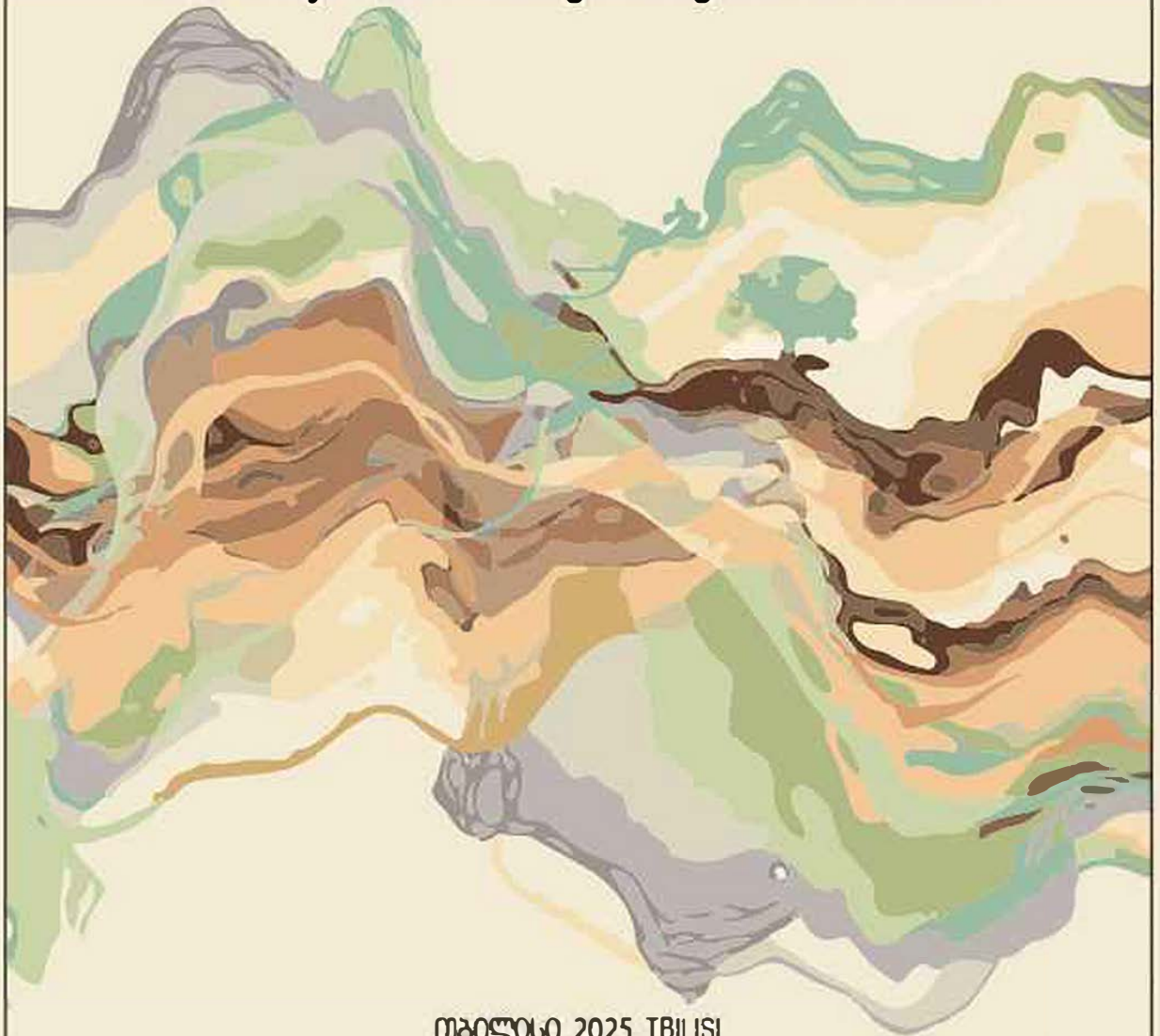


ნ. ბოლაშვილი, ზ. გულაშვილი, ნ. სუქნიძე, მ. ტატიშვილი, თ. ჭიჭინაძე
N. Bolashvili, Z. Gulashvili, N. Suknidze, M. Tatishvili, T. Chichinadze

ცხინვალის რეგიონის ოკუპირებულ ტერიტორიებზე
კლიმატის ელემენტების მონაცემთა ბაზების შედგენა და
კლიმატის ცვლილებისგან გამოწვეული რისკების
შეფასება თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით

**Creation of Databases of Climate Elements in the Occupied
Territories of the Tskhinvali Region and Assessment of Risks
Caused by Climate Change Using Modern Methods**



ნ. ბოლაშვილი, ზ. გულაშვილი, ნ. სუქნიძე,
მ. ტატიშვილი, თ. ჭიჭინაძე

ცხინვალის რეგიონის ოკუპირებულ
ტერიტორიებზე კლიმატის ელემენტების
მონაცემთა ბაზების შედგენა და კლიმატის
ცვლილებისგან გამოწვეული რისკების
შეფასება თანამედროვე მეთოდების
გამოყენებით

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით, გრანტი #OTG-I-24-456 – „ცხინვალის რეგიონის ოკუპირებულ ტერიტორიებზე კლიმატის ელემენტების მონაცემთა ბაზების შედგენა და კლიმატის ცვლილებისგან გამოწვეული რისკების შეფასება თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით“.

რედაქტორი:

გეორგ. მეცნ. დოქტორი, პროფ. ლიანა ქართველიშვილი

რეცენზენტი:

ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტ. ავთანდილ ამირანაშვილი

ინგლისური ტექსტის რედაქტორი:

ნატალია გაგნიძე



მონოგრაფია დაიბეჭდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [გრანტის #OTG-I-24-456]

სარჩევი

შესავალი	5
თავი 1. საკვლევი ტერიტორიის ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათება.....	7
თავი 2. კლიმატი.....	9
თავი 3. კვლევის მეთოდოლოგია.....	14
3.1. მეთოდოლოგიის მოკლე დახასიათება.....	14
3.2. კლიმატური ინდექსები	16
3.3. გამოყენებული მონაცემები	17
3.4. მონაცემების ვალიდაცია	18
თავი 4. საკვლევ ტერიტორიაზე კლიმატის ელემენტების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციები	23
4.1. ჰაერის ატმოსფერული ტემპერატურის მრავალწლიური ცვლილება	23
4.2. სითბური ტალღები	48
4.3. ცხელი დღეები.....	50
4.4. ტროპიკული ღამეები	52
4.5. წყინვების და ყინვიაწი დღეების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციები	55
4.6. ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები	66
თავი 5. საკვლევ ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციები	69
5.1. ნალექების ცვლილება	69
5.2. ნალექების კლიმატური ინდექსები.....	88
დასკვნა	92
ლიტერატურა.....	93
დანართი 1.	187
დანართი 2.	188

შესავალი

გასული საუკუნის 90-ნი წლებიდან კლიმატის ცვლილება მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონებში მცხოვრები ადამიანებისთვის თვალსაჩინო გახდა: მყინვარების დნობა, ზღვის დონის მატება, რეკორდული სიცხეები, ძლიერი გვალვები, ტყის ხანძრები, მასშტაბური დატბორვები, მეწყერები და სხვა მსგავსი მოვლენები ბოლო წლებში საკმაოდ გახშირებულია.

კლიმატის ცვლილების პროცესი საქართველოშიც მნიშვნელოვნადაა გააქტიურებული. 1956-1985 წლებთან შედარებით ქვეყნის ტერიტორიაზე ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა $0.25-0.58^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში თითქმის ყველგან მომატებულია. რაც შეეხება წალექებს, დასავლეთ საქართველოში მისი წლიური რაოდენობა, ძირითადად, გაზრდილია, ხოლო აღმოსავლეთის რიგ რაიონებში – შემცირებული.

საქართველოში კლიმატის ცვლილების უარყოფითი შედეგების ფართო სპექტრი ვლინდება – მნიშვნელოვნად გაიზარდა მეწყერულ-გრავეიტაციული და ღვარცოფული პროცესების მასშტაბები და რაოდენობრივი მაჩვენებლები. ინტენსიურად დნება მყინვარები. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ გლობალურ დათბობასთან დაკავშირებული სითბური ტალღები ადამიანის ჯანმრთელობაზე ცუდ გავლენას ახდენს და სამწუხაროდ, მომავალში კლიმატის ცვლილების ნეგატიური ეფექტი კიდევ უფრო გაძლიერდება. ქვეყნის მთავარი მიზანია, კლიმატის ცვლილებისადმი შედეგი პრაქტიკის განვითარებით, ადაპტაციის უნარის გაუმჯობესება, რაც კლიმატის ცვლილების მიმართ ყველაზე მგრძნობიარე თემების მოწყვლადობას შეამცირებს. ამისათვის აუცილებელია სამეცნიერო კვლევების ხელშეწყობა და განხორციელება. „გაეროს“ 2002 წლის იოჰანესბურგის მსოფლიო სამიტისათვის მომზადებულ მოხსენებაში აღნიშნულია, რომ სტიქიით გამოწვეული უარყოფითი შედეგები განსაკუთრებით შთაბეჭდილება იქ, სადაც ქვეყნის პოლიტიკოსები იგნორირებას უკეთებენ მეცნიერების მიერ შემოთავაზებულ პროგნოზებს.

საქართველოს მეტეოროლოგიური დაკვირვებებისა და კლიმატური კვლევების საკმაოდ ხანგრძლივი ისტორია გააჩნია. ამან შესაძლებლობა მისცა ჩვენს მკვლევარებს შეეფასებინათ კლიმატის ცვლილების სამომავლო ტენდენციები ჩვენი ქვეყნის რთული გეოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით, განესაზღვრათ მოწყვლადობის დონე ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორებისათვის და ბუნებრივი ეკოსისტემებისათვის, შეემუშაებინათ ადაპტაციის შესაბამისი სტრატეგია. სამწუხაროდ, საქართველოში გასული საუკუნის 90-ნი წლებიდან ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვების ქსელი თითქმის მთლიანად მოიშალა. მართალია, უკანასკნელ პერიოდში დაიწყო მეტეოროლოგიური სადგურების აღდგენის ტენდენცია, მაგრამ 1990-ან წლებამდე არსებულს ჯერ-ჯერობით მნიშვნელოვნად ჩამორჩება.

ოკუპირებული ტერიტორიები წარმოადგენს ჩვენი ქვეყნის განუყოფელ ნაწილს. გარემოსდაცვითი ინფორმაციის ერთიანი ბაზის შექმნისათვის აუცილებელია შეიქმნას ამ ტერიტორიებისთვის მეტეოროლოგიური ელემენტების მონაცემთა ბაზა.

ცხინვალის რეგიონისთვის კლიმატური პარამეტრების და ინდექსების დადგენა მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან ოკუპირებულ ტერიტორიაზე არ მიმდინარეობს მეტეოროლოგიური დაკვირვებები და ეს დანაკლისი უნდა შეივსოს, რათა სრულად შეფასდეს საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე კლიმატის ცვლილება.

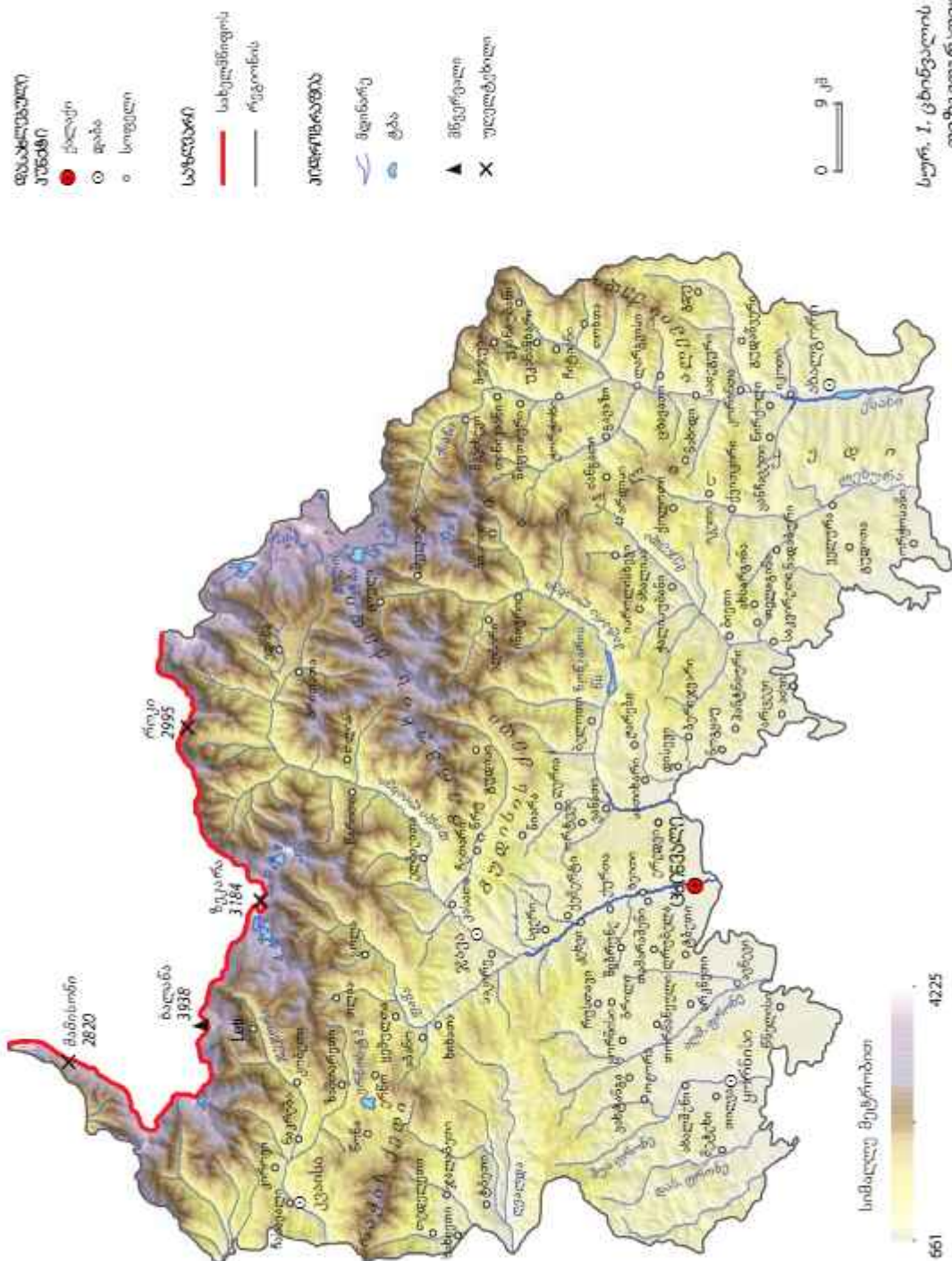
წინამდებარე ნაშრომის კვლევის სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ ცხინვალის რეგიონისთვის პირველად მოხდა მეტეოროლოგიური ელემენტების გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემის (GIS) მონაცემთა ბაზის შექმნა და ამ ბაზის საჯაროობის ხელშეწყობა; შეფასდა კლიმატის ცვლილება.

კვლევის შედეგები ინოვაციურია, ვინაიდან ის ოკუპირებულ ტერიტორიაზე რეალური მდგომარეობის მოდელირებისა და ანალიზის საშუალებას მოგვცემს, რაც სტრატეგიულად მნიშვნელოვანია მთლიანად ქვეყნისათვის. პროექტის შედეგებით შესაძლებელი იქნება: შეფასდეს ოკუპირებულ ტერიტორიაზე კლიმატის ცვლილების ტრენდი; ტერიტორიული მთლიანობის აღდგენის შემდეგ შეიქმნას „მრავალმხრივი საფრთხეების ადრეული გაფრთხილების სისტემა“, რაც ხელს შეუწყობს კლიმატური რისკების შემცირებას, პრევენციასა და მზადყოფნას. კვლევის შედეგები ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას არა მარტო კლიმატის ცვლილების გავლენის შესაფასებლად ქვეყნისთვის უმნიშვნელოვანეს მოწყვლად სექტორებზე, როგორიცაა: სოფლის მეურნეობა, ტურიზმი, ჯანდაცვა, ენერგეტიკა და სხვ., არამედ საგანგებო სიტუაციებში კოორდინაციისათვის და სხვა. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ ნებისმიერ დროს შესაძლებელი იქნება ამ ინფორმაციის განახლება და ცვლილებების შეტანა უკვე არსებულ შექმნილ გეოგრაფიულ საინფორმაციო სისტემაში.

თავი 1. საკვლევი ტერიტორიის ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათება

ცხინვალის რეგიონის ოკუპირებული ტერიტორია წარმოადგენს ყოფილ საქართველოს სსრ-ის, სამხრეთ ოსეთის ავტონომიურ ოლქს (1922-1990 წწ.). რეგიონს ჩრდილოეთით ესაზღვრება ჩრდილოეთ ოსეთის ავტონომიური რესპუბლიკა (რუსეთის ფედერაცია), აღმოსავლეთით – ყაზბეგისა და დუშეთის, სამხრეთით – კასპის, გორის, ქარელის და ხაშურის მუნიციპალიტეტები, დასავლეთით – საჩხერისა და ონის მუნიციპალიტეტები. რეგიონში იყო 4 ადმინისტრაციული რაიონი: ცხინვალის, ზნაურის, ახალგორის (ლენინგორის) და ჯავის; ერთი ქალაქი – რეგიონის ცენტრი ქ. ცხინვალი (ყოფილი ქ. სტალინბირი 1936-1961 წწ.) და ოთხი დაბა: ზნაური, კვანისა, ახალგორი და ჯავა.

