. მეტეოროლოგიური მზის მუდმივას ვარიაციები ერთი რიგით მეტი აღმოჩნდა. რაც დაკავშირებულია ატმოსფეროში გამზების და აეროზოლების შემცველობის ცვლილებასთან, ეულკანურ და ანთროპოგენურ ფაქტორებთან და სხვა [88].

დედამიწასა და მგეს შორის მანძილის ცვლილებასთან დაკავშირებით ატმოსფეროს ზედა სამზღვარზე მოსული რადიაცია წელიწადის განმავლობაში 7% -ით იცვლება. ასევე, დაიკვირვება ასიმეტრია ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროების სემონურ ინსოლაციაში, თუმცა მთლიანად წელიწადის განმავლობაში ინსოლაცია ნახევარსფეროების ერთნაირ განედებზე ერთნაირია[41].

ატმოსფეროს ზოგად ცირკულაციას უწოდებენ ძირითადი საპაერო დინებების ერთობლიობას, რომლებიც განსაზღვრავენ ჰაერის პორიზონტალურ და ვერტიკალურ გადაინაწილებას. ატმოსფეროს ცირკულაციის განსაზღვრელი ფაქტორი არის მზის რადიაცია, რომელიც არათანაბრად ნაწილდება დედამიწის ზედაპირზე, ასევე დედამიწის, როგორც პლანეტის, სტრუქტურა და ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის სიჩქარის ვარიაციები. მეორეს მხრივ, ატმოსფეროს ცირკულაციას განსაზღვრავს ქვეფენილი ზედაპირის თავისებურებები და მატერიკებისა და ოკეანეების გეოგრაფიული განაწილება.

ატმოსფეროს ცირკულაცია განსაზღვრავს სითბოსა და ტენის გადატანის მექანიზმს და ასევე ღიდ გაუღენას ახდენს ოკეანური წყლების ცირკულაციაზე [50].

ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაცია მოიცავს ფართომასშტაბიან მოძრაობებს რომელთაგან უდიდესი მასშტაბი აქვს დასავლეთის გადატანას. იგი მოიცავს გროპოსფეროს, არატროპიკული განედების ატმოსფეროს ზაფხულში და მთელ სტრატოსფეროს მამთარში. დასავლეთის გადატანას განაპირობებს გემპერატურული კონტრასტი ეკვატორსა და პოლუსს შორის და დედამიწის ბრუნვის გადამხრელი მოქმედება.

გემპერატურული კონტრასტი ოკეანეებსა და მატერიკებს შორის განსაზღვრავს მუსონურ ცირკულაციას, რომელსაც მატერიკების და ოკეანეების შესადარი მასშტაბი აქვს.

ტროპიკულ ზონაში დაიკვირვება პასატური ცირკულაცია, რომელსაც განაპირობებენ სუპტროპიკული ანტიციკლონები.

ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის ერთ-ერთი ძირითადი მდგენელია ჰაერის ცირკულაცია არატროპიკული ციკლონების და ანტიციკლონების სისტემაში. ეს ბარიული სისტემები ღიდ გაუღენას ახდენენ განედებს შორის ჰაერის მასების გაეულის მექანიზმზე, რომლის საშუალებით მიმდინარეობს სითბოს გადატანა დაბალი განაღებიდან მაღალი განედებისაკენ და სიცივის გადატანა საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ატმოსფერულ მოძრაობებს, სამოგადოდ, გრიგალური ხასიათი აქვთ, თუმცა დაიკვირვება ტალღური მოძრაობებიც. მათ მიეკუთვნება სითბური ტალღები ზონალურ ნაკადში რომელთა სიგრძე, დაახლოებით, 5000 კილომეტრია, აგრეთვე, ნაკლები მასშტაბის ტალღები, რომლებიც შეესაბამება ციკლონებსა და ანტიციკლონებს და გრაეიტაციული ტალღები [20, 41].

კლიმატის ცვლილებაზე ვულკანური ამოფრქვევების გაუღენის საკითხი კარგად არის შესწავლილი. ვულკანური ამოფრქვევის დროს ატმოსფეროში ამოიღყორცნება ღიდი რაოდენობით მყარი ნაწილაკი და ვულკანური წარმოშობის გამი, რაც განაპირობებს ატმოსფეროს დაჭუჭყიანებას და რადიაციის შესუსტებას. მიმდინარე საუკუნეში აღგილი ჰქონდა ექვს მძლავრ ვულკანურ ამოფრქვევას: მონ-პელე 1902 წელს, კატმაი 1912 წელს, აგუნი 1963

წელს, ფეფო 1974 წელს, ელ-ჩიჩონი 1982 წელს და პინატუბა 1991 წელს. უკანასკნელ წლებში დაიკვირვება მზის რადიაციის ინტენსიური არეკლის ტენდენცია, რომელიც დაკავშირებულია ატმოსფეროში დიდი რაოდენობით ბუნებრივი (ეულკანური) და ანთროპოგენური აეროზოლების მოდენასთან [47].

ატმოსფეროში ეულკანური აეროზოლების შემცველობა ცვალებადობს სივრცესა და დროში. ეულკანური ამოფრქვევის შემდეგ (რამოდენიმე თვე) რადიაციული ღონის დაწვევა, საშუალოდ, 4 ვტ/მ²-ს შეადგენს, მაშინ როცა რადიაციის წლიური ღონის დაწვევამ, ამოფრქვევის შემდეგ რამოდენიმე წელიწადის განმავლობაში, შესაძლებელია არ გადააჭარბოს 1 ვტ/მ²-ს [89].

ეულკანური ამოფრქვევის შემდეგ რადიაციის ღონის დაწვევას, როგორც წესი, არა აქვს გლობალური მასშტაბი. ატმოსფეროს ცირკულაცია განსამდგრავს აეროზოლური ღრუბლის გადატანას და გავრცელების სიჩქარეს. ამოფრქვევის კერიდან მოშორებულ რეგიონებში რადიაციული შემოთების დაგვიანება საშუალოდ 1-2 წელიწადს შეადგენს.

ყურადღებას იმყრობს ეულკანური ამოფრქვევის შემდეგ ატმოსფეროს ცირკულაციის ცვლილების საკითხი. დადგენილია, რომ ეულკანური ამოფრქვევის შემდეგ, მამთარში მალალ განედებში (70-50° ჩრდ. განელი) წნევა ეცემა, ხოლო სუბტროპიკებში მატულობს. ასევე დადგინდა, რომ მძლავრი ეულკანური ამოფრქვევების შემდეგ ისლანდიის მინიმუმში წნევა ეცემა, ხოლო ამორულ მაქსიმუმში მატულობს. ეს პროცესები განაპირობებენ წნევის გრადიენტის – “სუბტროპიკები-მალალი განედები” – ზრდას და მონალური ცირკულაციის გაძლიერებას, ასევე თბილი ჰაერის მასების გადატანას ატლანტიკური ოკეანიდან და ტემპერატურის მატებას მამთარში [41].

კლიმატის ცვალებადობის და რყევალობის პროგნოზირებისათვის საიმედო მოდელების შესაქმნელად ბუნებრივი კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების გაელენის გარდა აუცილებელია ანთროპოგენური ფაქტორების როლის გათვალისწინებაც. ამ უკანასკნელმა ფაქტორმა მსოფლიოს მეცნიერთა ყურადღება მიიპყრო. გამოირკვა, რომ ალამიანის სამეურნეო საქმიანობა მნიშვნელოვან გაელენას ახდენს კლიმატის თანამედროვე ცვლილებებზე – ატმოსფეროში იზრდება სხეადასხეა სახის სათბობის წეასთან დაკავშირებული ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია, იცვლება ქვეფენილი ზედაპირი და სხვ. ალამიანი თავის სამეურნეო საქმიანობაში იყენებს ნათობს, ნახშირს, ბუნებრივ აირს, ატომურ ენერჯიას და ა. შ. და ყოველივე ეს გადაიქვევა სითბოდ, რაც საერთო ჯამში განაპირობებს ტემპერატურის მატებას დეღამიწაზე.

ანთროპოგენურ ფაქტორთან დაკავშირებული კლიმატის ცვლილების ტენდენცია პირველად აღმოაჩინა კალენდერმა [73]. მან გამოიკვლია ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდასთან დაკავშირებით. მიუხედავად იმისა, რომ კალენდერის გამოკვლევებში ეს პრობლემა არ იყო მეცნიერულად დასაბუთებული, მისმა შრომებმა საფუძველი ჩაუყარეს შემდგომ გამოკვლევებს ამ მიმართულებით.

მომდევნო წლებში გამოქვეყნდა სერიოზული ნამრომები, რომლებშიც განიხილებოდა კლიმატის თანამედროვე ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდის გაელენა. მათ შორის აღსანიშნავია მბუდიკოს [12,13,15], ბუდიკოსა და ეინნიკოვის [16], ეინნიკოვისა და გროისმანის [18] და სხვათა

გამოკვლევები. ჩამოთვლილი ნაშრომებს საფუძვლად უდევს შემდეგი დებულებები:

საშუალო ტემპერატურის ანომალია შეიძლება განიხილოს სამი მდგენელის ჯამის სახით. პირველი არის კლიმატის ბუნებრივ ცვლილებასთან დაკავშირებული ატმოსფეროს გამჭვირვალობის ცვლილებადობა, მეორე – კლიმატური ხმაური, რომელიც დაკავშირებულია დაკვირვებების ცდომილებებთან, ცირკულაციის შემთხვევით შემოთხუთებებთან და ა.შ., ხოლო მესამე მდგენელი დაკავშირებულია ანთროპოგენურ ფაქტორთან.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ უკანასკნელი ასი წელიწადის განმავლობაში ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მრდით გამოწვეული გლობალური ტემპერატურის ნაშრდი შეადგენს 0,5%-ს. ასევე დადგინდა, რომ ინდუსტრიალიზაციის განვითარების არსებული ტემპის შენარჩუნების შემთხვევაში 2025 წლისთვის ნახშირორჟანგის გაყვლინით საშუალო გლობალური ტემპერატურა გაიზრდება 2-3°C-ით [14,97].

თანამედროვე გლობალურ კლიმატურ პირობებზე სხვა ანთროპოგენური ფაქტორების გაყვლინა საკმაოდ შეზღუდულია, თუმცა ადამიანის მიერ ენერჯის წარმოება იწვევს დედამიწის და ატმოსფეროს ზედაპირების დამაგებით გათბობას. ეს პროცესი დამახასიათებელია განვითარებული სამრეწველო რაიონებისათვის და ბუდიკოს შეფასებით შეადგენს 1,0-1,5 კკალ/სმ²-ს.

მცენარეულ საფარზე ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად საშუალო ტემპერატურის შესაძლო ცვლილებები განხილული აქვთ საგანს, გონს და პოლაკს [104]. მათ განიხილეს მცენარეულ საფარზე ადამიანის ზემოქმედების სხვადასხვა ფორმები და შეაფასეს ამ გაყვლინით გლობალური ალბედოს და საშუალო ტემპერატურის ცვლილება დედამიწის ზედაპირზე. ატორების აზრით, უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა სავანეების განადგურებას, მათ გარდაქმნას უდაბნოებად და ტროპიკული ტყეების გაჩეხვას. მცენიერთა გათვლებით, უკანასკნელი 25 წელიწადის განმავლობაში სისტემა “დედამიწა-ატმოსფეროს” ალბედო გაიზარდა 0,001-ით, რამაც გამოიწვია გლობალური ტემპერატურის შემცირება 0,2 °C-ით.

ადამიანის ანთროპოგენურ საქმიანობასთან დაკავშირებული ატმოსფეროში ე.წ. სათბურის გაზების (ნახშირორჟანგი, მეთანი, წყლის ორთქლი, ამოტყავა, ფრეონები) კონცენტრაციის მრდა. ეს გაზები შთანთქავენ დედამიწის გრძელგაღლიან რადიაციას და იწვევენ სათბურის ეფექტს [8]. სათბურის გაზების მაქსიმალური რადიაციული ზემოქმედება წინანდუსტრიული ერიდან დღევანდელ დღემდე უახლესი შეფასებების მიხედვით შეადგენს 2,5 ვტ/მ²-ს [87].

კლიმატის უახლესი მათემატიკური მოდელები იძლევიან გლობალური კლიმატის თანამედროვე შეფასებებს, რომლის მიხედვითაც ატმოსფეროში სათბურის გაზების კონცენტრაციის გაორმაგების შემთხვევაში გლობალური კლიმატი 2-3°C-ით გათბება [31,88]. მოდელების უმეტესობა აჩვენებს, რომ ამგვარი დათბობა მოსალოდნელია XXI საუკუნის ბოლოს.

ატმოსფეროში სათბურის გაზების მრდასთან დაკავშირებით ატმოსფერული ნალექების დონის ცვლილების აღმწერი მოდელების შეფასებები

არ გამოირჩევა კარგი სიზუსტით და ხასიათდება განუმღერელობით სიერცესა და ღროში.

1.3 გამოკვლევების განვითარების ისტორია

ინსტრუმენტული დაკვირვებების საფუძველზე კლიმატის რყევადობის შესწავლას ხანგრძლივი ისტორია გააჩნია. მისი ფესვები ჩნდება ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 70-იან წლებში და უკავშირდება სახელგანთქმული კლიმატოლოგის – კიოპენის სახელს. მან დაადგინა გლობალური ტემპერატურის 1°C -ით დასაბუთებული 1831-1871 წლებში. მეთოდოლოგიური უზუსტობების მიუხედავად კიოპენის გამოკვლევები შეფასებულია, როგორც პირველი სერიოზული ცდა პავის ცვლილების პრობლემის შესწავლაში.

კიოპენის გამოკვლევის შემდეგ აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტას მრავალი გამოკვლევა მიეძღვნა. მათ შორის აღსანიშნავია ე. რუბინშტეინის და ლ. პოლოზოვას [59], ჯ. მიტჩელის [100], გ. ლამბის [94,95], მ. ბულიკოს [13], კ. ვინნიკოვის [17], ბ. ტერძევესკის [34], ს. ხრომოვის [64] და სხვა მეცნიერთა გამოკვლევები. ჩატარებული გამოკვლევები პირობითად ორ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება გამოკვლევები, რომლებიც ზოგად ხასიათს ატარებენ და ეხება მთელი დედამიწის, ან ნახევარსფეროს კლიმატის შესწავლას. მეორე ჯგუფის გამოკვლევებს მიეკუთვნება რეგიონული ხასიათის გამოკვლევები [5]

გამოკვლევათა პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება კიოპენის, ე. რუბინშტეინის, ლ. პოლოზოვას, მ. მიტჩელის, გ. ლამბის, მ. ბულიკოს, კ. ვინნიკოვის, ბ. ტერძევესკის, ს. ხრომოვის და სხვათა გამოკვლევები. გამოკვლევათა ამ ჯგუფში შედის ვ. ვილეტის ნაშრომი [118], რომელშიც შეფასებულია პლანეტარული ტემპერატურის ცვლილების ტენდენცია 1880-1930 წლების განმავლობაში. ვილეტმა მთელი დედამიწა დაყო 10-გრადუსიან განედურ სარტყლებად და თვითოეულისათვის გამოიანგარიშა საშუალო 5-წლიანი ტემპერატურები. ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე ვილეტმა დაადგინა საშუალო პლანეტარული ტემპერატურის ზრდა. მამთრის თვეებისთვის აღნიშნული წლების განმავლობაში მიღებული იყო ტემპერატურის მაგება 1°C -ით.

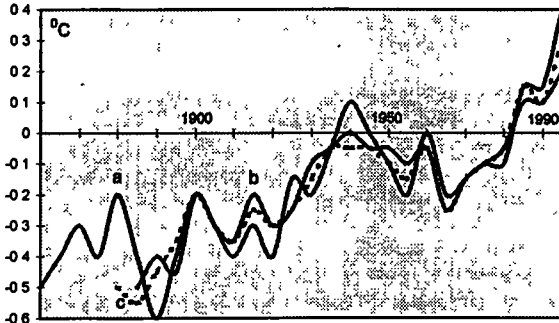
ჯ. მიტჩელმა [100] გააგრძელა ვ. ვილეტის გამოკვლევები. მან იგივე მეთოდით შეავსო დაკვირვებათა რიგი 1959 წლამდე და აავსო შესაბამისი რუკები. ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე მიტჩელმა დაასკვნა, რომ 1880 წლიდან მოყოლებული ტემპერატურის მაგების ტენდენცია XX საუკუნის 30-40 წლებიდან შეიცვალა დაკლების ტენდენციით.

აღსანიშნავია ე. რუბინშტეინის და ლ. პოლოზოვას მიერ ჩატარებული გამოკვლევები [59]. მათ გამოავლინეს რაიონები, სადაც საშუალო ტემპერატურის რყევა სინქრონულად მიმდინარეობს და აღნიშნული ფაქტი დააკავშირეს მზის აქტივობასა და ატმოსფეროს ცირკულაციასთან.

გამოკვლევებმა გამოავლინა კლიმატის ცვლილების არაერთგვაროვანი ხასიათი სიერცესა და ღროში, რაც არსებითად ართულებს კლიმატის

გაპირობებული ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდით 1880-1980 წლებში.

გლობალური კლიმატის ცვლილების უახლესი შეფასებები შემოგვთავაზა IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change) კლიმატის სამთავრობათშორისო კომისიამ, რომელიც შეიქმნა მსოფლიოს მეტეოროლოგიურ ორგანიზაციასთან [87-89]. ამ შეფასებების თანახმად გასული საუკუნის ბოლოდან პაერის ტემპერატურა გაიზარდა $0,3-0,6^{\circ}\text{C}$ -ით, თუმცა დათბობა არ არის გლობალურად ერთგვაროვანი და ზოგიერთ ადგილებში აღინიშნებოდა აცივებაც. ნახ.1.1-ზე წარმოდგენილია პაერის საშუალო გლობალური ტემპერატურის სელა ჯონსის [90], პენსენისა და ლებელევის [82] და ვინნიკოვის [108] მიხედვით. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ XIX საუკუნეში დაწყებული ზოგადი დათბობა დღესაც გრძელდება.



ნახ. 1.1 საშუალო წლიური გლობალური ტემპერატურის სელა a) - ჯონსის, b) - ვინნიკოვის და პანსენის, c) - ლებელევის მიხედვით.

დ. მუმლაძის [5] თანახმად კლიმატის ცვლილების გამოკვლევათა მეორე ჯგუფს შეადგენენ რეგიონალური კლიმატის ცვლილების გამოკვლევები. განვიხილოთ გამოკვლევები, რომლებიც შესრულდა ჩვენი რეგიონის პირობებში.

თბილისის ტემპერატურის რიგების პირველი სტატისტიკური ანალიზი ჩაატარა ი. ქურდიანმა [7]. მან გამოაუღინა 6, 11, 21 და 23 წლიანი პერიოდების არსებობა.

გ. ჭირაქაძემ [66] გამოაქვეყნა თბილისის ტემპერატურის საუკუნოვანი სელის კვლევის შედეგები მცოცავ საშუალოთა მეთოდის გამოყენებით.

ი. ცუცქერიძემ [65] ყურადღება გაამახვილა ურბანიზაციის ეფექტზე. მან ჩაატარა თბილისის და გარდაბანის საშუალო ტემპერატურების რიგების ანალიზი. აღმოჩნდა, რომ ტემპერატურის მრდას პროგრესული ხასიათი აქვს ორივე რაიონისთვის, რაც უარყოფს პაერის ათბობაზე ურბანიზაციის გავლენის არსებობას.

უკანასკნელ წლებში რ. გვაზავას და ე. ხორგუანის [26] მიერ გაანალიზებული იქნა თბილისში ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების დაკვირვებათა რიგები 100-წლიანი პერიოდისათვის. წლიური ტემპერატურის ნაზრდი შეფასებული იყო 0,6 გრადუსით.

80-იან წლებში ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიურ სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში ჩატარდა კავკასიის რეგიონის ჰაერის რყევადობასთან დაკავშირებული გამოკვლევები. ჩატარებული გამოკვლევების ძირითადი შედეგები გამოქვეყნდა ინსტიტუტის კრებულში [23, 24, 57, 58]. გამოკვლევებმა გამოაქვეყნეს ტემპერატურულ რიგებში სხვადასხვა ხანგრძლივობის, კერძოდ 2-3, 5-8, 16-18 და 20-24 წლიანი ციკლების არსებობა. ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდების საფუძველზე დადგინდა, რომ ამიერკავკასიის ვაკე და საშუალო მთიანი ტერიტორიების უმეტესობისათვის იანვრის საშუალო თვიური ტემპერატურის რყევადობაში დაიკვირვება ნახევარსაკუნოვანი ციკლები. წელიწადის დანარჩენ თვეების საშუალო ტემპერატურების სელაში დაიკვირვება გრძელპერიოდული რყევადობა, განსაკუთრებით მღვისპირა და მაღალმთიან რაიონებში.

საქართველოს კლიმატის ცვლილების პრობლემას მიეძღვნა დ. მუმლაძეს სპეციალური მონოგრაფია [5]. მონოგრაფიაში განხილულია კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზები და მათი კვლევის მეთოდები. ასევე ჩატარებულია ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების ანალიზი. დ. მუმლაძეს მიხედვით, ჰაერის საშუალო ტემპერატურის ზრდამ საქართველოში მაქსიმუმს 1966-1975 წლებში მიაღწია და აღნიშნულ წლებში გადააჭარბა ნორმას 2°C -ით. საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება, ძირითადად, მიმდინარეობდა ზამთრის თვეებში ტემპერატურის მატების ხარჯზე. ეს მატება უკანასკნელი 150 წლის განმავლობაში $1,3^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს. განსაკუთრებით მაღალია იანვრის თვის ხვედრითი წილი. საშუალო ტემპერატურის ნაზრდი იანვრის თვისთვის $2,1^{\circ}\text{C}$ -ია. საშუალო წლიური ტემპერატურის ნაზრდი უკანასკნელი 150 წელიწადის განმავლობაში $0,5-0,6^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს.

ატმოსფერული ნალექების საუკუნეობრივი მსვლელობა სხვადასხვა თვეებისა და სეზონებისათვის განსხვავებული ტენდენციებით ხასიათდება. აღმოსავლეთ საქართველოში წლიური ნალექების საუკუნოვან მსვლელობაში სამი ძირითადი პერიოდი გამოიყოფა: მატების – გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან 1914-1923 წლებამდე, კლების – 1914-1923 წლებიდან 1957-1966 წლებამდე და კვლავ მატების პერიოდი რომელიც დაიწყო 1957-1966 წლებში და დ. მუმლაძის გამოკვლევების თანახმად ახლაც გრძელდება.

ლ. პაპინაშვილის მიერ ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობების გარდა განხილული იქნა ტემპერატურის ექსტრემალური მნიშვნელობების დროითი სელა [58]. დადგინდა იქნა საშუალო მინიმალური და საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურების ზრდის ტენდენცია.

საქართველოს და საზოგადოდ კავკასიის კლიმატის ცვლილებებზე მიუთითებს გლაციოკლიმატური გამოკვლევები, რომლებიც ემყარება კონტინენტური მყინვარების დინამიკის გამოკვლევებს. ე. ხოლაკოვი [63],

თ. ღავეთაია [33] და სხვა მეცნიერებიც მიუთითებენ კავკასიონზე მყინვარების შემცირების და ბევრი მათგანის გაქრობის ტენდენციას.

ბოლო დროის გამოკვლევებიდან აღსანიშნავია ნ. ბერუჩაშვილის მონოგრაფია [11]. მან ჩაატარა კლიმატის ცვლილების დადგენის კომპიუტერული ექსპერიმენტი ლანდშაფტური სტრუქტურის უცვლელობის პირობით. ექსპერიმენტის მიზანი იყო კავკასიონის თანამედროვე ლანდშაფტების რეაქციის დადგენა XXI საუკუნის დასაწყისში გემპერატურის ნაფარადებ მაკეტებზე. მიღებულია თოვლის საფარის, ნიადაგის ტენის და ალბედოს ცვლილების მოსალოდნელი მნიშვნელობები.

საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების გამოკვლევების წინასწარი შედეგები გამოაქვეყნეს ე. ელიზბარაშვილმა, ლ. ჯაპინაშვილმა და თ. ხელაძემ [2]. გაანალიზირებულ იქნა საქართველოს ტერიტორიაზე 50-მდე მეტეოროლოგიური სადგურის და საგუშავოს მონაცემები 1937-1990წწ. პერიოდისათვის. გამოკვლევებმა აჩვენეს საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების ცვლილების რთული მოზაიკური ხასიათი.

ყურადღებას იპყრობს კ. თავართქილაძეს ნაშრომი [4]. იგი ეხება თბილისის კლიმატის თანამედროვე ცვლილებას და ცვლილების გამომწვევებ ბუნებრივ და ანთროპოგენურ ფაქტორებს. ნაშრომში ყურადღება გამახვილებულია თვით კლიმატის ცვლილების ფაქტის დადგენაზე. რაც შეეხება თანამედროვე კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზების დადგენას, ავტორის თქმით ეს შესაძლებელია მხოლოდ მზე-ატმოსფერო-დედამიწის გეოქიმიის ენერგო-ბალანსური სისტემის (მოდელის) შექმნის შემდეგ, რაც მომავლის საქმეა.

აღმოჩნდა, რომ უკანასკნელი 100 წელიწადის განმავლობაში კლიმატური ელემენტების ვარიაციები ცალკეულ წლებში იმდენად დიდია, რომ ცვლილების საერთო ტენდენციის გამოვლენა და მისი საშუალო ინტენსივობის დადგენა ძალზე რთულია. კ. თავართქილაძემ მიმართა წრფივი აპროქსიმაციის მეთოდს. დადგინდა, რომ ბოლო 100 წელიწადის მანძილზე საშუალო წლიური გემპერატურა თბილისში $0,7^{\circ}\text{C}$ -ით გაიზარდა, ხოლო მინიმალური გემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობა გაიზარდა $2,1^{\circ}\text{C}$ -ით. ატმოსფერული ნალექების დონე უმნიშვნელოდ შემცირდა, თუმცა წელიწადის განმავლობაში ნალექიან დღეთა რიცხვი საგრძნობლად გაიზარდა. ნაკლები ცვლილება განიცადა ატმოსფერულმა წნევამ. 100 წელიწადის მანძილზე წნევა შემცირდა მხოლოდ მუათედი პროცენტით. ყველაზე მნიშვნელოვანი ცვლილება განიცადა ქარის სიჩქარემ და მოწმენდილ დღეთა რიცხვმა წელიწადის განმავლობაში, რაც დაკავშირებული უნდა იყოს ქალაქში სიმაღლოვის და შენობების რაოდენობის მომატებასთან.

კ. თავართქილაძის ნაშრომში წარმოდგენილია ჰაერის გემპერატურის ციკლური ცვლილების ამსახველი მრუდი. ციკლის ხანგრძლივობა დაახლოებით 22,6 წელიწადია, რაც დაკავშირებული უნდა იყოს მზის აქტივობის 22-წლიან ციკლურ რყევადობასთან.

აღმოსავლეთ საქართველოში ექსტრემალური გემპერატურების სახშირის და ინტენსივობის გამოკვლევის შედეგები გამოაქვეყნეს თ. გვირიშვილმა და გ.

ლაზრიევმა [1]. კვლევის მეთოდოლოკა ეფუძნება ექსტრემალურ სიდიდეთა სტატისტიკურ თეორიას, რომელიც დღეისათვის მიჩნეულია ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიდგომად ექსტრემალური პიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების სიხშირის და ინტენსივობის შესწავლის და პროგნოზირების ამოცანაში. სამუშაოს მიზანი იყო საქართველოში მარცვლოვანი კულტურის მოწყვანი რაიონებისათვის გაფხულის ყველაზე ცხელი თვის-იელისის ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმის ცვლილების დინამიკის დადგენა. შერჩეული იქნა ოთხი სადგური: სავარეჯო, გურჯანი, წნორი და შირაქი. აღნიშნული სადგურები კარგად ასახავენ ადგილის კლიმატს, ამასთან, დაკვირვებები საიმედო და სრულია.

განხილული იქნა 1931-1990 წლიანი დროითი შუალედი, რომელიც დაყოფილ იქნა ორ გოლ პერიოდად (I პერიოდი - 1931 - 1960წწ., II პერიოდი - 1961-1990 წწ.). აღმოჩნდა, რომ იელისის თვის ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმის მრავალწლიური საშუალო მომატებულია II პერიოდში I პერიოდთან შედარებით. ამასთან, საშუალო კვადრატული გადახრები II პერიოდში უფრო მაღალია, რაც მიუთითებს კლიმატის არამდგრადობისაკენ მისწრაფების ტენდენციაზე.

იგივე ნაშრომში წარმოდგენილია იელისის მაქსიმალური ტემპერატურების სტატისტიკური განაწილების მრუდები, რომლებიც კარგ თანხმობაშია ემპირიულ მრუდებთან აღმოჩნდა, რომ ექტრემალურად მაღალი ტემპერატურების ალბათობები გაზრდილია დაკვირვებების II პერიოდში და ხასიათდება ისეთი მნიშვნელობებით, რომლებიც საერთოდ არ აღინიშნებოდა I პერიოდში. ოთხივე სადგურისთვის მრუდები წანაცვლებულია მაღალი მნიშვნელობებისაკენ, რაც მიუთითებს ექსტრემალური ტემპერატურების ინტენსივობის და სიხშირის ზრდის ტენდენციაზე.

გ. სვანიძის, ვ. ცომაიას და გ. ხმალაძის მიერ შეფასებულ იქნა საქართველოს მდინარეების ჩამონადენის მნიშვნელობა და მისი ცვალებადობა [6]. მეცნიერების მიერ აგებული იქნა საქართველოს მდინარეების წლიური ჩამონადენის აგმოსფერულ ნალექებთან დამოკიდებულების მრუდები წყალშემკრები აუზებისათვის დამახასიათებელ სიმაღლეებზე (500 მ., 1000 მ. და ა.შ.). გამოყოფილი იყო სამი ტიპის მრუდი. პირველი ტიპის მრუდი დამახასიათებელია მშრალი რაიონებისათვის, სადაც წლიური ნალექების საშუალო დონე ნაკლებია 1000 მმ-ზე. მეორე ტიპის მრუდი დამახასიათებელია რაიონებისათვის, სადაც ნალექები ჭარბი რაოდენობით გამოიყოფა და ნალექების წლიური რაოდენობა იცვლება ფარგლებში 1000 მმ-დან 3000 მმ-მდე. მესამე ტიპის მრუდი ახასიათებს რაიონებს, სადაც ნალექების წლიური რაოდენობა აღემატება 3000 მმ-ს. მესამე ტიპის მრუდი, თავის მხრივ, აერთიანებს მრუდთა ოჯახს, რაც რელიეფის დახრილობასთან არის დაკავშირებული. კერძოდ, უხვნალექიან ზონაში ჩამონადენი იზრდება ნალექების ზრდასთან ერთად და ეს ზრდა მით უფრო ინტენსიურია, რაც მეტია რელიეფის დახრილობა.