რეგიონის ჩრდილოეთი შედარებით მაღალმთიანია, ხოლო სამხრეთი – საშუალო სიმაღლის რელიეფით გამოირჩევა (სურ. 1.). რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მახასიათებლების შესახებ დეტალური ინფორმაცია მოცემულია ლ.მარუაშვილის ნაშრომში [3].



სურ. 1. ცხინვალის რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიული რუკა

თავი 2. კლიმატი

რეგიონის კლიმატის ფორმირებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მაღალმთიანი რელიეფი, კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედი იცავს მას ჩრდილოეთიდან ცივი ჰაერის მასების შემოჭრისგან. კლიმატის ელემენტები ემორჩილება ვერტიკალურ ზონალურობას, რაც სიმაღლის მატებასთან ერთად ჰაერის ტემპერატურის კლებით, ატმოსფერული წალექების, თოვლის საფარის სიმაღლისა და ხანგრძლივობის ცვლილებით გამოიხატება. აქ 1000 მ სიმაღლემდე უფრო თბილი ჰავაა, ვიდრე შიდა ქართლის ვაკეზე. საშუალო წლიური ტემპერატურა $7,8-9,6^{\circ}\text{C}$ -ია [4].

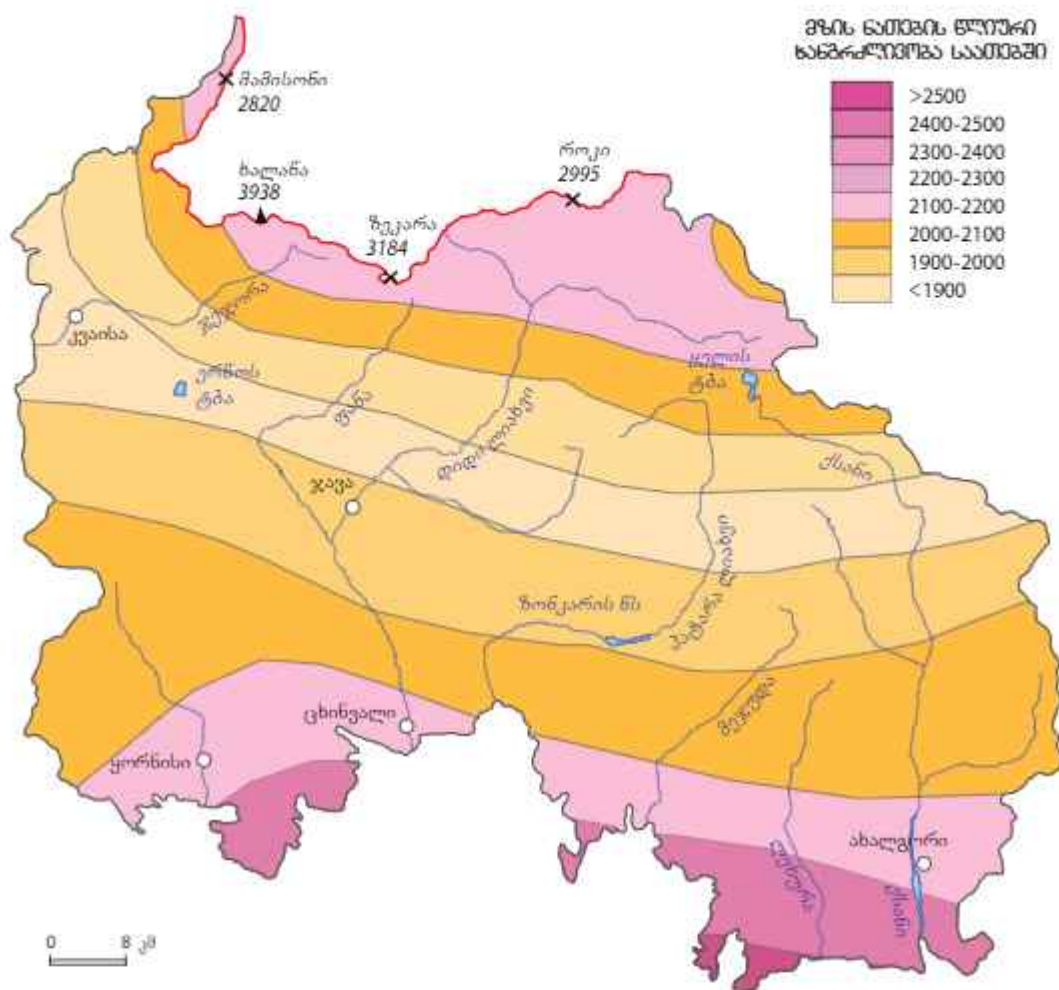
ქ. ცხინვალი მდებარეობს ზღვის დონიდან 860 მ სიმაღლეზე, მდ. დიდი ლიახვის ხეობაში, ტირიფონ-საგურამოს ვაკეზე, მ.კორმახიას [2] მიხედვით, იანვრის საშ. ტემპერატურა ცხინვალში 1°C -ით დაბალია სოფ. მუხრანის (მცხეთის მუნიციპალიტეტი, 550 მ) ტემპერატურაზე. ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი $0,3^{\circ}$ -ს შეადგენს. ცხინვალის იანვრის საშ. ტემპერატურა ჯავას (მდებარეობს 1040 მ მდ. ლიახვის დახრილ ხეობაში) ტემპერატურასთან შედარებით $0,5^{\circ}\text{C}$ -ით მაღალია. ამ შემთხვევაში ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი $0,2^{\circ}$ -ს შეადგენს. ზაფხულში ჰაერის ტემპერატურა სიმაღლის მიხედვით უფრო მნიშვნელოვნად ეცემა, ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი $0,4-0,6^{\circ}$ -ია. შემოდგომა გაზაფხულზე უფრო თბილია.

ყინვები წოემბრიდან აპრილამდეა, ყინვიან დღეთა რიცხვი რეგიონში საშუალოდ 157-ია. ნაკლებწალექიანობით გამოირჩევა მდ. ლიახვის ხეობა, სიმაღლის ზრდასთან ერთად წალექების რაოდენობა მატულობს დაახლოებით 15 %-ით. წალექების მთავარი მაქსიმუმი მაის-ივნისშია, მეორე მაქსიმუმი კი ოქტომბერ-ნოემბერში. ნალექიან დღეთა რიცხვი დაახლოებით 100-140-ია, რეგიონის ქვედა ნაწილში წისლი იშვიათადაა (10-20 დღე წელიწადში), შუა და ზემო წელში – იმატებს, ელჭექიან დღეთა რიცხვი წელიწადში საშუალოდ 20-40-ია.

მზის ნათების წლიური ხანგრძლივობა მრავალწლიური დაკვირვებების მიხედვით საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე საშუალოდ 2000 საათზე მეტს შეადგენს. საკვლევ რეგიონში, ქვემო წელში მცირე მონაკვეთზე, მზის ნათების ხანგრძლივობა 2500 საათსაც კი აღემატება (სურ. 2).

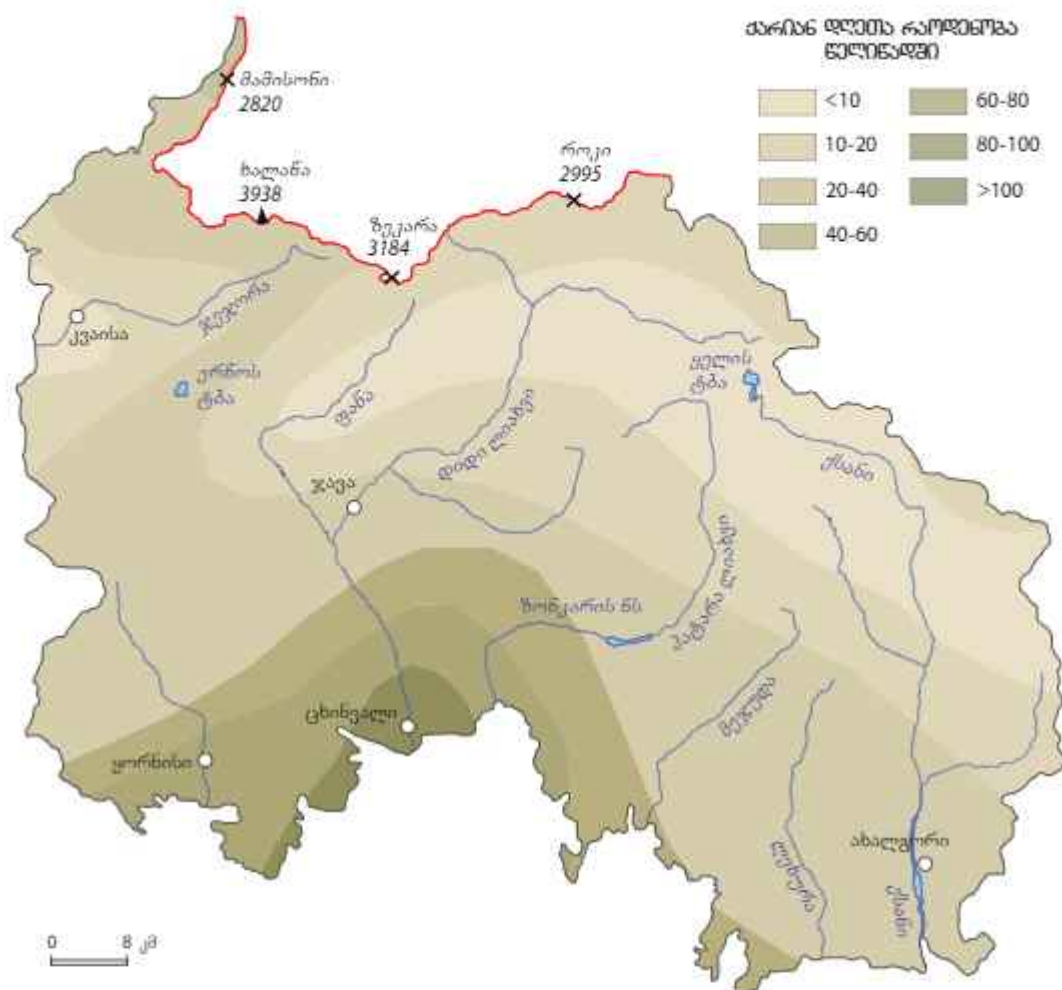
ქარის სიჩქარე დამოკიდებულია რელიეფსა და სეზონზე. სიჩქარე მაქსიმალურია ზამთარში, ხოლო მინიმალური – ზაფხულში. რეგიონის ქვედა და ღია ნაწილებში გაბატონებულია დასავლეთის და აღმოსავლეთის ქარი. მისი სიხშირე წლის განმავლობაში თითქმის თანაბარია. შუა და ზემო ნაწილებში ჭარბობს ჩრდილოეთის ქარები. განსაკუთრებით ქარიანია მდ. ლიახვის ხეობა ($3-5$ მ/წმ) [5].

აღსანიშნავია, რომ ქარის საშუალო სიჩქარე შემცირებულია ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე, წლის ყველა სეზონზე დაახლოებით $1-2$ მ/წმ-ით, ყველაზე მნიშვნელოვანი კლება იმ რაიონებში (მთა საბუეთი, ფოთი) აღინიშნება, რომლებიც ქარის ენერგეტიკის განვითარებისთვის ყველაზე პერსპექტიულ ადგილებად ითვლება. ამავდროს, საშუალო სიჩქარის შემცირების ფონზე, რიგ რაიონებში იზრდება ძლიერქარიან დღეთა რიცხვი, რაც განპირობებული უნდა იყოს ასეთი დღეების გახშირებით განსაკუთრებით ბოლო 15-წლის განმავლობაში, რომელიც ყველაზე მეტად მტკვრის ხეობაში (გორი, თბილისი) გამოკვეთილი [6].



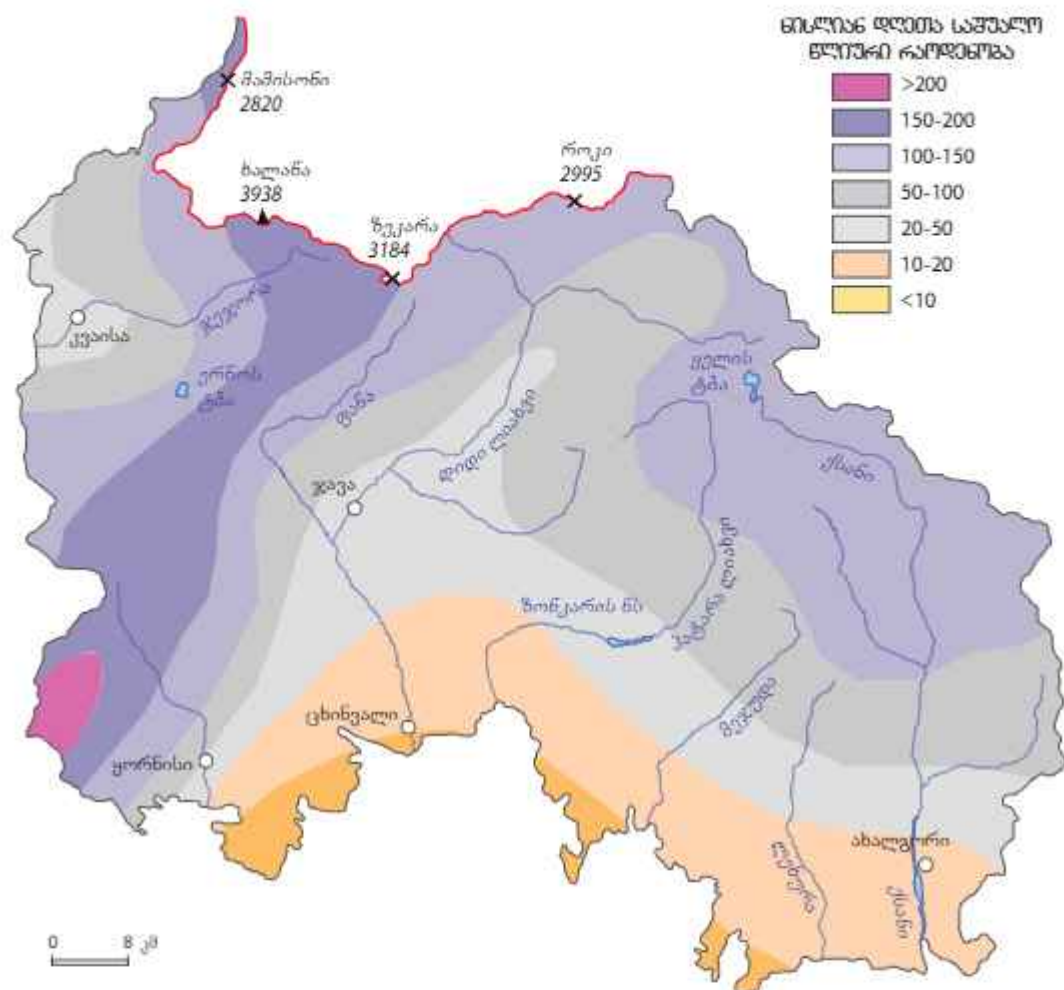
სურ. 2. მზის ნათების ხანგრძლივობა [5]

ღრუბლიანობა რეგიონში საშუალოდ 55-60%-ია, დაბლობ რაიონებში (ქვედა ნაწილში) ღრუბლიანობა უფრო მეტია ზამთარში. სიმაღლის მატებასთან ერთად განსხვავება სეზონების მიხედვით თითქმის არაა, ყველაზე ნაკლებღრუბლიანია მდ.ლიახვის ხეობა.



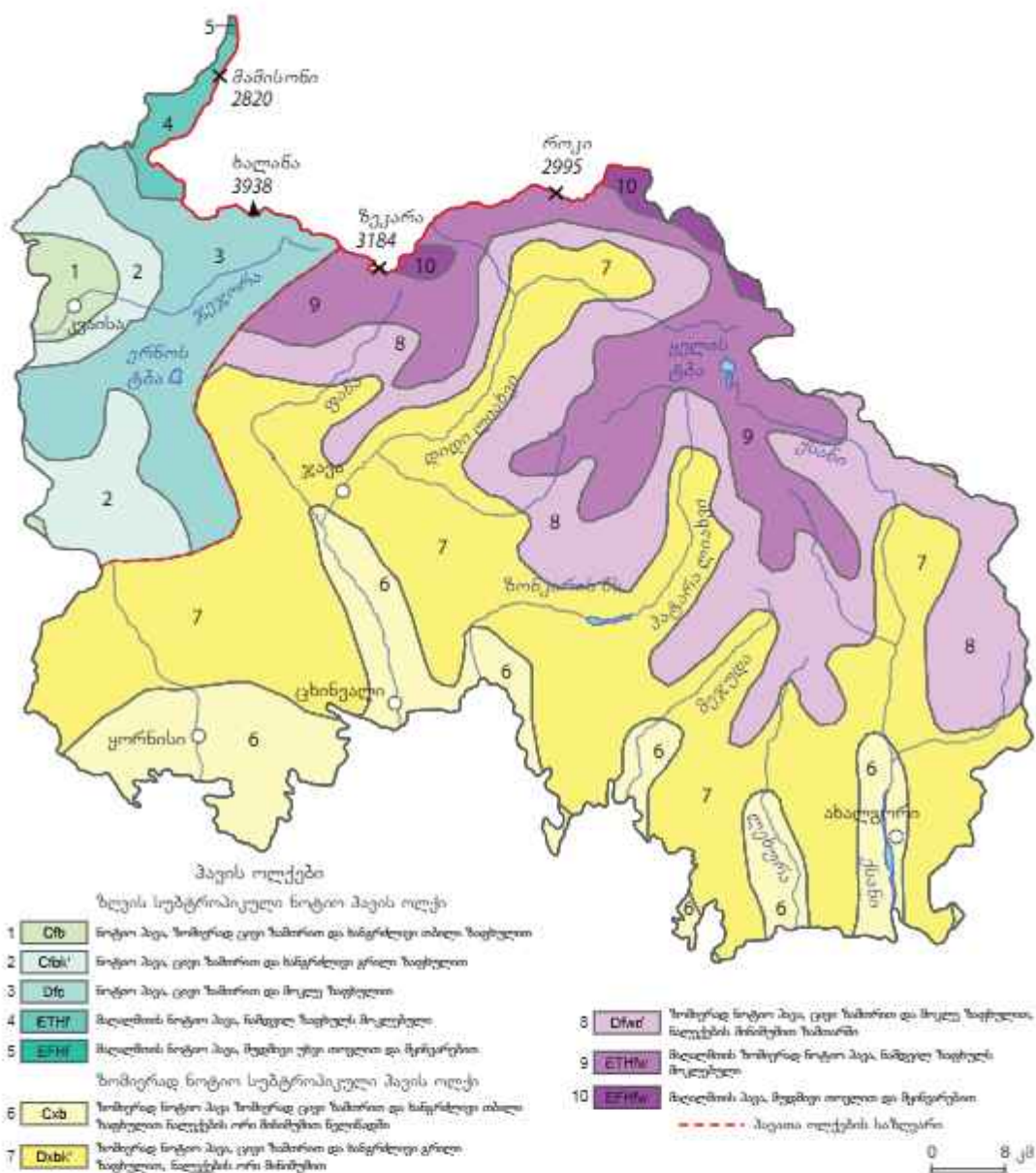
სურ. 3. ქარბან დღეთა რაოდენობა [5]

რაც შეეხება წილიანობას, წილიან დღეთა საშუალო წლიური რაოდენობა სიმაღლესთან ერთად მნიშვნელოვნად მატულობს, თუმცა ამ კანონზომიერებიდან გარკვეული გადახრებიც გვხვდება. საკვლევ რეგიონში წილიან დღეთა რაოდენობა მოცემულია სურ. 4-ზე.



სურ. 4. ნისლიანი დღეების რაოდენობა [4]

მ. კორძაძის მიერ შედგენილი ჰავის ტიპების მიხედვით (სურ. 5) რეგიონი ძირითადად მიეკუთვნება ზომიერად ნოტიო ჰავის ოლქს, რომელშიც გამოიყოფა ჰავის 5 ტიპი. მცირე ტერიტორიაზე (ჩრდილო-დასავლეთით) შემოდის ზღვის სუბტროპიკული ნოტიო ჰავის ოლქი (მოიცავს ჰავის ერთ ტიპს).



სურ. 5. პაეის ტიპები [4]

თავი 3. კვლევის მეთოდოლოგია

3.1. მეთოდოლოგიის მოკლე დახასიათება

ჰაერის ტემპერატურის (საშუალო, მინიმალური მაქსიმალური) და ნალექების, 1950-2023 წწ დღიური მონაცემების ბაზა შეიქმნა E-OBS კოპერნიკუსის მონაცემთა ბაზების საშუალებით, რომელიც წარმოადგენს კოორდინატთა ბადეს. ეს მონაცემები ხელმისაწვდომია შემდეგი გეოგრაფიული კოორდინატების მქონე ტერიტორიებისთვის: ჩ.გ. 25° – ჩ.გ. 71.5° და დ.გ. 25° აღმ.გ. 45° . ცხინვალის ოკუპირებული ტერიტორია ხვდება ამ არეალში. კოპერნიკუსის ბაზებში მონაცემები წარმოდგენილია NetCDF-4 ფორმატში, მათი Excel-ში გადასაყვანად გამოყენებული იქნა Scientific DataSet Lite ბიბლიოთეკის გამოყენებით შექმნილი სპეციალური პროგრამა. ცხინვალის რეგიონისთვის მიღებულია 108 პუნქტისთვის ყოველდღიური მონაცემები.

კლიმატური ინდექსების გაანგარიშებისთვის გამოყენებული იქნა R-ზე დაფუძნებული პროგრამული პაკეტი ClimPact2, რომელიც შექმნილია მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (WMO) კლიმატის კომისიის სექტორული კლიმატური ინდექსების ექსპერტთა ჯგუფის მიერ.

დემიდან აღებულია სიმაღლეები 0.05° -ში დაშორების ბიჯით, რის შედეგადაც Cokriging ის ინტერპოლაციის გამოყენებით შედგა რუკები, სადაც ძირითად მონაცემად შევიდა ბადის სადგურების მონაცემები, ხოლო მეორე მონაცემად – სიმაღლეები. რუკები მომზადდა გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემების (GIS) გამოყენებით.

ნებისმიერი ინტერპოლირებული მონაცემი საჭიროებს კალიბრირებას. მოპოვებული მონაცემების ვალიდაციისთვის ჩატარდა სტატისტიკური ანალიზი, რაც მოიცავს პირსონის კორელაციის კოეფიციენტს, საშუალო კვადრატულ გადახრას და სხვა პარამეტრებს, ასევე გამოყენებული იქნა ტეილორის დიაგრამები [18], რომელიც უზრუნველყოფს „მოკლე სტატისტიკურ შეჯამებას იმის შესახებ, თუ რამდენად კარგად ემთხვევა ნიმუშები ერთმანეთს მათი კორელაციის, საშუალო კვადრატული სხვაობისა და მათი ვარიაციების თანაფარდობის თვალსაზრისით.“

ტეილორის დიაგრამები არის მათემატიკური დიაგრამები, რომლებიც შექმნილია სისტემის, პროცესის ან მოვლენის ყველაზე რეალისტური გრაფიკულად წარმოდგენისთვის. ეს დიაგრამა ხელს უწყობს სხვადასხვა მოდელების შედარებით შეფასებას. იგი გამოიყენება მოდელირებულ და დაკვირვებულ მონაცემს შორის შესაბამისობის ხარისხის დასადგენად სამი სტატისტიკური პარამეტრის მიხედვით: პირსონის კორელაციის კოეფიციენტი, ფესვის საშუალო კვადრატული ცდომილება (RMSE) და სტანდარტული გადახრა.

აღნიშნული დიაგრამები შეიძლება აშენდეს სხვადასხვა ღია კოდის და კომერციული პროგრამული პაკეტებით, მათ შორის: Grads, IDL, MATLAB, NCL, Python, R და CDAT.

ტეილორის დიაგრამები აჩვენებს სტატისტიკას, რომელიც გამოსადეგია მოდელის მიერ სიმულირებული ცვლადის (უფრო ზოგადად, „ტესტის“ ველის) მსგავსების შესაფასებლად მის დაკვირვებად ცვლადთან. მათემატიკურად, ტეილორის დიაგრამაზე ნაჩვენებია სტატისტიკის სამი პარამეტრი დაკავშირებულია შეცდომის გავრცელების ფორმულით. დიაგრამის ორგანოზომილებიანი სივრცის თითოეულ

წერტილს შეუძლია ერთდროულად წარმოადგინოს სტატისტიკის სამი განსხვავებული პარამეტრი (ანუ ცენტრირებული RMS სხვაობა, კორელაცია და სტანდარტული გადახრა), რომლებიც დაკავშირებულია შემდეგი ფორმულით:

$$E^2 = \sigma_d^2 = \sigma_r^2 + \sigma_i^2 - 2\sigma_r\sigma_i\rho,$$

სადაც ρ არის კორელაციის კოეფიციენტი ტესტსა და საცნობარო ველებს შორის; E – ცენტრალური RMS სხვაობა ველებს შორის (პირველად ამოღებულ საშუალებებში წებისმიერი სხვაობით);

σ_r, σ_i – მითითების და ტესტის ველების სტანდარტული გადახრებია, შესაბამისად.

დიაგრამის აგება (აზიმუტური კუთხის კოსინუსის მიერ მოცემული კორელაციის მიხედვით) ეფუძნება ზემოაღნიშნული განტოლების მსგავსებას და კოსინუსების კანონს: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \phi$.

კლიმატის მონაცემების გასაანალიზებლად გამოყენებულია მან კენდალის ტესტი [14], რომელიც გამოიყენება დროის სერიის აღმავალი ან დაღმავალი ტენდენციის დასადგენად. ტესტი არ საჭიროებს მონაცემების ნორმალურ ან წრფივ განაწილებას. ანალიზისთვის საჭიროა მინიმუმ 20 წლიანი რიგი.

ამ ტესტისთვის ნულოვანი ჰიპოთეზა არის ტენდენციის არარსებობა, ხოლო ალტერნატიული ჰიპოთეზა კი ისაა, რომ არსებობს ტენდენცია ორმხრივ ტესტში, ან არის აღმავალი (ან დაღმავალი). დროის სერიებისთვის $X_1, \dots, X_n$, MK ტესტი იყენებს შემდეგ სტატისტიკას:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sign}(x_j - x_i)$$

თუ $S > 0$, მაშინ დროის სერიებში ბოლო დაკვირვებები უფრო დიდია, ვიდრე წინა. ხოლო პირიქით, დაღმავალია როდესაც $S < 0$, როდესაც $S = 0$, ტრენდი არაა.

მონაცემთა განაწილების გასაგებად ეფექტურია პროცენტოების გამოყენება განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საქმე გვაქვს მონაცემთა დიდ ნაკრებებთან, რადგან ის ნათლად აჩვენებს, თუ სად მდებარეობს მნიშვნელობების უმრავლესობა [19].

სტატისტიკაში, k-th პროცენტილი, ასევე ცნობილი როგორც პროცენტული ქულა ან ცენტილი, არის ქულა (მაგ., მონაცემთა წერტილი), რომლის ქვემოთ მცირდება აწყობილი ქულების მოცემული პროცენტი k სიხშირის განაწილებაში („ექსკლუზიური“ განსაზღვრება) ან ქულა, რომელზეც ქვემოთ ეცემა მოცემული პროცენტილი („ინკლუზიური“ განმარტება); ე.ი. ქულა k -ე პროცენტულში იქნება მის კომპლექტში ყველა ქულის დაახლოებით $k\%$ -ზე მეტი.

პროცენტოები არის კვანტილების ტიპი, რომელიც მიღებულია 100 ჯგუფად დაყოფით. 25-ე პროცენტილი ასევე ცნობილია როგორც პირველი კვანტილი (Q1), 50-ე პროცენტილი, როგორც მედიანური ან მეორე კვანტილი (Q2), და 75-ე პროცენტილი, როგორც მესამე კვანტილი (Q3). მაგალითად, 50-ე პროცენტილი (მედიანა) არის ქულა, რომლის ქვემოთ (ან ზევით ან ქვემოთ, განსაზღვრებიდან გამომდინარე) განაწილების ქულების 50% გვხვდება.

მოცემული მონაცემთა ნაკრების მნიშვნელობების პროცენტული მაჩვენებელი შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$P = (n/N) \times 100$$

სადაც N მნიშვნელობების რაოდენობაა მოწავენთა ნაკრებში, P – პროცენტილი და n – მოცემული მნიშვნელობის რიგითი რანგი (მოწავენთა ნაკრების მნიშვნელობები დალაგებულია უმცირესიდან უდიდესამდე).

3.2. კლიმატური ინდექსები

კლიმატური მოვლენების ექსტრემალური გადახრების დასახასიათებლად კლიმატის ცვლილების სამთავრობათაშორისო ექსპერტთა ჯგუფის (IPCC) მიერ შემუშავებული იქნა კლიმატის ცვლილების 27 ძირითადი ინდექსი [10]. ნაშრომში, რეგიონის სპეციფიკიდან გამომდინარე, გამოთვლილი იქნა შემდეგი კლიმატური ინდექსები:

ცხელი დღეების (TX90p) რაოდენობა – როდესაც მაქსიმალური ტემპერატურა აღემატება 90 პროცენტის.

ცივი დღეების (TX10p) რაოდენობა – როდესაც მაქსიმალური ტემპერატურა ნაკლებია 10 პროცენტზე.

თბილი ღამეების (TN90p) რაოდენობა – როდესაც მინიმალური ტემპერატურა აღემატება 90 პროცენტის.

ცივი ღამეების (TN10p) რაოდენობა – როდესაც მინიმალური ტემპერატურა ნაკლებია 10 პროცენტზე.

ყინვანი დღეების (ID) რაოდენობა – როდესაც მაქსიმალური ტემპერატურა ნაკლებია 0°C-ზე.

წყინვების (FD) რაოდენობა – როდესაც მინიმალური ტემპერატურა ნაკლებია 0°C-ზე.

სითბური ტალღები (HW) – მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის განმარტებით, სითბური ტალღად ითვლება პერიოდი, როდესაც ხუთი თანმიმდევრული დღის განმავლობაში დღიური მაქსიმალური ტემპერატურა საშუალო მაქსიმალურ ტემპერატურას 5°C-ით აღემატება.

უნალექო პერიოდების (CDD) ხანგრძლივობა – პერიოდი, როდესაც ნალექების რაოდენობა ნაკლებია 1 მმ-ზე.

ნალექების მარტივი დღიური ინდექსი (SDII) – 1 მმ-ზე მეტი ნალექების ჯამის ფარდობა ნალექიანი დღეების რაოდენობაზე.

დღეღამური მაქსიმალური ნალექების (Rx1D, Rx5D) ინდექსი – ერთ და ზედიზედ 5 დღეში მოსული მაქსიმალური ნალექების რაოდენობა შესაბამისად.

R95pTOT – დღეების რაოდენობა, როდესაც ნალექი აღემატება საბაზისო პერიოდის (1961-1990 წწ) ყოველდღიური ნალექების 95 პროცენტის.

R99pTOT – დღეების რაოდენობა, როდესაც ნალექი აღემატება საბაზისო პერიოდის ყოველდღიური ნალექების 99 პროცენტის.

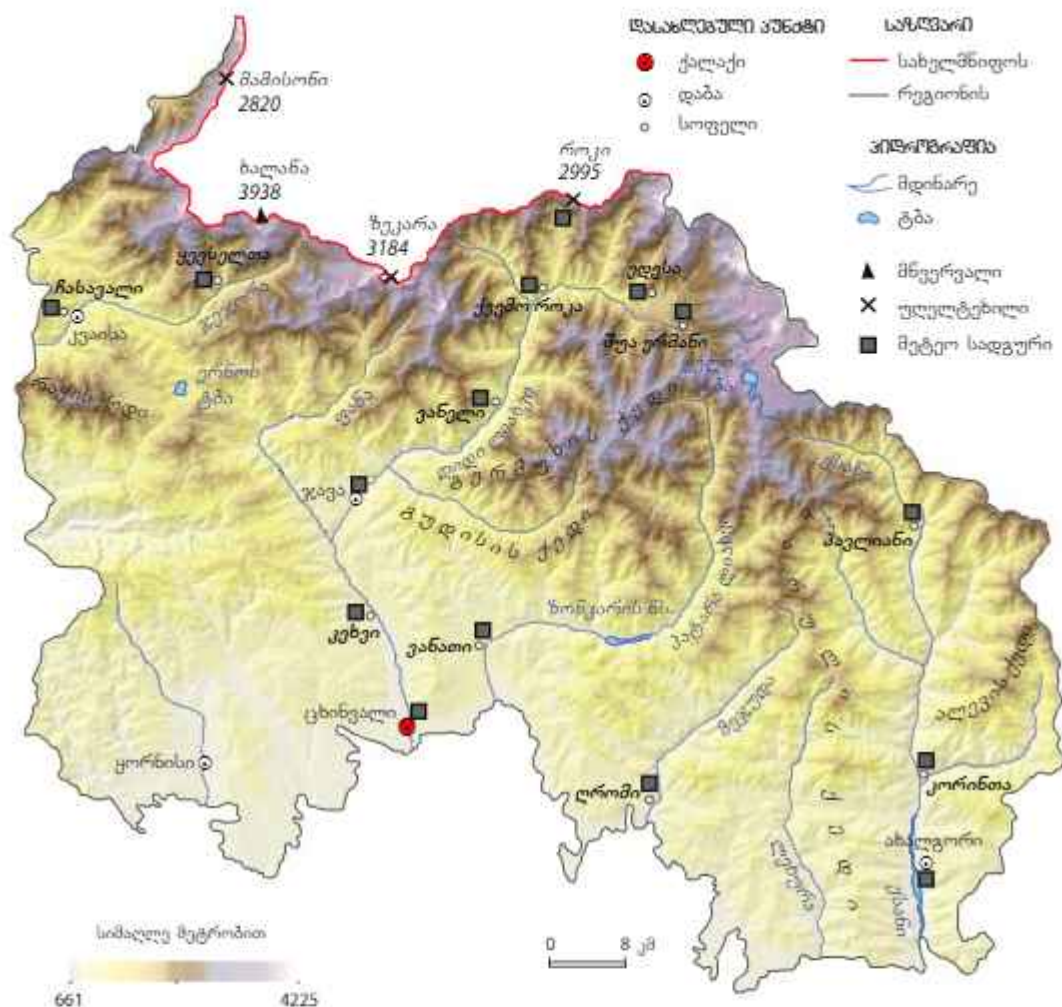
3.3. გამოყენებული მონაცემები

ცხინვალის რეგიონში სხვადასხვა დროს ფუნქციონირებდა შემდეგი მეტეოსადგურები და საგუშაგოები: როკა, ყვესელთა, ქვემო როკა, ედისი, ერმანი, ვანელი, ჯავა, პავლიანი, კეხვი, ვანათი, ცხინვალი, ზნაური, ახალგორი (ლენინგორი), კორინთა, ღრომი (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