დადგენილ იქნა ფორმულა, რომლის მიხედვით შესაძლებელია მდინარეების ჩამონადენის შეფასება კარგი სიმუსკით პაერის ტემპერატურის და აგმოსფერული ნალექების მნიშვნელობების მიხედვით ასევე, გამოყოფილ იქნა ჩამონადენის დაცემის და მაგების ფაზები შესაბამისად 1945-1975 წლებსა

და 1976-1990 წლებში და შეფასებულ იქნა ძირითადი მდინარეების ჩამონადენის ნორმიდან გადახრები აღნიშნულ პერიოდებში. აღმოჩნდა, რომ გადახრების სიდიდე იცვლება -27%-დან +85%-მდე. გადახრა იზრდება წყალშემკრები აუზის ფართობის და წყლიანობის შემცირებასთან ერთად. მაქსიმალური გადახრები მცირდება სიმაღლის მრდასთან ერთად. საზოგადოდ, დაიკვირება ჩამონადენის გადახრების შემცირება 15,1%-დან 13,6%-მდე დასაუვლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ყველა მდინარის გათვალისწინებით და 9,1%-დან 7,7%-მდე მხოლოდ დიდი მდინარეების გათვალისწინებით

ყურადღებას იპყრობს ა. ხანთაძის, თ. გვირიშვილის და გ. ლაზრივის გამოკვლევები [8,9]. მეცნიერებმა კლიმატის თანამედროვე ათბობა დააკავშირეს ატმოსფეროში არაწრფივი სითბური წყაროების გაჩენასთან (მაგ. აღამიანის საქმიანობის შედეგად წარმოქმნილი სითბური წყარო). აღნიშნული წყაროები განაპირობებენ ტემპერატურაზე ატმოსფეროს სითბური პარამეტრების დამოკიდებულებას - ატმოსფეროს საშუალო ტემპერატურა აღარ არის დროში კვაზისტაციონარული. ატმოსფეროში, როგორც არაწრფივ გარემოში, მიმდინარეობს დროში მზარდი არასტაციონარული პროცესები რაც განაპირობებს ატმოსფეროს საშუალო კლიმატური ტემპერატურის უწყვეტ მრდას მეცნიერებმა მიიღეს ატმოსფეროს სითბოგამტარობის ძირითადი არაწრფივი განტოლება, რომელიც აღწერს კლიმატის დათბობის პროცესს არაწრფივი წყაროების გათვალისწინებით. განტოლების ანალიზური ამოხსნის საფუძველზე მეცნიერებმა შემოგეთავაზეს ატმოსფეროს კლიმატური დათბობის თეორიული მოდელი, რომლის მიხედვით ატმოსფეროში არაწრფივი წყაროების არსებობას მივყავართ საშუალო კლიმატური ტემპერატურის უწყვეტი მრდისკენ და სათბურის ეფექტამდე. ეს მრდა დროთა განმავლობაში უნდა შეწყდეს ატმოსფეროში რეალურად არსებული შემზღუდავი ფაქტორების გაუქვნიტ, თუმცა დათბობის გამწვავების პროცესის არაორდინალური თვისებები შესაძლებელია გამოვლინდეს აღნიშნული ფაქტორების "ჩართვამდე".

მუსტი ამოხსნების თვისობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ კლიმატური დათბობა ამჟამად საწყის სტადიაშია და უნდა განვითარდეს შემდეგი სტენარით [9]: იმ დრომდე, სანამ რადიაციული გაბების შედეგად წარმოქმნილი სითბოს მოდენის მოქმედება ტემპერატურულ ველთან მეტი იქნება ანთროპოგენური აეროზოლების და ბუნებრივი დამამახრუჭებელი ფაქტორებით გამოწვეულ სითბოს კარგვაზე, ატმოსფეროში გაგრძელდება გლობალური დათბობის პროცესი მანამ, სანამ ამ ორი საწინააღმდეგო პროცესის მოქმედება არ გაწონასწორდება შემდგომში დაიწყება საშუალო კლიმატური ტემპერატურის შემცირება და გადასვლა ახალ სტაციონალურ მდგომარეობაში, სადაც ატმოსფეროს ენერგეტიკული დონე მეტი იქნება დათბობის დასაწყისში არსებულ ენერგეტიკულ დონეზე

ქართველ მეცნიერთა ჯგუფის მიერ კ თავართქილაძის, ე ელიზბარაშვილის, დ. მუმლაძის და ჯ. ვაჩნაძის შემადგენლობით აგებულ იქნა საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურული ველის ემპირიული მოდელი [3]. 90 პუნქტში 90-წლიანი (1905-1996წწ.) ტემპერატურული მონაცემების ორი სხვადასხვა მეთოდით დამუშავებამ ერთნაირი შედეგები აჩვენა. კერძოდ, დასაუვლეთ საქართველოში ადგილი აქვს აცივებას, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში - დათბობას გადასვლა აცივებიდან დათბობაში

თანდათანობით არ ხდება. გამყოფი ზოლი გადის ლიხის ქედის არეალში. მისგან აღმოსავლეთით, დათბობის ზონაში, მკვეთრად გამოიხატება აცივების მცირე ზოლი, ხოლო მისგან დასავლეთით, აცივების ზონაში, გამოხატულია დათბობის ზოლი.

როგორც დასავლეთ, ასევე აღმოსავლეთ საქართველოში აპრილის თვეში აღვილი აქვს ტემპერატურის მნიშვნელოვან ზრდას. წელიწადის სხვა თვეებში – იანვრიდან იელისის ჩათვლით – დასავლეთ საქართველოში ტემპერატურის ცვალებადობა უმნიშვნელოა, ხოლო აგვისტოდან დეკემბერის ჩათვლით დაიკვირვება მნიშვნელოვანი აცივება. აღმოსავლეთ საქართველოში დათბობა, ძირითადად, იანვარი-იელისის თვეებში დაიკვირვება, ხოლო აგვისტო-დეკემბერში ტემპერატურის ცვლილება უმნიშვნელოა.

კლიმატის ცვლილება და მრავალწლიანი რყევადობა

2.1 პაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების ტენდენციები

2.1.1 პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი ცვლილების ტენდენციები

კლიმატის ცვლილების ძირითადი ტენდენციების შესასწავლად, უპირველეს ყოვლისა, მიმართავენ მისი ცალკეული ელემენტების ცვლილების სიჩქარეების განსაზღვრას. ეს სიჩქარეები იძლევიან მიმდინარე კლიმატური პროცესების ყველაზე ზოგადი ტენდენციების გამოვლენის შესაძლებლობას.

ჩვენს მიერ გამოთვლილი იქნა თბილისში პაერის ტემპერატურის საუკუნოვანი სვლის ცვლილების სიჩქარეები წელიწადის სეზონების ცენტრალური თვეებისთვის და საშუალოდ წელიწადისათვის. აღნიშნული გათვლების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 2.1.1-ში.

ცხრილი 2.1.1

პაერის ტემპერატურის საუკუნოვანი სვლის სიჩქარე $^{\circ}\text{C}$ / წელიწადში თბილისი (1890-1990 წწ.)

პერიოდი წწ.	თ ვ ე				წელიწადში
	იანვარი	აპრილი	ივლისი	ოქტომბერი	
1890 - 1990	0,016	0,010	0,005	- 0,005	0,007

ცხრილიდან ჩანს, რომ 1890-1990 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე დადებითია. ასევე დადებითია იანვრის, აპრილის და ივლისის თვეების საშუალო ტემპერატურების ცვლილების სიჩქარეები. ოქტომბრის თვის საშუალო ტემპერატურა უარყოფითი მნიშვნელობით ხასიათდება.

100-წლიანი პერიოდის გარდა, გამოვითვალეთ თბილისში პაერის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეები 50-წლიანი პერიოდისათვის (1940-1990წწ.). აღნიშნული სიჩქარეები წარმოდგენილია ცხრილ 2.1.2-ში. პაერის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეები ამ შემთხვევაში რამდენადმე განსხვავდება 100-წლიანი (1890-1990წწ.) პერიოდის შესაბამისი სიჩქარეებისაგან. ორივე დროითი შუალედისათვის ოქტომბრის თვის საშუალო ტემპერატურის ცვლილება უარყოფითია, თუმცა 100-წლიანი პერიოდის შესაბამისი ცვლილების სიჩქარე მოდულთ მეტია. დანარჩენი თვეების შესაბამისი სიჩქარეები დადებითია ორივე შუალედისთვის. საშუალო წლიური ტემპერატურის მაგება მეტი აღმოჩნდა 1890-1990წწ. პერიოდისთვის.

ჰაერის ტემპერატურის სტატისტიკური პარამეტრები
თბილისი (1940-1990 წწ.)

პერიოდი წწ.		თ ვ ე				წელი
		I	IV	VII	X	
1940-1990	a	0,0072	0,0173	0,0052	-0,0007	0,0049
	b	0,8	11,8	24,3	13,9	12,7

თბილისში 1940-1990 წლებში ჰაერის ტემპერატურის სელის აპროქსიმაციისთვის გამოიყენეთ წრფივი აპროქსიმაციის ფორმულა:

$$T_k = ak + b \quad (2.4)$$

სადაც k წელიწადის რიგითი ნომერია და $k=1$ შეესაბამება 1940 წელს, T_k – შესაბამისი ტემპერატურა, ხოლო a და b – სტატისტიკური პარამეტრები: a გამოხატავს ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეს, b - საშუალო ტემპერატურას რიგის დასაწყისში.

ჰაერის ტემპერატურის წრფივი აპროქსიმაციის ფორმულებს 1940-1990წწ. პერიოდისათვის შემდეგი სახე აქვთ:

$$T_1 = 0,0072k + 0,8$$

$$T_4 = 0,0173k + 11,8 \quad (2.2)$$

$$T_7 = 0,0052k + 24,3$$

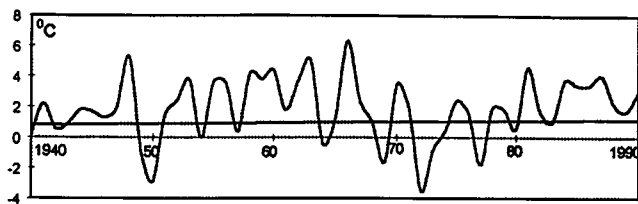
$$T_{10} = - 0,0007k + 13,9$$

$$T_{წლ.} = 0,0049k + 12,7$$

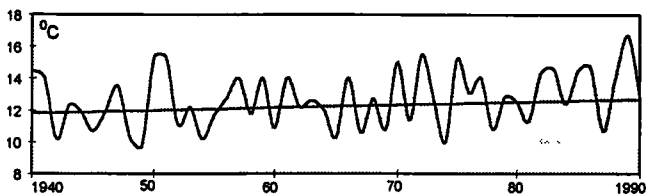
სადაც 1, 4, 7 და 10 თვეების რიგითი ნომრებია, ხოლო $T_{წლ.}$ – საშუალო წლიური ტემპერატურა თბილისისათვის.

(2.2) აპროქსიმაციის ფორმულების მიხედვით აგებული წრფივი გრენდები წარმოდგენილია ნახ. 2.1-ზე. იგივე ნახაზზე დაგანილია თბილისში 1940-1990 წლებში ჰაერის ტემპერატურის რეალური სელაც.

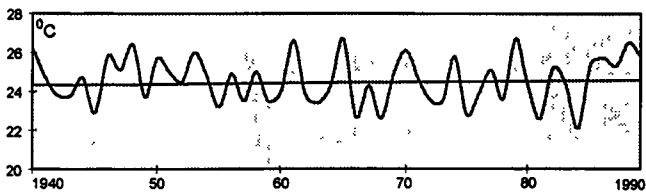
a)



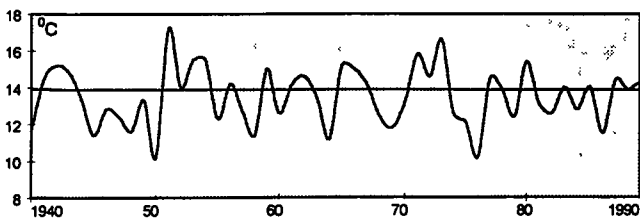
b)

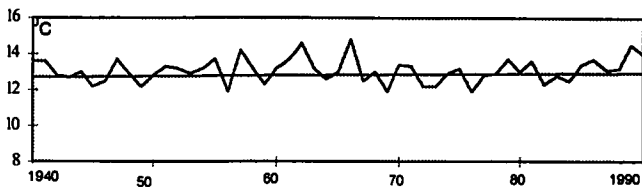


c)



d)





ნახ. 2.1 პაერის ტემპერატურის რეალური სელა და წრფივი ტრენდი (თბილისი): ა) იანუარი; ბ) აპრილი; გ) ივლისი; დ) ოქტომბერი; ე) წელი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, წრფივი ტრენდები აბსცისთა ღერძთან მცირედ არის დახრილი. დახრა დადებითია ყველა შემთხვევაში ოქტომბრის თვის გარდა. ოქტომბრის თვის ტემპერატურის ტრენდის დახრა უარყოფითია, თუმცა ძალზე მცირე, რაც გაპირობებულია ოქტომბრის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარის მცირე სიდიდით.

არის თუ არა ცვლილების სიჩქარეები ნიშნადი, ანუ მიუთითებს თუ არა მათი სიდიდეები კლიმატის რეალურ ცვლილებაზე, თუ ეს უბრალოდ გაზომვების და გაანგარიშების შემთხვევითი ცდომილებების შედეგია? ამის გამოსაკვლევად მიემართეთ სტატისტიკურ კრიტერიუმს.

მიღებულია, რომ მიწისპირა ტემპერატურის “ზმაურის“ კომპონენტის სიდიდე დაახლოებით $0,15^{\circ}\text{C}$ -ის გოლია. ეს კომპონენტი ქმნის წრფივი ტრენდის შეფასების შემთხვევით ცდომილებას, რაც ართულებს დეტერმინირებული მდგენელის გამოყოფას. ცდომილების დისპერსია გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$(2.3) \quad \sigma_a^2 = \frac{12 \sigma^2}{n(n+1)(n-1)}$$

სადაც n არის წლების რაოდენობა მოცემულ დროის პერიოდში.

სტატისტიკური თეალსაზრისით ნიშნადად 95%-იან ღონეზე ითვლება ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეები, რომელთათვისაც კმაყოფილდება პირობა:

$$|a| > 2 \sigma_a$$

ჩვენს მიერ განხილული 100-წლიანი და 50-წლიანი პერიოდებისათვის გამოთვლილი შეფასებები შესაბამისად გოლია $2\sigma_a(100) = 0,00089$ და $2\sigma_a(50) = 0,0029$. თუ მიღებულ მნიშვნელობებს შევადარებთ ცხრილ 2.1.1 და ცხრილ 2.1.2-ში წარმოდგენილი პარამეტრების მნიშვნელობებს დაეადგენთ, რომ ზემოთ მოყვანილი პირობა კმაყოფილდება ყველა შემთხვევაში, ოქტომბრის თვის

გარდა 50-წლიანი პერიოდისათვის. ეს კი ადასტურებს, რომ კლიმატის ცვლილებას ადგილი აქვს და ეს ცვლილება გამოხატულია როგორც 100-წლიან, ასევე 50-წლიან დროით ინტერვალში. კერძოდ, თბილისში მიმდინარეობს საერთო ათბობა, რომლის ფონზე განსაკუთრებული ათბობა მიმდინარეობს ზამთარსა და გაზაფხულზე, ხოლო შემოდგომაზე დაიკვირვება ნორმასთან რყევა ან სუსტი აცივება.

კლიმატური ელემენტის მრავალწლიანი სელის და მისი ცვლილების გენდენციების შესახებ შესაძლებელია ვიმსჯელოთ მცოცავი საშუალოების მიხედვით. საშუალო მცოცავ რიცხვთა მეთოდი კარგად არის ცნობილი მათემატიკურ სტატისტიკაში და ფართოდ გამოიყენება კლიმატოლოგიაში. მეთოდი ითვალისწინებს მოკლეპერიოდის რყევების შესუსტებას და ხანგრძლივი ხასიათის კანონზომიერი ცვლილებების გამოვლენას. მოკლედ აღნიშნული მეთოდის შესახებ.

ეთქვით გვაქვს მეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა რიგი:

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n.$$

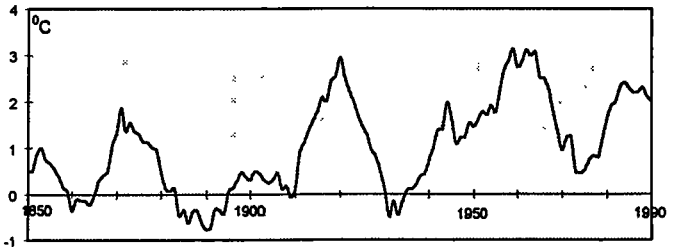
ამ წვერთა რყევადობის ჩაქრობა შესაძლებელია 2, 3, 4 და ა.შ. წვერთა გასაშუალოებით. ამის შემდეგ მწკრივი მიიღებს სახეს:

$$1/m \sum_{i=1}^m a_i, 1/m \sum_{i=2}^{m+1} a_i, 1/m \sum_{i=3}^{m+2} a_i, \dots, 1/m \sum_{i=n+1-m}^n a_i.$$

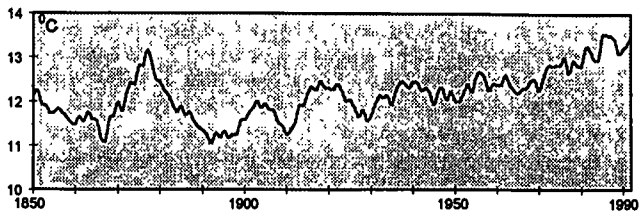
სადაც n წვერთა რიცხვია, ხოლო m - გასაშუალოებულ წვერთა რიცხვი. თუ საწყისი რიგი შეიცავს პერიოდულ რყევას, რომლის ხანგრძლივობა გასაშუალების ინტერვალს არ აღემატება, მაშინ ვარდაქმნილ რიგში მიიღება მნიშვნელოვნად ჩამქრალი, ან სრულიად ჩამქრალი სიდიდეები - ე.წ. მცოცავი საშუალოები.

ჩვენს მიერ საშუალო მცოცავ რიცხვთა მეთოდით დამუშავებულ იქნა თბილისში პაერის ტემპერატურაზე 150-წლიანი დაკვირვებების მონაცემთა რიგი (1844-1994წწ) და აგებულ იქნა 11-წლიანი საშუალო მცოცავი მრუდები წელიწადის სემონების ცენტრალური თვეებისა და საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის. აღნიშნული მრუდები წარმოდგენილია ნახ. 2.2-ზე.

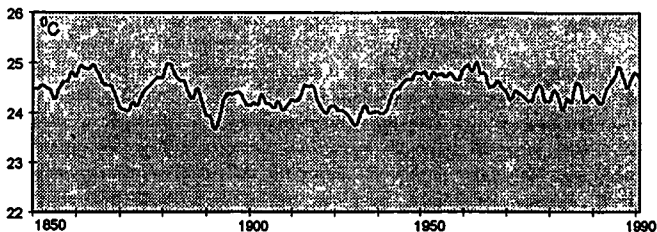
ა)



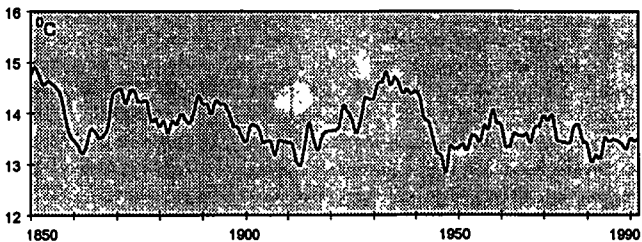
ბ)



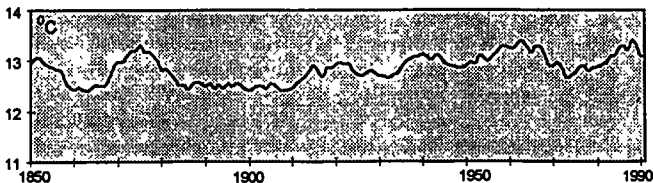
ბ)



დ)



ე)



ნახ. 2.2 პაერის გემპერატურის 11-წლიანი საშუალო მცოცავები (თბილისი):
 ა) იანუარი; ბ) აპრილი; გ) ივლისი; დ) თქტომბერი; ე) წელი.

როგორც ნახ. 2.2-დან ჩანს, მცოცხე მრუდებს აქეთ ცალღისებური ფორმა. ტემპერატურის მრავალწლიან სელაში ერთმანეთს ცელიან დათბობის და აციეების ცალღები. ეს განსაკუთრებული სიმკვეთრით ჩანს იანერის ტემპერატურის 11-წლიან საშუალო მცოცხე მრუდზე (ნახ. 2.2-ის ა): 1852-1858 წლებში დაიკვირვება აციეება, რომელიც იცელება დათბობით 1859-1870 წლებში. 1870-1890 წლებში კელაე დაიკვირვება აციეება, რომელსაც 1890-1918 წლებში მოსდევს დათბობის ცალღა. იანერის საშუალო ტემპერატურა მკვეთრად ეცემა 1918-1930 წლებში, ხოლო შემდეგ მღორედ მატულობს 1932-1961 წლებში. 1962 წლიდან იწყება აციეება, რომელსაც 1972 წელს ცელის დათბობის ცალღა.

აპრილის საშუალო ტემპერატურის სელაში (ნახ. 2.2-ის ბ) დაიკვირვება აციეება 1850-1868 წლებში, რომელსაც ცელის დათბობა 1869-1879 წლებში. 1880-1891 წლებში კელაე დაიკვირვება აციეება, ხოლო 1892 წლიდან გამოიკვეთება დათბობის ტენდენცია, რომელიც 1990 წლამდე გრძელდება.

იელისის და ოქრომბრის თვეების საშუალო ტემპერატურის შესაბამის მრუდებზე (ნახ. 2.2-ის გ, დ) არ დაიკვირვება ცელიღების რაიმე მოგადი ტენდენციები, თუმცა აქაც გამოიკვეთება აციეების და დათბობის ცალღები. კერძოდ, იელისის ტემპერატურის საშუალო მცოცხე მრუდზე (ნახ. 2.2-ის გ) დაიკვირვება დათბობა 1856-1866 წლებში, რომელიც იცელება აციეებით 1867-1871 წლებში. 1872-1882 წლებში დაიკვირვება დათბობის ცალღა, რომელსაც მოსდევს აციეების ცალღა 1883-1892 წლებში. 1893-1935 წლებში ტემპერატურის ცელიღებას არა აქვს გამოკვეთილი ხასიათი. 1936-1963 წლებში დაიკვირვება დათბობის ცალღა, ხოლო 1964 წლიდან იელისის საშუალო ტემპერატურის ცელიღებას კელაე არა აქვს გამოკვეთილი ხასიათი.

ოქტომბრის საშუალო ტემპერატურის მრავალწლიან სელაში (ნახ. 2.2-ის დ) დაიკვირვება აციეების ცალღა 1850-1863 წლებში, რომელიც იცელება დათბობით 1864-1871 წლებში. 1872-1882 წლებში ტემპერატურა, საზოგადოდ, ეცემა, ხოლო 1883-1890 წლებში მატულობს. 1891-1913 წლებში დაიკვირვება აციეების ცალღა, რომელსაც ცელის დათბობის ცალღა 1914-1933 წლებში. 1934-1947 წლებში დაიკვირვება აციეება, რომელიც იცელება დათბობით 1948-1958 წლებში. 1959 წლიდან ოქტომბრის საშუალო ტემპერატურის ცელიღებას არა აქვს გამოკვეთილი ხასიათი.

საშუალო წლიური ტემპერატურის 11-წლიან მცოცხე მრუდზე (ნახ. 2.2-ის ე) დაიკვირვება აციეება 1850-1863 წლებში, რომელიც იცელება დათბობით 1864-1875 წლებში. 1876-1886 წლებში დაიკვირვება აციეების ცალღა. 1887-1908 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურა ირყევა თითქმის ერთი და იგივე მნიშვნელობის მახლობლად, ხოლო 1909 წლიდან 1963 წლამდე გამოიკვეთება ტემპერატურის მატების ტენდენცია, რომელიც იცელება ტემპერატურის კლებით 1964-1973 წლებში. 1974-1990 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურა, საზოგადოდ, მატულობს.

ამრიგად, თბილისში პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი სელა და მისი ხასიათი დამოკიდებულია წელიწადის სემონზე. ყველაზე მეტად მგრძნობიარეა ზამთრის ტემპერატურები და ყველაზე უფრო სუსტად ზაფხულის ტემპერატურების ტრენდებია გამოსხატული. აპრილის საშუალო ტემპერატურის

მრავალწლიან სელაში, დაახლოებით 1892 წლიდან, მკვეთრად გამოიხატება დათბობის ტენდენცია. დათბობის ტენდენცია, ასევე, დაიკვირვება საშუალო წლიური ტემპერატურის სელაშიც.

2.1.2 ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ცვლილების ტენდენციები

თბილისში ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ცვლილების გამოსაკვლევად გამოითვალეთ ნალექთა ჯამების საშუალო მნიშვნელობები დროის ორ გოლ ინტერვალში (1937-1963წწ. და 1964-1990 წწ.) და მოვახდინეთ მათი შედარება აღნიშნული გამოთვლები წელიწადის თბილი და ცივი პერიოდის ნალექებისა და ნალექთა წლიური ჯამებისათვის წარმოდგენილია ცხრილ 2.1.3-ში.

ცხრილი 2.1.3

ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ცვლილების მახასიათებლები

α_1 – ნალექების საშუალო რაოდენობა 1937-1963 წლებში;

α_2 – ნალექების საშუალო რაოდენობა 1964-1990 წლებში.

(თბილისი)

პერიოდი	α_1	α_2	$\alpha_2 - \alpha_1$	$(\alpha_2 - \alpha_1)/(\alpha_1) \times 100\%$
თბილი	397	382	-15	-4
ცივი	142	129	-13	-9
წლიური	525	513	-12	-2

როგორც ცხრილ 2.1.3-იდან ჩანს თბილისში თბილი და ცივი პერიოდების ნალექების საშუალო ღონე მხოლოდ 30 წელიწადის განმავლობაში დაიკლო შესაბამისად 4%-ით და 9%-ით, ხოლო საშუალო წლიურმა ნალექებმა დაიკლო 2%-ით.

წელიწადის სეზონების ცენტრალური თვეების ნალექებისთვის ცვლილების დიაპაზონი უფრო ფართო, ხოლო ცვლილების პროცენტული მნიშვნელობები უფრო მაღალი აღმოჩნდა. ატმოსფერული ნალექების რაოდენობის ცვლილება პროცენტებში $-(\alpha_2 - \alpha_1) / (\alpha_1) \times 100\%$ – იგივე დროით პერიოდებს შორის წელიწადის სეზონების ცენტრალურ თვეებში წარმოდგენილია ცხრილ 2.1.4-ში.

აგმოსფერული ნალექების თვიური ჯამების ცვლილება
1936-1963 წწ. და 1964-1990 წწ. პერიოდებს შორის
თბილისი (%)

თვე	$(\alpha_2 - \alpha_1) / (\alpha_1) \times 100\%$
იანვარი	-7
აპრილი	9
ივლისი	-12
ოქტომბერი	-27

როგორც ეხედავთ, უდიდესი დაკლება განიცადეს ოქტომბრის თვის ნალექებმა (27%), თუმცა დანარჩენ თვეებშიც ცვლილების პროცენტული მახასიათებელი არც თუ ისე მცირეა. საყურადღებოა, რომ ნალექთა ჯამების ცვლილება აღებულ პერიოდებს შორის აპრილის თვეში დადებითია, ანუ ნალექების საერთო დაკლების ფონზე აპრილის ნალექებმა იმატა 9%-ით.

ჩვენს მიერ დადგენილ იქნა თბილისში 1940-1990 წლებში ნალექთა ჯამების ცვლილების სიჩქარეები წელიწადის თბილი და ცივი პერიოდებისა და მთლიანად წელიწადისათვის. აღნიშნული სიჩქარეები წარმოდგენილია ცხრილ 2.1.5-ში.

ცხრილი 2.1.5

აგმოსფერული ნალექების ცვლილების სიჩქარე 1940-1990 წლების
განმეაღობაში (მმ / წელიწადში)
(თბილისი)

პერიოდი	a (მმ / წელიწადში)
წელი	-1,038
თბილი	-1,014
ცივი	-0,354

თბილისში 1940-1990 წლებში აგმოსფერული ნალექების სულის აპროქსიმაცია მოკახლინეთ წრფივი აპროქსიმაციის ფორმულით:

$$Q_k = ak + b \quad (2.4)$$

სადაც k წელიწადის რიგითი ნომერია და $k=1$ შეესაბამება 1940 წელს, Q_k - შესაბამის წელიწადში ნალექების რაოდენობა, a - აგმოსფერული ნალექების ცვლილების სიჩქარე, b - ნალექების საშუალო დონე რიგის დასაწყისში.

თბილი და ცივი პერიოდების ნალექების და ნალექთა წლიური ჯამების აპროქსიმაციის ფორმულებს 1940-1990წწ. პერიოდისათვის შემდეგი სახე აქვთ:

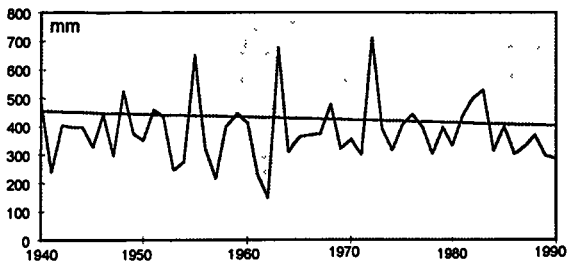
$$Q_{\text{თბ}} = -1,014k + 455$$

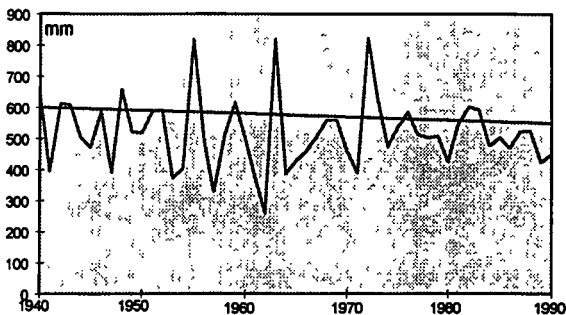
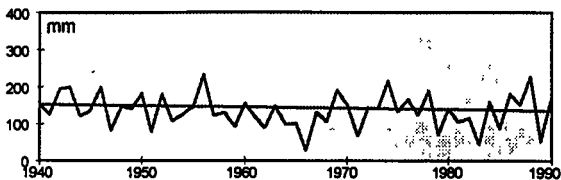
$$Q_{\text{ცივ}} = -0,354k + 153 \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{წლ}} = -1,038k + 602$$

(2.5) აპროქსიმაციის ფორმულების მიხედვით აგებული წრფივი გრენდები წარმოდგენილია ნახ. 2.3-ზე. ამავე ნახაზზე ნაჩვენებია თბილისში 1940-1990 წლებში აგმოსფერული ნალექების რეალური სულაც

ა)

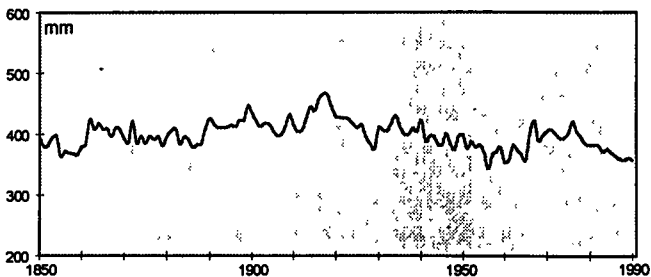




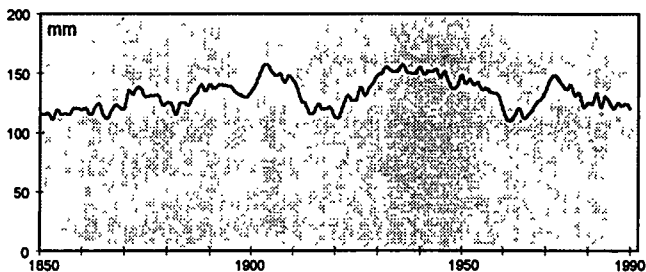
ნახ. 2.3 აგმოსფერული ნალექების რეალური სულა და წრფივი გრენდი:
 ა) თბილი პერიოდი; ბ) ცივი პერიოდი; გ) წელი.