დაკვირვების პუნქტი	დაკვირვების ტიპი	სიმაღლე, მ ზ.დ.	მოქმედების პერიოდი (გახსნა-დახურვა)
როკა	მეტეოსადგური	1795	1931-1959; 1989-1992
ყვესელთა	მეტეოსაგუშაგო	1750	1929-1963
ქვემო როკა	მეტეოსაგუშაგო	1400	1947-1957
ედისი	მეტეოსადგური	1970	1934-1948
ერმანი	მეტეოსადგური	2240	1942-1988
ვანელი	ნალექმზომი საგუშაგო	1310	1957-1989
ჯავა	მეტეოსადგური	1109	1914-1987
პავლიანი	ნალექმზომი საგუშაგო	1320	1947-1992
კეხვი	ნალექმზომი საგუშაგო	895	1946-1990
ვანათი	ნალექმზომი საგუშაგო	1020	1942-1944; 1946-1987
ცხინვალი	მეტეოსადგური	862	1917-1923; 1929-1991
ცხინვალი	მეტეოსაგუშაგო	862	1925-1929
ზნაური (ყორნისი)	მეტეოსაგუშაგო	820	1960-1989
კორინთა	ნალექმზომი საგუშაგო	908	1947-2006
ღრომი	მეტეოსაგუშაგო	800	1946-1991
ახალგორი	მეტეოსადგური	760	1940-1960; 1963-2004

წარმოდგენილ ნაშრომში გამოყენებულია საკვლევ რეგიონში არსებული ყოველდღიური დაკვირვების მონაცემები შემდეგი სადგურებისა და საგუშაგოებისთვის (სურ. 6): ცხინვალი, ახალგორი, ერმანი, კორინთა, ვანელი, პავლიანი, კეხვი, ვანათი [1] და E-OBS კომპერნიკუსის მონაცემთა ბაზები [11]. სურ. 7-ზე ნაჩვენებია წერტილები, რომელთათვისაც მოხდა აღნიშნული ბაზებიდან მონაცემების აღება.



სურ. ნ. ცხინვალის რეგიონში არსებული მეტეოროლოგიური სადგურები და საგუშაგოები

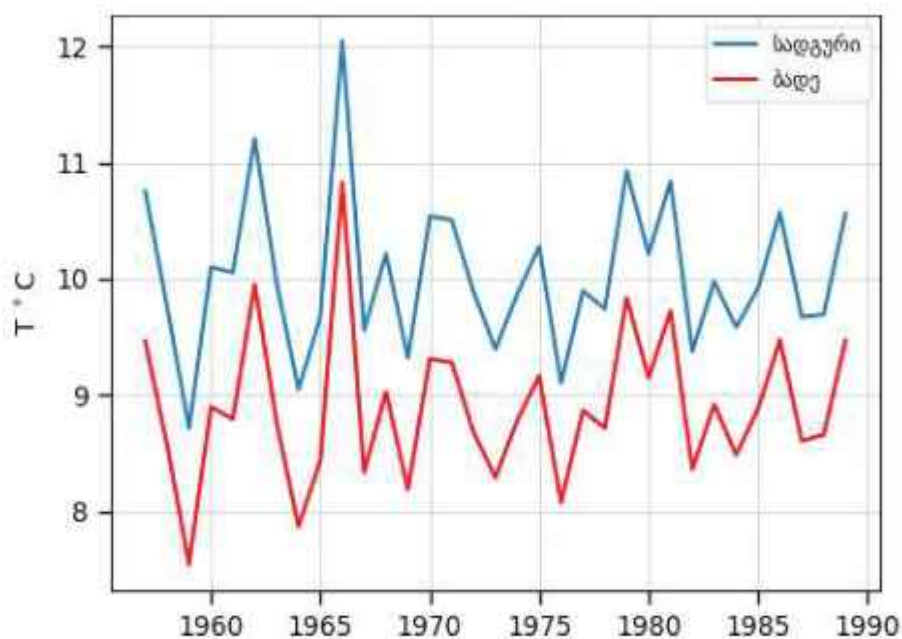
3.4. მონაცემების ვალიდაცია

მონაცემთა ვალიდაცია არის პროცესი, რომელიც გულისხმობს მონაცემთა სიზუსტისა და თანმიმდევრულობის შემოწმებას. ვალიდაცია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მონაცემთა მთლიანობის შენარჩუნებაში და შეცდომების თავიდან აცილებაში, გვეხმარება დროულად გამოვლინდეს ის უზუსტობები, რამაც შეიძლება უარყოფითი გავლენა მოახდინოს საბოლოო ანალიზზე.

ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს ცხინვალის რეგიონში 1990 წლამდე არსებული ხმელეთის მეტეოსადგურების და 1961-2023 წწ E-OBS ბადის მონაცემები. ვვლევს მიზანია საკვლევ რეგიონში კლიმატის ცვლილების შეფასება. ბოლო წლებში მხოლოდ E-OBS ბადის მონაცემები გვაქვს. იმის დასადგენად, რამდენად სანდო და ხარისხიანია E-OBS ბადის მონაცემები, ჩატარდა 1961-1990 წწ ხმელეთის სადგურებისა და E-OBS ბადის მონაცემების შედარება. სურ. 8-ზე მოცემულია ქ.ცხინვალში არსებული



სურ. 7. მადის წერტილები, საიდანაც აღებულია მონაცემები



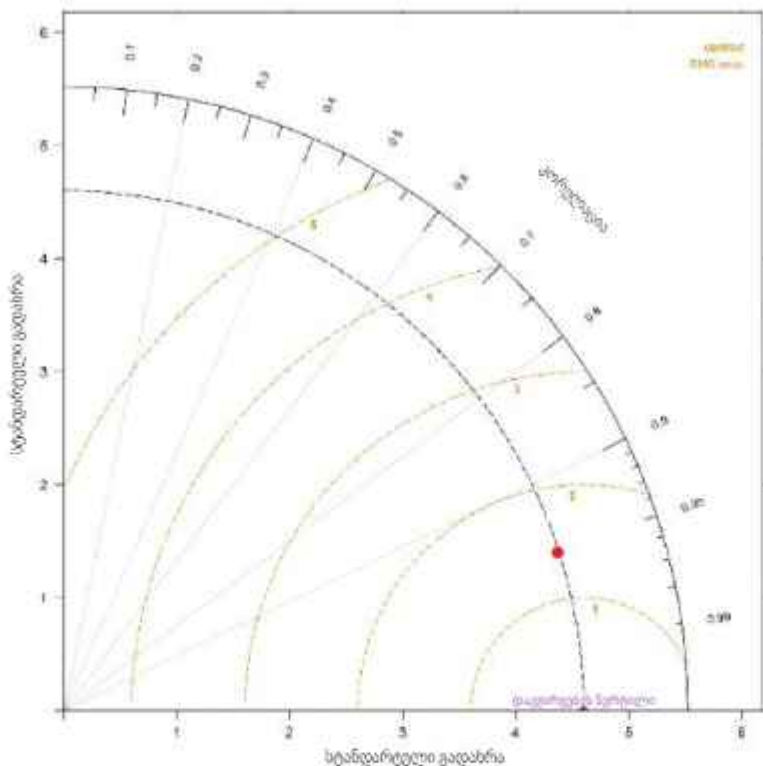
სურ. 8. ცხინვალის და ახლომდებარე მადის წერტილის საშ. წლიური ტემპერატურები

მეტეოსადგურის და ცხინვალთან ახლომდებარე ბადის წერტილიდან აღებული ჰაერის საშუალო ტემპერატურები.

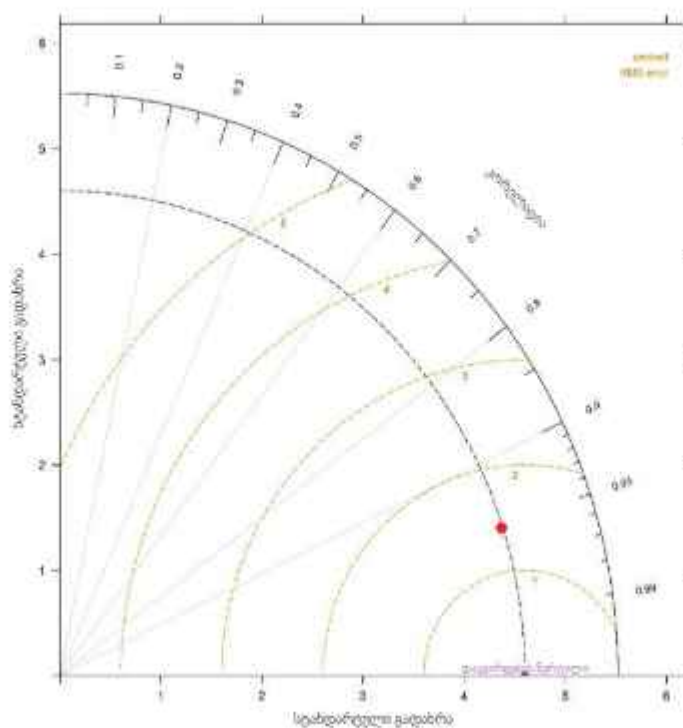
როგორც ნახაზიდან ჩანს, ცხინვალის მეტეოროლოგიურ სადგურში დაფიქსირებული ტემპერატურები დაახლოებით 1,5°-ით აღემატება ბადის მონაცემებს, ხოლო ტემპერატურათა მსვლელობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. რაოდენობრივი განსხვავება აიხსნება იმით, რომ სადგურის და ბადის მდებარეობა უმნიშვნელოდ, მაგრამ სიმაღლის მიხედვით 250 მ-ით განსხვავდება. მეტეოსადგურის სიმაღლე ცხინვალში არის 862 მ, ბადის წერტილის – 1120 მ. ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი ამ შემთხვევაში გამოდის 0,6°C. რაც შეეხება სადგურსა და ბადის წერტილს შორის კორელაციას, ტემპერატურის მონაცემებისთვის ძალიან მაღალია და უდრის 0,99-ს, ხოლო ნალექებისთვის – 0,95-ია.

კორუფციის კოეფიციენტები სადგურის და ბადის მონაცემებს შორის მოცემულია ცხრილში 2.

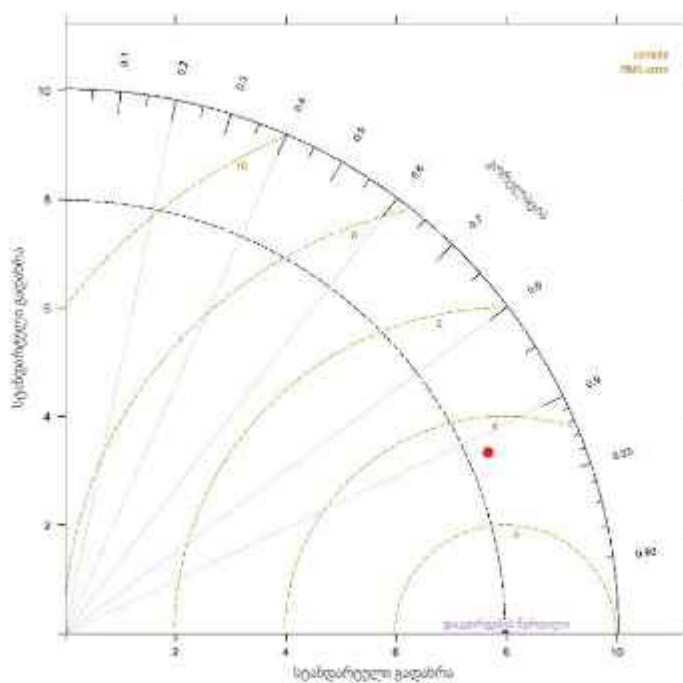
ტელიორის დიაგრამამაც ასევე აჩვენა ამ პუნქტებს შორის ძალიან მაღალი კორელაცია (სურ. 9). შესაბამისად, E-OBS ბადის მონაცემები შეიძლება გამოყენებული იქნას კვლევებში და მათ საფუძველზე მიღებული შედეგები ჩაითვალოს სანდოდ. კორელაციური კავშირების საშუალებით აღდგენილი იქნა ქ.ცნინვალის ჰაერის საშუალო ტემპერატურების რიგი 1990-2023 წლებისთვის (დანართი 1).



სურ. 9. ტელიორის დიაგრამა (მ/ს ცხინვალი)



სურ. 10. ტეილორის დიაგრამა (მ/ს კოორინატა)



სურ. 11. ტეილორის დიაგრამა (მ/ს ახალგორი)

ცხრილი 2

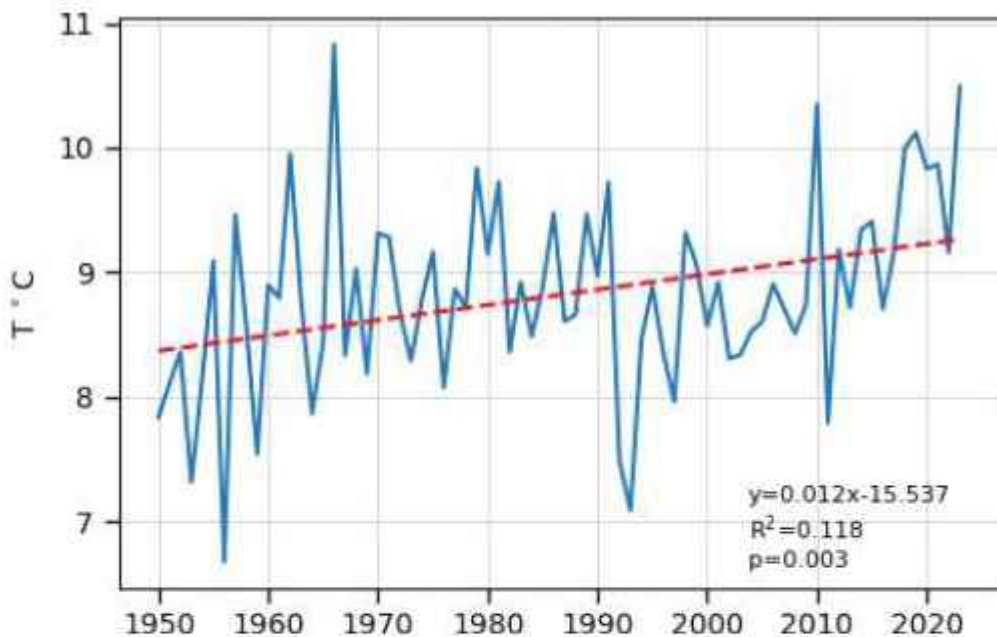
სადგური	წელი	ბადის ნომერი	კორელაცია ნალექთან	კორელაცია საშ. ტემპერატურასთან
კორინთა	1952-1995	34	0.92	
პავლიანი	1950-1965	58	0.71	
ვანელი	1958-1985	66	0.81	
ვანათი	1956-1986	42	0.92	
კეზვი	1950-1990	53	0.92	
ცხინვალი	1957-1990	41	0.95	0.99
ახალგორი	1955-2004	34	0.90	0.87

თავი 4. საკვლევ ტერიტორიაზე კლიმატის ელემენტების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციები

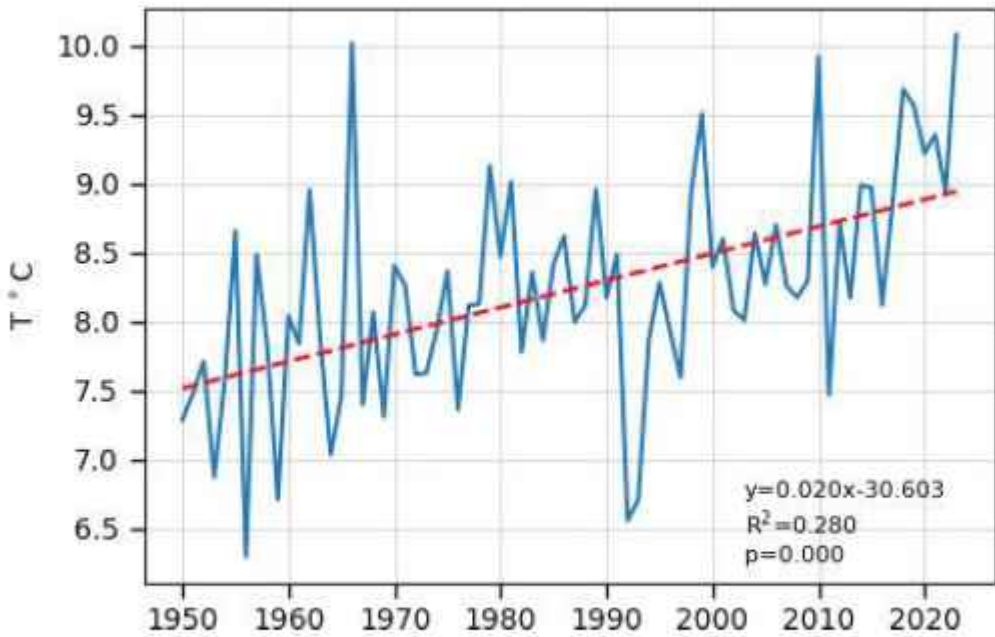
4.1. ჰაერის ატმოსფერული თემპერატურის მრავალწლიური ცვლილება

ცხინვალის რეგიონში ჰაერის ტემპერატურის მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციის დასადგენად პუნქტები ისე შეირჩა, რომ მოეცვა რეგიონში არსებული ჰაერის ყველა ტიპი. კლიმატის მონაცემების გასაანალიზებლად გამოყენებული იქნა მანკენდალის ტესტი (სურ. 12-21). ზაღეზე შერჩეული პუნქტების ნომრები მოცემულია სურ. 7-ზე.

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 12-13)

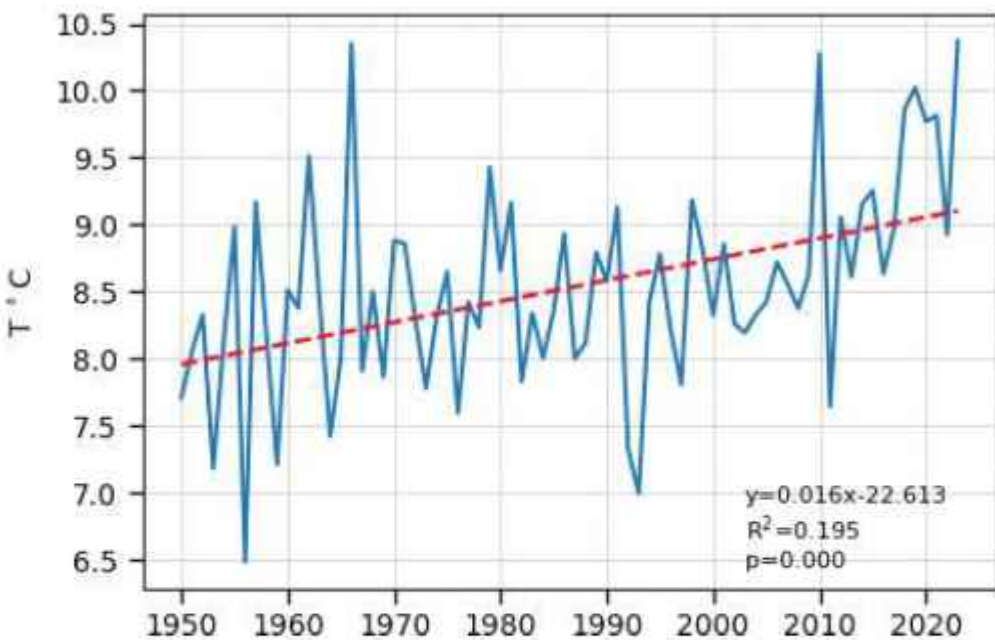


სურ. 12. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის #1-ე პუნქტი)

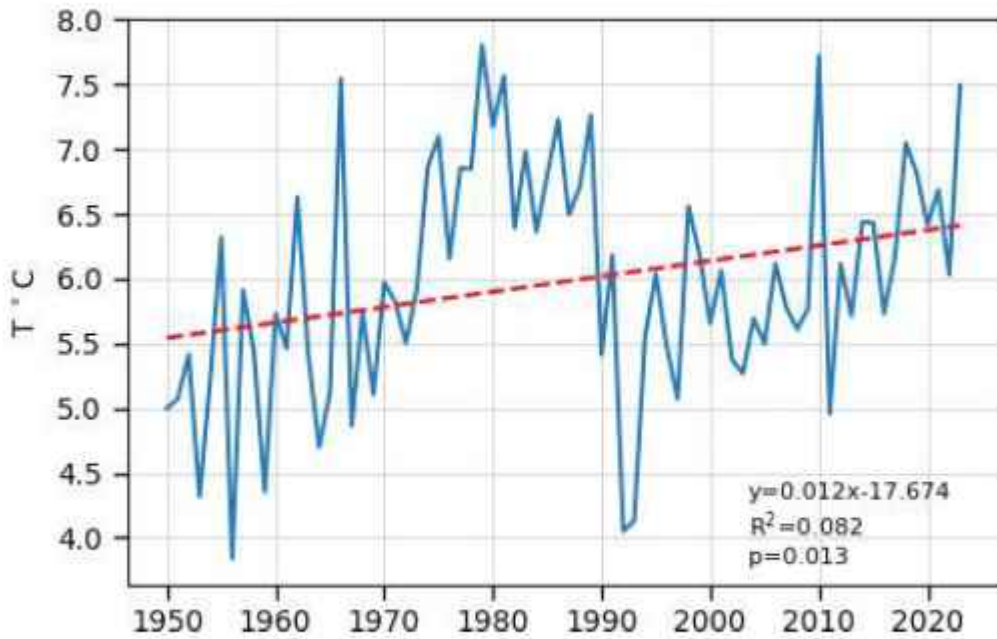


სურ. 13. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 34-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 14-15)

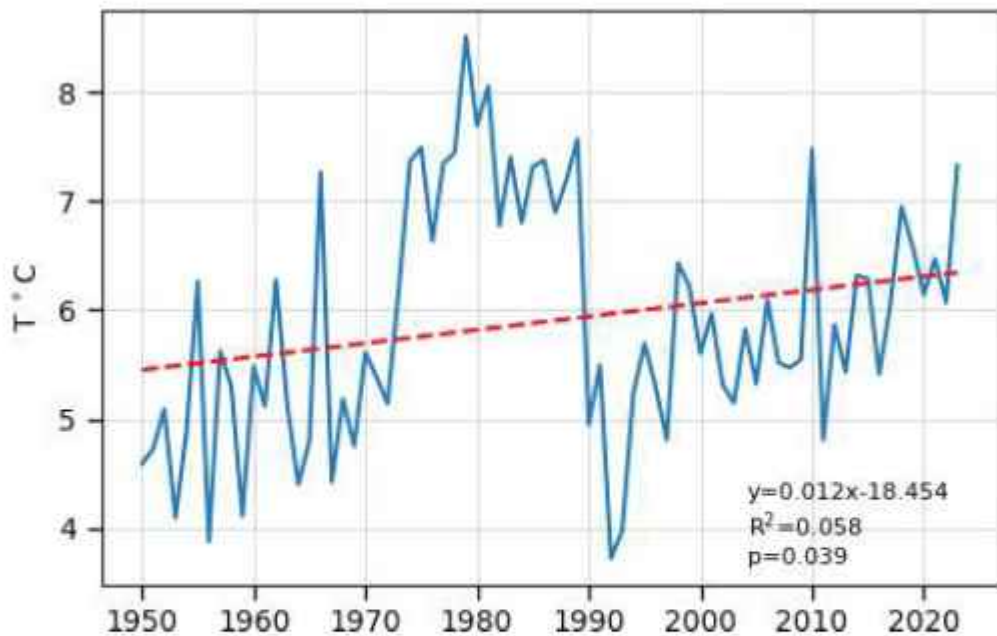


სურ. 14. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 39-ე პუნქტი)

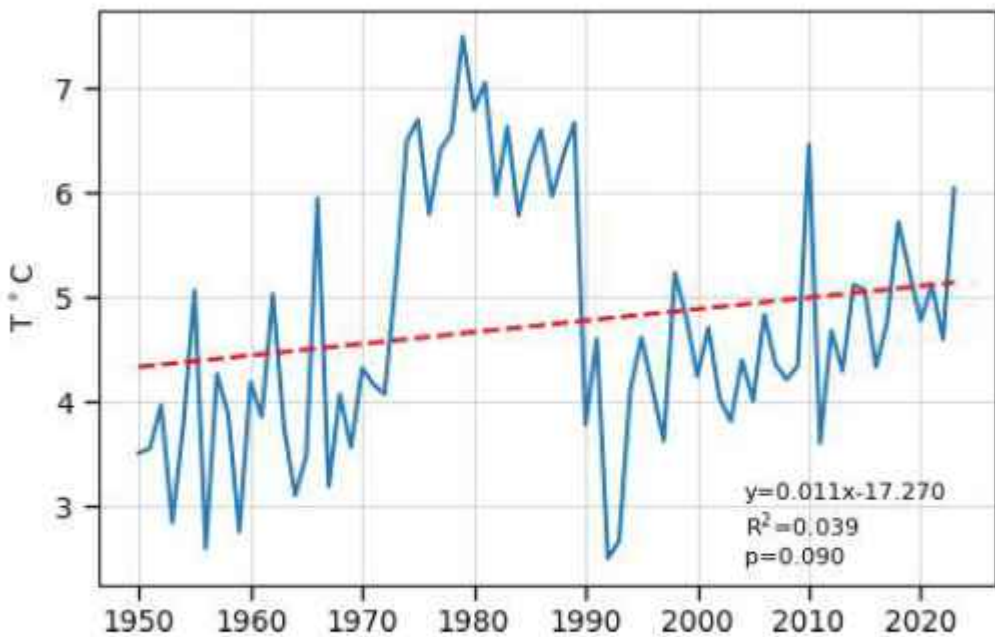


სურ. 15. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 54-ე პუნქტი)

ჰავის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით, ნალექების მინიმუმით ზამთარში (სურ. 16-17)

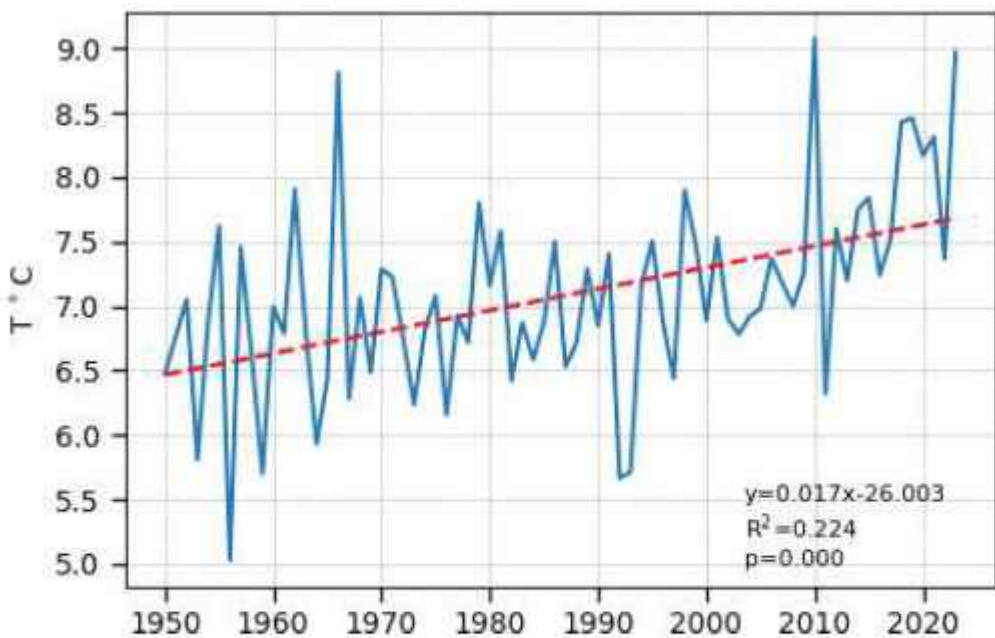


სურ. 16. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 47-ე პუნქტი)



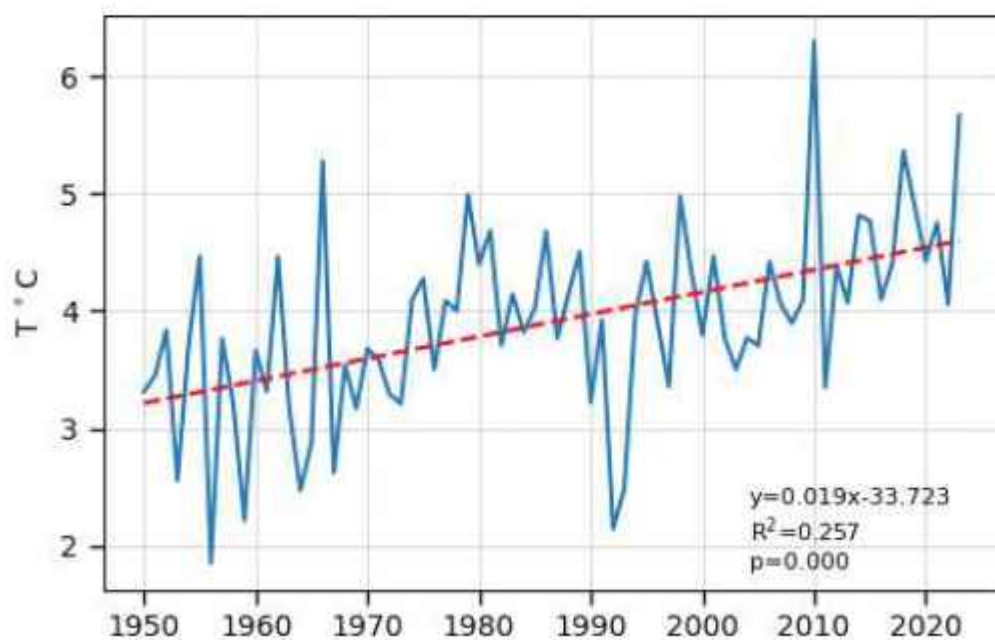
სურ. 17. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 55-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით (სურ. 18)

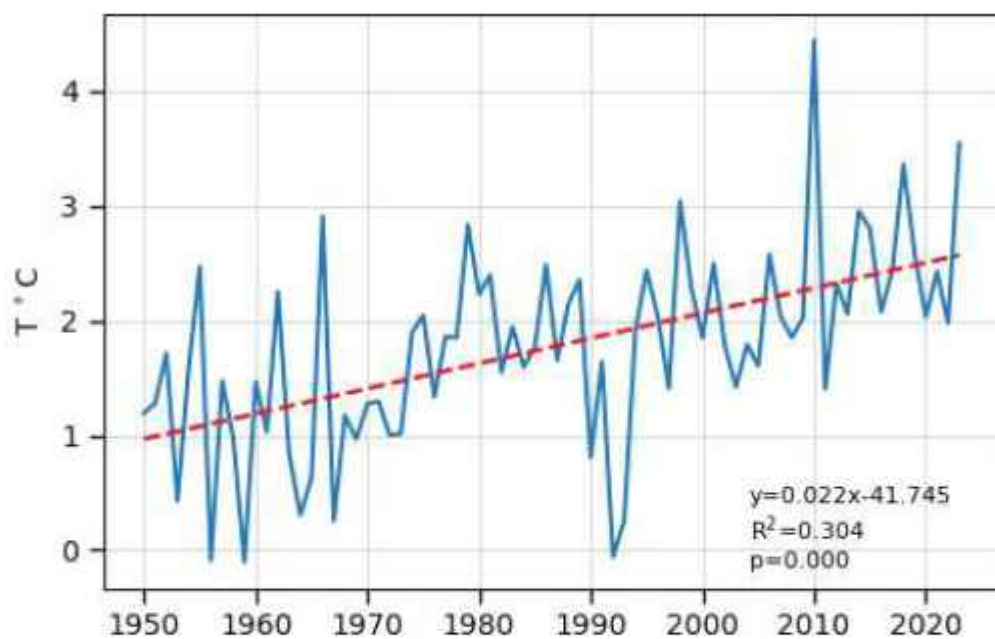


სურ. 18. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 50-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით (სურ. 19-20)

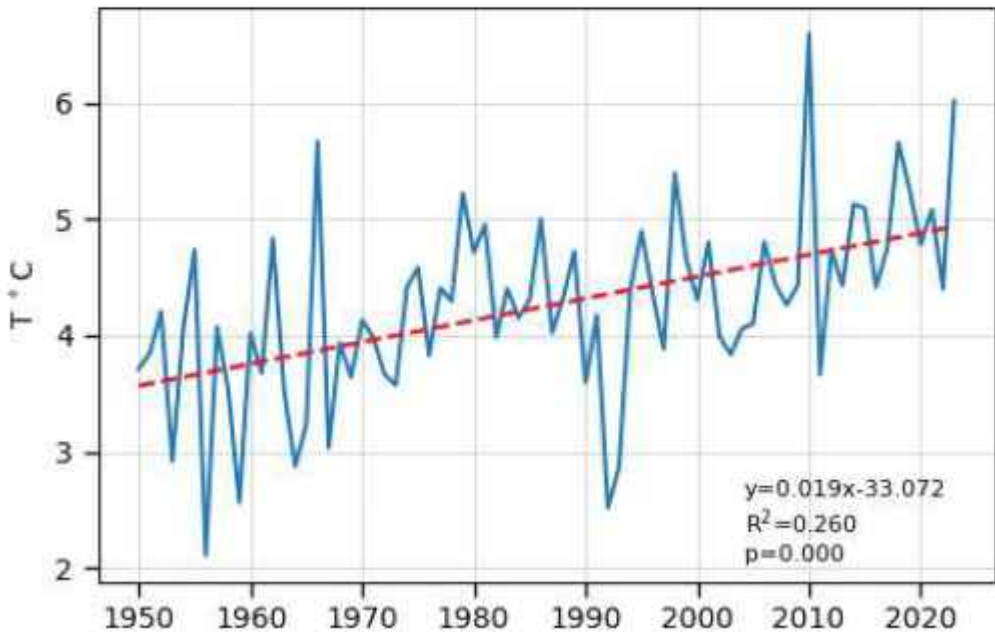


სურ. 19. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 62-ე პუნქტი)