სამივე შემთხვევაში გრენდის დახრა აბსცისთა ღერძთან უარყოფითია – ა პარამეტრის მნიშვნელობები უარყოფითია. მაქსიმალურად დახრილია წლიური ნალექების შესაბამისი წრფივი გრენდი, რაც გაპირობებულია წლიური ნალექების ცელილების სიჩქარის შედარებით მაღალი სიდიდით ($a = -1,038$). ყველაზე ნაკლებად აბსცისთა ღერძთან დახრილია ცივი პერიოდის ნალექების შესაბამისი გრენდი ($a = -0,354$).

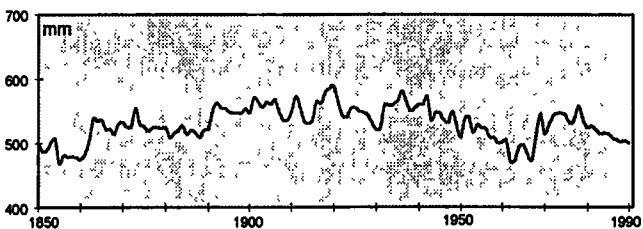
თბილისში აგმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ცელილების გამოსაკვლევად ავაგეთ ნალექთა ჯამების 11-წლიანი საშუალო მცოცაეები 1844-1994წწ. პერიოდისათვის. 11-წლიანი მცოცაეი მრუდები თბილი და ცივი პერიოდის ნალექებისა და ნალექთა წლიური ჯამებისათვის წარმოდგენილია ნახ.2.4-ზე.



ბ)



გ)



ნახ. 2.4 აგმოსფერული ნალექების 11-წლიანი საშუალო მცოცაეები (თბილისი): ა) თბილი პერიოდი; ბ) ცივი პერიოდი; გ) წელი.

მცოცაე მრუდებს აქეთ გაღლისებული ფორმა – დიდწყლიანი ფაზები ცელიან მცირეწყლიანს. ამგვარი კანონზომიერება დაიკვირება სამივე მრუდზე. წლიური და თბილი პერიოდის ნალექების სელა კარგი სინქრონულობით გამოიჩევა, ეს კი იმის მაჩეენებელია, რომ თბილისში წლიური ნალექების

სამუალო ღონეს და ცვალებადობას, ძირითადად, თბილი პერიოდის ნალექები განსაზღვრავენ.

ცხრილებში 2.16 (ა-ე) წარმოდგენილია თბილისში აგმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი სულის (1844-1990 წწ.) დიდწყლიანი და მცირეწყლიანი ფაზები.

ცხრილი 2.16 ბ

აგმოსფერული ნალექების დიდწყლიანი და მცირეწყლიანი ფაზები
თბილისი (1844-1990 წწ.)
(თბილი პერიოდი)

წლები	ფაზა	წლები	ფაზა	წლები	ფაზა
1855-1860	მცირეწყლიანი	1908-1910	დიდწყლიანი	1935-1955	მცირეწყლიანი
1861-1872	დიდწყლიანი	1910-1912	მცირეწყლიანი	1956-1975	დიდწყლიანი
1873-1887	მცირეწყლიანი	1913-1918	დიდწყლიანი	1976-1990	მცირეწყლიანი
1888-1900	დიდწყლიანი	1919-1929	მცირეწყლიანი		
1901-1907	მცირეწყლიანი	1930-1934	დიდწყლიანი		

ცხრილი 2.16 ბ

(ცივი პერიოდი)

წლები	ფაზა	წლები	ფაზა	წლები	ფაზა
1852-1873	დიდწყლიანი	1904-1920	მცირეწყლიანი	1961-1970	დიდწყლიანი
1874-1881	მცირეწყლიანი	1921-1935	დიდწყლიანი	1971-1990	მცირეწყლიანი
1882-1903	დიდწყლიანი	1936-1960	მცირეწყლიანი		

(წელი)

წლები	ფაზა	წლები	ფაზა	წლები	ფაზა
1855-1860	მცირეწელიანი	1908-1910	დიდწელიანი	1936-1961	მცირეწელიანი
1861-1872	დიდწელიანი	1911-1913	მცირეწელიანი	1962-1977	დიდწელიანი
1873-1887	მცირეწელიანი	1914-1919	დიდწელიანი	1978-1990	მცირეწელიანი
1888-1900	დიდწელიანი	1920-1930	მცირეწელიანი		
1901-1907	მცირეწელიანი	1931-1935	დიდწელიანი		

2.2 პაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა

2.2.1 პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა

კლიმატის მრავალწლიური ციკლური რყევადობის კანონზომიერებების გამოსაყენებლად მიმართავენ კლიმატოლოგიაში კარგად აპრობირებულ ინტეგრალ-სხვაობით მრულთა მეთოდს [10,38,62,68]. ამ მეთოდის გამოყენების ძირითადი საფეხურები შემდეგში მდგომარეობს.

ინტეგრალურ სხვაობითი მრუდების აბსცისთა ღერძზე დაიგანება წლები, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – ფუნქცია $f(t) = \sum(k_i - 1) / C_v$ აქ $k_i = X_i / X_{სა}$. მოდულური კოეფიციენტი i -ური წელიწადისათვის, $X_{სა}$ – კლიმატური პარამეტრის მრავალწლიური საშუალო, ანუ ნორმა, $(k_i - 1)$ – მოდულური კოეფიციენტების ნორმიდან გადახრა შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი, C_v – ვარიაციის კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს დაკვირვების ადგილზე კლიმატური პარამეტრის ცვალებადობის ხარისხს. C_v -ს არსებობა $f(t)$ ფუნქციის მნიშვნელში უზრუნველყოფს მოდულური კოეფიციენტის დამოუკიდებლობას კლიმატური ელემენტის ცვალებადობაზე.

ორდინატთა გამოთვლის სისწორე მოწმდება $(k_i - 1)$ გადახრების შეჯამების გზით. თუ $\sum(k_i - 1) = 0$, მაშინ ყველა წინა გამოთვლა სწორედ არის შესრულებული. ზოგჯერ $\sum(k_i - 1) \neq 0$, რაც გაპირობებულია $k = X_i / X_{სა}$ მოდულური კოეფიციენტის პოენის დროს სიდიდეების დამრგვალებით ამ დროს მიღებულია შემდეგი დამუხებები.

1) თუ ჯამი $\sum(k_i - 1)$ განსხვავდება ნულისაგან არაუმეტეს 0,5-ით, შედეგი არ შესწორდება;

2) თუ ჯამი $\sum(k_i-1)$ განსხვავდება ნულისაგან 0,5 სიდიდემე მეტად, ეს სიდიდე შესაბამისი ნიშნით ნაწილდება თანაბრად $k = X_i/X_{საგ}$ მნიშვნელობებზე უკანასკნელი ათი წელიწადისათვის.

რაიმე დროითი პერიოდის განმავლობაში საშუალო მოდულური კოეფიციენტის გადახრა ნორმიდან, ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდზე ხასიათდება პერიოდის საწყისი და საბოლოო წერტილების შემაერთებული წრფის აბსცისთა ღერძთან დახრის კუთხის განგენსით, ხოლო რიცხობრივი გადახრა ერთეულიდან განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$k_{საგ} - 1 = ((l_2 - l_1) / n) \times C_v$$

აქედან

$$k_{საგ} = 1 + ((l_2 - l_1) / n) \times C_v \quad (2.5)$$

აქ l_1 და l_2 შესაბამისად პერიოდის საწყისი და საბოლოო წერტილების ორდინატებია, n - წლების რაოდენობა აღებულ დროის ინტერვალში.

მოდულური კოეფიციენტის ნაზრდი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

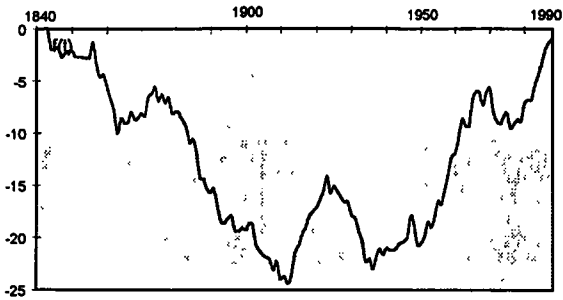
$$\delta k = ((l_2 - l_1) / n) \times C_v \quad (2.6)$$

ხოლო კლიმატური ელემენტის ნაზრდი ფორმულით:

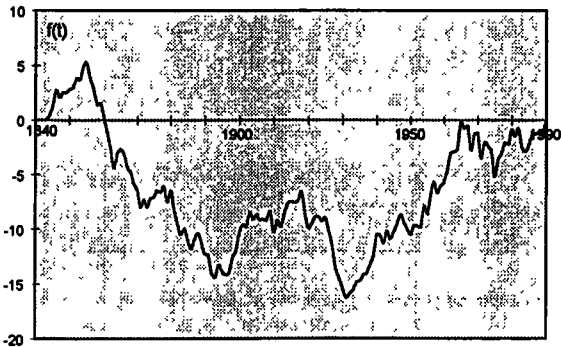
$$\delta X = \delta k \times X_{საგ} \quad (2.7)$$

დროის შუალედი, რომლისთვისაც მრუდის უბანს აქვს დადებითი დახრა პორიზონტთან, პაერის ტემპერატურისა და აგმოსფერული ნალექების შემთხვევაში ეთანადება, შესაბამისად დათბობის და დიდწყლიან ფაზებს, ხოლო უარყოფითი დახრა - შესაბამისად აცივების და მცირეწყლიან ფაზებს. აბსცისთა ღერძის პარალელური უბანი ვეიჩენებს, რომ შესაბამის წლებში კლიმატური ელემენტის მნიშვნელობები ძალზე ახლოსაა მრავალწლიურ საშუალოსთან და შესაბამის პერიოდს ეწოდება ნორმასთან რყევის პერიოდი.

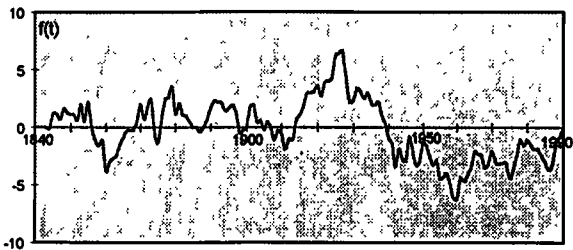
თბილისში პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი რყევადობის შესასწავლად ავაგეთ ინტეგრალურ სხვაობითი მრუდები 1844-1990წწ. პერიოდში საშუალო წლიური ტემპერატურისა და თორმეტივე თვის საშუალო ტემპერატურების მოდულური კოეფიციენტებისათვის. აღნიშნული მრუდები წარმოდგენილია ნახაზებზე 2.5-2.17.



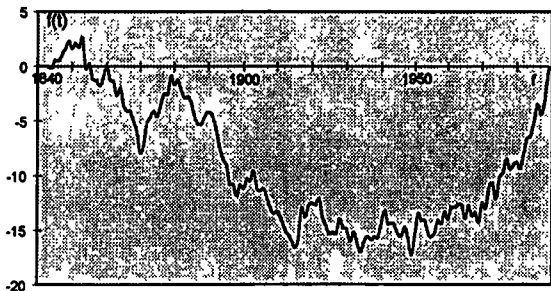
ნახ. 2.5 იანვრის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



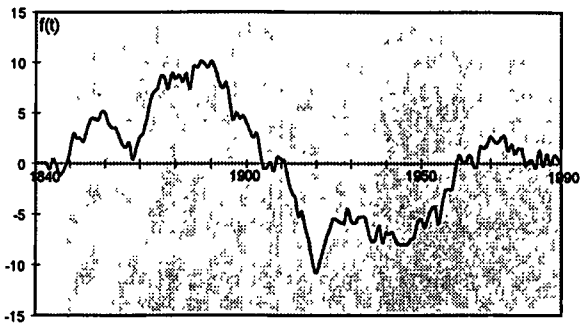
ნახ. 2.6 თებერვლის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



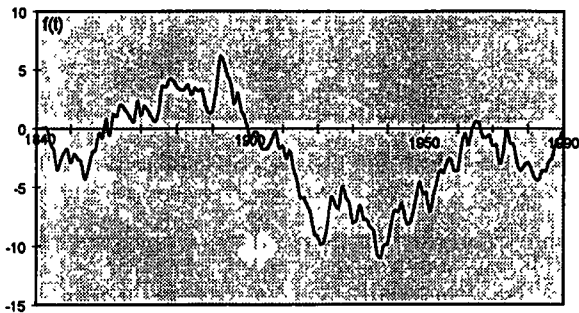
ნახ. 2.7 მარტის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



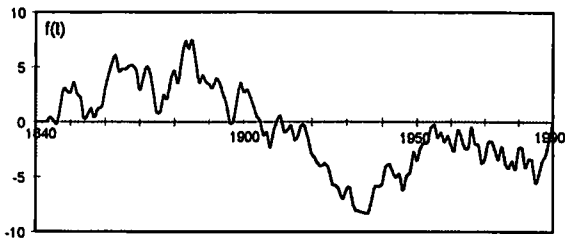
ნახ. 2.8 აპრილის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



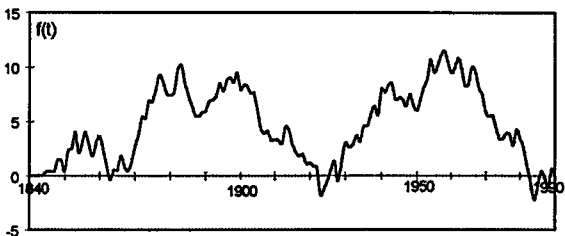
ნახ. 2.9 მაისის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



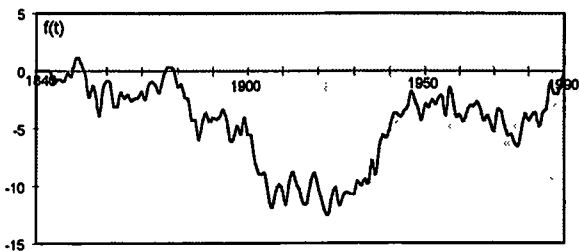
ნახ. 2.10 ივნისის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



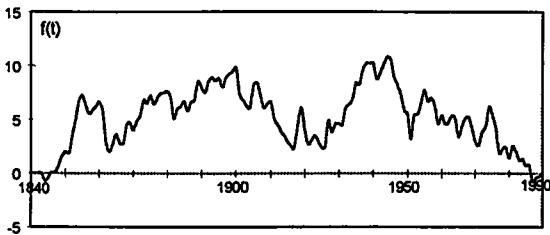
ნახ. 2.11 იელისის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



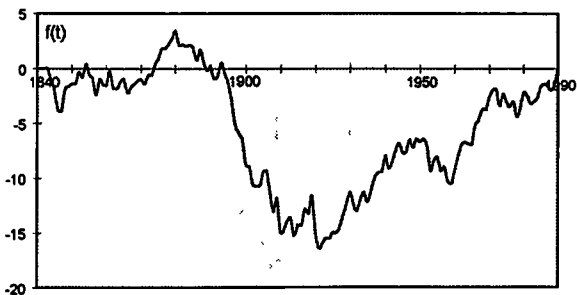
ნახ. 2.12 აგვისტოს საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



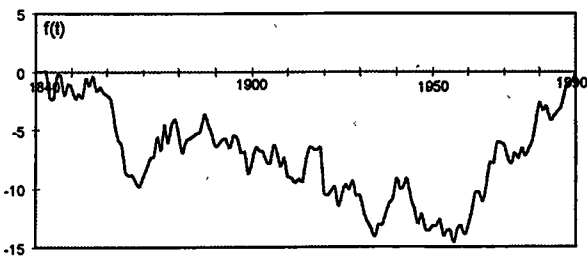
ნახ. 2.13 სექემბრის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



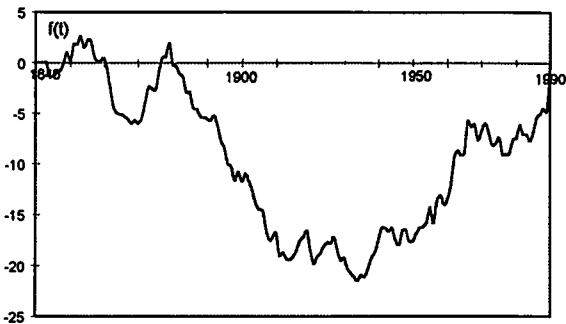
ნახ. 2.14 ოქტომბრის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



ნახ. 2.15 ნოემბრის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



ნახ. 2.16 დეკემბრის საშუალო ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t)=\sum(k_i-1)/C_v$.



ნახ. 2.17 საშუალო წლიური ტემპერატურის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t) = \sum(k_i - 1) / C_v$.

ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდებზე კარგად არის გამოხატული პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი რყევადობის ციკლური ხასიათი. წელიწადის საწყისი თვეების (იანვარი-აპრილი) შესაბამისი მრუდებისათვის დამახასიათებელია რამოდენიმე ციკლის არსებობა. მაგალითად, იანვრის ტემპერატურის შესაბამის ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდზე სამი ციკლია გამოხატული, რომელთაგან პირველის ხანგრძლივობაა 49 წელიწადი და მოიცავს პერიოდს 1865-1914წწ., მეორე ციკლის ხანგრძლივობაა 23 წელიწადი და შესაბამისი წლებია 1914-1937წწ., ხოლო მესამე ციკლის ხანგრძლივობაა 41 წელიწადი და შეესაბამება დროის შუალედი 1937-1978წწ. აღნიშნული ციკლები ჯამში შეადგენენ ერთიან ძირითად 113-წლიან ციკლს, რომელიც მოიცავს წლებს 1865-1978წწ. (ნახ. 2.5).

თებერვლის და მარტის საშუალო ტემპერატურების მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდებზე, ასევე დაიკვირვება ძირითადი და შემადგენელი ციკლები (ნახ. 2.6-2.7).

აპრილის თვის და საშუალო წლიური ტემპერატურის შესაბამის მრუდებზე დაიკვირვება ორ-ორი სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლი (ნახ. 2.8, 2.17), ხოლო დანარჩენი თვეების (მაისი-დეკემბერი) შესაბამის მრუდებზე თითო ციკლია გამოხატული (ნახ. 2.9-2.16). გამონაკლისია აგვისტოს თვე, რომლის შესაბამის ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდზე სამი ციკლია წარმოდგენილი (ნახ. 2.12).

აღნიშნულ ციკლები, თავის მხრივ, შედგება დათბობის და აცივების ფაზებისაგან. დათბობის ფაზა შეესაბამება მრუდის უბანს, რომლის საწყისი და საბოლოო წერტილების შემაერთებელი წრფის დახრა პორიბონტალურ ღერძთან დადებითია, ხოლო აცივების ფაზა – უბანს, რომლისთვისაც დახრა უარყოფითია.

2.5-2.17 ნახაზების მიხედვით შევადგინეთ ცხრილი 2.2.1, რომელშიც შეტანილია საშუალო წლიური და თორმეტივე თვის საშუალო ტემპერატურების მრავალწლიან რყევადობაში არსებული ციკლები, მათი ხანგრძლივობები და შესაბამისი წლები, ასევე, თითოეული ციკლის დათბობის და აცივების ფაზები შესაბამის წლებთან ერთად იმავე ცხრილში წარმოდგენილია (2.5)-(2.7) ფორმულებით გათვლილი მახასიათებლები: $K_{სა}$ – საშუალო მოდულური კოეფიციენტები, δK – მოდულური კოეფიციენტების ნორმიდან გადახრები, და δT – ტემპერატურის შესაბამისი ნაზრდები

ცხრილი 2.2.1

პაერის ტემპერატურის მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა
(თბილისი)

თვე	ციკლის ხანგრძლივობა	წლები	დათბობის ფაზა	δK	$K_{სა}$	δT	აცივების ფაზა	δK	$K_{სა}$	δT
იანვარი	ძირითადი 113	1865-1978	-	-	-	-	-	-	-	-
	შემადგენელი 49	1865-1914	1865-1875	0,77	1,77	0,77	1876-1913	-1,02	-0,02	-1,0
	შემადგენელი 23	1914-1937	1914-1924	2,04	3,04	2,0	1925-1937	-1,5	-0,5	-1,5
	შემადგენელი 41	1937-1978	1938-1970	1,08	2,08	1,1	1971-1978	-1,06	-0,06	-1,1
თებერვალი	ძირითადი 110	1855-1965	-	-	-	-	-	-	-	-
	შემადგენელი 65	1855-1920	1895-1919	0,28	1,28	0,7	1855-1894	-0,37	0,63	-1,0
	შემადგენელი 45	1920-1965	1933-1965	0,38	1,38	0,9	1920-1932	-0,62	0,38	-1,6
მარტი	ძირითადი 100	1860-1960	-	-	-	-	-	-	-	-
	შემადგენელი 50	1860-1910	1860-1878	0,11	1,11	0,7	1879-1910	-0,04	0,96	-0,3
	შემადგენელი 50	1910-1960	1910-1926	0,15	1,15	1,0	1926-1960	-0,1	0,9	-0,7
აპრილი	ძირითადი 25	1853-1878	1870-1878	0,04	1,04	0,5	1853-1869	-0,09	0,91	-1,1
	ძირითადი 110	1879-1989	1935-1989	0,04	1,04	0,5	1879-1934	-0,04	0,96	-0,5
მაისი	ძირითადი 84	1890-1974	1921-1874	0,02	1,02	0,4	1890-1920	-0,05	0,95	-0,9
ივნისი	ძირითადი 73	1892-1965	1923-1965	0,01	1,01	0,2	1892-1922	-0,03	0,97	-0,6
ივლისი	ძირითადი 70	1885-1955	1936-1955	0,02	1,02	0,5	1885-1935	-0,02	0,98	-0,5
აგვისტო	ძირითადი 76	1882-1958	1924-1958	0,02	1,02	0,5	1882-1923	-0,01	0,99	-0,2
	ძირითადი 60	1863-1923	1863-1882	0,03	1,03	0,7	1882-1923	-0,01	0,99	-0,2
	ძირითადი 60	1924-1984	1924-1958	0,02	1,02	0,5	1959-1984	-0,03	0,97	-0,7
სექტემბერი	ძირითადი 67	1879-1946	1923-1946	0,03	1,03	0,6	1879-1922	-0,02	0,98	-0,4
ოქტომბერი	ძირითადი 44	1900-1944	1926-1944	0,05	1,05	1,07	1900-1925	-0,04	0,96	-0,6
ნოემბერი	ძირითადი 70	1880-1950	1921-1950	0,1	1,1	0,7	1880-1920	-0,06	0,94	-0,5
დეკემბერი	ძირითადი 93	1887-1990	1957-1990	0,2	1,2	0,6	1887-1956	-0,1	0,9	-0,3
წელი	ძირითადი 27	1853-1879	1869-1879	0,04	1,04	0,5	1853-1868	-0,02	0,98	-0,3
	ძირითადი 87	1880-1966	1914-1966	0,02	1,02	0,3	1880-1913	-0,03	0,97	-0,4

დათბობის და აცივების ხანგრძლივი ფაზების ვარდა ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდებზე შესაძლებელია უფრო მოკლევადიანი (რამოდენიმე წელიწადის ხანგრძლივობის) დათბობის და აცივების პერიოდების გამოყოფა. ასე, მაგალითად, იანვრის თვის საშუალო ტემპერატურის მრავალწლიან რყევადობაში დაიკვირვება აცივების პერიოდი 1845-1854 წლებში, ხოლო 1855-1857 წლებში – დათბობის პერიოდი, რომელსაც კელაე მოსდევს აცივების

პერიოდი 1858-1864 წლებში. 1865-1874 წლებში დაიკვირება დათბობის პერიოდი და ა.შ

თითოეული გამოყოფილი პერიოდისათვის გამოვითვალეთ $K_{საა}$, δK და δT მახასიათებლები. გამოთვლების შედეგები, შესაბამის პერიოდებთან ერთად, წარმოდგენილია ცხრილ 2.2.2 აში.

ცხრილი 2.2.2 ა

დათბობის და აცივების ხანმოკლე პერიოდები
(იანვარი)

წლები	პერიოდი	δK	$K_{საა}$	δT	წლები	პერიოდი	δK	$K_{საა}$	δT
1844-1854	აცივების	-1,41	-0,41	-1,4	1938-1941	დათბობის	0,6	1,6	0,6
1855-1857	დათბობის	0,92	1,92	0,9	1942-1943	აცივების	-0,1	-0,9	-0,1
1858-1864	აცივების	-2,66	-1,66	-2,7	1944-1947	დათბობის	1,4	2,4	1,4
1865-1874	დათბობის	2,84	3,84	2,8	1948-1950	აცივების	-2,1	-1,1	-2,1
1875-1898	აცივების	-1,2	-0,2	-1,2	1951-1967	დათბობის	1,6	2,6	1,6
1899-1902	დათბობის	0,4	1,4	0,4	1967-1969	აცივების	-1,3	-0,3	-1,3
1903-1913	აცივების	-1,0	0	-1,0	1969-1971	დათბობის	1,6	2,6	1,6
1914-1925	დათბობის	1,84	2,84	1,8	1972-1976	აცივების	-1,44	-0,44	-1,4
1926-1937	აცივების	-1,62	-0,62	-1,6	1977-1990	დათბობის	1,32	2,32	1,32

ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდების ანალოგიური ანალიზის და გათვლების საფუძველზე შევადგინეთ მსგავსი ცხრილები საშუალო წლიური ტემპერატურის და აპრილის, ივლისის და ოქტომბრის თვეების საშუალო ტემპერატურებისათვის (ცხრილ. 2.2.2^ა - 2.2.2^ჰ).

ღათობის და აციეების ხანმოკლე პერიოდები
(აპრილი)

წლები	პერიოდი	δK	K _{საა}	δT	წლები	პერიოდი	δK	K _{საა}	δT
1844-1853	ღათობის	0,04	1,04	0,5	1929-1933	აციეების	-0,08	0,92	-1,0
1854-1858	აციეების	-0,14	0,86	-1,7	1934-1936	ღათობის	0,1	1,1	1,2
1859-1860	ღათობის	0,12	1,12	1,5	1937-1939	ნორმა	0	1	0
1861-1870	აციეების	-0,1	0,9	-1,2	1940-1941	ღათობის	0,15	1,15	1,8
1871-1879	ღათობის	0,12	1,12	1,5	1942-1948	აციეების	-0,08	0,92	-1,0
1880-1897	აციეების	-0,08	0,92	-1,0	1949-1951	ღათობის	0,15	1,15	1,8
1898-1903	ღათობის	0,06	1,06	0,7	1952-1955	აციეების	-0,14	0,86	-1,7
1904-1915	აციეების	-0,08	0,92	-1,5	1956-1963	ღათობის	0,08	1,08	1,0
1916-1921	ღათობის	0,12	1,12	1,5	1964-1969	აციეების	-0,06	0,94	-0,7
1922-1927	აციეების	-0,08	0,92	-1,0	1970-1990	ღათობის	0,1	0,1	1,2
1927-1928	ღათობის	0,08	1,08	1,0					

ღათობის და აციეების ხანმოკლე პერიოდები
(ივლისი)

წლები	პერიოდი	δK	K _{საა}	δT	წლები	პერიოდი	δK	K _{საა}	δT
1846-1851	ღათობის	0,04	1,04	1,0	1900-1908	აციეების	-0,03	0,97	-0,7
1852-1857	აციეების	-0,03	0,97	-0,7	1909-1911	ღათობის	0,05	1,05	1,2
1858-1862	ღათობის	0,07	1,07	1,6	1912-1915	აციეების	-0,03	0,97	-0,7
1863-1864	აციეების	-0,06	0,94	-1,4	1916-1918	ღათობის	0,02	1,02	0,5
1865-1868	ღათობის	0,01	1,01	0,2	1919-1936	აციეების	-0,03	0,97	-0,7
1869-1870	აციეების	-0,06	0,94	-1,4	1961-1962	ღათობის	0,09	1,09	2,0
1871-1872	ღათობის	0,05	1,05	1,2	1963-1965	აციეების	-0,03	0,97	-0,7
1873-1875	აციეების	-0,05	0,95	-1,2	1965-1966	ღათობის	0,09	1,09	2,0
1876-1884	ღათობის	0,05	1,05	1,2	1967-1969	აციეების	-0,04	0,96	-1,0
1885-1991	აციეების	-0,04	0,96	-1,0	1970-1972	ღათობის	0,03	1,03	0,7
1991-1992	ღათობის	0,03	1,03	0,7	1973-1978	აციეების	-0,02	0,98	-0,5
1993-1996	აციეების	-0,05	0,95	-1,2	1979-1980	ღათობის	0,9	1,09	2,0
1897-1899	ღათობის	0,06	1,06	1,4	1981-1985	აციეების	-0,03	0,97	-0,7

დათობის და აციეების ხანმოკლე პერიოდები
(ოქტომბერი)

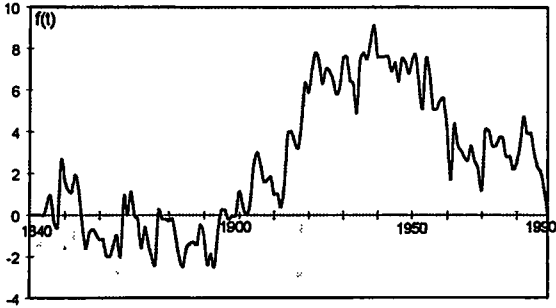
წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δT	წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δT
1844-1854	დათობის	0,08	1,08	1,1	1927-1928	აციეების	-0,1	0,9	-1,4
1855-1857	აციეების	-0,06	0,94	-0,8	1929-1938	დათობის	0,06	1,06	0,8
1858-1860	დათობის	0,04	1,04	0,6	1939-1941	აციეების	-0,09	0,91	-1,3
1861-1863	აციეების	-0,15	0,85	-2,1	1942-1944	დათობის	0,1	1,1	1,4
1864-1879	დათობის	0,03	1,03	0,4	1945-1951	აციეების	-0,14	0,86	-1,9
1880-1882	აციეების	-0,07	0,93	-1,0	1952-1955	დათობის	0,15	1,15	2,1
1883-1900	დათობის	0,03	1,03	0,4	1956-1965	აციეების	-0,04	0,96	-0,6
1901-1903	აციეების	-0,21	0,8	-2,9	1966-1968	დათობის	0,06	1,06	0,8
1904-1906	დათობის	0,11	1,11	1,5	1969-1971	აციეების	-0,08	0,92	-1,1
1907-1916	აციეების	-0,08	0,92	-1,1	1972-1974	დათობის	0,12	1,12	1,7
1917-1919	დათობის	0,2	1,2	2,8	1975-1987	აციეების	-0,07	0,93	-1,0
1920-1925	აციეების	-0,08	0,92	-1,1	1988-1990	დათობის	0,02	1,02	0,3
1926-1927	დათობის	0,13	1,13	1,8					

დათობის და აციეების ხანმოკლე პერიოდები
(წელი)

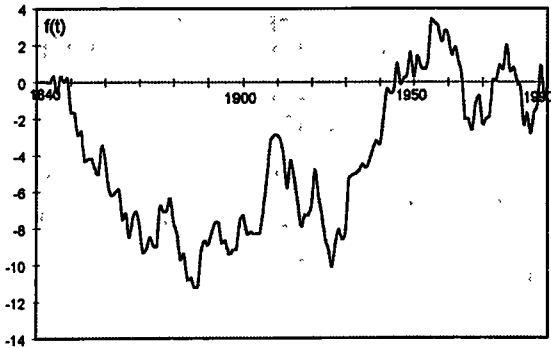
წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δT	წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δT
1844-1855	დათობის	0,02	1,02	0,3	1944-1946	აციეების	-0,03	0,97	-0,4
1856-1863	აციეების	-0,04	0,96	-0,5	1947-1948	დათობის	0,04	1,04	0,5
1864-1871	ნორმა	0	1	0	1949-1950	აციეების	-0,03	0,97	-0,4
1872-1879	დათობის	0,06	1,06	0,8	1951-1968	დათობის	0,03	1,03	0,4
1880-1911	აციეების	-0,03	0,97	-0,4	1968-1969	აციეების	-0,07	0,93	-0,9
1912-1918	დათობის	0,03	1,03	0,4	1970-1971	დათობის	0,04	1,04	0,5
1919-1921	აციეების	-0,07	0,93	-0,9	1972-1976	აციეების	-0,03	0,97	-0,4
1922-1927	დათობის	0,03	1,03	0,4	1977-1981	დათობის	0,04	1,04	0,5
1928-1934	აციეების	-0,03	0,97	-0,4	1981-1984	აციეების	-0,02	0,98	-0,3
1935-1941	დათობის	0,05	1,05	0,6	1984-1990	დათობის	0,07	1,07	0,9
1942-1944	ნორმა	0	1	0					

2.2.2 ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ციკლური რყევადობა

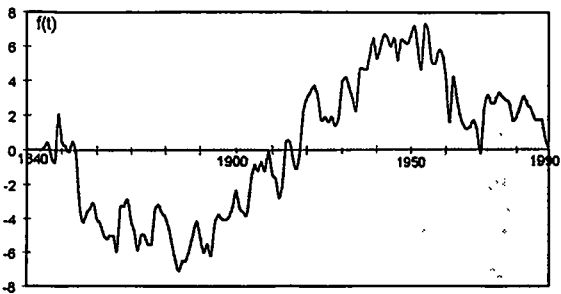
თბილისში ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ციკლური რყევადობის გამოსაკვლევად დაამუშავეთ 1844-1990წწ. პერიოდში ატმოსფერულ ნალექებზე დაკვირვებათა მონაცემების რიგი და ავაგეთ ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდები თბილი და ცივი პერიოდების ნალექების და ნალექთა წლიური ჯამების მოდულური კოეფიციენტებისთვის (ნახ. 2.18-2.20).