სურ. 20. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 75-ე პუნქტი)

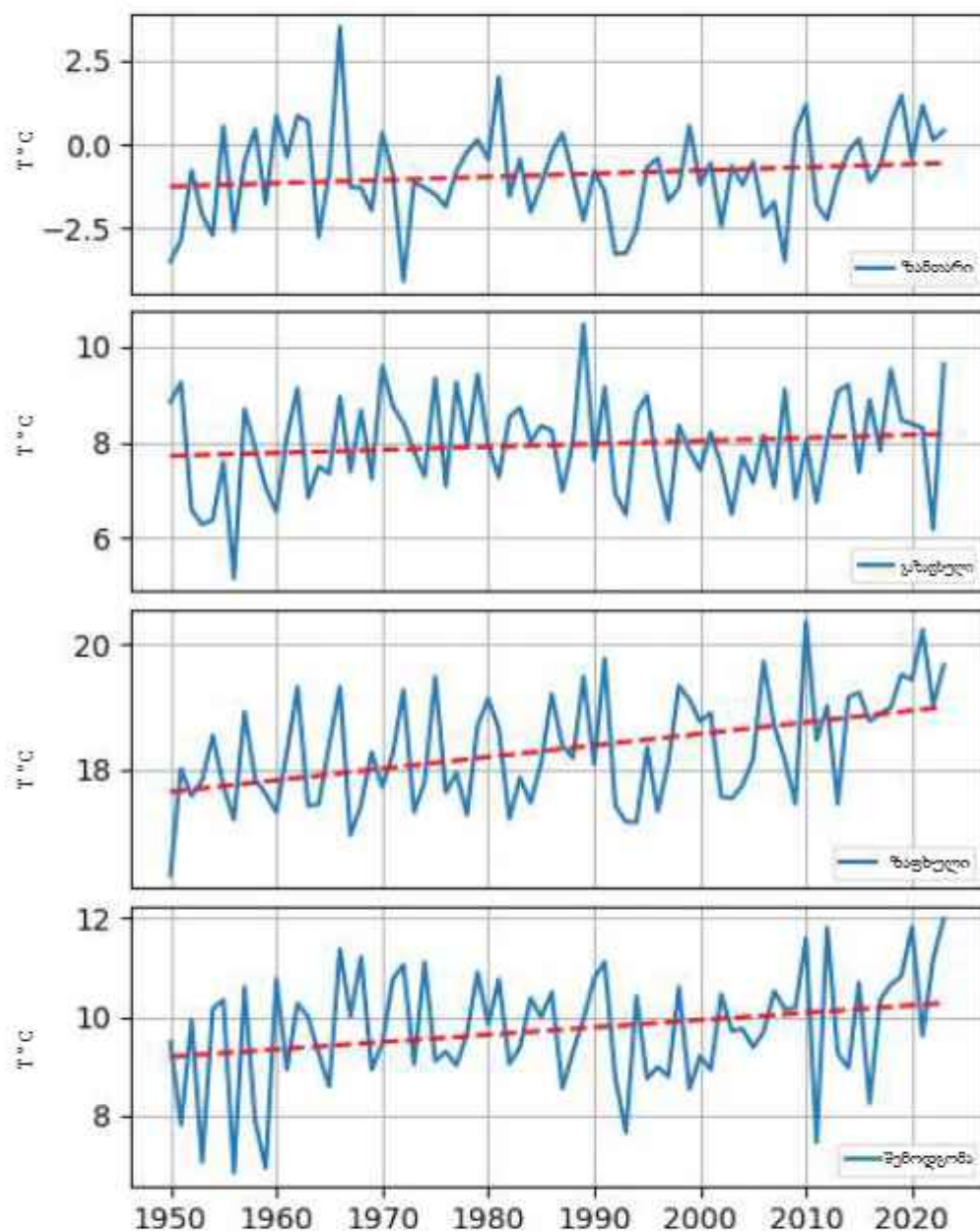
ჰავეის ტიპი: ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით (სურ. 21)



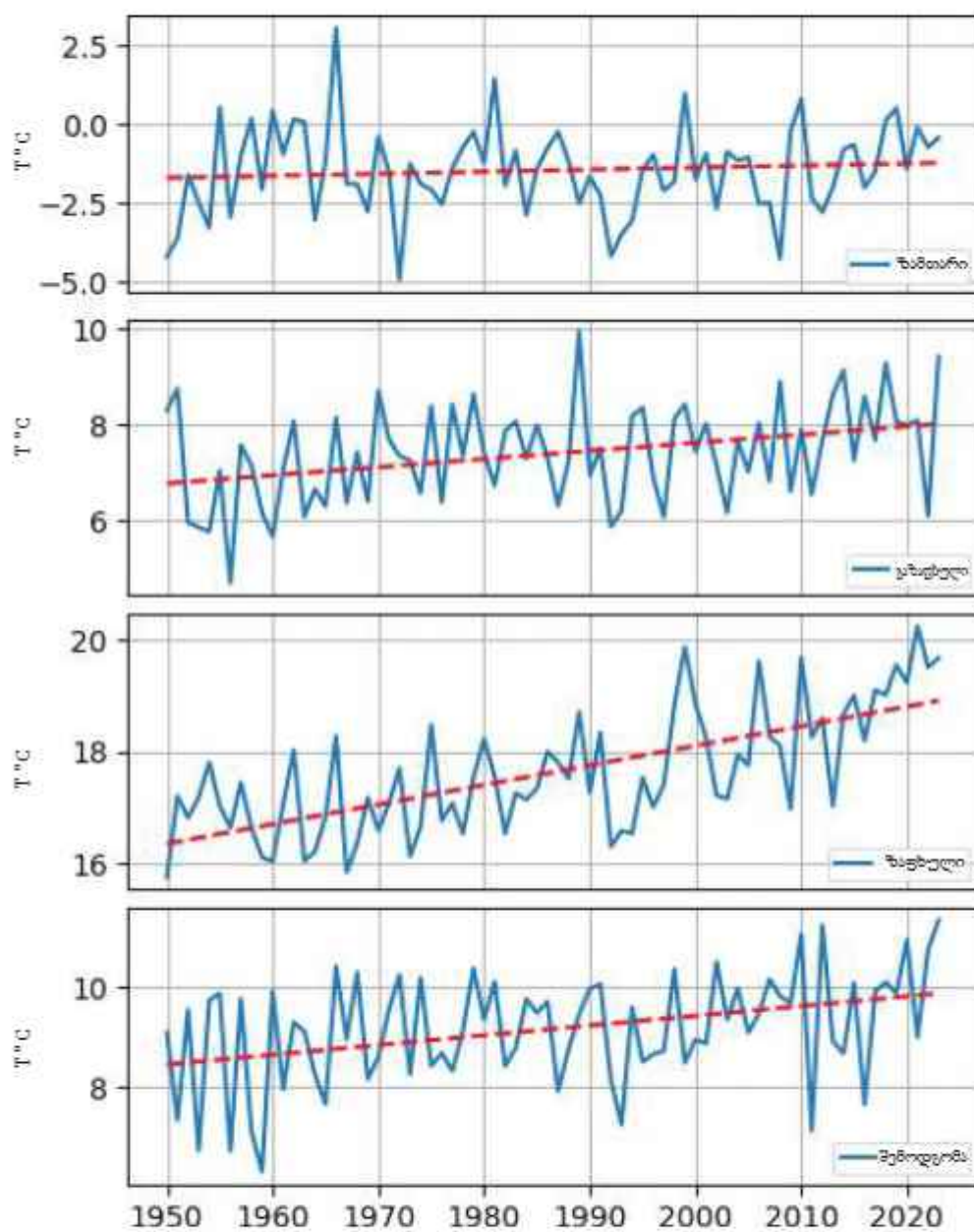
სურ. 21. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 74-ე პუნქტი)

როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, ჰავეის ყველა ტიპში აღვნიშნავთ ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის მატების ტენდენციას, აღსანიშნავია, რომ ტემპერატურის მატება უფრო თვალსაჩინოა ჩრდილოეთში, სადაც არის მაღალმთიანი რელიეფი. აქ საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება შეადგენს 1.5°C -ს, ხოლო სამხრეთით, დაბლობში, ეს ნაზრდი არის 0.7°C . საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება რეგიონში საშუალოდ შეადგენს 1.1°C -ს. ქ.ცხინვალში ბადის მონაცემების მიხედვით ტემპერატურის მატება 1957-2023 წწ არის 0.5°C , რაც შესაბამისობაშია ცხინვალის აღდგენილი რიგით მიღებულ ცვლილებასთან (0.45°C).

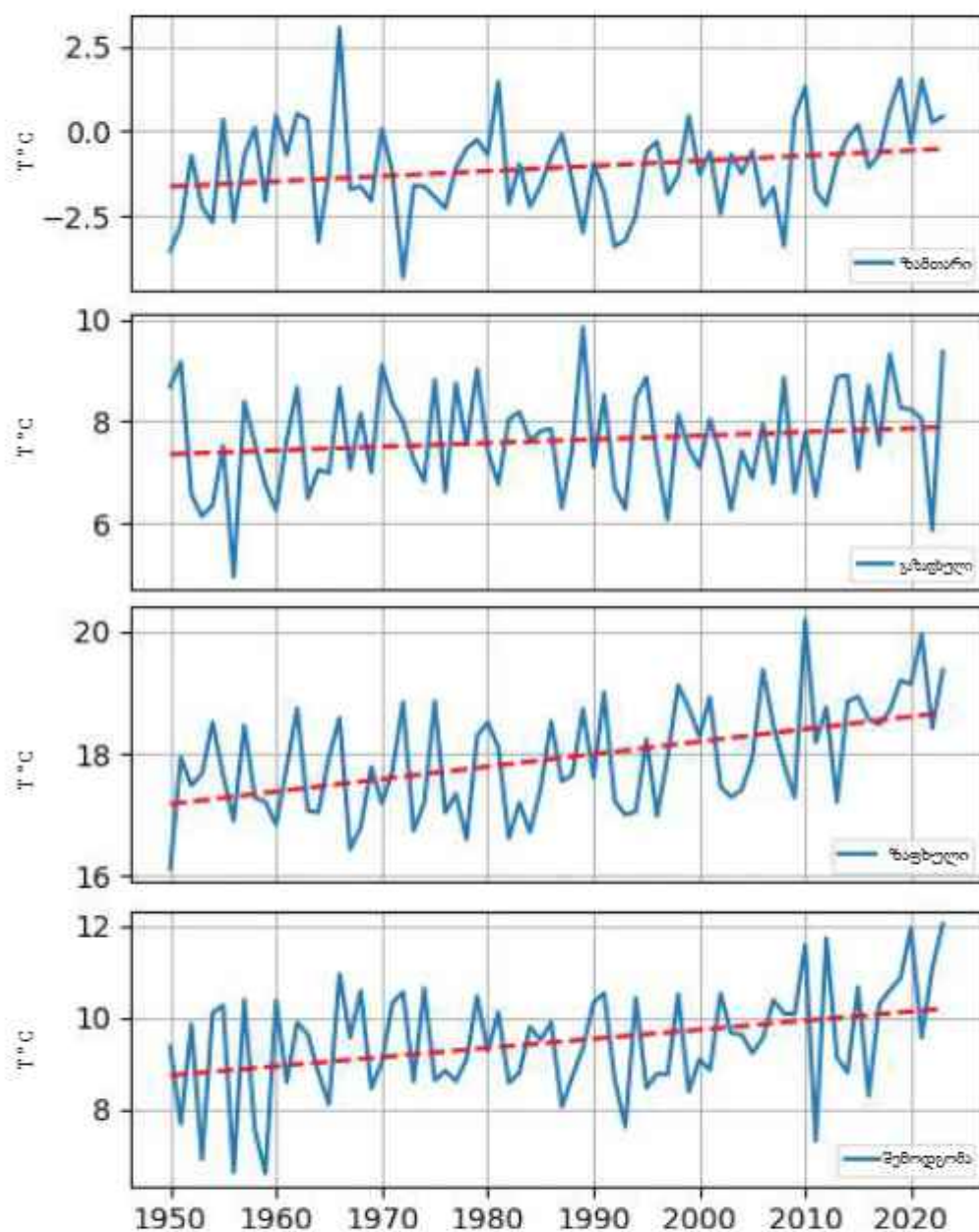
საინტერესოა ჰაერის საშუალო ტემპერატურის სეზონური ცვლილება. ანალიზისათვის გამოყენებული იქნა მან კანდელის ტესტები (სურ. 22-31).



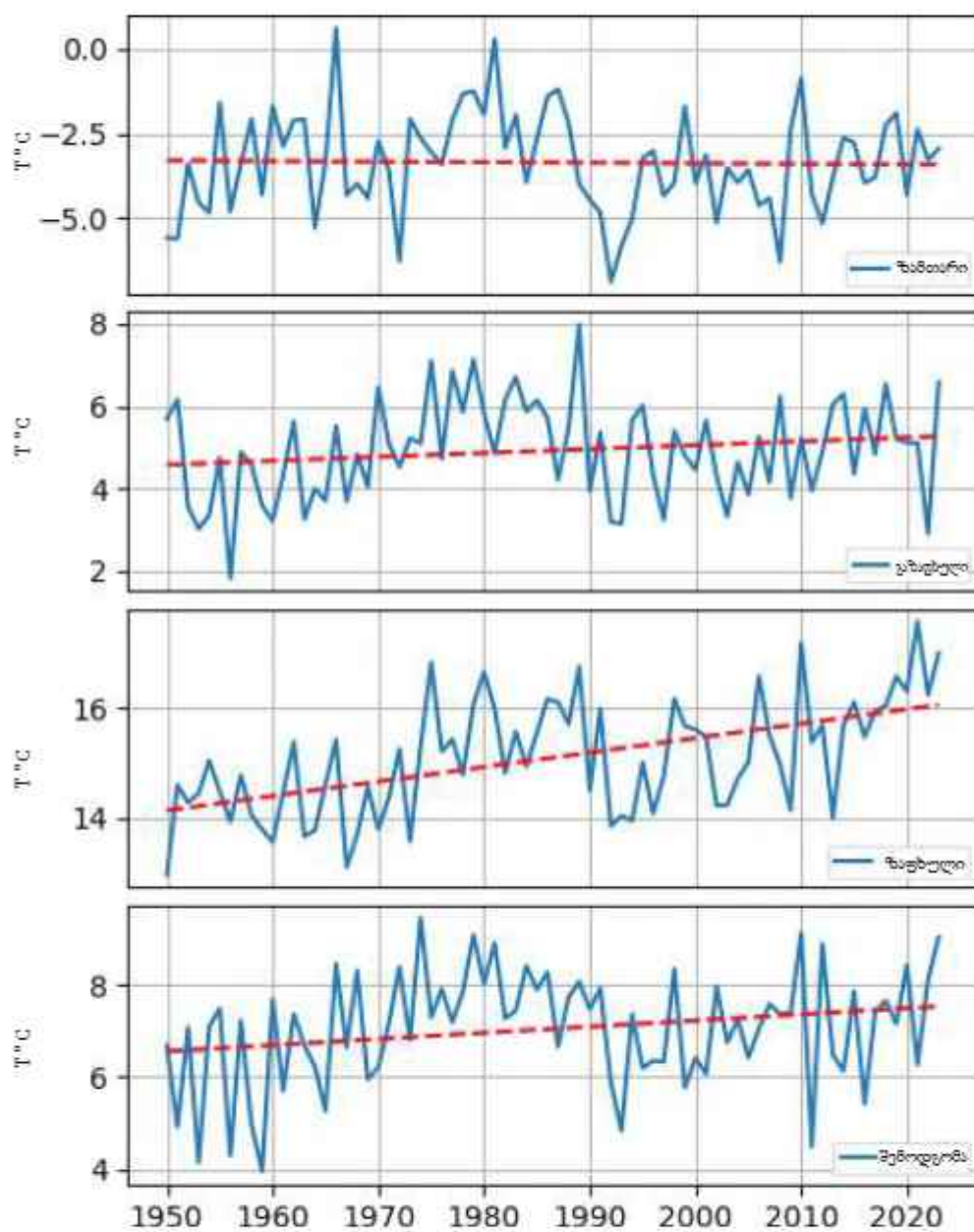
სურ. 22. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით 1950-2023 წწ.
(ბადის 41-ე პუნქტი)