ნახ. 2.18 თბილი პერიოდის ნალექთა ჯამების მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t) = \sum(k_i - 1) / C_v$



ნახ. 2.19 ცივი პერიოდის ნალექთა ჯამების მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t) = \sum(k_i - 1) / C_v$



ნახ. 2.20 ნალექთა წლიური ჯამების მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t) = \sum(k_i - 1)/C_v$

აგებულ ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდებზე კარგად არის გამოხატული სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლი. მაგალითად, ცივი პერიოდის ჯამური ნალექების სელაში დაიკვირება ერთი 105-წლიანი ციკლი 1850-1955 წლებში. ეს ციკლი, თავის მხრივ, შედგება ორი ციკლისაგან – 60-წლიანი და 45-წლიანი ობერტონებისაგან, შესაბამისად 1850-1910 წლებსა და 1910-1955 წლებში. აღნიშნული ციკლების გარდა მრუდზე დაიკვირება 23-წლიანი ციკლი 1955-1978 წლებში.

თბილი პერიოდის და წლიური ნალექების შესაბამის ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდებზე თითო ციკლია გამოხატული – 96 წლიანი ციკლი 1894-1990 წლებში და 105-წლიანი ციკლი 1850-1955 წლებში.

თითოეული ციკლი შედგება ორი ხანგრძლივი ფაზისაგან – ღიფწყლიანი და მცირეწყლიანი ფაზებისაგან, რომლებიც ენაცვლებიან ერთმანეთს. ცივი პერიოდის ნალექების სელაში ძირითადი ციკლის მცირეწყლიანი ფაზა მოიცავს წლებს 1850-1888 წწ., ხოლო ღიფწყლიანი ფაზა – 1889-1955 წლებს. ამასთან, ძირითადი ციკლის ღიფწყლიანი ფაზაში გაერთიანებულია შემადგენელი ციკლების მცირეწყლიანი და ღიფწყლიანი ფაზები.

თბილი პერიოდის ნალექების სელაში დაიკვირება ღიფწყლიანი ფაზა 1894-1940 წლებში და მცირეწყლიანი ფაზა 1941-1990 წლებში. წლიური ნალექებისთვის მცირეწყლიანი ფაზა მოიცავს წლებს 1850-1885 წწ., ხოლო ღიფწყლიანი – 1886-1955 წლებს.

ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდებიდან აღებული მონაცემებით (2.5)-(2.7) ფორმულების მიხედვით გამოვითვალეთ $k_{საგ}$ – საშუალო მოდულური კოეფიციენტები, δk – საშუალო მოდულური კოეფიციენტების ნორნიდან გადახრები და δQ – აგმოსფერული ნალექების შესაბამისი ნამრდები ციკლების ღიფწყლიანი და მცირეწყლიანი ფაზების შესაბამისი პერიოდებისათვის აღნიშნული გამოთვლები ციკლების და ფაზების შესაბამის ხანგრძლივობებთან და შესაბამის წლებთან ერთად წარმოდგენილია ცხრილ 2.23 - ში.

აგმოსუფრული ნალექების ციკლური რყევადობა
(თბილისი)

პერიოდი	ციკლის ხანგრძლივობა	წლები	დიდწყლ. უაზა	δK	K _{საა}	δQ	მცირეწყ უაზა	δK	K _{საა}	δQ
ცივი	ძირითადი 105	1850-1955	1889-1955	0,07	1,07	9,24	1850-1888	-0,1	0,9	-13,2
	შემადგენელი 60	1850-1910	1889-1910	0,13	1,13	17,2	1850-1888	-0,1	0,9	-13,2
	შემადგენელი 45	1910-1955	1928-1955	0,16	1,16	21,2	1910-1927	-0,15	0,85	-19,8
თბილი	ძირითადი 96	1894-1990	1894-1940	0,17	1,07	28,0	1941-1990	-0,05	0,95	-20,0
წელი	ძირითადი 105	1850-1955	1886-1955	0,04	1,04	21,2	1850-1885	-0,05	0,95	-26,5

აგმოსუფრული ნალექების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდების დეტალური ანალიზის საფუძველზე აგმოსუფრული ნალექების მრავალწლიან სელაში გამოავლინეთ ხანმოკლე დიდწყლიანი და მცირეწყლიანი პერიოდები. აღნიშნული პერიოდები, შესაბამის წლებთან და δK, K_{საა} და δQ მახასიათებლებთან ერთად, თბილი და ცივი პერიოდის ნალექებისა და ნალექთა წლიური ჯამებისათვის წარმოდგენილია ცხრილებში 2.2.4^ა - 2.2.4^ბ.

ცხრილი 2.2.4^ა

თბილი პერიოდის ნალექების დიდწყლიანი და მცირეწყლიანი ხანმოკლე პერიოდები, (თბილისი)

წლები	პერიოდი	δK	K _{საა}	δQ	წლები	პერიოდი	δK	K _{საა}	δQ
1845-1848	მცირეწყლ.	-0,13	0,87	-52	1924-1929	მცირეწყლ.	-0,17	0,83	-68
1849-1850	დიდწყლ.	0,4	1,4	160	1929-1931	დიდწყლ.	0,22	1,22	88
1851-1857	მცირეწყლ.	-0,14	0,86	-56	1932-1935	მცირეწყლ.	-0,22	0,78	-88
1858-1860	დიდწყლ.	0,11	1,11	44	1936-1940	დიდწყლ.	0,22	1,22	88
1861-1864	მცირეწყლ.	-0,07	0,93	-28	1941-1947	მცირეწყლ.	-0,08	0,92	-32
1865-1870	დიდწყლ.	0,14	1,14	56	1948-1952	დიდწყლ.	0,05	1,05	20
1871-1876	მცირეწყლ.	-0,1	0,9	-40	1953-1954	მცირეწყლ.	-0,22	0,78	-88
1877-1878	დიდწყლ.	0,35	1,35	140	1954-1955	დიდწყლ.	0,27	1,27	108
1879-1885	მცირეწყლ.	-0,11	0,89	-44	1956-1962	მცირეწყლ.	-0,16	0,84	-64
1886-1891	დიდწყლ.	0,08	1,08	32	1962-1963	დიდწყლ.	0,32	1,32	128
1891-1892	მცირეწყლ.	-0,2	0,8	-80	1964-1970	მცირეწყლ.	-0,11	0,89	-44
1893-1901	დიდწყლ.	0,1	0,9	40	1971-1972	დიდწყლ.	0,39	1,39	156
1902-1903	მცირეწყლ.	-0,08	0,92	-32	1973-1980	მცირეწყლ.	-0,08	0,91	-32
1904-1906	დიდწყლ.	0,24	1,24	96	1981-1983	დიდწყლ.	0,22	1,22	88
1906-1913	მცირეწყლ.	-0,09	0,91	-36	1984-1990	მცირეწყლ.	-0,21	0,79	-84
1914-1923	დიდწყლ.	0,18	1,18	72					

ცივი პერიოდის ნალექების ღიღწყლიანი და მციერწყლიანი ხანმოკლე პერიოდები (თბილისი)

წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δQ	წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δQ
1845-1850	ღიღწყ.	0,07	1,07	9	1919-1922	ღიღწყ.	0,31	1,31	41
1851-1858	მციერწყ.	-0,21	0,79	-28	1923-1927	მციერწყ.	-0,43	0,57	-56
1859-1860	ღიღწყ.	0,23	1,23	29	1928-1945	ღიღწყ.	0,6	1,6	79
1861-1868	მციერწყ.	-0,2	0,8	-27	1946-1947	მციერწყ.	-0,16	0,84	-21
1868-1870	ღიღწყ.	0,2	1,2	27	1948-1955	ღიღწყ.	0,13	1,13	17
1870-1872	მციერწყ.	-0,22	0,78	-29	1956-1967	მციერწყ.	-0,17	0,83	-22
1873-1880	ღიღწყ.	0,14	1,14	19	1968-1970	ღიღწყ.	0,2	1,2	27
1881-1888	მციერწყ.	-0,22	0,78	-29	1970-1971	მციერწყ.	-0,23	0,77	-30
1889-1893	ღიღწყ.	0,07	1,07	9	1972-1978	ღიღწყ.	0,17	1,17	22
1894-1897	მციერწყ.	-0,13	0,87	-17	1979-1985	მციერწყ.	-0,23	0,77	-30
1898-1901	ღიღწყ.	0,04	1,04	5	1986-1988	ღიღწყ.	0,4	1,4	50
1902-1906	მციერწყ.	-0,08	0,92	-10	1988-1989	მციერწყ.	-0,23	0,77	-30
1907-1910	ღიღწყ.	0,6	1,6	79	1989-1990	ღიღწყ.	0,13	1,13	17
1911-1918	მციერწყ.	-0,23	0,77	-30					

წლიური ნალექების ღიღწყლიანი და მციერწყლიანი ხანმოკლე პერიოდები (თბილისი)

წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δQ	წლები	პერიოდი	δK	K _{სა}	δQ
1850-1857	მციერწყ.	-0,16	0,84	-85	1919-1923	ღიღწყ.	0,16	1,16	85
1958-1960	ღიღწყ.	0,06	1,06	32	1924-1925	მციერწყ.	-0,2	0,8	-106
1961-1967	მციერწყ.	-0,07	0,93	-37	1926-1928	ნორმა	0	1,0	0
1868-1870	ღიღწყ.	0,2	1,2	106	1929-1931	ღიღწყ.	0,2	1,2	106
1870-1873	მციერწყ.	-0,2	0,8	-106	1932-1935	მციერწყ.	-0,13	0,87	-69
1874-1878	ღიღწყ.	0,14	1,14	74	1936-1952	ღიღწყ.	0,06	1,06	32
1879-1884	მციერწყ.	-0,16	0,84	-85	1952-1954	მციერწყ.	-0,17	0,83	-90
1885-1890	ღიღწყ.	0,12	1,12	64	1955-1956	ღიღწყ.	0,17	1,17	90
1891-1894	მციერწყ.	-0,13	0,87	-69	1957-1962	მციერწყ.	-0,14	0,86	-74
1895-1901	ღიღწყ.	0,1	1,1	53	1962-1963	ღიღწყ.	0,26	1,26	138
1902-1904	მციერწყ.	-0,06	0,94	-32	1964-1971	მციერწყ.	-0,11	0,89	-58
1905-1910	ღიღწყ.	0,08	1,08	42	1972-1976	ღიღწყ.	0,12	1,12	64
1911-1913	მციერწყ.	-0,09	0,91	-47	1977-1980	მციერწყ.	-0,06	0,94	-32
1914-1915	ღიღწყ.	0,2	1,2	106	1981-1983	ღიღწყ.	0,07	1,07	37
1916-1918	მციერწყ.	-0,08	0,92	-42	1984-1990	მციერწყ.	-0,08	0,92	-42

საზოგადოდ, ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური რყევა ამიერკავკასიაში არსებითად განსხვავდება ნალექების რყევადობისაგან

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ევროპულ გერიტორიაზე. მაგალითად 1900-1930 წლებში ამიერკავკასიაში, კერძოდ შავი ზღვის სანაპირო ქალაქებში – სოჩაში, სოხუმსა და ბათუმში, დაიკვირვებოდა ნორმაზე ნაკლები ნალექები მაშინ როცა, სამოგადოდ, ყოფილი საბჭოთა კავშირის ევროპულ გერიტორიაზე ადგილი ჰქონდა ნორმაზე მეტი რაოდენობის ნალექების გამოყოფას. ბაქოსა და ლენქორანში და ასევე მიმდებარე გერიტორიებზე ატმოსფერული ნალექების რყევადობის ხასიათი უახლოვდება შავი ზღვის სანაპირო ქალაქებში ნალექების რყევადობას. საპირისპირო სელა გამოვლინდა 1930-1960 წლებშიც. აღნიშნულ პერიოდებში თბილისში დაიკვირვებოდა ხანმოკლე დიდწყლიანი და მცირეწყლიანი პერიოდების მონაცვლეობა [22,36,46,67].

კლიმატის რეაქცია მზის აქტივობის რყევადობის მიმართ

3.1 აქტიური მოვლენები მზეზე, მისი ენერგეტიკული მახასიათებლები და კავშირი კლიმატურ ციკლებთან

დიდი ხანია ვარაუდობენ, რომ დედამიწაზე მზის ენერჯის მოდენის ფლუქტუაციები ვაულებას ახდენენ დედამიწის კლიმატზე.

მზის აქტივობა განისაზღვრება მზის ლაქების რაოდენობით, რომლებიც დაიკვირება მზის დისკზე დროის ვარკვეულ მომენტში [28] რაც უფრო მეტია მზეზე ლაქების რაოდენობა მით უფრო აქტიურია მზე

მზეზე ხშირად დაიკვირება აფეთქებები – ელექტრომაგნიტური ენერჯის გამოტყორცნა სპექტრის ხილულ, ულტრაიისფერ და რენტგენულ უბნებში. დიდი აფეთქებების დროს მზე ასხივებს რელატივისტურ ნაწილაკებს: პროტონებს, ალფა-ნაწილაკებს და ელექტრონებს. ამ გამოსხივებას უწოდებენ მზის კოსმოსურ სხივებს.

მზის აქტივობის არაპირდაპირი მახასიათებლებია პოლარული ციალი, გეომაგნიტური ქარიშხლები და გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ცვალებადობა. აღმოჩნდა, რომ მზის მაგნიტურ ველს აქვს მოწესრიგებული სტრუქტურა, ამასთან ძალწირები ქმნიან კარგად გამოხატულ სექტორებს, რომლებიც ერთმანეთისაგან მკვეთრი საზღვრებით არის გამოყოფილი. ამასთან დაკავშირებით შემოღებულ იქნა მზის აქტივობის ახალი მახასიათებელი – დედამიწის გადაკვეთა მაგნიტური სექტორების საზღვრებით [116,117].

განხილულ იქნა კორელაციური კავშირები ცალ-ცალკე მზის აქტივობის ყველა ჩამოთვლილ მახასიათებელსა და კლიმატურ ელემენტებს შორის [45,61, 119]. აღნიშნულ კავშირებს უკვე დიდი ხანია იკვლევენ, მაგრამ ყოულადაღიარებული შედეგები ჯერ არ არის მიღებული. ეს, ძირითადად, სამი მიზეზით აიხსნება:

1) დაკვირვებადი კორელაციები ხშირად ირღვევა მზის აქტივობის რამოდენიმე ციკლის შემდეგ;

2) ჯერ-ჯერობით არ არის ახსნილი მიზეზობრივი კავშირი მზის აქტივობასა და დედამიწის კლიმატს შორის;

3) მზიდან მოსული ენერჯია, რომელიც დაკავშირებულია მზის აქტივობასთან ბევრად მცირეა მზის რადიაციულ ენერჯიაზე, რომელიც გამუდმებით მოედინება მზიდან.

აღნიშნული წინააღმდეგობები, ძირითადად, გაპირობებულია იმით, რომ მზის ენერჯია დედამიწაზე სხვადასხვაგვარი ფორმით მოდის და ზოგიერთი მათგანი შესაძლებელია ეკრანირებული იქნას დედამიწის მაგნიტური ველით. ამის გარდა, მზის ენერჯის ზოგიერთი ფორმა არის კორელირებადი ერთმანეთთან. ასევე, მზიური მოვლენების განვითარებას და მათთან დაკავშირებულ ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებს შესაძლოა ჰქონდეთ სხვადასხვა დაგვიანებები ატმოსფეროს სხვადასხვა დონეზე და სხვადასხვა

გეოგრაფიულ განედზე [48,49,75]. აღნიშნული წინააღმდეგობები კიდევ უფრო ღრმავდება თვით კლიმატური მექანიზმების სირთულის გამო, რაც გამოიხატება სხვადასხვა უკუკავშირებსა და მეორე რიგის ეფექტებში, რომლებიც არ არის დაკავშირებული მზის აქტივობასთან და ფარავენ მის გავლენას.

განვიხილოთ მზის ზოგიერთი ენერგეტიკული მახასიათებელი.

1) მზის ლაქები.

მზის ლაქა არის შედარებით ბნელი, მკვეთრად შემოსაზღვრული უბანი, მზის დისკზე. ლაქის ცენტრში მდებარეობს ჩრდილის უბანი, რომლის ტემპერატურა 2000K-ით ნაკლებია ფოტოსფეროს ეფექტურ ტემპერატურაზე. ჩრდილი შემოსაზღვრულია ნაკლებად ბნელი უბნით, რომელსაც ნახევრადჩრდილი ეწოდება. მზის ლაქის საშუალო დიამეტრია 3700 კმ, თუმცა დიდი ლაქებისთვის დიამეტრი ზოგჯერ აღწევს 245 000 კილომეტრსაც. მზის ლაქები, როგორც წესი, ქმნიან ორ, ან მეტი ლაქისაგან შემდგარ ჯგუფებს. მზის ლაქის მაგნიტური ველი ბევრად აღემატება მზის დისკის მაგნიტურ ველს, ამასთან, ბიპოლარულ ჯგუფებში წამყვანი ლაქის პოლარობა საპირისპიროა შემდგომი ლაქის პოლარობისა. მზის ლაქების აღმოჩენა ეკუთვნის გალილეო გალილეის 1610 წელს, თუმცა ცნობილია, რომ დაკვირვებები მზის ლაქებზე ჩინეთში მიმდინარეობდა ჯერ კიდევ თხუთმეტი საუკუნის წინ.

მზის ლაქების ციკლური განვითარება აღმოაჩინა გერნის შეაბემ 1826-1843 წლებში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე. მან დაადგინა, რომ ციკლის ხანგრძლივობა დაახლოებით ათი წელიწადია. ამის შემდგომ რუდოლფ ვოლფმა ძველი მასალების დამუშავების საფუძველზე აღმოაჩინა, რომ ასეთი ციკლები არსებობდა წარსულშიც 1700-1848 წლებში, ამასთან თითოეული ციკლის ხანგრძლივობა საშუალოდ 11,1 წელი იყო [111]. ვოლფმა შემოიტანა მზის აქტივობის განმსაზღვრელი შემდეგი ფორმულა:

$$W = k(10j + f) \quad (3.1)$$

სადაც W არის მზის აქტივობის განმსაზღვრელი ვოლფის რიცხვები, f – მზის დისკზე დაკვირვებადი ლაქების რაოდენობა, j – ლაქათა ჯგუფების რაოდენობა, k – გაზომვის მეთოდზე დამოკიდებული მამრაველი.

ყოველი ახალი ციკლი იწყება მაღალ პელიოკლიმატურ განედებზე ახალი ლაქების გაჩენით. შემდეგ ლაქები ჩნდება შედარებით დაბალ განედებზეც და ბოლოს ეკვატორიდან 5⁰-ის დამორებით. ყოველ 11-წლიან ციკლს, რომელიც მინიმუმდანი მინიმუმამდე იზომება, გარკვეული ნომერი შეესაბამება. პირველი ციკლი მოიცავს წლებს 1756-1766 წწ. და ა.შ. აღმოჩნდა, რომ 1-ლი, 2-ე, 3-ე და 4-ე ციკლები 17-ე, 18-ე, 19-ე და 20-ე ციკლების მსგავსია. ამის საფუძველზე შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ არსებობს მზის აქტივობის 180-წლიანი ციკლი. ასევე დაიკვირვება მსგავსება 5-ე, 6-ე, 7-ე და 12-ე, 13-ე, 14-ე ციკლებს შორის, რაც მიგვიბრუნებს 80-წლიან პერიოდულობაზე [103].

მზის ლაქების მაგნიტური თვისებების გათვალისწინებით ხელიმ აღმოაჩინა მზის აქტივობის 22-წლიანი ციკლი. ამ ციკლის განმავლობაში

მაგნიტური პოლარობის განაწილება ბიპოლარულ ჯგუფებში იცვლება საპირისპიროთი და კვლავ უბრუნდება თავდაპირველს. ამგვარად, 22-წლიანი ხილის ციკლი შედგება ორი მომდევნო 11-წლიანი ციკლისაგან. პოლარობის შეცვლა ხდება 11-წლიანი ციკლის მინიმუმებში. დადებით (კენტი) ციკლში წამყვანი ლაქის პოლარობა მზის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში დადებითია (მაგნიტური ველი მიმართულია გარეთ), ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში – პირიქით. დადებითი ციკლის ბოლოს პოლარობები იცვლება და არსებობს შემდეგი უარყოფითი (ლუწი) ციკლის განმავლობაში.

2. მზის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება.

მზის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერჯის 99,9% მოდის 217-10 940 ნმ. ტალღის დიაპაზონზე. ეს ნიშნავს, რომ თითქმის მთელი ენერჯია მოდის სპექტრის ხილულ, ინფრაწითელ და ულტრაიისფერ უბნებზე.

მზის გამოსხივების ენერჯია – მზის რადიაცია – გავლენას ახდენს ატმოსფეროს ცირკულაციაზე და ამგვარად, მოქმედებს დედამიწის კლიმატზეც. მზის გამოსხივების მაქსიმუმი მოდის ატმოსფეროს ზედა საზღვარზე სპექტრის ხილულ უბანზე – 400-700 ნმ. გამოსხივების ენერჯის ნაკადის საშუალო სიმკვრივეს ატმოსფეროს ზედა საზღვარზე, გაინტეგრირებულს გამოსხივების მთელ დიაპაზონზე, მზის მუდმივა ეწოდება. მისი მიახლოებითი მნიშვნელობა არის $1,353 \times 10^3$ ვტ.მ² [41,107]. გამოსხივების ენერჯის ცვლილება მხოლოდ რამოდენიმე შეათვლი პროცენტით საკმარისია იმისათვის, რომ დედამიწის ატმოსფეროში მოხდეს ძირეული ცვლილებები [110].

რაკეტებსა და თანამგზავრებზე ჩატარებული გამოცემები მოიცავენ გამოსხივების სპექტრს რენტგენული სხივებიდან ახლო ულტრაიისფერ გამოსხივებამდე. აღმოჩნდა, რომ რენტგენული გამოსხივება მკვეთრად იზრდება მზეზე აფეთქებების დროს და გრძელდება რამდენიმე საათის განმავლობაში [114].

მზის ერთი მობრუნებისას (27 დღე-ღამე) დედამიწას კვეთს მაგნიტური სექტორების ორი ან ოთხი სამღვარი. ვინაიდან, მზის პროტონული აფეთქებები, როგორც წესი, დაიკვირვება მაგნიტური სექტორების საზღვრებთან, მოსალოდნელია კორელაციის არსებობა მზის ულტრაიისფერ გამოსხივებასა და დედამიწაზე მაგნიტური სექტორების საზღვრების განვლადობას შორის. წლების მანძილზე ჩატარებულმა მაგნიტური ქარიშხლების გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ რეკურენტული დაბრუნების გენდენცია 27 დღე-ღამის შემდეგ უფრო ხშირად დაიკვირვება მზის აქტივობის მინიმუმის წლებში [84]. ეს იმით აიხსნება, რომ მზის დაბალი აქტივობის დროს მზეზე დაიკვირვება აქტიური უბნების ნაკლები რაოდენობა, ვიდრე აქტივობის მაქსიმუმის დროს. აქტიური უბნები არსებობენ მზის რამოდენიმე შემობრუნების განმავლობაში. მზის აქტივობის მაქსიმუმის წლებში მზის დისკზე განუწყვეტლავ მიმდინარეობს ახალი აქტიური უბნების წარმოქმნა და ამის გამო 27 დღე-ღამური რეკურენტუების წარმოქმნა გაძნელებულია.

როგორც უკვე ავლინნეთ, მზის ულტრაიისფერი გამოსხივება იზრდება მზეზე აქტიური უბნების გაჩენის და აფეთქებების დროს. რადგანაც ვოლფის

რიცხვები მზის აქტივობის საზომს წარმოადგენენ, ამიტომ მზის ულტრაიისფერ გამოსხივებაში მოსალოდნელია 11-წლიანი ვარიაციების არსებობა. ეს მართლაც ჰუმპარიტი აღმოჩნდა 120-300 ნმ. სპექტრალური უბნისათვის [83]. რაც შეეხება რენტგენულ გამოსხივებას, თანამგზავრებზე ჩატარებულმა დაკვირვებებმა აჩვენეს, რომ მისი ინტენსივობა შესაძლოა დაახლოებით 5-ჯერ შემცირდეს მზის მაქსიმალური აქტივობიდან მინიმალურზე გადასვლისას [113].

მზემე ყველაზე უფრო მოკლევალიან აქტიურ მოვლენას წარმოადგენს მზის აფეთქება. აფეთქებები, როგორც წესი, ჩნდება მზის ლაქების ჭარბი რაოდენობის უბნებში. მათი ხანგრძლივობა რამდენიმე წუთიდან რამდენიმე საათამდეა. სუსტი აფეთქებების სიხშირე კარგად კორელირებს მზის აქტივობის 11-წლიან ციკლთან. ძლიერი აფეთქებების სიხშირე მაქსიმალურია მზის აქტივობის მაქსიმუმის წლებში, თუმცა აფეთქებები დაიკვირება ნებისმიერ სხვა დროსაც. ვარაუდობენ, რომ ძლიერი აფეთქებების სიხშირეს 11-წლიან ციკლში აქვს ორი მაქსიმუმი, ამასთან მეორე მაქსიმუმი დაიკვირება მზის აქტივობის მაქსიმუმიდან რამოდენიმე წლის შემდეგ [54].

3. მზის კორპუსკულური რადიაცია.

ძლიერი აფეთქებების დროს მზის ლაქების ჯგუფებიდან გამოიტყორცნება მაღალი ენერჯის რელატივისტური პროტონები და ელექტრონები. მათი სიჩქარე ნაკლებია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავრცელების სიჩქარეზე. ნაწილაკები დედამიწას აღწევენ გამოსხივებიდან 1-2 საათის შემდეგ. კორპუსკულარული გამოსხივება მედის მეღა აგმოსფეროში (პოლარულ რეგიონში) და იწვევს მოვლენას, რომელსაც ეწოდება “შთანთქმა პოლარულ ქულში”. კორპუსკულურ გამოსხივებას უწოდებენ მზის კოსმოსურ პროტონებს, ან უბრალოდ მზის პროტონებს. პროტონების გამოსხივების ხანგრძლივობა 1 დღე-ღამიდან 5-6 დღე-ღამემდე იცვლება [76]. პოლარული შთანთქმის თითქმის ყველა მოვლენა დაკავშირებულია გეომაგნიტურ ქარიშხლებთან. ქარიშხალი იწყება შთანთქმის დაწყებიდან დაახლოებით 20 საათის შემდეგ [81]. აღმოჩნდა, რომ შთანთქმის მოვლენა გაცილებით უფრო ხშირად დაიკვირება მზის აქტივობის აქტივობის 11-წლიანი ციკლის მაქსიმუმის წლებში. რაც შეეხება მზის პროტონების 27-დღე-ღამურ რეკურენციას, ის ძირითადად დაიკვირება დაბალი აქტივობის წლებში. ეს შესაძლებელია დაკავშირებული იყოს მზის მაგნიტური ველის სექტორულ სტრუქტურასთან, რომელიც ხშირად ირღვევა მზის მაღალი აქტივობისას ახალი აქტიური კერების გაჩენის გამო.

დადგინდა, რომ მზის კორპუსკულურ გამოსხივებასთან დაკავშირებული მოვლენები, რომლებიც დედამიწის აგმოსფეროში ელინდება, დამოკიდებულია გამოსხივებული ნაწილაკების ენერგეტიკულ სპექტრზე [57,106].

4. გალაქტიკური კოსმოსური სხივები.