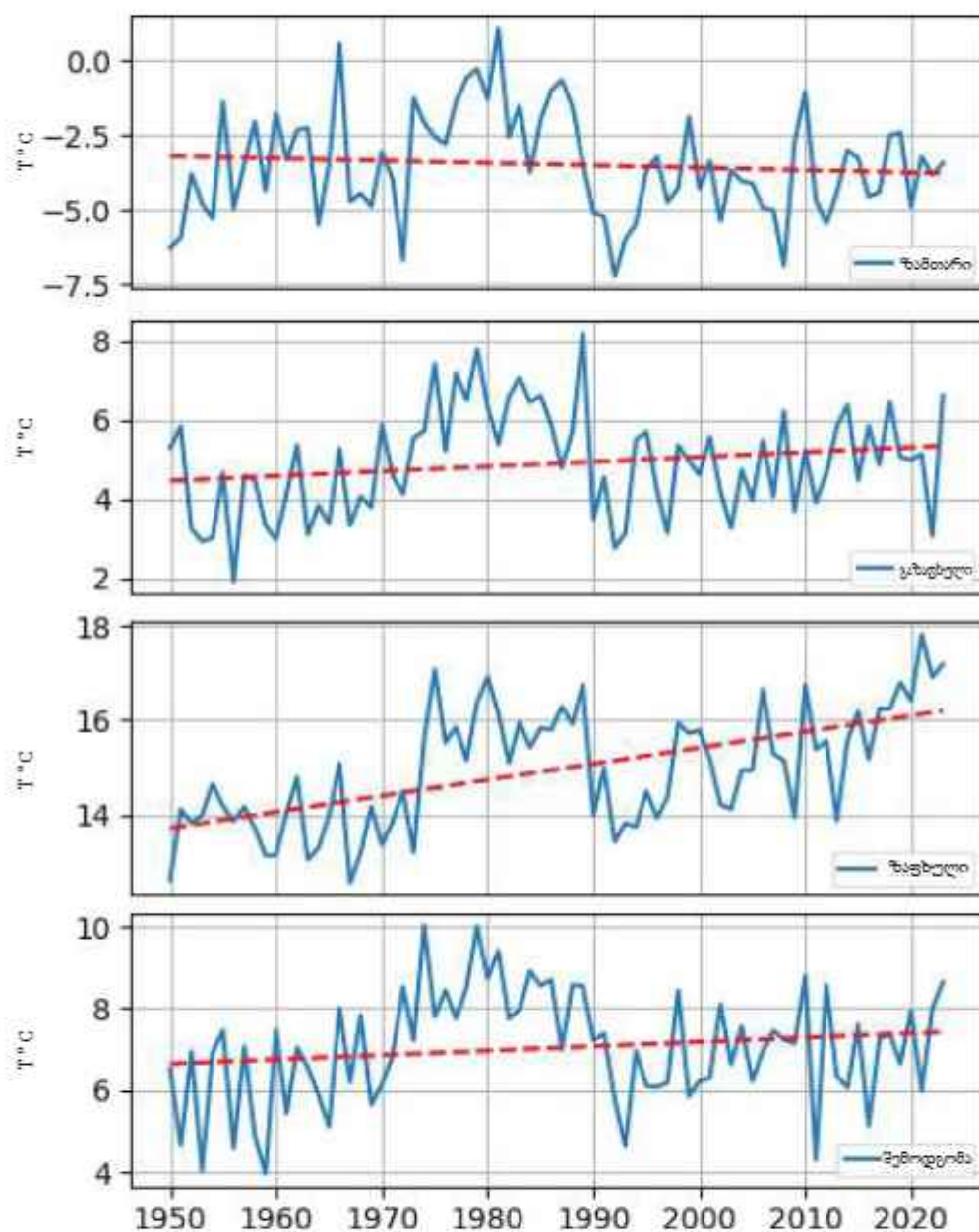
სურ. 23. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (34-ე პუნქტი)



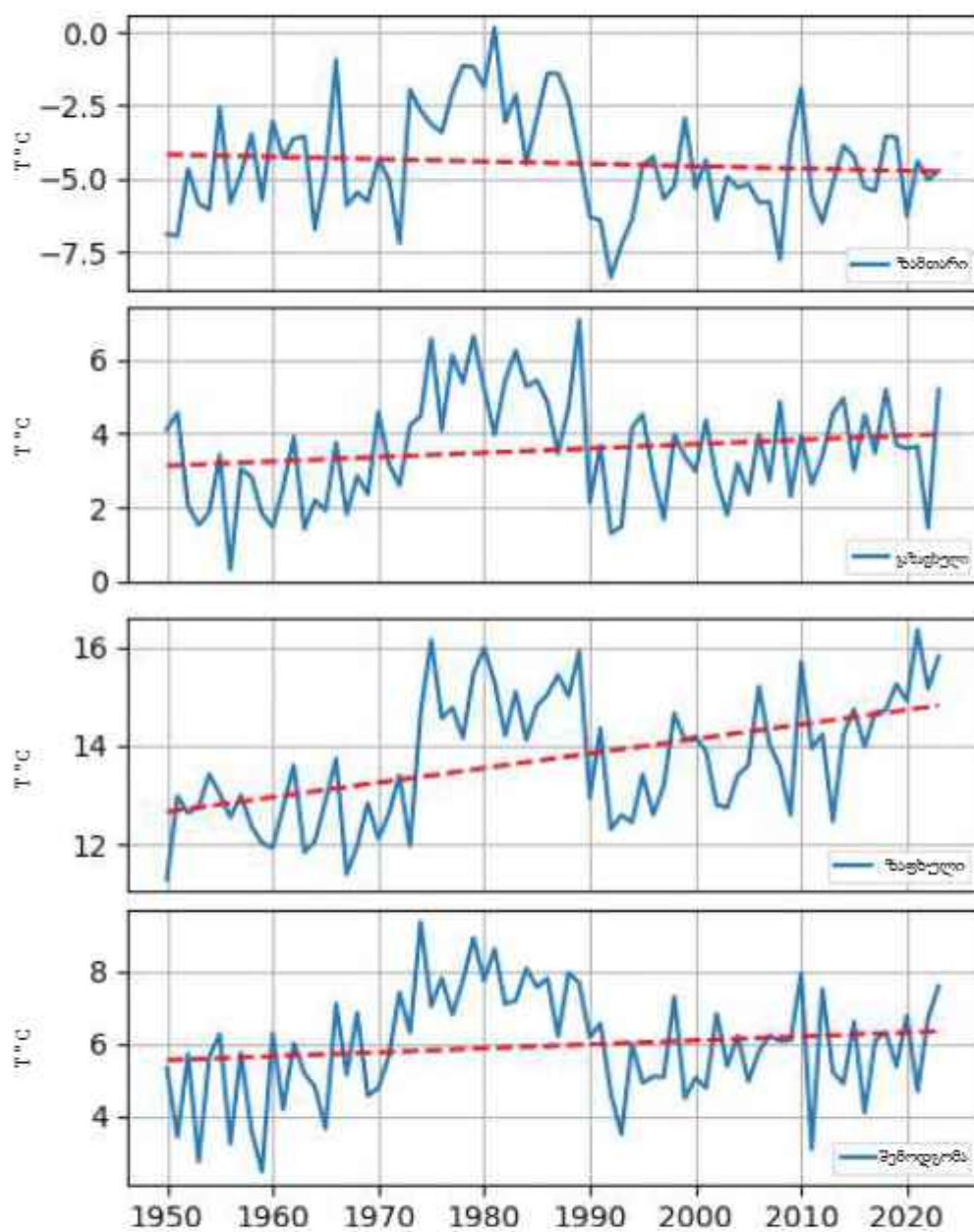
სურ. 24. პერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (39-ე პუნქტი)



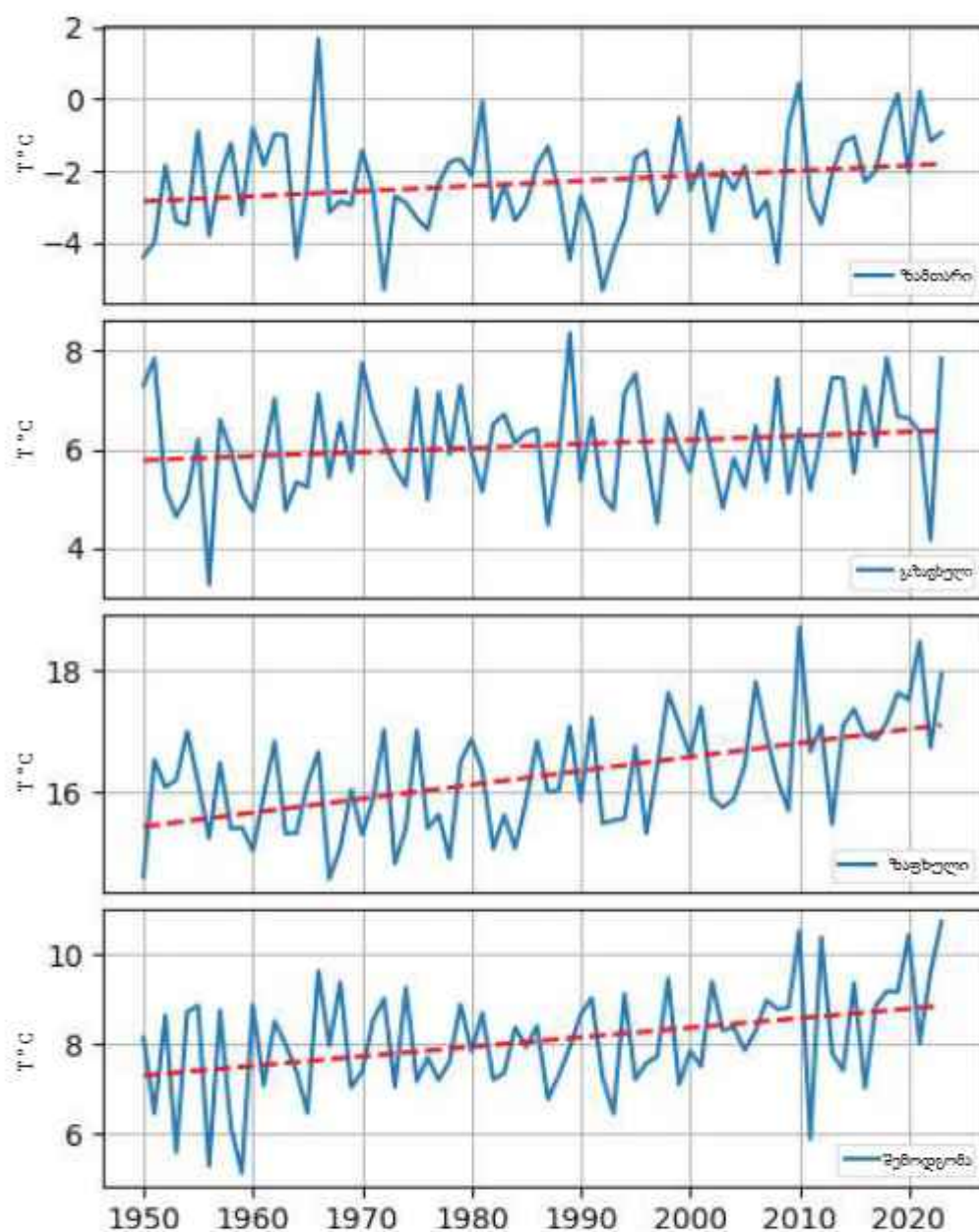
სურ. 25. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (54-ე პუნქტი)



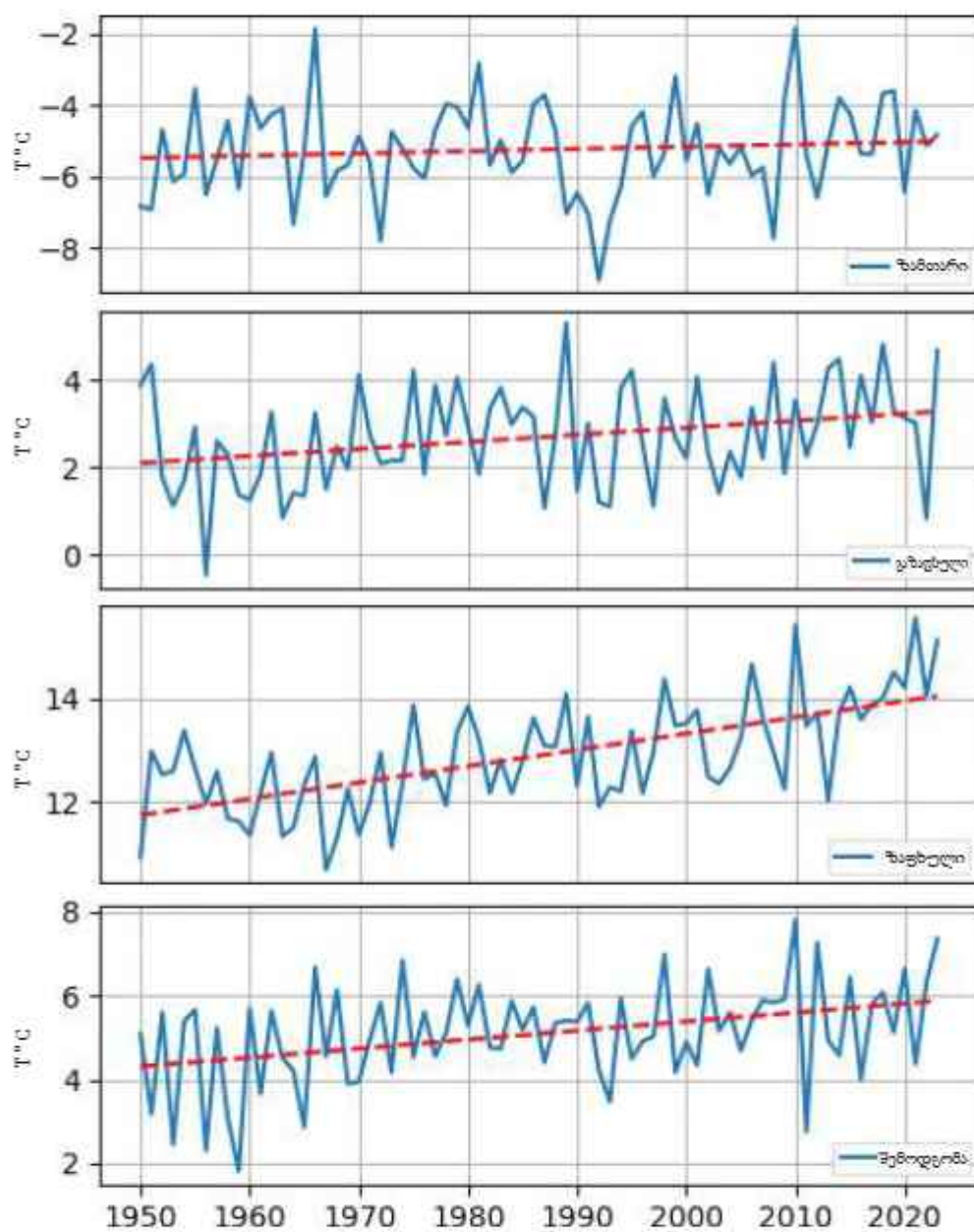
სურ. 26. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (47-ე პუნქტი)



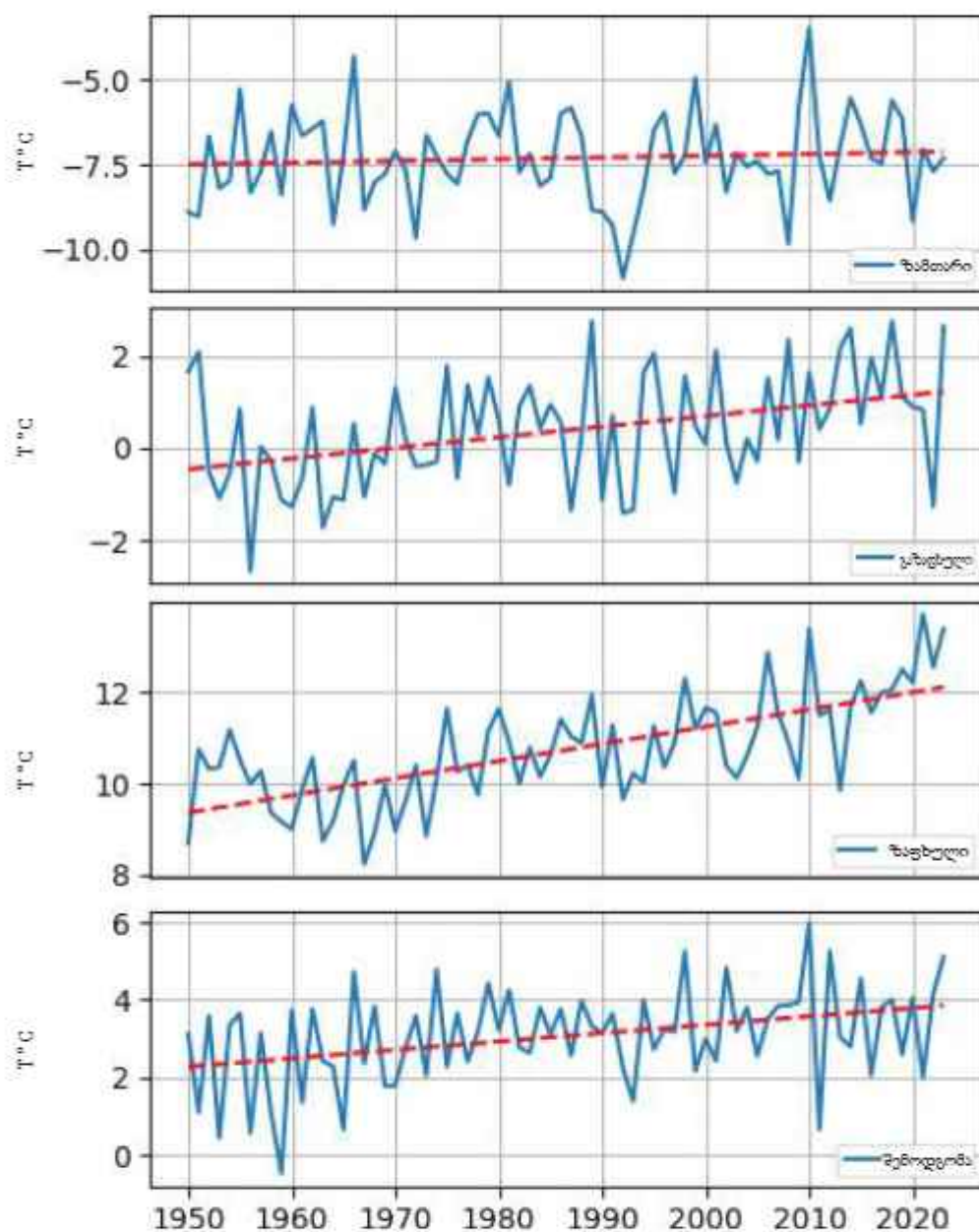
სურ. 27. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (55-ე პუნქტი)