გალაქტიკური კოსმოსური სხივები დედამიწის მახლობლად თითქმის იზოტროპიულად არის განაწილებული. გეომაგნიტურ ველს და დედამიწის აგმოსფეროს შემოთება შეაქვთ მათ ინტენსივობაში და იგი დამოკიდებული ხდება მაგნიტურ ვანედზე, სიმაღლეზე და სხივებში შემავალი ნაწილაკების

ენერჯიაზე. კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ხანმოკლე ვარიაციები, ასევე, დაკავშირებულია მზის აფეთქებებთან და მზის მაგნიტური სექტორების სტრუქტურის შეცვლასთან [80].

დადგინდა, რომ კოსმოსური სხივების ინტენსივობის სამუქლო ღონე უარყოფითად კორელირებს ვოლფის რიცხვებთან.

11-წლიანი ვარიაციების გარდა აღმოჩენილ იქნა კოსმოსური სხივების ინტენსივობის უფრო გრძელვადიანი პერიოდული, თუ არაპერიოდული ვარიაციები. დაიკვირება ინტენსივობის 22-წლიანი ვარიაცია მცირე ამპლიტუდით, რომელმაც მაქსიმუმები ჩნდება ხეილის ციკლის მინიმუმის წლებში [80]

თანამგზავრებზე ჩატარებულმა გამოძიებმა აჩვენეს, რომ კოსმოსური სხივების ენერჯეტიკულ სპექტრში 500 მევ-ზე დაბალი ენერჯიები მზის აქტივობის 11-წლიან ციკლში შეტად ცვალებადობს, ვიდრე 500 მევ-ზე მაღალი ენერჯიები.

კოსმოსურ სხივებთან დაკავშირებული აგმოსფეროს იონიზაციის ცვალებადობა სიმაღლის მიხედვით გამოკვლეული იქნა მთელი რივი მეცნიერების მიერ [91,96]. აღმოჩნდა, რომ იონიზაცია იზრდება ეკვატორიდან 50-60⁰-იან განედებამდე და შემდეგ ქმნის ე.წ. მუხლს, რომელიც სიმაღლის ზრდასთან ერთად ინაცვლებს მაღალი განედებისკენ. მაქსიმალური იონიზაცია მიმდინარეობს 12-20 კმ სიმაღლეებზე.

5. გეომაგნიტური აქტიურობა.

მზის რადიაციის ერთ-ერთი გამოვლენა - გეომაგნიტური ქარიშხალი წარმოიქმნება დედამიწის გარემომცველ კოსმოსურ სივრცეში და წარმოადგენს მზის აქტივობის არაპირდაპირ მაჩვენებელს. გეომაგნიტური ქარიშხალი გეომაგნიტური ველის ძლიერი ფლუქტუაციების ერთობლიობაა, რომელთა ხანგრძლივობა მერყეობს ერთი დღე-დამიდან რამოდენიმე დღე-დამამდე. გეომაგნიტური ქარიშხლები დაიკვირება მზის აფეთქებების შემდეგ და მათი მიზეზია აფეთქების დროს გამოგყორცილი მაღალენერჯეტიკული კორპუსკულური ნაკადები. ჯერ კიდევ XIX საუკუნეში ცნობილი იყო, რომ გეომაგნიტური აქტიურობა ცვალებადობს მზის აქტივობის 11-წლიან ციკლთან კავშირში.

გეომაგნიტური ქარიშხლები დაკავშირებულია ისეთ მოვლენებთან, როგორცაა პოლარული ციალი, რადიოგალღების შთანთქმა და სხვა.

6. სრული რადიაციული ინდექსი.

მზის აქტივობის ცვალებადობის გარდა (მზის აქტივობის ციკლურობა) დედამიწაზე მოსული რადიაციის ცვლილებას კიდევ ორი ფაქტორი განსაზღვრავს. ეს ფაქტორებია ე.წ. სათბურის გაზები (ძირითადად ნახშირორჟანგი) და აეროზოლები - ბუნებრივი და ანთროპოგენური. ეს ორი ფაქტორი, მზის აქტივობასთან ერთად, ითვლება კლიმატის წარმოქმნელ გარემო ფაქტორებად და სამივე ერთად შეადგენენ ე.წ. სრულ რადიაციულ ინდექსს. სწორედ ეს ჯამური ინდექსი არის დედამიწის კლიმატზე მზის რადიაციის გავლენის სრული მაჩვენებელი [41]

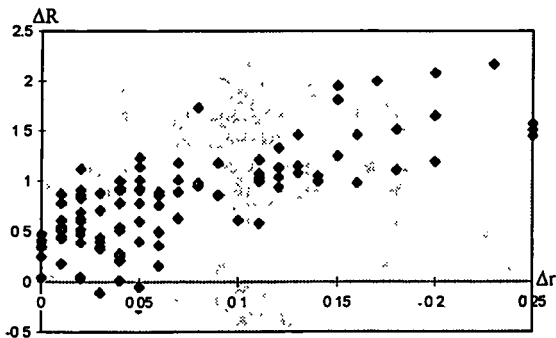
ამგვარად, სრულ რადიაციულ ინდექსში შედის შემდეგი სამი კომპონენტი:

1) რადიაციის მოდენის ცვლილება მზის დისკის სიკაშკაშის (მზის აქტივობის) ცვლილების გამო. იგი შეიცავს მზის ლაქების 11-წლიან ციკლურობას;

2) რადიაციის მოდენის ცვლილება დაკავშირებული ატმოსფეროში სათბურის გაზების კონცენტრაციის ცვლილებასთან;

3) რადიაციის მოდენის ცვლილება დაკავშირებული ატმოსფეროში ბუნებრივი (ველკანური) და ანთროპოგენური წარმოშობის აეროზოლების შემცველობის ცვლილებით.

სრულ რადიაციულ ინდექსში ყველაზე ნაკლებია პირველი ფაქტორის – მზის აქტივობის ცვლილების ხვედრითი წილი. მიუხედავად ამისა, კლიმატის ცვლილებაზე მზის რადიაციის ცვლილების გავლენის შესწავლის დროს, ძირითადად, ითვალისწინებენ არა სრული რადიაციული ინდექსის ცვლილებას, არამედ მისი მხოლოდ ერთი შემადგენელი კომპონენტის – მზის აქტივობის რყევადობას. იმის შესაფასებლად, თუ რამდენად მისაღებია ასეთი დაშვება, აუაგეთ მზის აქტივობის რყევადობაზე (ΔR) სრული რადიაციული ინდექსის ცვლილების (ΔR) დამოკიდებულების მრუდი (ნახ. 3.1). გრაფიკის ასაგებად გამოვიყენეთ სრული რადიაციული ინდექსის და მზის აქტივობის ყოველწლიური ცვლილების ბოლო 100 წლის მონაცემები [41]



ნახ. 3.1 სრული რადიაციული ინდექსის ცვლილების (ΔR ვტ/მ²) დამოკიდებულება მზის აქტივობის რყევადობაზე (Δr ვტ/მ²).

როგორც ნახაზიდან ჩანს, აღნიშნულ პარამეტრებს შორის ვლინდება გარკვეული დამოკიდებულება. კერძოდ, მზის აქტივობის ცვლილების მაღალ მნიშვნელობებს, ძირითადად, შეესაბამება სრული რადიაციული ინდექსის ცვლილების მაღალი მნიშვნელობები. ამგვარი დამოკიდებულება საფუძველს გვაძლევს ჩვენს გამოკვლევებში, კლიმატზე მზის რადიაციის გავლენის როლის შესწავლის დროს, სრული რადიაციული ინდექსის ნაცელად მხედველობაში

მივიღოთ მხოლოდ მზის აქტიუობის გავლენის როლი, რომლის ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენენ ვოლფის რიცხვები.

ჩატარებული იყო მრავალი გამოკვლევა, რათა დადგენილიყო კავშირი მზის აქტიუობის რყევადობის 11-წლიან ციკლსა და ძირითადი კლიმატური ელემენტების რყევადობას შორის [28,69,77,85,92]

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ კორელაცია მზის აქტიუობასა და ატმოსფერულ ნალექებს შორის შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ან საერთოდ არ არსებობდეს იმის მიხედვით თუ სად ტარდება გამოკვლევები. მაგალითად, მთელ რიგ სადგურებზე ჩატარებული გამოკვლევების დამუშავების საფუძველზე მოუპ აჩვენა, რომ 69 მეტეოროლოგიურ სადგურზე დაიკვირვებოდა დადებითი კორელაცია, 81-ზე უარყოფითი, ხოლო ორ სადგურზე კორელაცია არ აღმოჩნდა არსებითი. დადებითი კორელაციის უბნები, მოუს მიხედვით, ემთხვევა უბნებს, რომელთათვისაც კლვიტონმა აღმოაჩინა ნალექების სიჭარბე [28]. ასევე დადგინდა, რომ ზომიერ განედების სიგაკონტინენტურ სადგურებზე ზამთარში ატმოსფერულ ნალექებს აქვთ უარყოფითი კორელაცია ვოლფის რიცხვებთან, ხოლო მაფხულში – დადებითი. კანადის და ჩილის სანაპირო სადგურებზე, ავსტრალიის სამხრეთ სანაპიროსა და ახალი ზელანდიის სანაპირო სადგურებზე ზამთარში კორელაცია დადებითია, ხოლო მაფხულში – უარყოფითი [69].

ზომიერი განედების ჩრდილოეთ გერიტორიებზე ზამთრის ნალექები, ძირითადად, თოვლის სახით გვევლინება. კლვიტონმა ერთ-ერთმა პირველთაგანმა გამოიკვლია კორელაცია ზამთრის ნალექებსა და ვოლფის რიცხვებს შორის ჩრდილოეთი განედების სანაპირო რეგიონებში. აღმოჩნდა, რომ ნალექების უდიდესი რაოდენობა (ნორმაზე 25%-ით მეტი) გამოიყოფა ერთი წლით ადრე მზის მაქსიმუმამდე, ხოლო უმცირესი რაოდენობა (ნორმაზე 20%-ით ნაკლები) – მზის აქტიუობის მინიმუმის წლებში [69].

ნალექების დონის არაპირდაპირი მახასიათებელია წლის დონე ტბებში. კორელაციის კოეფიციენტი ტბაზე ვიქტორია 1930 წლამდე დადებითი იყო – +0,88 1930 წლიდან კოეფიციენტი შემცირდა და 1950 წლიდან უარყოფითი გახდა [92].

საბოლოოდ, შეიძლება ითქვას, რომ ატმოსფერული ნალექების საშუალო წლიური დონის ცვლილება შესაძლებელია დამოკიდებული იყოს მზის აქტიუობის 11-წლიან ციკლურობაზე. მზის მაღალი აქტიუობის წლებში დაიკვირება ნალექების ჭარბი რაოდენობით გამოყოფის გენდენცია ეკვატორულ ზონაში, ნორმაზე ნაკლები რაოდენობის გამოყოფა ზომიერ განედებზე (20-40°) და კვლავ ჭარბი რაოდენობის გამოყოფა 40°-ზე მაღალ განედებზე [28].

დედამიწის მიწისპირა ფენის ჰაერის ტემპერატურის და მზის აქტიუობის კორელაციის გამოკვლევის დროს მიღებულ იქნა ურთიერთგამომრიცხავი შედეგები. კორელაცია მზის აქტიუობის 11-წლიან ციკლთან აღმოჩნდა როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი იმის მიხედვით თუ სად და რა დროითი პერიოდისათვის ტარდებოდა გამოკვლევები.

1880-1970 წლებში ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს საშუალო წლიური ტემპერატურის სელაში ტემპერატურის მინიმუმები, თითქმის ყველა შემთხვევაში ეთანადება მზის აქტიუობის მაქსიმუმებს, ხოლო ტემპერატურის მაქსიმუმები – მზის აქტიუობის მინიმუმებს [85].

გლობალური სამუქლო წლიური გემპერატურის სელამი, II-წლიანი ვარიაციების გარდა, დაიკვირება მისი მღორე ცელილებიცი, რომლებიცი, როგორც ვარაუდობენ, დაკავშირებულია მზის აქტიუობის უფრო ხანგრძლიე ვარიაციუბთან. კერძოდ, 1880-1940 წლებში დაიკვირება დათბობის ტენდენცია, ხოლო 1940-1970 წლებში სამუქლო გემპერატურა, სამოგადოდ, მცირდება. გემპერატურის ცელილების ამგვარი ხასიათი შესაძლებელია დაკავშირებული იყოს მზის აქტიუობის 90-წლიან ციკლთან [28].

აღმოჩნდა, რომ მზის აქტიუობის მინიმუმი 1645-1715 წლებში – მაუნდერის მინიმუმი – ემთხვევა მცირე გამყინვარების ყველაზე უფრო ციე პერიოდს, ხოლო შპერერის მინიმუმი 1460-1550 წლებში – მცირე აციუებას XV საუკუნეში. მზის აქტიუობის დიდი მაქსიმუმი შეესაბამება საყოველთაო დათბობას XII-XIII საუკუნეებში [77].

დიდი ხანია გამოითქვა მოსაზრება, რომ დედამიწის კლიმატზე მზის აქტიუობის გავლენა საუკუთესოდ ელინდება ბარიული სისტემების ლოკალიზაციაში, მათ ინტენსიუობასა და ცვალებადობაში და გენერირებულ ქარებში. დადგინდა, რომ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს კონტინენტებზე მზის მაღალი აქტიუობის წლებში არსებობს წნევის მომატების ტენდენცია ზამთარში, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროს კონტინენტებზე – ზაფხულში. ოკეანეებზე წნევის ცელილების ტენდენციას საპირისპირო ხასიათი აქვს [28].

მზის აქტიუობას და მიწისპირა წნევის კორელაციის დასადგენად მოუმ ჩაატარა გამოკვლევები 87 მეტეოსადგურის მონაცემების საფუძველზე [28]. დადებითი კორელაცია დადგენილ იქნა 39 სადგურზე, ამასთან 10 სადგურზე კორელაციის კოეფიციენტი აღემატებოდა +0,24-ს. დანარჩენ 48 სადგურზე კორელაცია უარყოფითი აღმოჩნდა, ამასთან 15 სადგურზე კორელაციის კოეფიციენტი აღემატებოდა -0,27-ს. ამრიგად, კორელაცია ძალზე აბაალი აღმოჩნდა, რაც იმის მიმანიშნებელია, რომ ატმოსფერული წნევის ცელილება, მზის აქტიუობის რყეუადობის გარდა, სხვა ფაქტორებზეცაა დამოკიდებული.

სამოგადოდ დადგინდა, რომ მზის მაქსიმალური აქტიუობის წლებში ატმოსფერული წნევა მცირდება ეკვატორზე, ხოლო მაღალ განედებზე – მატულობს [98].

აღმოჩნდა, რომ ზოგიერთი კლიმატური პარამეტრი უკუთესად კორელირებს მზის აქტიუობის 22-წლიან ხეილის ციკლთან.

გვალივანობა მჭიდროდ არის დაკავშირებული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობასთან. რობერტსის გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ აშშ - ში 1850-1970 წლების განმავლობაში გვალივან რეგიონებში აშკარად დაიკვირება გვალების გამეორების ტენდენცია 20-22 წლის პერიოდულუბით [103]. რაც შეეხება ჰაერის ტემპერატურას, დადგინდა, რომ ტემპერატურის სელამი 22-წლიანი პერიოდულუბა დედამიწის მრავალ რეგიონში ელინდება [55].

მთელი რიგი გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა პლანეტარული წნევის ვარიაციუბის მჭიდრო კავშირი მზის აქტიუობის 22-წლიან ციკლთან. საბჭოთა მეცნიერებმა მაქსიმუმმა და სლექუმო-შეველევიჩმა აჩვენეს, რომ მაღალ განედებში მიწისპირა ფენის წნევა ლუწი ციკლების მაქსიმუმებში ნაკლებია, ხოლო კენტი ციკლების მაქსიმუმებში მეტია წნევის სამუქლო დონეზე [51].

საბჭოთა მეცნიერების შედეგებს ეთანხმება მაილზის გამოკვლევები [98]. მან დაადგინა, რომ ისლანდიის მინიმუმის მახლობლად წნევა მინიმალურია ლუწი ციკლების მაქსიმუმებში.

სამოგადოდ, მიწისპირა ფენის წნევაზე მზის რადიაციის გავლენა სხვადასხვანაირად ელინდება და სამოგადოდ, დამოკიდებულია განედსა და გრძედზე.

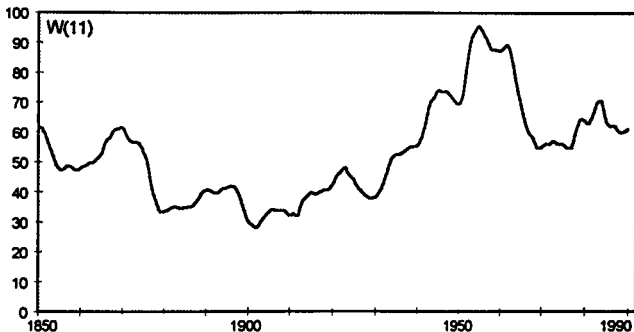
უნდა აღინიშნოს, რომ XX საუკუნის 20-იანი წლები კრიტიკული აღმოჩნდა უმეტესობა კლიმატური ელემენტისათვის. კორელაცია მზის აქტიუობასა და ძირითად კლიმატურ ელემენტებს შორის ირლევოდა და იცვლიდა ნიშანს არსებობის რამოდენიმე ციკლის შემდეგ გამოკვლევების დროს დაშვებული შეცდომები არ არის კორელაციის დარღვევის ერთადერთი მიზეზი და დარღვევა დაკავშირებული უნდა იყოს სხვა კლიმატურ ფაქტორებთან, რომლებიც თავის მხრივ არ არის დაკავშირებული მზის აქტიუობასთან, ხანგრძლივი დროის განმავლობაში უმნიშვნელოა, მაგრამ რაღაც პერიოდში არსებითი ხდება [28].

აღნიშნულ პერიოდში მზის აქტიუობის სვლაში არ შეინიშნება რაიმე განსაკუთრებულობა. 1922 წელს დაიკვირებოდა აქტიუობის მინიმუმი, რომელმაც დააბოლოვა კენტი ციკლი, თუმცა საყურადღებოა ფაქტი, რომ ეს მინიმუმი დაემთხვა მზის აქტიუობის 90-წლიანი ციკლის მინიმუმს, ე.ი. მდებარეობდა ორ დიდ მაქსიმუმს შორის.

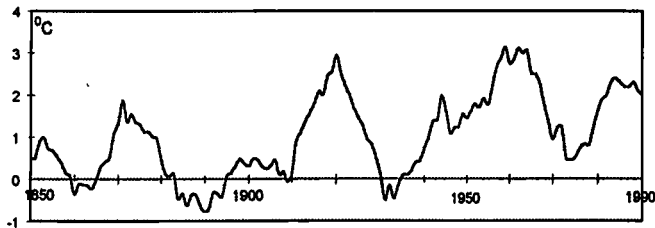
3.2 კლიმატის რყევადობა მზის აქტივობის საუკუნოვანი ციკლის ფონზე

მზის აქტივობის რყევადობის სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლებს შორის კლიმატოლოგიის თვალსაზრისით ერთ-ერთი ყველაზე გამოხატული და მნიშვნელოვანი ციკლი არის ე.წ. საუკუნოვანი ციკლი, რომლის ხანგრძლივობა, საშუალოდ, 90 წელიწადია [39,64]. აღნიშნული ციკლი დაიკვირვება ჩვენს მიერ აგებულ ვოლფის რიცხვების 11-წლიან საშუალო მყოცაეზე (ნახ. 3.2-ის ა) და მოიცავს პერიოდს 1880-1970წწ.

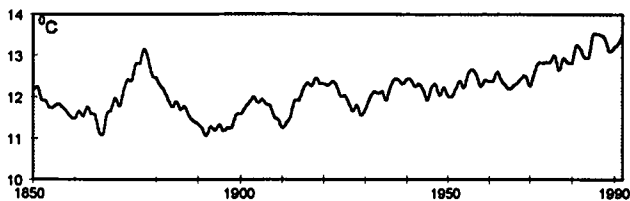
ა)



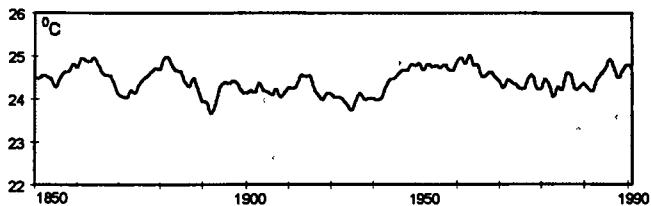
ბ)



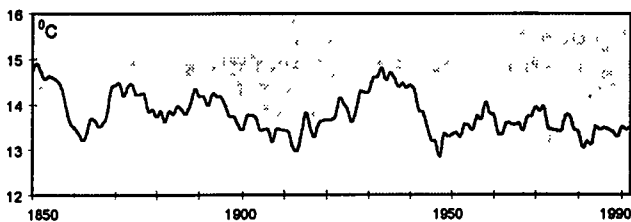
ა)



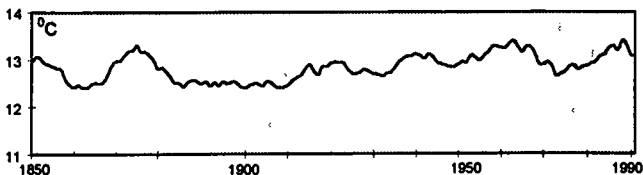
ბ)



გ)



დ)



ნახ. 32 11-წლიანი საშუალო მცოცაეები: ა) ვოლჟის რიცხვები; ბ) იანურის ტემპერატურა; გ) აპრილის ტემპერატურა; დ) იელისის ტემპერატურა; ე) ოქტომბრის ტემპერატურა; ე) წლიური ტემპერატურა.

მზის აქტივობის საუკუნოვან ციკლში (ნახ. 3.2) მონაცვლეობდნენ მზის აქტივობის მინიმუმის და მაქსიმუმის ეპოქები შესაბამისად 1880-1930 წლებსა და 1930-1970 წლებში. იგივე გრაფიკზე წარმოდგენილია გასული საუკუნის აქტივობის მაქსიმუმის ეპოქის ნაწილი და ასევე 1970 წლიდან დაწყებული მზის აქტივობის მინიმუმის ეპოქა, რომელიც დღესაც გრძელდება.

თბილისში მეტეოროლოგიურ დაკვირვებებს მზის აქტივობის საუკუნოვან ციკლთან შედარებით გაცილებით მეტი პერიოდი გააჩნია (150 წელი), რაც საშუალებას გვაძლევს გამოვიყვილოთ თბილისის კლიმატის მრავალწლიანი ცვლილება მზის აქტივობის საუკუნოვანი ციკლის ფონზე. ჩვენს მიერ აგებული იქნა თბილისის ტემპერატურის 11-წლიანი საშუალო მყოცავები სეზონების ცენტრალური თვეებისა და წელიწადისათვის (ნახ. 3.2-ის ბ-ე). მათი შედარება მზის აქტივობის სელასთან (ნახ. 3.2-ის ა), საშუალებას გვაძლევს დაეასკუნათ, რომ დაიკვირება კარგი მსგავსება მზის აქტივობის სელას და იანერის საშუალო ტემპერატურის სელას შორის. ასევე, გარკვეული მსგავსება შეინიშნება სხვა თვეების საშუალო ტემპერატურებისა და წლიური ტემპერატურის სელასთან, თუმცა შედარებით სუსტი

დაკვირვებათა 150-წლიანი ინტერვალი (1844-1994წწ.), მზის აქტივობის ღონის მიხედვით, შესაძლებელია დაიყოს მზის აქტივობის შემდეგ ეპოქებად:

- ა) მაქსიმუმის I ეპოქა (1844-1880წწ.);
- ბ) მინიმუმის I ეპოქა (1880-1930წწ.);
- გ) მაქსიმუმის II ეპოქა (1930-1970წწ.);
- დ) მინიმუმის II ეპოქა (1970-1994წწ.).

განსხვავდება თუ არა მზის აქტივობის სხვადასხვა ეპოქებში ძირითადი კლიმატური ელემენტების საშუალო ღონე თბილისისათვის? ამის დასადგენად გამოვიტვალეთ ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების საშუალო მნიშვნელობები თითოეული ეპოქისთვის და მოვახდინეთ მათი შედარება. გათვლების შედეგები მოყვანილია ცხრილ 3.2.1-ში.

ცხრილი 3.2.1

ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების შედარებითი ანალიზი მზის აქტივობის სხვადასხვა ეპოქებში და განსხვავების სტატისტიკური ნიშნალობა P% (თბილისი)

მზის აქტივობის ეპოქა წწ.	ტემპერატურა °C					ნალექები მმ		
	თვე					ცივი	თბილი	წელი
	I	IV	VII	X	წელი			
მაქსიმუმი I (1844-1880)	0,6	12,0	24,6	14,1	12,9	116	393	509
მინიმუმი I (1880-1930)	0,6	11,9	24,3	13,7	12,6	132	415	547
მაქსიმუმი II (1930-1970)	1,4	12,2	24,5	13,9	13,0	120	392	512
მინიმუმი II (1970-1994)	1,4	12,6	24,3	13,5	12,9	130	395	525
სხვაობის ნიშნალობა P%								
მაქს. I - მინ. I	არა	არა	99,9	99,9	99,0	99,9	99,9	99,9
მინ. I - მაქს. II	99,9	99,9	99,9	არა	99,9	99,0	99,9	99,9

ცხრილ 32-იდან ჩანს, რომ თბილისში ჰაერის ტემპერატურის საშუალო ღონე მზის მაქსიმალური აქტიუობის ეპოქებში აღემატება საშუალო ღონეს მზის მინიმალური აქტიუობის ეპოქებში. სხვაობა უდიდესია წელიწადის ცივი პერიოდის ტემპერატურებისთვის. სტატისტიკური კრიტერიუმები ადასტურებენ სხვაობების ნიშნადობას თითქმის ყველა შემთხვევაში (სამის გარდა) საკმაოდ მაღალ პროცენტულ ღონეზე. მონაცემები 1970 წლიდან უნდა ჩაითვალოს როგორც წინასწარი მზის აქტიუობის მიმდინარე ეპოქისათვის. ამის გამო ცხრილში არ არის წარმოდგენილი ნიშნადობის შესაბამისი შეფასებები.

ცხრილ 32-დან ასევე გამოდინარეოს, რომ გაზრდილ ტემპერატურულ ფონს შეესაბამება ატმოსფერული ნალექების დაბალი ღონე და პირიქით. თბილისის კლიმატის კონტინენტურობის გაძლიერება მზის აქტიუობის მაქსიმუმის ეპოქებში აიხსნება მერიდიონალური ცირკულაციის განვითარებით. მზის აქტიუობის მინიმუმის ეპოქებში აქტიურდება ზონალური ცირკულაცია, რაც განაპირობებს ატმოსფერული ნალექების ღონის ზრდას და ტემპერატურული ღონის დაქვეითებას. ეს ტენდენციები დადასტურებულია ა. გირსის [29], ბ. ძერძიევსკის [34] და სხვათა გამოკვლევებით, რომლის მიხედვით მზის აქტიუობის მინიმუმის ეპოქაში 1891-1928 წლებში გაბატონებული იყო ზონალური ცირკულაცია, ხოლო მაქსიმუმის ეპოქაში 1929-1972 წლებში – აღმოსავლეთის და მერიდიონალური ცირკულაციები. ჩვენს მიერ ჩატარებული ატმოსფეროს ცირკულაციის რეჟიმის ანალიზის შედეგები, რომლებიც IV თავში იქნება წარმოდგენილი, კარგად ეთანხმება გირსის და ძერძიევსკის კვლევის შედეგებს.

3.3 კორელაციური კავშირები მზის აქტიუობის რითმებსა და კლიმატის რყევადობას შორის

მზის აქტიუობის რყევადობის რითმებზე თბილისის კლიმატის რეაქციის უკეთესი შეფასებისათვის გამოვიყენებთ კორელაციის კოეფიციენტები მზის აქტიუობის ძირითად მახასიათებლებს – ვოლფის რიცხვებსა და ძირითად კლიმატურ ელემენტებს შორის. დამუშავებულ იქნა თბილისში კლიმატურ ელემენტებზე 150-წლიანი დაკვირვებების მონაცემები. კორელაციის კოეფიციენტები გავითვალთ შემდეგი ფორმულით:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_{\text{საა}}) \cdot (w_i - \bar{w}_{\text{საა}})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x}_{\text{საა}})^2} \cdot \sqrt{\sum (w_i - \bar{w}_{\text{საა}})^2}} \cdot \sqrt{n-1} \quad (3.2)$$

სადაც r არის კორელაციის კოეფიციენტი, w_i – ვოლფის რიცხვების ყოველწლიური მნიშვნელობები, $\bar{w}_{\text{საა}}$ – მათი მრავალწლიური საშუალო, x_i – კლიმატური ელემენტების ყოველწლიური მნიშვნელობები და $\bar{x}_{\text{საა}}$ – მათი მრავალწლიური საშუალო, n – წელიწადთა რიცხვი.

ცხრილ 33.1-ში წარმოდგენილია სხვადასხვა შეფასებით გამოანგარიშებული კორელაციის კოეფიციენტები და მათი სტატისტიკური ნიშნადობები 1844-1990წწ. პერიოდისათვის.

კორელაციის კოეფიციენტები (r) ვოლფის რიცხვებსა და კლიმატის ელემენტებს შორის და მათი სტატისტიკური ნიშნალობა (P%)
(თბილისი)

შეფასება	პარამეტრი	ტემპერატურა					ნალექები		
		თვე					ცივი პერ.	თბილი პერ.	წელი
		I	IV	VII	X	წელი			
A	r	0,81	0,53	0,26	0,05	0,91	0,03	-0,55	-0,43
	p	99,9	99,9	95,0	0	99,9	0	99,9	99,9
B	r	0,31	0,22	0,07	0,009	0,12	-	-	-
	p	99,0	95,0	0	0	0	-	-	-
C	r	0,31	0,22	0,05	-0,10	0,27	-0,01	-0,21	-0,13
	p	99,9	99,0	0	0	99,9	0	99,0	95,0
D	r	0,29	0,29	-0,14	0,24	0,46	-0,03	0,13	0,07
	p	99,9	99,9	95,0	99,0	99,9	0	95,0	0

შეფასება A-ში განხილულია კავშირი ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების 11-წლიან საშუალო სიდიდეებსა და ვოლფის წლიურ რიცხვებს შორის მზის აქტივობის 11-წლიანი ციკლების მაქსიმუმებში.

შეფასება B-ში განხილულია კავშირი ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების საშუალო წლიურ მნიშვნელობებსა და ვოლფის წლიურ რიცხვებს შორის კვლავ მზის აქტივობის 11-წლიანი ციკლის მაქსიმუმებში.

შეფასება C-ში განხილულია კავშირი ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების ყოველწლიურ მნიშვნელობებსა და ვოლფის რიცხვების ყოველწლიურ მნიშვნელობებს შორის, ხოლო შეფასება D-ში ამავე დროს გათვალისწინებულია მაგნიტური ლაქების პოლარობაც (ხეილის ციკლი).

როგორც ცხრილ 3.3.1-დან ჩანს, თბილისისათვის კორელაცია ჰაერის ტემპერატურასა და ვოლფის რიცხვებს შორის დადებითია და არსებითია მათთან. მაღალია წლიური კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობაც. ნალექებისათვის კორელაცია არსებითია წელიწადის თბილ პერიოდში და საზოგადოდ მთელი წლის განმავლობაში. კორელაცია ცივი პერიოდის ნალექებთან არ აღმოჩნდა ნიშნადი არცერთი შეფასებისთვის. მზის ლაქების პოლარობის გათვალისწინება უკეთეს შედეგებს იძლევა ტემპერატურისათვის, ხოლო ნალექებისთვის უარესს.

ნიშნადი კორელაციის მქონე შეფასებებისათვის მივიღეთ რეგრესიის განტოლებები, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებს კლიმატურ ელემენტებს და ვოლფის რიცხვებს:

$$k = aw + b \quad (3.3)$$

სადაც k კლიმატური ელემენტია (ჰაერის ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები), w – ვოლფის რიცხვები, a და b – სტატისტიკური პარამეტრები (იხ. ცხრილი 3.3.2).

ცხრილი 3.3.2

სტატისტიკური პარამეტრები რეგრესიის განტოლებებისათვის

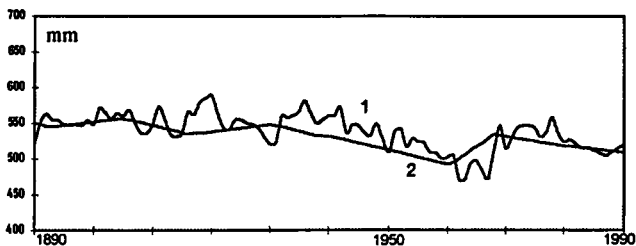
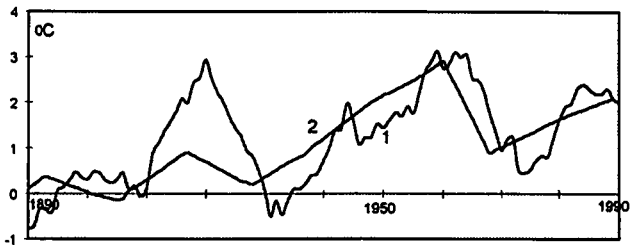
კლიმატის ელემენტი	შეფასება	სტატისტიკური პარამეტრი	იანვარი	წელი	თბილი პერიოდი
ტემპერატურა	A	a	0,0236	0,0062	-
		b	-1,67	12,22	-
	B	a	0,0155	-	-
		b	-0,04	-	-
	C	a	0,073	0,0017	-
		b	0,59	11,90	-
	D	a	0,042	0,0018	-
		b	0,97	12,78	-
ნალექები	A	a	-	-0,50	-0,8
		b	-	588	492
	C	a	-	-	-0,11
		b	-	-	404

რეგრესიის განტოლებების მიხედვით მოვახდინეთ ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების საუკუნოვანი სელის აპროექსიმაცია. გამოთვლითი მრუდების შედარებამ თბილისში ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების რეალურ სელასთან კარგი შედეგები აჩვენა. განსაკუთრებით კარგი შედეგები მიღებული იყო A შეფასების განტოლებებისათვის. მათი გამოყენების მაგალითები ნაჩვენებია ნახ. 3.3-ზე. 11-წლიანი მცოცავი საშუალო იანვრის ტემპერატურა გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$T = 0,0236W - 1,67 \quad (3.4)$$

ხოლო ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამების 11-წლიანი მცოცავი საშუალოები შემდეგი ფორმულით:

$$Q = - 0,50W + 588 \quad (3.5)$$



ნახ. 33 11-წლიანი მცოცაევი საშუალო იანვრის ტემპერატურების (ა) და ნალექების წლიური ჯამების (ბ) საუკუნოვანი მსვლელობის ფრაგმენტი (თბილისი): 1-ფაქტიური; 2-გამოთვლითი.

როგორც ნახ. 33-დან ჩანს, თანხედრა ფაქტიურ და გამოთვლით მრუდებს შორის საკმაოდ კარგია. ამ ფაქტმა საშუალება მოგვცა გამოგვეყენებინა მიღებული რეგრესიის განტოლებები თბილისის კლიმატის რეკონსტრუქციისა და პროგნოზირებისათვის.

დასასრულს აღვნიშნავთ, რომ მშის აქტიუობის რყევადობის მიმართ კლიმატის რეაქციის შეფასება რთული პრობლემაა, მითუმეტეს, რომ ჯერ კიდევ ბევრია უცნობი ამ მოვლენების მიზეზობრივ კავშირებს შორის. ეს ხშირად ეჭვის ქვეშ აყენებს მშის აქტიუობის და კლიმატური ელემენტების ვარიაციებს შორის კავშირის არსებობას. მიუხედავად ამისა ჩვენ მიგვაჩნია, რომ ჩატარებული გამოკვლევები და მიღებული შედეგები არის გარკვეული ნაბიჯი თბილისის კლიმატის ცვლილების პრობლემის შესწავლაში, მისი რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების საქმეში.

კლიმატის რეაქცია ატმოსფეროს ცირკულაციური პროცესების რყევადობის მიმართ

4.1 ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი პროცესების თავისებურება ამიერკავკასიაში

ვანგენგეიმისა და გირსის შრომებში ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაცია ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში განიხილება როგორც ძირითადი ცირკულაციური ფორმების გარდაქმნის უწყვეტი პროცესი. ამ ფორმებს წარმოადგენს ატმოსფერული ცირკულაციის სამი ტიპი: დასავლეთის – W, აღმოსავლეთის – E და მერიდიონალური – C [29] აღნიშნული ფორმების ცვალებადობის შესწავლამ სემონიდან სემონამდე აჩვენა, რომ დასავლეთის ფორმა, ძირითადად, იცვლება აღმოსავლეთის ფორმით, აღმოსავლეთის ფორმა იცვლება მერიდიონალურით, ხოლო მერიდიონალური ფორმის შემდეგ, როგორც წესი, დაიკვირვება სამივე ფორმა მერიდიონალური ცირკულაციის ძლიერი განვითარებით. თითოეულ ცირკულაციურ ფორმას შეესაბამება გარკვეული ბარიული სისტემების განვითარება და გარკვეული საჰაერო ღინებები [30].

დასავლეთის ცირკულაციის დროს გროსოსფეროში დაიკვირვება ჰაერის მასების ზონალური გადატანა, ამასთან, წარმოქმნილი ტალღები ხასიათდება მცირე ამპლიტუდით და სწრაფად გადაინაცვლებს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ. დედამიწის ზედაპირთან სუბტროპიკულ ზონაში კარგად არის გამოხატული მაღალი წნევის სარტყელი, ხოლო ზომიერ და პოლარულ განედებზე – დაბალი წნევის არე, ამასთან ბარიული სისტემების გადაადგილება ხდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ.

აღმოსავლეთის ცირკულაცია ხასიათდება ორი მაღლივი ღრმულით, რომლებიც ორიენტირებულია გრენლანდიიდან ევროპისკენ და გაიმირიდან დასავლეთ ციმბირისკენ და თხემით ყოფილი საბჭოთა კავშირის ევროპულ ტერიტორიაზე. დედამიწის ზედაპირთან ანტიციკლონები გადაადგილდება ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო ციკლონები – ატლანტიკიდან დასავლეთ ევროპაზე და დასავლეთ ციმბირზე

ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის მესამე ფორმა – მერიდიონალური ცირკულაცია, ხასიათდება მაღლივი თხემით ცენტრალურ ევროპაზე, ღრმულით ყოფილი საბჭოთა კავშირის ევროპულ ტერიტორიაზე და მეორე თხემით დასავლეთ ციმბირზე. ამასთან, დედამიწის ზედაპირთან ბარიული სისტემები გადაადგილდებიან ატლანტიკიდან ყოფილი საბჭოთა კავშირის ევროპულ ტერიტორიაზე და დასავლეთ ციმბირზე ნორვეგიის ზღვის გავლით.

სინოპტიკური პროცესების მთელი მრავალფეროვნება, რომლებიც განსაზღვრავენ ამინდს საქართველოში და კერძოდ თბილისში, ჰაერის მასების გადატანის მიმართულების მიხედვით, იყოფა შემდეგ ოთხ ძირითად ტიპად: დასავლეთის ტიპი, აღმოსავლეთის ტიპი, ანტიციკლონური მდგომარეობა და ტალღური აღრევა სამხრეთის ფრონტზე [42].

დასაუღელეთის გიპი დაიკვირეება ამიერკაქეასიის გერიგორიაზე პაერის მასეების დასაუღელეთის გადაგანის დროს. დასაუღელეთიდან პაერის მასეების შემოჭრა ხშირად დაკაემირებულია აღმოსაუღელეთ ვეროპაზე გაერელებულ ციკლონებთან. ამ დროს ციკლონების ზურგში განლაგდება პოლარული ანტიციკლონის თხემი, რომელიც ხელს უწყობს სამხრეთისაკენ ცივი ფრონტების გადაადგილებას.

ზოგჯერ ცივი ფრონტების შემოჭრა დასაუღელეთიდან დაკაემირებულია ხმელთაშუა ზღვის ციკლონებთან, რომელთა ზურგში ერეულდება ამორის მაქსიმუმის თხემი. დასაუღელეთიდან ან ჩრდილო-დასაუღელეთიდან გადაადგილებისას ცივი ფრონტს წინ ელობება კაქეასიონის ქელი და ამიერკაქეასიაში შემოსაჭრელად ფრონტი იწყებს ქელის შემოვლას.

სინოპტიკური პროცესების აღმოსაუღელეთის გიპი დაკაემირებულია კაქეასიონის მთავარი ქელის გასწვრივ მძლავრი ანტიციკლონის გადაადგილებასთან. კაქეასიონის ქელი აბრკოლებს სამხრეთისკენ ცივი პაერის მასეების გაერელებას, ხელს უწყობს მათ დაგროვებას და მათ შემდგომ გამოდენას კასპიის ზღვის მიმართულებით. ცივი პაერის მასეები გარს უვლიან კაქეასიონის ქელს აღმოსაუღელეთიდან და შემოიჭრებიან საქართველოში, სადაც, ისევე როგორც კასპიის ზღვის თაებზე, ერეულდება შედარებით დაბალი წნევის არე.

ცალკეულ შემთხვევაში ცივი ფრონტის აღმოსაუღელეთის გარშემოვლა დაკაემირებულია აღმოსაუღელეთ ვეროპის გერიგორიაზე სკანდინაური ანტიციკლონის თხემის გაერელებასთან, ან დასაუღელეთის ანტიციკლონის გაერელებასთან, რომელიც აღწევს რა კაქეასიონის ქელს, იცელის მიმართულებას სამხრეთ-აღმოსაუღელეთისკენ.

ზოგიერთ შემთხვევაში დაიკვირეება ცივი ფრონტით კაქეასიონის ქელის ორმხრივი გარსშემოვლა. ფრონტის შგოების შერწყმა, როგორც წესი, ხდება აღმოსაუღელეთ საქართველოს გერიგორიაზე. ფრონტის ოკლუდირებამდე თბილისში დაიკვირეება ამინდის პირობები, რომლებიც შეესაბამება სინოპტიკური პროცესების როგორც დასაუღელეთის, ასევე აღმოსაუღელეთის გიპს. სამოგადოდ, უნდა აღინიშნოს, რომ დასაუღელეთის და აღმოსაუღელეთის პროცესები თბილისში განაპირობებენ ამინდის სრულიად განსხეაეებულ პირობებს. ერთადერთი საერთო თვისება არის გემპერატურის დაცემა [42].

ზამთარში დასაუღელეთის სინოპტიკური პროცესები თბილისში ხშირად გამოიხატება ჩრდილო-დასაუღელეთის ქარის გაძლიერებით 25 მ/წმ-მდე, რაც დაკაემირებულია ქალაქის ოროგრაფიასთან. ამ დროს, როგორც წესი, დაიკვირეება უღრუბლო ამინდი. პაერის მასეები გენს კარგავენ დასაუღელეთ საქართველოზე გაელისას სურამის ქელისკენ თანდათანობითი აღმაუღლობის დროს.

ზაფხულში დასაუღელეთის გიპის სინოპტიკური პროცესების განვითარება მიმდინარეობს კონეექტიური მოქმედების გაძლიერების თანხლებით. ამ დროს თბილისში მოსალოდნელია ძლიერი ელ-ჭექი, თავსხმა ნალექები და პაერის გემპერატურის მკვეთრი დაცემა.

აღმოსაუღელეთის გიპის სინოპტიკური პროცესები განაპირობებენ თბილისში ამინდის სულ სხეა პირობებს, ვიდრე დასაუღელეთის გიპის სინოპტიკური პროცესები. პაერის გემპერატურის დაცემასთან ერთად,

აღმოსაელეთის ცირკულაციის განვითარებას თან ახლავს დაბალი ღრუბლიანობა, ვინელა ნალექები, ნისლი და ხილვადობის გაუარესება. აღმოსაელეთის პროცესები თბილისში მიმდინარეობს წყნარ, უქარო ამინდში და მათი ხანგრძლივობა, როგორც წესი, აღემატება დასაელეთის სინოტიკური პროცესების ხანგრძლივობას.

ანტიციკლონური მდგომარეობა არის ამიერკავკასიაში ცივი ჰაერის მასების შემოჭრის უკანასკნელი სტადია. ამ ბარიული სისტემის ფორმირებას ხელს უწყობს რეგიონის ოროგრაფია. ბარიული სისტემის უდიდესი მდგრადობა წელიწადის ცივ პერიოდში ვლინდება. თბილ პერიოდში ანტიციკლონური არე უფრო სუსტია, თუმცა მისი ვერტიკალური განვითარება დიდ სიმაღლეებზეც აღინიშნება.

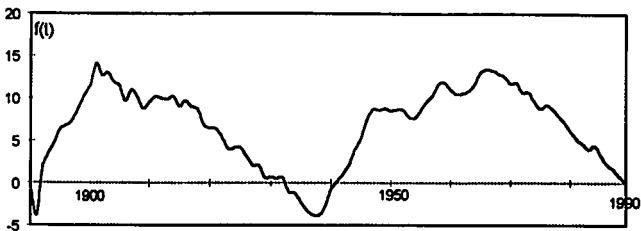
ანტიციკლონური მდგომარეობის დროს თბილისისათვის დამახასიათებელია უღრუბლო ამინდი. მამთარში ხშირია რადიაციული გადაციება და ტემპერატურული ინვერსია. გაზაფხულსა და შემოდგომაზე იზრდება წაყინვების ალბათობა. გაზაფხულში ანტიციკლონურ მდგომარეობასთან დაკავშირებულია გვალვები, თუმცა მოგჯერ ვითარდება შიდამასობრივი ლოკალური პროცესები თავსხმა ნალექებით და ელჭექით.

ტალღური აღრევა სამხრეთის ფრონტზე არის ცივი ფრონტით კავკასიონის ორმხრივი, ან დასაელეთური გარშემოელის გაგრძელება. გაიელის რა ამიერკავკასიას, ცივი ფრონტები ანელევენ მოძრაობას მცირე კავკასიონზე და ილუბენ თითქმის განელურ მდგომარეობას. შემდგომში, ადგილობრივი ფაქტორების ან დამატებითი აღვექციის შედეგად, ფრონტზე წარმოიქმნება ტალღური შემოთება.

ტალღური აღრევის დროს ამინდი თბილისში ხასიათდება დიდი ცვალებადობით – ღრუბლიანი ამინდი სწრაფად იცვლება უღრუბლო ამინდით, ქარის მიმართულება იცვლება საპირისპიროთი. მოგჯერ დაიკვირება ნალექების უხვი რაოდენობით გამოყოფა. გაზაფხულში ტალღურ აღრევასთან დაკავშირებულია სეტყვა.

4.2 ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობათა რყევადობა

ჩრდილოეთ ნახეარსფეროში ატმოსფეროს მოგადი ცირკულაციის მრავალწლიანი რყევადობის გამოსაკვლეველ მოეახდინეთ ჩრდილოეთ ნახეარსფეროში ასწლიან პერიოდში (1890-1990წწ.) დასაელეთის, აღმოსაელეთის და მერიდიონალური ცირკულაციების წლიური განმეორებადობების მონაცემთა რიგების დამუშაება (იხ. დანართი No2). ჩვენს მიერ აგებულ იქნა ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდები ძირითადი ცირკულაციური ფორმების წლიური განმეორებადობების მოდულური კოეფიციენტებისათვის. აღნიშნული მრუდები წარმოდგენილია ნახაზებზე 4.1-4.3.



ნახ. 4.3 მერიდიონალური ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებადობის მოდულური კოეფიციენტების ინტეგრალურ-სხვაობითი მრუდი, $f(t) = \sum(k_i - 1)/C_i$.

ინტეგრალურ-სხვაობით მრუდებზე კარგად არის გამოხატული ამა თუ იმ ცირკულაციური ფორმის გააქტიურების და შესუსტების პერიოდები. მაგალითად, ნახ. 4.1-დან ჩანს, რომ 1890-1899 წლებში დაიკვირებოდა დასაუღეთის ცირკულაციის გააქტიურება, 1899-1902 წლებში ცირკულაციის შესუსტება, ხოლო 1903-1928 წლებში კვლავ გააქტიურება. 1929-1956 წლებში დაიკვირება ნორმასთან რყევა, ცალკეულ წლებში დასაუღეთის ფორმის რამოდენიმე აფეთქებით. 1957-1990 წლებში დასაუღეთის ცირკულაციური ფორმა შესუსტებულია. საზოგადოდ, დასაუღეთის ცირკულაციის საუკუნოვანი სელა წარმოდგენილია, როგორც ერთიანი 100-წლიანი ციკლი, რომელიც შედგება ცირკულაციის გააქტიურების და შესუსტების ფაზებისაგან შესაბამისად 1890-1935 წლებსა და 1935-1990 წლებში. აღნიშნული ძირითადი ფაზები, თავის მხრივ, მოიცავს დასაუღეთის ცირკულაციის გააქტიურებისა და შესუსტების უფრო ხანმოკლე პერიოდებს.

აღმოსაუღეთის ცირკულაციური ფორმის მრავალწლიან სელაში (ნახ. 4.2) დაიკვირება ცირკულაციის შესუსტების პერიოდი 1890-1926 წლებში. 1927-1937 წლებში დაიკვირება ამავე ფორმის გააქტიურების პერიოდი. 1938-1948 წლებში აღმოსაუღეთის ცირკულაცია კვლავ შესუსტებულია, ხოლო 1949-1962 წლებში კვლავ აქტიურდება. 1962-1967 წლებში აღმოსაუღეთის ფორმა სუსტდება, ხოლო 1968 წლიდან იწყება აღმოსაუღეთის ცირკულაციური ფორმის გააქტიურების პერიოდი, რომელიც 80-იან წლებშიც გრძელდება.

საზოგადოდ, აღმოსაუღეთის ცირკულაციური ფორმის მრავალწლიანი სელა წარმოდგენილია ერთიანი 100-წლიანი ციკლის სახით, რომელიც შედგება შესუსტების და გააქტიურების ფაზებისაგან შესაბამისად 1890-1926 წლებსა და 1926-1990 წლებში. აღნიშნული ფაზები, თავის მხრივ, მოიცავს აღმოსაუღეთის ცირკულაციის გააქტიურებისა და შესუსტების უფრო ხანმოკლე პერიოდებს.

მერიდიონალური ცირკულაციური ფორმის საუკუნოვან სელას აქვს კარგად გამოხატული ციკლური ხასიათი. თუ დასაუღეთის და აღმოსაუღეთის ცირკულაციების სელა თითო ციკლით არის წარმოდგენილი, მერიდიონალური

ცირკულაციის სელაში დაიკვირება ორი ციკლი 1890-1939 წლებსა და 1940-1990 წლებში. პირველი ციკლი შედგება გააქტიურებისა და შესუსტების ფაზებისაგან შესაბამისად 1890-1904 წლებსა და 1905-1938 წლებში, ამასთან ცალკეულ წლებში დაიკვირება მერიდიონალური ცირკულაციის რამოდენიმე აფეთქება. მეორე ციკლი იწყება 1939 წელს გააქტიურების ფაზით, რომელიც გრძელდება 1966 წლამდე. 1967 წლიდან იწყება შესუსტების ფაზა რომელიც 80-იან წლებშიც გრძელდება. მეორე ციკლში შესაძლებელია მერიდიონალური ცირკულაციის გააქტიურების და შესუსტების ხანმოკლე პერიოდების გამოყოფა. გააქტიურების პერიოდებია 1939-1947წწ., 1955-1960წწ. და 1963-1966წწ., ხოლო შესუსტების – 1949-1955წწ. და 1960-1963წწ.

დასაუღეთის, აღმოსავლეთის და მერიდიონალური ცირკულაციების გააქტიურების და შესუსტების პერიოდები, შესაბამის წლებთან ერთად, წარმოდგენილია ცხრილებში 4.2.1-4.2.3.

ცხრილი 4.2.1

დასაუღეთის ცირკულაციის გააქტიურების და შესუსტების პერიოდები

წლები	პერიოდი
1890-1899	გააქტიურების
1899-1902	შესუსტების
1903-1928	გააქტიურების
1929-1956	ნორმასთან რყევა
1957-1990	შესუსტების

ცხრილი 4.2.2

აღმოსავლეთის ცირკულაციის გააქტიურების და შესუსტების
პერიოდები

წლები	პერიოდი
1890-1926	შესუსტების
1927-1937	გააქტიურების
1938-1948	შესუსტების
1949-1962	გააქტიურების
1963-1967	შესუსტების
1968-1990	გააქტიურების

ცხრილი 4.2.3

მერიდიონალური ცირკულაციის გააქტიურების და შესუსტების
პერიოდები

წლები	პერიოდი
1890-1904	გააქტიურების
1905-1938	შესუსტების
1939-1948	გააქტიურების
1949-1955	შესუსტების
1956-1960	გააქტიურების
1960-1963	შესუსტების
1963-1966	გააქტიურების
1967-1990	შესუსტების

4.2.1-4.2.3 ცხრილების ანალიზის საფუძველზე 1890-1990წწ. დროითი ინტერვალი შეიძლება დაიყოს რამოდენიმე ეპოქად, ანუ პერიოდებად, რომლის დროსაც ანომალურად არის განვითარებული ცირკულაციის ესა თუ ის ფორმა. მაგალითად, 1890-1899 წლებში განვითარებული იყო დასავლეთის და მერიდიონალური ცირკულაციები, ხოლო აღმოსავლეთის ცირკულაცია ამ დროს შესუსტებული იყო. 1900-1927 წლებში დომინირებდა დასავლეთის ცირკულაცია აღმოსავლეთის ფორმის რამდენიმე აფეთქებით ცალკეულ წლებში. 1927-1938 წლები ხასიათდება აღმოსავლეთის ფორმის განვითარებით დასავლეთის და მერიდიონალური ცირკულაციების შესუსტების ფონზე, ხოლო 1939-1948 წლებში დაიკვირვება მერიდიონალური ცირკულაციის ეპოქა. 1949-1962 წლებში განვითარებულია აღმოსავლეთის ცირკულაცია და 1955-1960 წლებში ძლიერდება მერიდიონალური ფორმა. 1963-1968 წლებში განვითარებულია მერიდიონალური ცირკულაციის პროცესები, ხოლო 1967-1990 წლებში დაიკვირვება აღმოსავლეთის ცირკულაციური პროცესების განვითარება.

ამრიგად, 1890-1990 წლები ცირკულაციის ამა თუ იმ ფორმის განვითარების მიხედვით იყოფა ცალკეულ ეპოქად. აღნიშნული ეპოქები, შესაბამის წლებთან ერთად, წარმოდგენილია ცხრილ 4.2.4-ში.

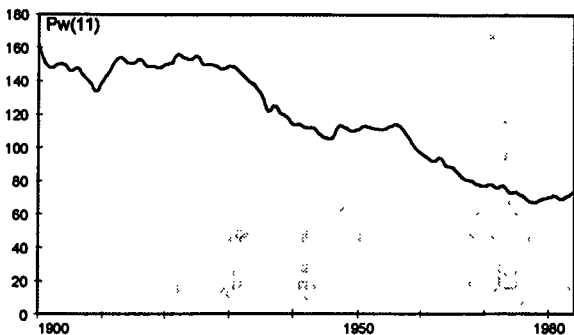
ცხრილი 4.2.4

დასავლეთის (W), აღმოსავლეთის (E) და მერიდიონალური (C) ცირკულაციების განვითარების ეპოქები და შესაბამისი წლები

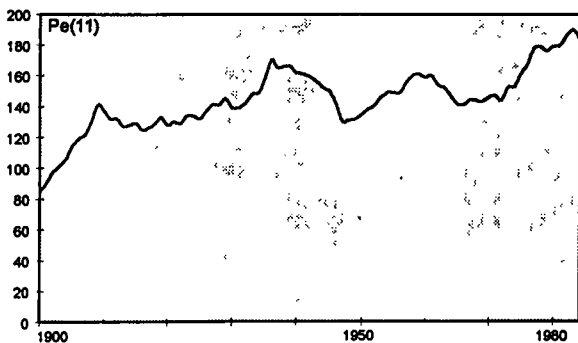
წლები	ცირკულაციური ფორმა
1890-1899	W და C
1900-1927	W
1927-1938	E
1938-1948	C
1949-1962	E და ნაწილობრივ C
1963-1966	C
1967-1990	E

კლიმატური ელემენტის საუკუნოვანი სელის და მისი ცვლილების ტენდენციების შესახებ შესაძლებელია ვიმსჯელოთ მცოცხევი საშუალოების

მიხედვით. კლიმატოლოგიაში აპრობირებული ამ მეთოდის არსის შესახებ ლაპარაკი იყო მეორე თავის პარაგრაფ 2.1-ში. როგორც აღნიშნეთ, ეს მეთოდი ითვალისწინებს მოკლეპერიოდის რყევების შესუსტებას და ხანგრძლივი ხასიათის კანონზომიერი ცვლილებების გამოვლენას. ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ძირითადი ცირკულაციური ფორმების წლიური განმეორებადობების 100-წლიანი მონაცემების რიგები (1890-1990წწ.) (იხ. დანართი No2) და აგებულ იქნა 11-წლიანი სამუალო მყოცაფი მრუდები (ნახ. 4.4-4.6).



ნახ. 4.4 დასავლეთის ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებადობის 11-წლიანი სამუალო მყოცაფი.



ნახ. 4.5 აღმოსავლეთის ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებადობის 11-წლიანი სამუალო მყოცაფი.

ჩვენს მიერ გამოკვლეულ იქნა თბილისის კლიმატის რეკრეა ატმოსფეროს მოგადი ცირკულაციის ძირითადი ფორმების საუკუნოვანი რყევადობის მიმართ და დადგინდა იქნა კლიმატის ძირითადი ელემენტების ცვლილების ტენდენციები ცირკულაციური ფორმების ეპოქალურ პერიოდებში:

დასავლეთის ცირკულაციის გააქტიურების ფაზას 1890-1930 წლებში შეესაბამება საშუალო წლიური ტემპერატურის დაბალი და წლიური ნალექების მაღალი დონე (მრავალწლიურ ნორმასთან შედარებით), ხოლო იგივე ფორმის შესუსტების ფაზას 1950-1990 წლებში შეესაბამება წლიური ტემპერატურის მაღალი და წლიური ნალექების დაბალი დონე (იხ. ნახ. 2.17, 2.20, 4.1)

აღმოსავლეთის ცირკულაციის შესუსტების ფაზას 1890-1930 წლებში შეესაბამება საშუალო წლიური ტემპერატურის დაბალი და წლიური ნალექების მაღალი დონე, ხოლო იგივე ცირკულაციური ფორმის გააქტიურების ფაზას 1930-1990 წლებში შეესაბამება წლიური ტემპერატურის მაღალი და წლიური ნალექების დაბალი დონე 1950-1970 წლებსა და 1982-1990 წლებში (იხ. ნახ. 2.17, 2.20, 4.2).

მერიდიონალური ცირკულაციის გააქტიურების დროს 1940-1970 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურის ფონი მაღალია (აღემატება ტემპერატურის მრავალწლიურ ნორმას) და ასევე მაღალი რჩება მერიდიონალური ცირკულაციის შესუსტების დროსაც 1970-1990 წლებში. 1940-1952 წლებში დაიკვირვება წლიური ნალექების ნორმასთან რყევა და ნორმაზე ნაკლები ნალექები 1952-1970 წლებში. 1970-1990 წლებში ნალექების რყევადობას არა აქვს გამოკვეთილი ხასიათი (იხ. ნახ. 2.17, 2.20, 4.3).

დასავლეთის და აღმოსავლეთის ცირკულაციური ფორმების განმეორებადობების სხვაობების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილ იქნა კავშირი ამ სხვაობებსა და თბილისში ძირითადი კლიმატური ელემენტების ანომალიებს შორის. კერძოდ, დადგინდა, რომ როდესაც სხვაობა დადებითია, თბილისში ტემპერატურის ფონი დაბალია, ხოლო ნალექების ფონი – მაღალი როდესაც სხვაობა უარყოფითია შებრუნებულ სურათს აქვს ადგილი. აღნიშნული დამოკიდებულება გამოიხატება შემდეგი რეგრესიის განტოლებებით:

$$T = 12,9 - 0,005 \delta P \quad (4.1)$$

$$Q = 515 + 0,2 \delta P$$

სადაც T არის საშუალო წლიური ტემპერატურა, Q – ნალექთა წლიური ჯამი, P_w – დასავლეთის ცირკულაციის წლიური განმეორებადობა, P_E – აღმოსავლეთის ცირკულაციის წლიური განმეორებადობა, $\delta P = P_w - P_E$ – სხვაობა დასავლეთის და აღმოსავლეთის ცირკულაციური ფორმების წლიურ განმეორებადობებს შორის.

(4.1) განტოლებების მიხედვით გამოითვალეთ თბილისში საშუალო წლიური ტემპერატურისა და ნალექთა წლიური ჯამების მნიშვნელობები პირობითად აღებული ათი წელიწადისვის და მიღებული შედეგები შევადარეთ აღნიშნული კლიმატური ელემენტების რეალურ მნიშვნელობებს. გამოთვლების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 4.3.1-ში.

ფაქტიური მონაცემები და (4.1) განტოლებების გამოყენების შედეგები

წელი	1891	1899	1901	1916	1937	1954	1960	1961	1982	1990
ΔP	164	152	-93	44	-73	-46	-139	1	-155	-30
T _{წლ}	12,7	13,3	13,3	13,2	13,4	13,2	13,2	13,7	12,3	14,0
T ₁₁	12,5	12,4	12,5	12,9	13,0	13,0	13,2	13,3	13,1	13,5
T _{გამ}	12,1	12,1	13,4	12,7	13,3	13,1	13,8	12,9	13,7	13,1
$\frac{ T_{წლ} - T_{გამ} }{T_{გამ}}$	0,6	1,2	0,1	0,5	0,1	0,1	0,6	0,8	1,4	0,9
$\frac{ T_{11} - T_{გამ} }{T_{გამ}}$	0,4	0,3	0,9	0,2	0,3	0,1	0,6	0,4	0,6	0,4
Q _{წლ}	444	553	627	530	530	404	500	378	602	451
Q ₁₁	555	555	550	565	550	525	465	475	515	500
Q _{გამ}	548	545	496	524	500	506	487	515	484	506
$\frac{ Q_{წლ} - Q_{გამ} }{Q_{გამ}}$	20	1,6	26	1,2	6	20	2,6	27	24	9
$\frac{ Q_{11} - Q_{გამ} }{Q_{გამ}}$	1,4	2	10,8	8,2	10	3,6	4,4	8	6,2	1,2

როგორც ცხრილიდან ჩანს, კონკრეტული წლებისთვის გამოთვლილი სიდიდეები ხშირად მნიშვნელოვნად განსხვავდება ფაქტიური სიდიდეებისაგან. უკეთესი შედეგები მიღებულია 11-წლით გასაშუალოებული სიდიდეებისათვის. აქ განსხვავება ტემპერატურისთვის არ აღემატება 1%-ს, ხოლო ნალექებისთვის 14%-ს.

ამრიგად, თბილისის კლიმატის მრავალწლიან სელაში დაიკვირება გარკვეული რეაქცია ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის ძირითადი ფორმების საუკუნოვანი რყევადობის მიმართ, თუმცა კავშირი არ არის ცალსახა, რაც ბუნებრივიცაა, ვინაიდან კლიმატის ჩამოყალიბებაში, ცირკულაციური ფაქტორის გარდა, სხვა ფაქტორებიც იღებენ მონაწილეობას.

4.4 კორელაციური კავშირები ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობასა და კლიმატის რყევადობას შორის

ჩვენს მიერ გამოკვლეული იქნა კორელაციური კავშირები ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განმეორებადობების რყევადობასა და თბილისის კლიმატის რყევადობას შორის. კორელაციის კოეფიციენტების გათვლა მოვახდინეთ შემდეგი ფორმულით:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_{\text{სა}}) \times (y_i - \bar{y}_{\text{სა}})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x}_{\text{სა}})^2} \times \sqrt{\sum(y_i - \bar{y}_{\text{სა}})^2}} \times (n-1) \quad (4.2)$$

სადაც X_i არის ჰაერის ტემპერატურის (აგმოსფერული ნალექების) საშუალო წლიური მნიშვნელობა, $\bar{X}_{\text{სა}}$ - მრავალწლიური საშუალო, Y_i - ცირკულაციური ფორმის განმეორებადობის წლიური მნიშვნელობა, $\bar{Y}_{\text{სა}}$ - განმეორებადობის მრავალწლიური საშუალო, n - წელიწადთა რიცხვი განსახილველ დროის ინტერვალში.

(4.2) ფორმულის მიხედვით გამოვითვალეთ კორელაციის კოეფიციენტები თბილისში საშუალო წლიურ ტემპერატურას და ნალექთა წლიურ ჯამებსა და ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ცირკულაციის ძირითადი ფორმების წლიურ განმეორებადობას შორის. დადგენილი კორელაციის კოეფიციენტები, შესაბამის სტატისტიკურ ნიშნალობებთან ერთად, წარმოდგენილია ცხრილებში 4.4.1-4.4.2.

ცხრილი 4.4.1

კორელაციის კოეფიციენტები ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურასა და აგმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების წლიურ განმეორებადობას შორის და მათი სტატისტიკური ნიშნალობა (%)
თბილისი (1890-1990წწ.)

ცირკულაციური ფორმა	კორელაციის კოეფიციენტი	ნიშნალობა %
დასავლეთის (W)	- 0,255	99
აღმოსავლეთის (E)	0,167	95
მერიდიონალური (C)	- 0,052	არა ნიშნავი

კორელაციის კოეფიციენტები ნალექთა წლიურ ჯამებსა და ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების წლიურ განმეორებადობას შორის და მათი სტატიისტიკური ნიშნალობა (%)
თბილისი (1890-1990წწ.)

ცირკულაციური ფორმა	კორელაციის კოეფიციენტი	ნიშნალობა %
დასაუღეთის (W)	0,040	არა ნიშნადი
აღმოსაუღეთის (E)	0,039	“
მერიდიონალური (C)	- 0,068	“

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, კორელაცია ნიშნადი აღმოჩნდა მხოლოდ საშუალო წლიურ გემპერაგურასა და დასაუღეთის და აღმოსაუღეთის ცირკულაციების განმეორებადობას შორის. კორელაცია ნალექებთან არ აღმოჩნდა ნიშნადი არცერთი ცირკულაციური ფორმისათვის. მიღებული შედეგი ეთანხმება გამოკვლევათა შედეგებს, რომლებიც მიღებული იყო ყოფილი საბჭოთა კავშირის ევროპული გერიგორიისათვის [10,35,37,67].

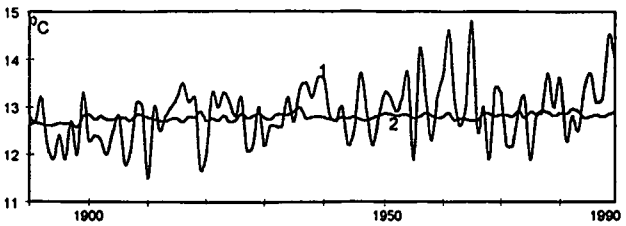
ნიშნადი კორელაციებისთვის შევადგინეთ რეგრესიის განტოლებები, რომლებმაც თბილისის საშუალო წლიური გემპერაგურა დააკავშირა დასაუღეთის და აღმოსაუღეთის ცირკულაციური ფორმების წლიურ განმეორებადობებთან. მიღებულ განტოლებებს შემდეგი სახე აქვთ:

$$T_W = - 0,004P_W + 13,3 \tag{4.4}$$

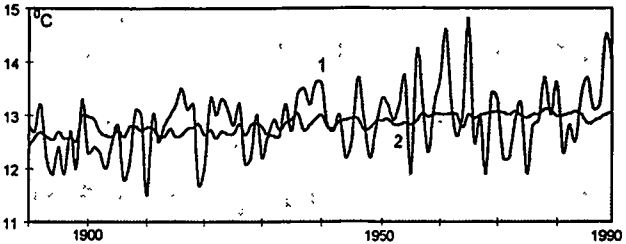
$$T_E = 0,002P_E + 12,5$$

სადაც, P_W და P_E დასაუღეთის და აღმოსაუღეთის ცირკულაციური ფორმების წლიური განმეორებადობებია, ხოლო T_W და T_E შესაბამისი საშუალო წლიური გემპერაგურები თბილისისათვის.

(4.4) რეგრესიის განტოლებების მიხედვით გამოვითვალეთ საშუალო წლიური გემპერაგურები და ავაგეთ გამოთვლითი მრუდები 1890-1990წწ. პერიოდისათვის. აღნიშნული მრუდები, თბილისში საშუალო წლიური გემპერაგურის რეალურ სელასთან ერთად, წარმოდგენილია ნახაზებზე 4.7-4.8.



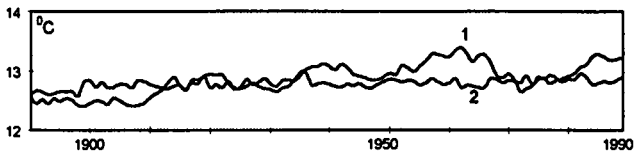
ნახ. 4.7 საშუალო წლიური ტემპერატურის სელა (თბილისი): 1-ფაქტიური; 2 - გამოთვლილი დასაუღეთის ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებალობის მიხედვით.



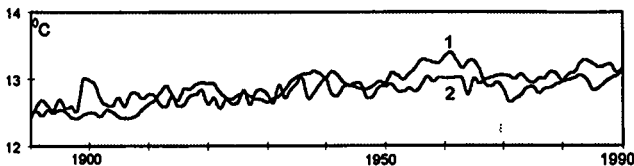
ნახ. 4.8 საშუალო წლიური ტემპერატურის სელა (თბილისი): 1-ფაქტიური; 2 - გამოთვლილი აღმოსაუღეთის ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებალობის მიხედვით.

როგორც ნახაზებიდან ჩანს, ფაქტიური და გამოთვლითი მრუდების სელა არ გამოირჩევა კარგი მსგავსებით, თუმცა მოგიერთ უბანზე ტემპერატურის მრდის და კლების ტენდენციები ერთნაირია.

აღსანიშნავია, რომ სხვადასხვა ცირკულაციური ფორმის განმეორებალობის მიხედვით გათვლილი მრუდები თითქმის ემთხვევა ერთმანეთს. ორივე შემთხვევაში მრუდები გამოირჩევა სიმლოვრით, არ დაიკვირება მკვეთრი მაქსიმუმები ან მინიმუმები (ფაქტიური სელისაგან განსხვავებით) და ასახავს ათობობის და აციეების უფრო მოგად ტენდენციებს. ამ მხრივ, გამოთვლითი მრუდები თბილისის წლიური ტემპერატურის 11-წლიანი საშუალო მყოცაეების მსგავსი აღმოჩნდა (ნახ. 4.9-4.10).



ნახ. 4.9 წლიური ტემპერატურის 11-წლიანი საშუალო მცოცავე მრუდი (1) და წლიური ტემპერატურის სულა გამოთვლილი აღმოსაყელეთის ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებალობის მიხედვით (2).



ნახ. 4.10 წლიური ტემპერატურის 11-წლიანი საშუალო მცოცავე მრუდი (1) და წლიური ტემპერატურის სულა გამოთვლილი აღმოსაყელეთის ცირკულაციური ფორმის წლიური განმეორებალობის მიხედვით (2).

როგორც ნახ. 4.9-4.10-დან ჩანს, ფაქტიური და გამოთვლითი მრუდების სულა თითქმის სინქრონულია, რაც საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ მიღებული რეგრესიის განტოლებები თბილისში საშუალო წლიური ტემპერატურის ფონური მნიშვნელობებს პროგნოზირებისათვის.

კლიმატის ცვლილების და ციკლური რყევადობის კვლევის შედეგების გამოყენება კლიმატის რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების ამოცანებში

5.1 ფონური კლიმატური პროგნოზები

დისერტაციის მეორე თავში ჩვენ შევისწავლეთ თბილისის კლიმატის ცვლილება და რყევადობა უკანასკნელი 150 წლის მანძილზე. გამოვლენილ იქნა ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების ძირითადი ტენდენციები და რყევადობის ციკლები. მოვახდინეთ ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების წრფივი აპროქსიმაცია ასწლიან და 50-წლიან პერიოდებში და დაეადგინეთ ჰაერის ტემპერატურის და ნალექთა ჯამების ცვლილების სიჩქარეები.

საზოგადოდ, დაშვება წრფივი აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენების შესახებ გულისხმობს, რომ უახლოეს ათწლეულებში კლიმატის ცვლილება გაგრძელდება აგებული წრფივი ტრენდების შესაბამისად, ანუ კლიმატური ელემენტების ცვლილების დადგენილი სიჩქარეები არ შეიცვლება უახლოეს მომავალში. ამ დაშვებით და (2.2)-(2.5) წრფივი აპროქსიმაციის ფორმულების გამოყენებით შევაფასეთ თბილისში, უახლოეს მომავალში, ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების მოსალოდნელი ფონური მნიშვნელობები. აღნიშნული სიდიდეები წარმოდგენილია ცხრილებში 5.1.1-5.1.2.

ცხრილი 5.1.1

ჰაერის ტემპერატურის ფონური პროგნოზი (ტრენდის მდგენელი) °C.
(თბილისი)

თვე	პროგნოზირებული წლები			
	2000	2005	2010	2050
იანვარი	1,23	1,265	1,30	1,59
აპრილი	12,83	12,92	13,01	13,70
იულისი	24,61	24,635	24,66	24,87
ოქტომბერი	13,858	13,855	13,851	13,823
წელი	12,99	13,015	13,04	13,24

აგმოსფერული ნალექების ფონური პროგნოზი (გრენდის მდგენელი) მმ.
(თბილისი)

პერიოდი	პროგნოზირებული წლები			
	2000	2005	2010	2050
ცივი	132	130	128	114
თბილი	394	389	384	344
წელი	540	535	530	488

ცხრილ 5.1.1-იდან ჩანს, რომ უახლოეს ათწლეულებში თბილისში მოსალოდნელია ზოგადი ათბობის პროცესის გაგრძელება. განსაკუთრებული ათბობა მოსალოდნელია ზამთარსა და გაზაფხულზე, ხოლო შემოდგომაზე – სუსტი აცილება და ნორმასთან რყევა. საშუალო წლიური ტემპერატურის ფონურმა მნიშვნელობამ XXI საუკუნის დასაწყისში მოსალოდნელია გადააჭარბოს 13°C -ს.

ცხრილ 5.12-დან ჩანს, რომ XXI საუკუნის პირველ ნახევარში მოსალოდნელია ნალექების საშუალო ღონის კლება. 2050 წლისათვის მოსალოდნელია, რომ წლიური ნალექების საშუალო ღონე დაიკლებს 490 მმ-მდე.

წრფივი ტრენდები არ იძლევიან სრულ ინფორმაციას კლიმატის ცვლილების შესახებ, კლიმატური პარამეტრების ცვლილების სიჩქარეები არ არის მუდმივი და განსხვავდება სხვადასხვა დროით მუალებებში. არ არის გათვალისწინებული კლიმატის ციკლურობაც. ამიტომ, ცხრილებში 5.1.1-5.1.2 წარმოდგენილი სიდიდეები არ არის მუსტი და ასახეს პაერის ტემპერატურის და აგმოსფერული ნალექების მოსალოდნელ ფონურ მნიშვნელობებს.

5.2 კლიმატის რეკონსტრუქციის და პროგნოზირების ცდები მზის აქტივობის გათვალისწინებით

დისერტაციის მესამე თავში (პარაგრაფი 3.3) ჩვენ გამოვაუღინეთ კორელაციური კავშირები მზის აქტივობის რითმებსა და თბილისის კლიმატის რყევალობას შორის და იმ შეფასებებისათვის, რომელთათვისაც კორელაცია არსებითი აღმოჩნდა, მივიღეთ რეგრესიის განტოლებები შემდეგი სახით:

$$K = aW + b$$

სადაც K კლიმატური ელემენტია (პაერის ტემპერატურა, აგმოსფერული ნალექები), W – ეოლფის წლიური რიცხვები, a და b სტატისტიკური პარამეტრები (იხ. ცხრილი 3.3.2).

მიღებული რეგრესიის განტოლებების გამოყენების შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 3.2-ზე. ნახაზზე წარმოდგენილია იანერის საშუალო ტემპერატურის და

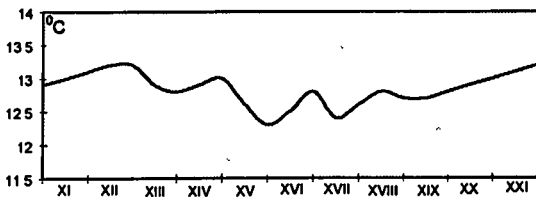
წლიური ნალექების 11-წლიანი საშუალო მცოცავეების ფაქტიური და გამოთვლითი მრუდები თბილისისათვის, რომლებიც კარგ თანხმობაშია ერთმანეთთან. ამან საშუალება მოგვცა გამოგვეყენებინა მიღებული რეგრესიის განტოლებები თბილისის კლიმატის რეკონსტრუქციისა და პროგნოზირებისათვის.

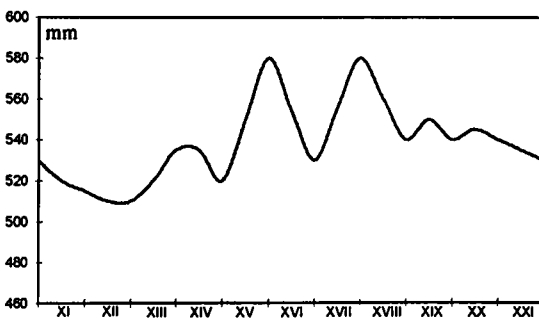
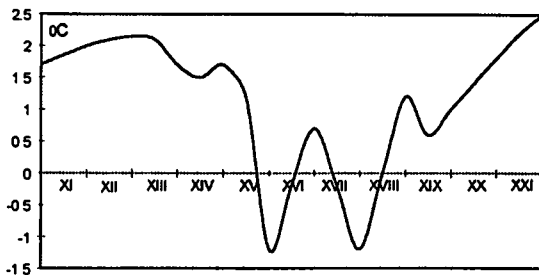
წარსულში თბილისის კლიმატური პირობების რეკონსტრუქციისათვის გამოვიყენეთ ედის მონაცემები მზის აქტიუობის შესახებ [28]. მან დიდი ღრო და ენერჯია მოანდომა უძველესი ხელნაწერების, კლასიკური ლიტერატურის, თანამედროვე მონაცემების და მზის აქტიუობის ირიბი მაჩვენებლების შესწავლას და შეძლო გაეფართოებინა ჩვენი წარმოდგენები მზის, ლაქების შესახებ, 1100 წლამდე. ედი ეყრდნობოდა მზის ობსერვატორიების ჩანაწერებს, დაკვირვებათა მონაცემებს პოლარულ ციალზე და განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევდა მერქნის რგოლების რადიონახშირბადის მეთოდით დამუშავების ანალიზის შედეგებს.

ელიმ აჩვენა, რომ დაწყებული XII საუკუნიდან მზის აქტიუობაში აღინიშნებოდა ორი ხანგრძლივი ღრმა მინიმუმი და ერთი ხანგრძლივი მაქსიმუმი ამ მინიმუმებს შორის. მზის აქტიუობის ეს დიდი მაქსიმუმი მოიცავს პერიოდს 1100-1250წწ. შემდეგ მზის აქტიუობა რამდენაღმე ეცემა 1520 წლამდე, თუმცა 1400 წელს დაიკვირვება სუსტი მაქსიმუმი. პირველ ღრმა მინიმუმს ცენტრით 1520 წელს ელიმ უწოდა შპერერის მინიმუმი, გერმანელი მეცნიერის საპატივსაცემოდ, რომელმაც პირველმა მიუთითა ამ პერიოდის არსებობაზე. შპერერის მინიმუმი მოიცავს წლებს 1460-1550წწ. მეორე ღრმა მინიმუმს, რომელიც მოიცავს წლებს 1645-1715წწ., ელიმ უწოდა მაუნდერის მინიმუმი ინგლისელი ასტრონომის საპატივსაცემოდ, რომელმაც პირველმა მიუთითა შესაბამის წლებში მზის აქტიუობის მინიმუმზე [28, 77].

ედის მონაცემებისა და ჩვენს მიერ მიღებული რეგრესიის განტოლებების გამოყენებით (იხ. ფორმულები 3.4, 3.5, ცხრილი 3.3.2), მოვახდინეთ თბილისის კლიმატური პირობების რეკონსტრუქცია დაწყებული 1100 წლიდან და მზის აქტიუობის პროგნოსტიკური მონაცემების საფუძველზე ვიწინასწარმეტყველეთ მოსალოდნელი კლიმატური პირობები (ნახ. 5.1).

ა)





ნახ. 5.1 თბილისის კლიმატური პირობების რეკონსტრუქცია და მოსალოდნელი განვითარება: ა) საშუალო წლიური ტემპერატურა; ბ) იანვრის საშუალო ტემპერატურა; გ) ნალექთა წლიური ჯამები.

ნახაზზე წარმოდგენილია იანვრის საშუალო ტემპერატურის, საშუალო წლიური ტემპერატურის და წლიური ნალექების შესაბამისი მრუდები. ავებულ მრუდებზე დაიკვირვება XII-XIII საუკუნეების კლიმატური ოპტიმუმი, ასევე მცირე მყინვარული პერიოდები - შპერერის და მაუნდერის მინიმუმები, შესაბამისად XV-XVI საუკუნეებსა და XVII-XVIII საუკუნეებში, რომლებსაც, სამოგადოდ, გლობალური მასშტაბები პქონდათ. ცნობილია, რომ XII-XIII საუკუნეებში გრენლანდია დასახლებული იყო, ხოლო ინგლისში ხარობდა მრავალი ჯიშის ვაზი. მცირე მყინვარული პერიოდების დროს აღინიშნებოდა ალპების მყინვარების წინ წამოწევა. ისტორიაში ცნობილია ვიკინგების შუასაუკუნოვანი დასახლების გრადიკული ამოწევა. XVII საუკუნის მიწურულს და XVIII საუკუნის პირველ ნახევარში ისლანდიაში შეიქმნა რთული მყინვარული, სოფლის მეურნეობისათვის მომაკედინებელი მდგომარეობა.

ამასთან დაკავშირებით დანიის მთავრობა 1784 წელს მთელი სერიოზულობით იხილაუდა საკითხს ევროპაში ისლანდიელების გადმოსახლების შესახებ [28].

ნახ. 5.1-ის მიხედვით კლიმატური ოპტიუმის დროს თბილისში საშუალო წლიური ტემპერატურა 13°C -ს აღემატებოდა, ხოლო წლიური ნალექების საშუალო დონე იყო 500-520 მმ. იანერის საშუალო ტემპერატურა აღემატებოდა 2°C -ს. ეს კლიმატური პირობები შეესაბამება დავით აღმაშენებლის ისტორიკოსის ცნობებს, რომელიც წერდა: “ნამდვილი ზამთარი არ იცის, ის უფრო მეტად გაზაფხულს გავონებს, ხოლო ზაფხული ცხელია და არაჯანსაღი”.

ჩვენი შეფასებებით, მცირე მყინვარული პერიოდების დროს თბილისში საშუალო წლიური ტემპერატურა $12,3^{\circ}\text{C}$ -მდე ეცემა, იანერის საშუალო ტემპერატურა -1°C -ზე დაბალია, ხოლო ატმოსფერული ნალექების დონე აღწევს 600 მმ-ს. ამგვარი კლიმატური პირობები კარგად შეესაბამება ლ. მარუაშვილის პალეოგეოგრაფიულ კვლევებს [52].

ფლონის მიერ გამოკვლეული იყო კლიმატური პირობები ევროპისათვის დაწყებული 1100 წლიდან [78]. ფლონის ძირითადი დასკვნები წარმოდგენილია ცხრილ 5.2.1-ში. აქვე მოგვყავს ჩვენი შეფასებები თბილისის კლიმატური პირობების შესახებ, რომლებიც შენიშვნის სახით არის წარმოდგენილი.

კლიმატური პირობები შუა ევროპაში ფლონის [78] მიხედვით და კლიმატური სიგუაცია თბილისში

პერიოდი	შუა ევროპა (სიგუციური დახასიათება)	მენიშენა		
		თბილისი		
		წლიური ტემპერატურა °C	იანვრის ტემპერატურა °C	წლიური ნალექები მმ
1000-1250 წწ. XIII-XIV სს.	მშრალი კლიმატი დადებითი ანომალიები	13,0-13,2 13,0-13,2	1,7-2,2 1,5-1,7	510-520 520-540
1280-1380 წწ.	გვიანი შუასაუკუნოვანი დათბობის	12,8-13,0	1,5-1,7	520-540
1450-1520 წწ.	მწვერვალი არაკეთილსასურ ველი კლიმატი (ცივი ზამთარი, გრილი ზაფხული)	12,3-12,6	-1,2 - (+0,6)	530-580
XVI ს.	კლიმატის გაუმჯობესება	12,3-12,8	-1,2 - (+0,7)	530-580
1600 წლიდან	კლიმატის გაუმჯობესება მყინვარების წამოწევა	12,4-12,8	-1,2 - (+0,7)	530-580
1680-1780 წწ.	კლიმატის გაუმჯობესება	12,4-13,0	-1,2 - (+1,2)	540-580
1780-1880 წწ.	შედარებით გრილი პერიოდი	12,6	0,5-0,8	530-550
1880 წლიდან	გლობალური დათბობა	12,6-ზე მეტი	0,8 -ზე მეტი	550 -ზე ნაკლები

მზის აქტიუობის პროგნოსტიკური მონაცემების გათვალისწინებით, ჩვენი შეფასებებით თბილისში XXI საუკუნის პირველ ნახევარში მოსალოდნელია XII-XIII საუკუნეების კლიმატური ოპტიმუმის მსგავსი კლიმატური პირობების დამყარება.

ნ.3 კლიმატის პროგნოზირების ცდები ატმოსფეროს ცირკულაციური ფაქტორების ცვლილების გათვალისწინებით

ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების პროგნოზირებულ განვითარების გათვალისწინებით შესაძლებელია ვიწინასწარმეტყველოთ უახლოეს მომავალში მოსალოდნელი კლიმატური პირობები თბილისისათვის. თუ დაეშვებით, რომ ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განვითარების ზოგადი ტენდენციები, რომლებიც გამოვლინდა 1930-1990 წლებში, მენარჩუნებული იქნება უახლოეს ათწლეულებშიც, ანუ დასავლეთის ცირკულაცია განაგრძობს შესუსტებას, ხოლო აღმოსავლეთის ცირკულაცია შემდგომშიც გააქტიურდება (იხ. ნახ. 4.1-4.6), მეოთხე თავის პარაგრაფ 4.3-ში მიღებული (4.1) ფორმულის მიხედვით თბილისში უახლოეს მომავალში მოსალოდნელია წლიური ტემპერატურის საშუალო დონის მომაგება და წლიური ნალექების საშუალო დონის კლება.

დისერტაციის მეოთხე თავში გამოკვლეული იყო კორელაციური კავშირები ვანგენგეიმის ცირკულაციური ფორმების განმეორებადობების რყევადობასა და თბილისის კლიმატის რყევადობას შორის. შედგენილ იქნა რეგრესიის განტოლებები (4.4), რომელმაც კარგი შედეგები მოგვცა დროის ასწლიანი პერიოდისათვის (1890-1990წწ.) (იხ. ნახ. 4.9-4.10).

(4.4) რეგრესიის განტოლებების და დასავლეთის და აღმოსავლეთის ცირკულაციური ფორმების პროგნოზირებული განვითარების საფუძველზე შევაფასეთ თბილისში მოსალოდნელი საშუალო წლიური ტემპერატურის ფონური მნიშვნელობები უახლოესი მომავლისთვის. აღნიშნული შეფასებები მოყვანილია ცხრილ 5.3.1-ში.

ცხრილი 5.3.1

დასავლეთის (P_w) და აღმოსავლეთის (P_E) ცირკულაციური ფორმების წლიური განმეორებადობების პროგნოსტიკური მნიშვნელობები და მოსალოდნელი საშუალო წლიური ტემპერატურები ($^{\circ}C$) თბილისისათვის

წლები	P_w	P_E	T_w $^{\circ}C$	T_E $^{\circ}C$
2000	40	210	13,14	12,92
2005	35	215	13,16	12,93
2010	30	220	13,18	12,94
2015	25	225	13,20	12,95
2050	—	260	—	13,02

როგორც ცხრილ 5.3.1-დან XXI საუკუნის დასაწყისში თბილისში მოსალოდნელია საშუალო წლიური ტემპერატურის მრდა. ეს პროგნოზი ემთხვევა წინა პარაგრაფებში მიღებულ შედეგებს, ანუ, სხვადასხვა გზით მიღებული თბილისის კლიმატის მოსალოდნელი განვითარების შეფასებები (სხვადასხვა კლიმატწარმოქმნელი ფაქტორის გავლენის გათვალისწინებით) ერთსა და იმავე შედეგებს იძლევიან. კერძოდ, მოსალოდნელია, რომ XIX

საუკუნის მიწურულს დაწყებული დათბობის ტენდენცია, რომელიც გაგრძელდა XX საუკუნეში, ასევე გაგრძელდება XXI საუკუნეშიც და XXI საუკუნის პირველი ნახევარში თბილისში მოსალოდნელია XII-XIII კლიმატური ოპტიმუმის მსგავსი კლიმატური პირობების ჩამოყალიბება. ანუ მოსალოდნელია, რომ საშუალო წლიური ტემპერატურა გადააჭარბებს 13°C -ს, იანვრის საშუალო ტემპერატურა 2°C -ზე მეტი იქნება, ხოლო წლიური ნალექების საშუალო ღონე დაიწვეს 500-520 მმ-მდე.

აღსანიშნავია, რომ თბილისის და მთლიანად საქართველოს კლიმატის რყევადობა გლობალური კლიმატის ცვლილების ფონზე მიმდინარეობს, რომელიც დაკავშირებულია როგორც ბუნებრივი, ასევე ანთროპოგენური ფაქტორების ცვლილებასთან. გლობალური კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების უახლესი შეფასებები წარმოადგინა კლიმატის კვლევის სამთავრობათმორისო კომისიამ IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change), რომელიც შეიქმნა მსოფლიოს მეტეოროლოგიურ ორგანიზაციასთან [88,89]. მსოფლიოს მეცნიერთა ჯგუფმა შეიმუშავა გლობალური კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების შემდეგი სცენარი:

XXI საუკუნეში გლობალური ტემპერატურის მატება საშუალოდ შეადგენს $0,2^{\circ}\text{C}$ -ს ათწლეულზე, რაც თითქმის ორჯერ აღემატება ბევრი ეკოსისტემის შემგუებლობის შესაძლო ზღვარს. მაქსიმალური დათბობა არ აღემატება 3°C ცენტრალურ აზიაში, 2°C - ჩრდილო ამერიკის უმეტეს ნაწილში და $1-2^{\circ}\text{C}$ - ევროპაში, აფრიკაში, ინდოეთსა და ჩინეთში.

უახლოეს ათწლეულებში მოსალოდნელია ატმოსფერული ნალექების მომატება საშუალო და მაღალი განედების რეგიონებში, განსაკუთრებით ზამთრის პერიოდში. ატმოსფერული ნალექების დაკლება მოსალოდნელია სუბტროპიკების უმეტეს რაიონებში.

ნიადაგის ტენიანობის ცვლილება ზოგად ფორმებში იმეორებს ატმოსფერული ნალექების ცვლილებას და მოსალოდნელია გაიზარდოს უახლოესი 50 წელიწადის განმავლობაში, ძირითადად ზამთრის ნალექების გამრდის ხარჯზე.

1. ნაშრომის მთავარი შედეგია გლობალური კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე თბილისში ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების საუკუნოვანი სვლის რეაქციის შეფასება მზის აქტივობისა და ატმოსფეროს ცირკულაციის რყევადობის მიმართ და მიღებული შედეგების საფუძველზე კლიმატის რეკონსტრუქციის და განვითარების სცენარების შემუშავება.

2. 150-წლიან მეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე დადგენილია თბილისის კლიმატის ცვლილებისა და რყევადობის ძირითადი კანონზომიერებები:

ა) 1890-1990 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურის მრდის სიჩქარე ყოველ 10 წელიწადში $0,07^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს. ცვლილების სიჩქარე უდიდესი იყო იანვარში - $0,16^{\circ}\text{C}$, აპრილში შეადგენდა $0,1^{\circ}\text{C}$ -ს, ხოლო ივლისში - $0,05^{\circ}\text{C}$ -ს ყოველ ათ წელიწადში. ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე უარყოფითია მხოლოდ ოქტომბერში და შეადგენს მინუს $0,05^{\circ}\text{C}$ -ს ყოველ ათ წელიწადში.

1940-1990 წლებში, რომელიც შეესაბამება გლობალური დათბობის გააქტიურებას, ჰაერის ტემპერატურის მრდის სიჩქარე უდიდესია აპრილში და შეადგენს $0,17^{\circ}\text{C}$ -ს ყოველ ათ წელიწადში. საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე შეადგენს $0,049^{\circ}\text{C}$ -ს ყოველ ათ წელიწადში. ტემპერატურის მრდის სიჩქარე იანვარში შეადგენს $0,07^{\circ}\text{C}$ -ს, ივლისში - $0,05^{\circ}\text{C}$ -ს, ხოლო ოქტომბერში - მინუს $0,007^{\circ}\text{C}$ -ს ყოველ ათ წელიწადში.

ბ) ატმოსფერული ნალექების ცვლილება ხასიათდება უარყოფითი ტენდენციით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თბილი პერიოდის ნალექების კლება, რომელიც ყოველ ათ წელიწადზე დაახლოებით 10 მმ-ს შეადგენს, ცივი პერიოდის ნალექების კლების სიჩქარე დაახლოებით 3 მმ-ია ყოველ ათ წელიწადში.

გ) ჰაერის ტემპერატურის მრავალწლიან სელაში (1844-1990წწ.) გამოვლენილია სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლები და შეფასებულია დათბობის და აციების ფაზები. გამოვლენილია დათბობის და აციების ხანმოკლე პერიოდები და თითოეული პერიოდისათვის გამოთვლილია კლიმატური ელემენტის ნორმიდან გადახრა.

დ) ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიან სელაში (1844-1990წწ.) გამოვლენილია სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლები, დადგენილია და შეფასებულია დიდწყლიანობის და მცირეწყლიანობის ფაზები. გამოვლენილია დიდწყლიანობის და მცირეწყლიანობის ხანმოკლე პერიოდები და თითოეული პერიოდისათვის გამოთვლილია კლიმატური ელემენტის ნორმიდან გადახრა.

3) დადგინდა, რომ მზის აქტივობის მაქსიმუმის ეპოქებში (1844-1880წწ., 1930-1970წწ.) თბილისში ჰაერის საშუალო ტემპერატურები უფრო მაღალი, ხოლო ატმოსფერული ნალექების საშუალო ღონე უფრო დაბალი მნიშვნელობებით ხასიათდება ვიდრე მზის აქტივობის მინიმუმის ეპოქებში (1880-1930წწ., 1970-1990წწ.) სტატისტიკური კრიტერიუმები ადასტურებენ ამ განსხვავებების ნიშნალობას საკმაოდ მაღალ პროცენტულ ღონეზე.

4) მზის აქტიუობის და თბილისის კლიმატის ძირითადი ელემენტების კორელაციური ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ კორელაცია ჰაერის ტემპერატურასა და ვოლფის რიცხვებს შორის დადებითია და განსაკუთრებით არსებითია ზამთარში, რაც განაპირობებს კორელაციის კოეფიციენტის მაღალ პროცენტულ ნიშნადობას სამუალო წლიური ტემპერატურისთვის. აგმოსფერული ნალექების კორელაცია მზის აქტიუობასთან უარყოფითია და განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თბილი პერიოდის ნალექებისა და ნალექების წლიური ჯამებისათვის.

ნიშნადი კორელაციის კოეფიციენტებისათვის მიღებულია შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები.

5) ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში აგმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების საუკუნოვანი რყევალობის საფუძველზე (1890-1990წწ.) გამოვლენილია ცირკულაციური ფორმების გააქტიურების და შესუსტების ფაზები. თითოეულ ამ ფაზას შეესაბამება თბილისში კლიმატური ელემენტების სვლის გარკვეული ტენდენცია. კერძოდ, დასაველეთის ცირკულაციის გააქტიურების და აღმოსაველეთის ცირკულაციის შესუსტების ფაზებს 1890-1930 წლებში შეესაბამება სამუალო წლიური ტემპერატურის დაბალი და წლიური ნალექების მაღალი დონე, ხოლო დასაველეთის ცირკულაციის შესუსტების და აღმოსაველეთის ცირკულაციის გააქტიურების ფაზებს 1950-1990 წლებში შეესაბამება წლიური ტემპერატურის მაღალი და წლიური ნალექების დაბალი დონე (სამუალო მრავალწლიურ ნორმასთან შედარებით).

6) დადგენილია კავშირები დასაველეთის და აღმოსაველეთის ცირკულაციების განმეორებადობების სხვაობასა და ძირითად კლიმატურ ელემენტებს შორის. კავშირი გამოსახულია რეგრესიის განტოლების სახით, რომელთა თანახმადაც სხვაობის დადებით მნიშვნელობებს შეესაბამება სამუალო წლიური ტემპერატურის დაბალი და წლიური ნალექების გაზრდილი ფონი და პირიქით.

7) აგმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების და კლიმატის ძირითადი ელემენტების კორელაციური ანალიზის საფუძველზე დადგინდა ნიშნადი უარყოფითი და დადებითი კორელაციების არსებობა თბილისის სამუალო წლიურ ტემპერატურასა და შესაბამისად ცირკულაციის დასაველეთის და აღმოსაველეთის ფორმების განმეორებადობებს შორის. აგმოსფერული ნალექების სვლა არ კორელირებს ცირკულაციის არცერთ ფორმასთან. ნიშნადი კორელაციის კოეფიციენტებისათვის მიღებულია რეგრესიის განტოლებები.

8) თბილისის კლიმატის ცვლილების გამოვლენილი კანონზომიერებისა და მიღებული რეგრესიის განტოლებების საფუძველზე შედგენილია ფონური კლიმატური პროგნოზები, რომელთა თანახმად მოსალოდნელია, რომ თბილისში ჰაერის სამუალო წლიური ტემპერატურა XXI საუკუნის დასაწყისში გადააჭარბებს 13°C -ს, ხოლო აგმოსფერული ნალექების წლიური დონე 2050 წლისათვის 500-520 მმ-მდე დაეცემა, ანუ თბილისის კლიმატი XXI საუკუნეში უფრო კონტინენტური ხდება. სამუალო თვიური ტემპერატურა იანვარში მოსალოდნელია იყოს $1,6^{\circ}\text{C}$, აპრილში - $13,7^{\circ}\text{C}$, ხოლო ივლისში - $24,9^{\circ}\text{C}$ მოსალოდნელია. რომ ოქტომბრის თვის სამუალო ტემპერატურა XXI საუკუნის პიველ ნახევარში შემცირდეს სულ რაღაც რამოდენიმე მეასედით ახლანდელ

მნიშვნელობასთან შედარებით.

9) ეოლფის რიყებებსა და კლიმატის ძირითად ელემენტებს შორის მიღებული რეგრესიის განტოლებები საფუძვლად დაედო თბილისის კლიმატური პირობების რეკონსტრუქციას დაწყებული XI საუკუნიდან და მისი მოსალოდნელი განვითარების სენარის შეფასებას. მიღებული შედეგების თანახმად XII-XIII საუკუნეების კლიმატური ოპტიმუმის დროს, თბილისში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა აღემატებოდა 13°C -ს, იანვრის საშუალო ტემპერატურა აღემატებოდა 2°C -ს, ხოლო ნალექების წლიური ჯამი შეადგენდა 500-520 მმ-ს.

XV-XVI და XVII-XVIII საუკუნეების საზღვარზე ყალიბდება მცირე მყინვარული პერიოდები, როდესაც იანვრის საშუალო ტემპერატურა ეცემა მინუს 1°C -ზე დაბლა, ხოლო ნალექების წლიური ჯამი დაახლოებით 600 მმ-ია.

XX საუკუნის კლიმატური პირობები საქართველოში მიეკუთვნება გარდამავალ ფაზას, ხოლო XXI საუკუნის პირველ ნახევარში თბილისში მოსალოდნელია XII-XIII საუკუნეების კლიმატური ოპტიმუმის მსგავსი კლიმატური პირობების ჩამოყალიბება.

10) ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების განვითარების მოსალოდნელი გენდენციების გათვალისწინებით, თბილისში უახლოეს მომავალში მოსალოდნელია საშუალო წლიური ტემპერატურის ზრდა და ნალექთა წლიური ჯამების კლება. ჩვენი შეფასებებით, XXI საუკუნის პირველ ათწლეულებში საშუალო წლიური ტემპერატურა თბილისში გადააჭარბებს 13°C -ს.

11) ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შემუშავებულია ბუნებრივი კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების მიმართ კლიმატის ძირითადი ელემენტების რეაქციის შეფასების მეთოდოლოგიური საფუძვლები, რაც შემდგომში შეიძლება გამოყენებული იყოს სხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში.

1. E. Elizbarashvili, T. Aladashvili. "Solar Activity and Climate Centennial Fluctuations in Tbilisi". Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 155, No 3, 1997;
2. ე. ელიზბარაშვილი, თ. ალადაშვილი. "თბილისის კლიმატის რეაქცია მზის აქტივობის საუკუნოვან რყევადობაზე". კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No 6, 1998;
3. ე. ელიზბარაშვილი, ჯ. ვაჩნაძე, თ. ალადაშვილი. "კლიმატური ციკლები და ატმოსფეროს ცირკულაციის რყევადობა". პირობითი გეოლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 101, 1998;
4. თ. ალადაშვილი. "თბილისის კლიმატის რეაქცია კოსმოსური და ცირკულაციური ფაქტორების საუკუნოვანი რყევადობის მიმართ გლობალური კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე". 45-ე რესპუბლიკური სამეცნიერო სესიის მასალები, 1998;
5. ე. ელიზბარაშვილი, ლ. პაპინაშვილი, მ. ელიზბარაშვილი, თ. ალადაშვილი, ნ. გიგაური. "პაეის ცვლილების მოგვიერტი ძირითადი მიმართულებების კვლევის თანამედროვე მდგომარეობა საქართველოში". რესპუბლიკური სამეცნიერო სესიის "პაეის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში" მასალები, 1998;
6. E. Elizbarashvili, T. Aladashvili. "On Circulation Factors of Climate Centennial Fluctuation (Tbilisi Case)". Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 159, No 1, 1999.

1. თ. გზირიშვილი, გ. ლაზრიევი. აღმოსავლეთ საქართველოში ექსტრემალური ტემპერატურების სიხშირისა და ინტენსივობის შესწავლა კლიმატის ცვლილების ფონზე. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No. 5, 1997.
2. ე. ელიზბარაშვილი, ლ. პაპინაშვილი, თ. ხელაძე. საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილებების გამოკვლევის წინასწარი შედეგები. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No. 5, 1997.
3. კ. თაყარაძე თბილისის კლიმატის თანამედროვე ცვლილება და მისი გამომწვევი ბუნებრივი და ანთროპოგენური პირობები. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No. 5, 1997.
4. კ. თაყარაძე, ე. ელიზბარაშვილი, დ. მუმლაძე, ჯ. ვაჩნაძე. საქართველოს ტემპერატურული ველის ცვლილებების ემპირიული მოდელი. საქ. მეცნ. აკადემია, სამენიერო სესიის მასალები, 1998.
5. დ. მუმლაძე. საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება. თბ., მეცნიერება, 1991.
6. გ. სვანიძე, ვ. ცომაია, გ. ხმალაძე. საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენის და მისი ცვლილების შეფასება კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების პირობებში. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No. 6, 1997.
7. ი. ქურდიანი. პავის საუკუნოვანი ცვალებადობის საკითხისათვის საქართველოში. საქ. მეცნ. აკადემია, გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. XV, 1956.
8. ა. ხანთაძე, თ. გზირიშვილი. კლიმატის დათბობა, როგორც ატმოსფეროს სითბოგამტარობის არაწრფივი ამოცანა. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No. 5, 1997.
9. ა. ხანთაძე, თ. გზირიშვილი, გ. ლაზრიევი. კლიმატის გლობალური დათბობის არაწრფივი თეორიის შესახებ. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, No. 6, 1997.
10. Баталов Ф.З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л., 1968.
11. Беручашвили Н.Л. Кавказ: ландшафты, модели, эксперименты. Тб., 1995, ст. 313.
12. Будыко М.Н. Современные изменения климата. Л., гидрометеиздат, 1977, ст. 47.
13. Будыко М.Н. Климат в прошлом и будущем. Л., гидрометеиздат, 1980, ст. 152.
14. Будыко М.Н. Эволюция биосферы. Л., гидрометеиздат, 1984, ст. 487.

- 15 Будыко М.П. Исследования современных изменений климата Метеор и гидр, No 11, 1977, ст. 42-57
16. Будыко М.П., Винников К.Я. Проблема обнаружения антропогенного изменения глобального климата Метеор. и гидрот, No 9, 1983, ст. 14-26
17. Винников К.Я. Чувствительность климата. Л., гидрометеониздат, 1986.
18. Винников К.Я. Гройсман П.Я. Эмпирическое исследование чувствительности климата. Изд. АН СССР Физика атмосферы и океана, т. 18, No 11, 1982, ст. 1159-1169.
19. Вительс Л.А. Аномалии циклического хода солнечной активности и тенденции современных колебаний климата Тр. ГГО., вып. 133, 1962.
20. Вительс Л.А. Характеристики Барноциркуляционного режима. Л., 1965.
21. Витинский Ю.Н. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л., 1973.
- 22 Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л., гидрометеониздат, 1962
23. Гагуа В.П. Статистическая структура температуры воздуха на территории Закавказья. Тр. ЗаКНИИ, вып. 74(80) 1980, ст. 52-61.
- 24 Гагуа В.П. Пространственно-временные закономерности многолетнего хода температуры воздуха в Закавказье. Тр. ЗаКНИИ, вып. 74(80), 1980, ст. 37-50.
25. Гадниев Ю.Д. Учет колебаний атмосферной циркуляции при оценке предстоящих изменений климата Закавказья. Автореферат, Баку/ 1996.
26. Гвазава Р.А., Хоргуани В.Г. О вековом изменении приземной температуры воздуха в Тбилиси. Метеорол. и гидр., No 11, 1989, ст. 111-113.
- 27 Геоденов А.Д. Изменения температуры воздуха на северном полушарии за 90 лет. Л., гидрометеониздат, 1963
28. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л., гидрометеониздат, 1981.
29. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы. Л., гидрометеониздат, 1974.
30. Гирс А.А. Преобразование форм атмосферной циркуляции и их анализ. Метеорол и гидр., No 3, 1966.
31. Гройсман П.Я., Кокнаева В.В. О влиянии процесса урбанизации на оценки глобального потепления. Метеорол. и гидр., No 4, 1991 ст. 5-11.
32. Гутерман Н.Г., Погосян Х.П. Некоторые особенности возмущающего влияния гор Кавказа на циркуляцию атмосферы Тр. МИНЭК, 1972, вып. 81, ст. 3-17.
33. Давитана Ф.Ф. О возможном влиянии запыленности атмосферы на уменьшение ледников и потепление климата Изд. АН СССР, сер. геогр., 1965, ст. 3-29.

- 34 Дзердзевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климат Избр. Тр. М., Наука, 1975.
35. Дроздов О.А. О фазах векового цикла количества осадков на территории Евразии. Тр. ГГО, вып. 299, 1970, ст. 91-99
- 36 Дроздов О.А. Колебания осадков в бассейне р. Волга и изменение уровня Каспийского моря. Изд Казанского университета, 1963
- 37 Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., гидрометеониздат, 1971, ст. 158.
38. Дроздов О.А., Шарова В.Я., Швер Ц.Я. К вопросу вычисления среднего многолетнего количества осадков. Тр. ГГО, вып. 148, 1963.
39. Дружинин И.П., Сазонов Б.Н., Ягодинский В.П. Космос-Земля. Прогнозы. М., Мысль, 1974.
40. Захарв В.Ф., Строкина Л.А. Современные изменения ледяного покрова Северного Ледовитого Океана. Метеорол. и гидрол., No 7, 1978, ст. 35-43.
41. Климат Белоруси. Под. ред. Логинова В.Ф., Минск, 1996.
42. Климат Тбилиси. Под ред. Сванидзе Г.Г., Папинашвили Л.К., Л., гидрометеониздат, 1992.
43. Кондратьев К.Я. Современные изменения климата и определяющие их факторы. В кн.: Итоги науки и техники Метеорол. и климатология. Т. 4, М., 1977, ст. 202.
44. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. Л., Гидрометеониздат, 1980, ст. 279.
45. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Солнечная постоянная. Обзор-Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1980, ст. 53.
46. Ларионов Л.Н. О точности пересчета осадков по Липовской ССР и Калининградской области за холодный период Тр. ГГО, вып. 194, Л., 1966.
47. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. Мн., 1992.
48. Логинов В.Ф. Характер Солнечно-Атмосферных связей. Л., гидрометеониздат, 1973, ст. 48.
49. Логинов В.Ф., Ракипова Л.Р., Сухамазова Г.И. Эффекты солнечной активности в стратосфере. Л., гидрометеониздат, 1980, ст. 80.
50. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., 1970.
51. Максимов И.В., Слепцов-Шевлевич Б.А. О связи солнечной активности и барического поля северного полушария земли. ДАН СССР, 1971, Т. 201, No 2, ст. 339-341.
52. Маруашвили Л.И. Целесообразность пересмотра существующих представлений о палеографических условиях ледникового периода на Кавказе. Изд. АН. ГССР, Т6, 1959.
53. Мустель Э.Р., Чертопруд В.Е., Мулсокова Н.Б. Связь между корпускулярной активностью Солнца и ростом нестабильности нижней атмосферы Земли в разные сезоны Астр. журн., 1979, т. 56, вып. 4, ст. 876-880

- 54 Обридко В.Н., Мансуров С М , Мансурова Л Г Солнечные протонные вспышки и секторная структура межпланетного магнитного поля. Геомagnetизм и аэрономия, 1974, т 14, ст 3-7
- 55 Оль А.Н. Проявление 22-летнего цикла солнечной активности в климатах Земли Тр. ААНИИ, 1969, т 289, ст. 116-131.
56. Оль А.Н , оль Г Н., Суворова Л.А. Влияние некоторых космических факторов на циркуляцию атмосферы. Тр ААНИИ, 1977, т. 340 116-131
57. Папинашвили Л.К. Колебание атмосферных осадков на территории Закавказья Тр. Зак НИИ, вып. 74(80), 1980, ст. 62-71.
- 58 Папинашвили Л.К. Изменчивость высоты снежного покрова на территории Закавказья. Тр ЗакНИИ, вып 74(80), 1980, ст. 72-79
- 59 Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современные изменения климата. Л., Гидрометеониздат, 1966, ст 268
60. Сидоренков Н.С. Солнечные корпускулярные потоки и погода на Земле. природа, No 3,1974.
61. Сидоренков Н.С., свиренко П.И. К вопросу о многолетних колебаниях атмосферной циркуляции Метеорол. и гидрол., No11, 1983.
62. Фишер Р.А. Статистические методы исследователей. Гос. стат. изд-во, М., 1958.
63. Ходаков В.Г. Снег и льды Земли. М , Наука, 1969, ст. 163.
64. Хромов С.П. Солнечные циклы и климат, метеорол. и гидрол., No 9, 1973.
- 65 Цуцкиридзе Я.П. Основные черты термического режима Грузии. Л., гидрометеониздат, 1967.
66. Чиракадзе Г.И. Основные черты климата Тбилиси и его окрестностей. Тр. ТбилНИГМИ, 1959, вып. 6, ст. 6-41.
67. Шарова В.Я. Число дней с осадками различной величины на территории Европейской части СССР и Кавказа. Л., гидрометеониздат, 1958.
- 68 Швер Ц.А. Применение метода последовательных изменений и интегрально-разностных кривых для вычисления норм осадков. Тр ГГО, вып. No 162, 1962.
69. Эйгенсон М.С. Солнце, погода и климат Л., гидрометеониздат, 1963.
70. Angel J.K. Korshover J. Global temperature variations in the troposphere and stratosphere. 1958-1982. Mon. Wea, rev. 1983, v. 111, No 5, p. 901-925.
71. Barros V. and I. Camillon, 1994: Urban-biased trend in Buenos Aires mean temperature, clim. res No 4, p. 33-45.
72. Bowen E.G. (1975): Kidson's relation between sunspot number and the movement of high pressure systems in Australia, Goddard Spase Flight Center Special Report, NASA SP - 366, p.43.
73. Callender G.S. The artificial production of karbon dioxide and its influence on temperature Quart. J. Roy. Met. Soc. V. 64, No 27, P. 223-224
- 74 Cormier R.J. (1973). Whole Riometer Observations of Polar Cap Events (1962-1972) Air Force Cambridge Research Laboratories, Rpt No AFCRL-TR-73-0063.

- 75 Dickinson R.E. (1975). Solar variability and the lower atmosphere Bull Amer. Meteorol Soc. 56. 1240.
- 76 Domingo V., D. Kohn, D.E. Paue, B.G. Taylor, K P Wenzel (1973) Mev electrons, protons and alpha particles. August 2-13. 1972. Collected Date Reports August 1972 Solar Events. World Date Center Rpt. UAG - 28, p.342.
77. Eddy J.A. The Maunder Minimum Science, 192,1976.
78. Flon H. Klimaschwankungen der letzten 1000 Jahre und ihre geophysikalischen Ursachen. Dt. Geogr - Tag wicrzlung. 1959.
79. Forbush S.E. (1973): Cosmic ray diurnal anisotropy 1937-1972. J. Geophys. Res. 78. 7933.
80. Fulks G.J. (1975): Solar modulation of galactic cosmic ray electrons, protons and alphas. J Geophys. Res. 80. 1701.
81. Hakura Y , T. Goh (1959). Polar cap ionospheric blackout and type IV solar radio outburst. J. Radio Res., Jap. 6, 635
82. Hansen J. and S. Lebedeff (1988). Global surface temperatures update through 1987. Geophys Res. Lett. 15, 323-326.
83. Heath D.F., M.P. Thekalkara (1977): Measures of the solar spectral irradiance between 1200 and 3000A. Colorado Associated University Press, Boulder, Colorado.
84. Heath D.F , J.M. Wikox (1975): A possible correlation between maxima of the far ultraviolet and solar irradiance and central meridian passages of solar magnetic sector boundaries, NASA SP -336, P. 79.
85. Herman J.R., Goldberg R.A. Sun, Weather and Climate. Washington, 1978.
86. Hulme M., Z.C. Zhao and T. Liang (1994): Recent and future climate Change in East Asia. Int. J. Climatology, 14.
87. IPCC 1992: Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, J. T. Houghton, B A. Callander and S.K. Varney. WMO/UNEP. Cambridge, UK.
88. IPCC 1994: Radiative Forcing of Climate Change 1994: Report to the IPCC from the Scientific Assessment Working Group (WCI)/WMO/UNEP).
89. IPCC 1995: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP.
90. Jones P.P. 1994a: Hemispheric Surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. J. Climate, 7,1794.
91. Kent D.W., M.A. Pomerantz (1971): Cosmic ray intensity variations in the lower atmosphere. J. Geophys. Res. 76, 1652.
92. King J.W. (1973): Solar radiation changes and the weather. Nature 245, 443.
93. King J.W. (1975): Sun-weather relationships. Astronaut. p.10.
94. Lamb H.H. Climate: Present, Past and Future, No 2, London, 1977.
95. Lamb H.H. Climatic Reversal in northern Atlantic. Nature, v 256, No 5517, 1975, p. 479.
96. Lockwood J.A., L. Shief, J.J. Quenby (1975). Some unusual features of the cosmic ray storm in August 1972. J. Geophys., res. 80(13), p. 1725.
97. Manabe S., Stouffer R. Sensitivity of a global climate to an increase of CO₂ concentration in the atmosphere. J. Geophys. Res v. 85, No 10, 1980, p.5529-5553.

98. Miles M.K. (1974): The variation of annual mean surface pressure over the northern hemisphere during the double sunspot cycle. *Meteorol. Mag.* 103, p. 93.
99. Mitchell J.W (1965): The Solar inconstant, in Proceedings Seminar on Possible Responses of Weather Phenomena to Variable Extra-Terrestrial Influences. NCAR Tech. Note TN-8, p.155-174, Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.
100. Mitchell J.W. On the world-wide pattern of temperature change-changes of climate Aride Zone. Res. 20, UNESCO, Paris, 1963, p. 161-181.
101. Okal E., E.L. Anderson (1975): On the planetary theory of Sunspots. *Nature* 253, p. 511.
102. Portman P.A. (1993): Identifying and correcting urban bias in regional time series: Surface temperature in China's northern places. *J. Climate*, 6, p.2298-2308.
103. Roberts W.O. (1975): Relationships between solar activity and climate change. Goddard space Flight Center, Special Report NASA SP-366, p.13.
104. Sagan C., Toon O.B., Pollack J.B. Human impact on climate of global significance since the domestication of fire science. *V. 204, No 4425, 1979, p.1363-1368.*
105. Sanderson R.M. Changes in the area of Arctic Sea ice from 1966 to 1974. *Met.*, May, v. 104, No 1240, 1975, p. 313-323.
106. Smart D.F., M.A. Shea (1972): Daily variation of electron and proton geomagnetic cut-off calculated for Fort Churchill, Canada. *J. Geophys. res.* 77, p. 4595.
107. Thekaekara M.P. (1974): Solar constant and solar spectrum. *Encyclopedia of Physics*, 2nd edition, p. 853.
108. Vinnikov K.Ya., P.Ya. Groisman and K.M. Lugina (1990): Empirical date on contemporary global climate changes (temperature and precipitation). *J. Climate*, 3, p.662-677.
109. Volland H (1977a): Can Sunspots influence our weather? *Nature* 269, p. 400.
110. Volland H.(1977b): Periodic variations of the solar radiation-a possible source of solar activity-weather effects. *J. Atmos.*, 39, p.69.
111. Waldmeier M. (1961): *The Sunspot activity.* zurich, Switzerland.
112. Wallis J.R. (1977): Climate, climatic change and water supply *EOS*. 58, p.1012.
113. Wende C.D. (1969a): The correlation of solar microwave and soft X-ray radiation. 1. The solar cycle and slowly varying components. *J. Geophys.*, res. 74, p. 4649-4660.
114. Wende C.D. (1969b): The correlation of solar microwave and soft X-ray radiation. 2. The burst component. *J. Geophys.*, res. 74, p. 6471-6481.
115. Wexler H. (1950): Possible effects of ozone heating on sea-level pressure. *J. Meteorol.* 7, p. 340.
116. Wilcox J.M., N.F. Ness (1965): Quasi-stationary corotation structure in the interplanetary medium. *J. Geophys.*, res. 70, p. 5793.
117. Wilcox J.M., P.S. Colburn (1972): Interplanetary sector structure and solar maximum. *J. Geophys.*, res. 77, p. 751-756
118. Willet H.C. Temperature trends of the past century. Royal Meteorological Society, London, 1950, p. 195-206

119. Zatopek A , L. Krivsky (1974): Correlation between meteorological microseisms and solar activity. Bull. Astron., Inst. Czech.(25), p.257.

და ნ ა რ თ ი No1

გოლფის რიკბეები (W)

წელი	W	წელი	W	წელი	W
1844	15	1893	85	1942	31
1845	40	1894	78	1943	16
1846	62	1895	64	1944	10
1847	98	1896	42	1945	33
1848	124	1897	26	1946	93
1849	96	1898	27	1947	152
1850	66	1899	12	1948	136
1851	64	1900	10	1949	135
1852	54	1901	3	1950	84
1853	39	1902	5	1951	69
1854	21	1903	24	1952	31
1855	7	1904	42	1953	14
1856	4	1905	64	1954	4
1857	23	1906	54	1955	38
1858	55	1907	62	1956	142
1859	94	1908	48	1957	190
1860	96	1909	44	1958	185
1861	77	1910	19	1959	159
1862	59	1911	6	1960	112
1863	44	1912	4	1961	54
1864	47	1913	1	1962	38
1865	30	1914	10	1963	28
1866	16	1915	47	1964	10
1867	7	1916	57	1965	15
1868	37	1917	104	1966	47
1869	74	1918	81	1967	94
1870	139	1919	64	1968	106
1871	111	1920	38	1969	105
1872	102	1921	26	1970	104
1873	66	1922	14	1971	67
1874	45	1923	6	1972	69
1875	17	1924	17	1973	38
1876	11	1925	44	1974	34
1877	12	1926	64	1975	15
1878	3	1927	69	1976	13
1879	6	1928	78	1977	27
1880	32	1929	65	1978	92
1881	54	1930	36	1979	155
1882	60	1931	21	1980	156
1883	64	1932	11	1981	140
1884	64	1933	6	1982	116
1885	52	1934	9	1983	67
1886	25	1935	36	1984	48
1887	13	1936	80	1985	18
1888	7	1937	114	1986	13
1889	6	1938	110	1987	29
1890	7	1939	89	1988	100
1891	36	1940	68	1989	158
1892	73	1941	48	1990	143

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ატმოსფეროს ცირკულაციის ძირითადი ფორმების წლიური განმეორებადობა (წელიწადში დღეთა რიცხვი)

W- დასავლეთის ცირკულაცია, E - აღმოსავლეთის ცირკულაცია,
C - მერიდიონალური ცირკულაცია

წელი	W	E	C	წელი	W	E	C	წელი	W	E	C
1891	220	56	89	1925	167	98	100	1959	86	161	128
1892	181	87	95	1926	163	110	92	1960	70	135	95
1893	156	73	136	1927	117	182	66	1961	72	150	72
1894	176	54	141	1928	169	134	63	1962	71	188	80
1895	189	58	128	1929	122	154	89	1963	75	110	95
1896	152	80	134	1930	115	187	58	1964	135	130	100
1897	186	76	103	1931	132	139	94	1965	75	120	114
1898	177	80	112	1932	164	121	88	1966	92	110	128
1899	194	42	129	1933	98	172	95	1967	78	110	75
1900	75	159	132	1934	146	176	51	1968	70	185	88
1901	79	172	123	1935	114	166	85	1969	62	182	110
1902	96	115	158	1936	96	200	70	1970	58	150	82
1903	152	155	58	1937	68	241	67	1971	65	171	70
1904	173	116	98	1938	148	131	76	1972	75	165	95
1905	176	113	66	1939	125	143	89	1973	58	148	65
1906	146	141	78	1940	94	148	117	1974	78	208	93
1907	178	139	48	1941	73	143	149	1975	90	140	62
1908	130	110	126	1942	129	120	116	1976	73	202	72
1909	128	169	68	1943	137	114	114	1977	73	180	80
1910	148	167	60	1944	105	138	123	1978	48	215	79
1911	132	114	110	1945	100	127	138	1979	55	195	57
1912	137	121	110	1946	91	147	127	1980	82	160	70
1913	169	108	88	1947	97	114	154	1981	78	185	50
1914	177	98	90	1948	145	107	123	1982	70	180	63
1915	139	125	101	1949	138	136	91	1983	60	230	80
1916	174	130	62	1950	106	163	96	1984	75	200	60
1917	169	93	110	1951	101	178	86	1985	115	135	63
1918	139	154	72	1952	94	174	98	1986	100	150	60
1919	132	147	86	1953	119	157	89	1987	98	145	68
1920	117	205	44	1954	122	170	73	1988	83	153	60
1921	169	112	84	1955	109	166	90	1989	79	160	55
1922	144	137	88	1956	122	129	115	1990	85	180	58
1923	186	112	67	1957	103	150	118				
1924	152	159	55	1958	67	184	113				