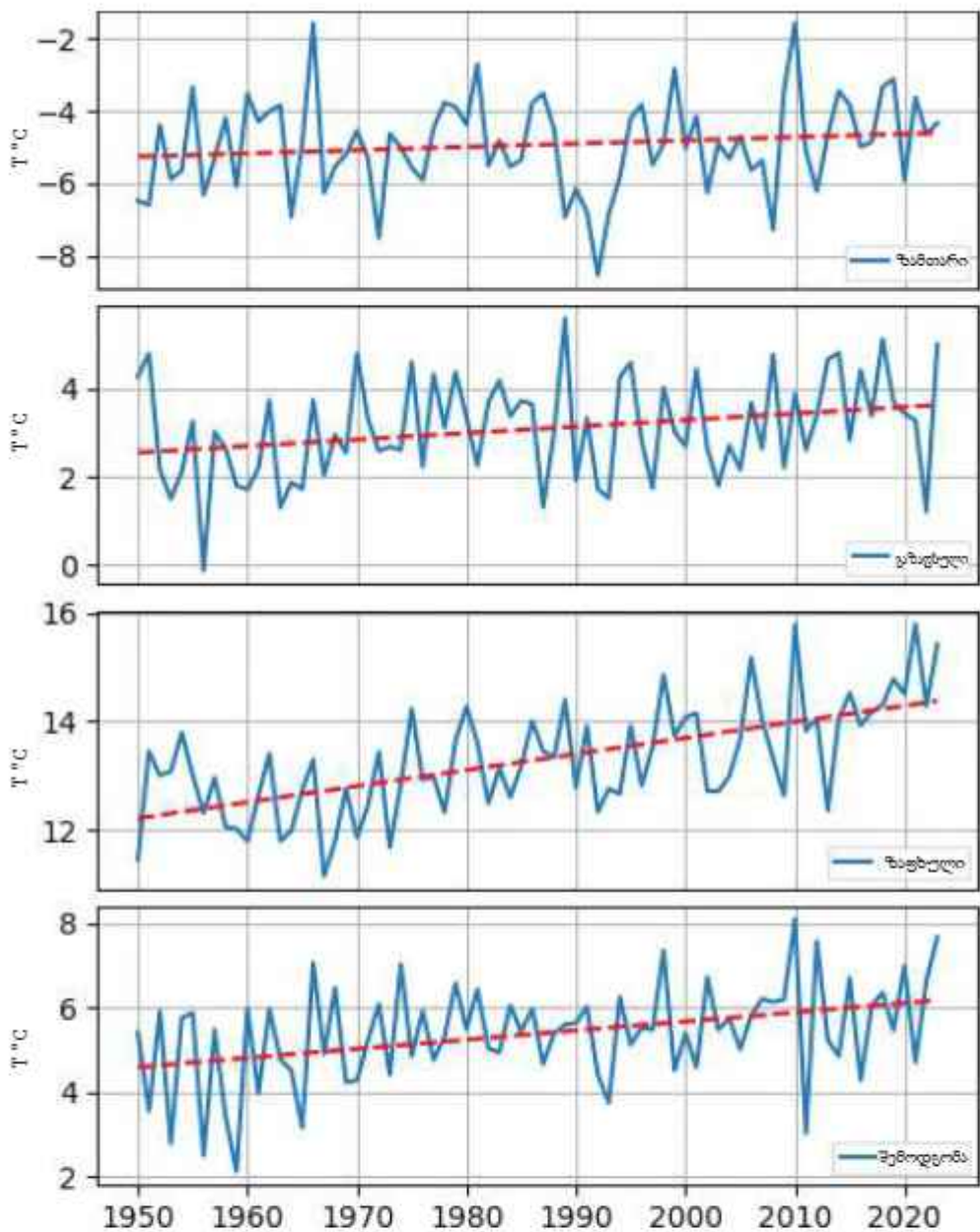
სურ. 28. პერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (50-ე პუნქტი)



სურ. 29. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (62-ე პუნქტი)



სურ. 30. პარის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (75-ე პუნქტი)



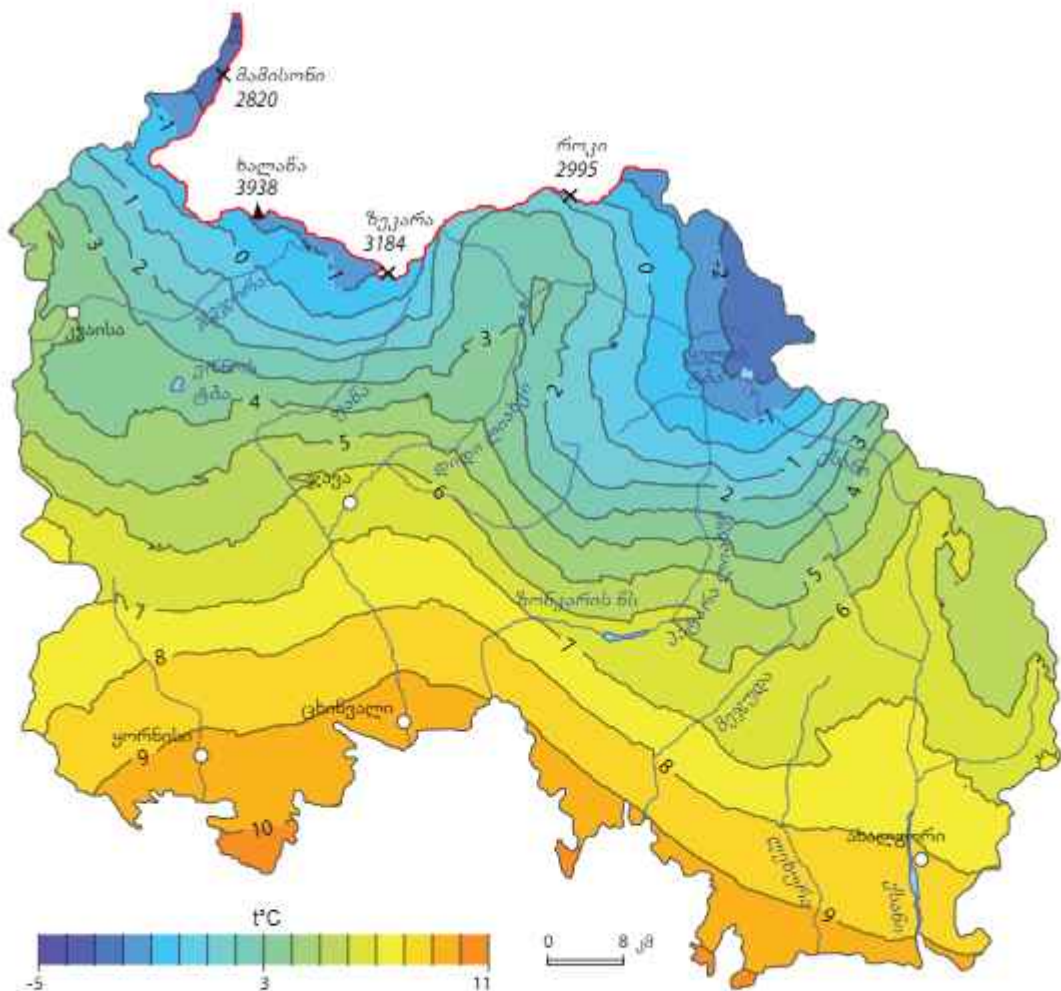
სურ. 31. ჰაერის საშ. ტემპერატურის ცვლილება სეზონების მიხედვით (74-ე პუნქტი)

გრაფიკებიდან ჩანს, რომ ჰაერის საშუალო ტემპერატურის მატებას ადგილი აქვს მეტ-ნაკლებად ყველა სეზონში, ძირითადად კი მატება ხდება ზაფხულში.

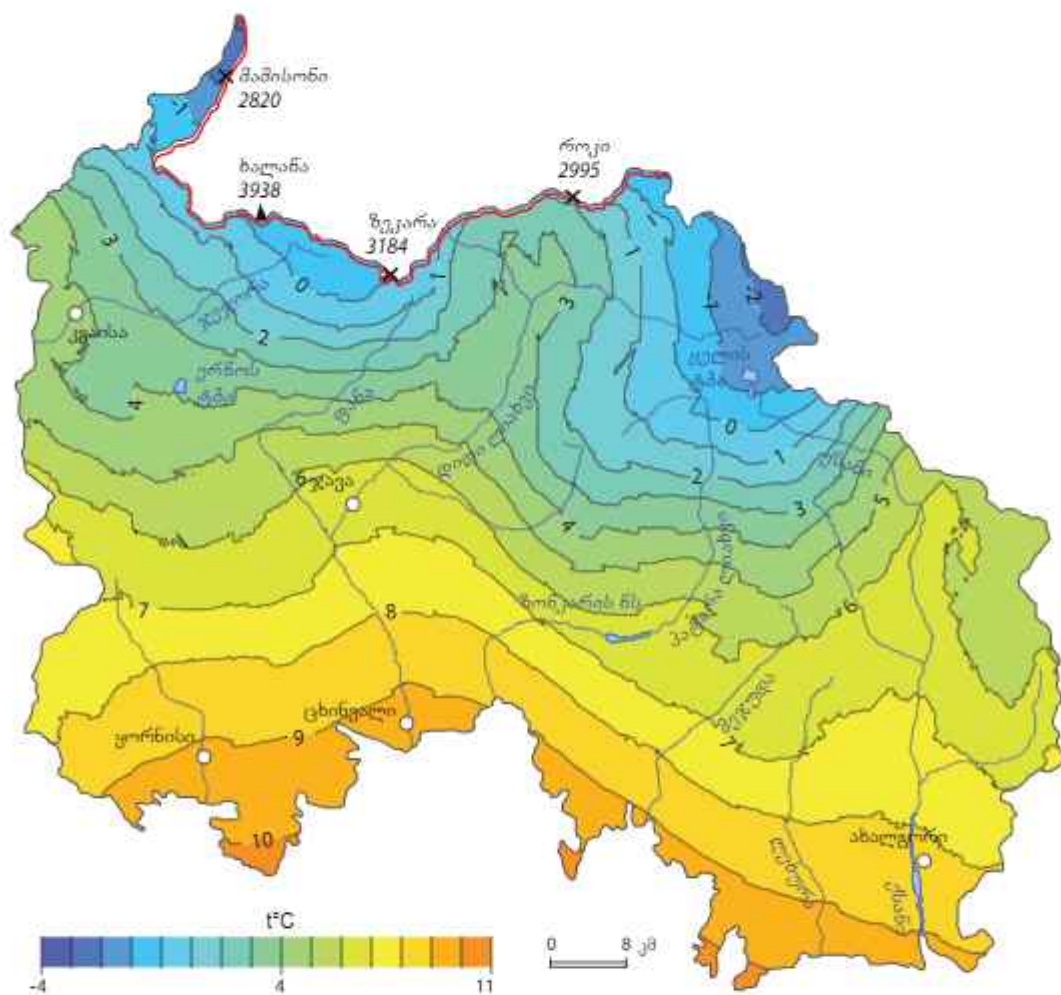
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჰაერის საშუალო ტემპერატურის მატება უფრო მეტად გამოხატულია რეგიონის ჩრდილოეთით, ტემპერატურის ცვლილების სივრცული განაწილება თვალსაჩინოა რუკებზე (სურ. 32-34). რუკების შესადგენად საკვლევი პერიოდი გაიყო 3 ოცწლიან პერიოდად. მან კანდელის დიაგრამების მსგავსად, რუკებზეც ნათლად ჩანს, რომ ჩრდილოეთით ადგილი აქვს ტემპერატურის

მნიშვნელოვან მატებას. მაგალითად, თუ 1961-1980 წწ პერიოდში ყელის ტბის ჩრდილოეთით მინიმალური ტემპერატურა -2°C საკმაოდ ფართობზე იყო წარმოდგენილი, 1981-2000 წწ ეს ტერიტორია შემცირდა, ხოლო 2001-2023 წწ ამ ტერიტორიაზე უკვე 0°C -ია. რაც შეეხება დადებით ტემპერატურებს, აქ სამივე პერიოდში 11°C წარჩუნდება, მხოლოდ ადგილი აქვს კლიმატური ზონების აწევას სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ტროპიკები ჩრდილოეთისკენ ფართოვდება. ანალოგიური მდგომარეობაა ჰაერის მინიმალური (სურ. 35-37) და მაქსიმალური (სურ. 38-40) ტემპერატურების შემთხვევაშიც.

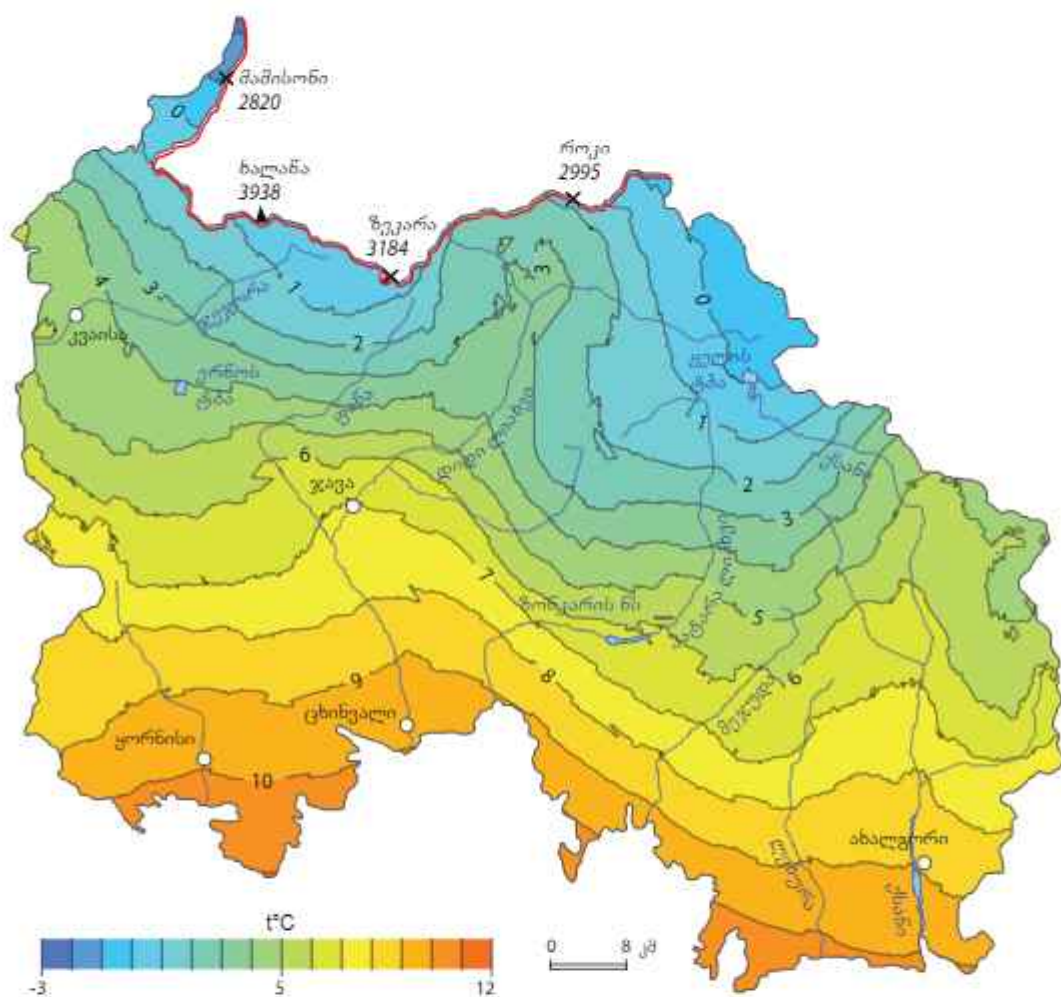
სხვადასხვა კვლევების მიხედვით ყოველ ათწლეულში (როგორც ჩრდილოეთით, ისე სამხრეთით) ტროპიკების საზღვრები გაწევის მიხედვით დაახლოებით 0.2-0.3 გრადუსით გადაადგილდება [13]. ცხინვალის რეგიონში ჩვენი კვლევებით ბუნებრივი ზონების ჩრდილოეთით გადაადგილება საშუალოდ 0,04 გრადუსია.



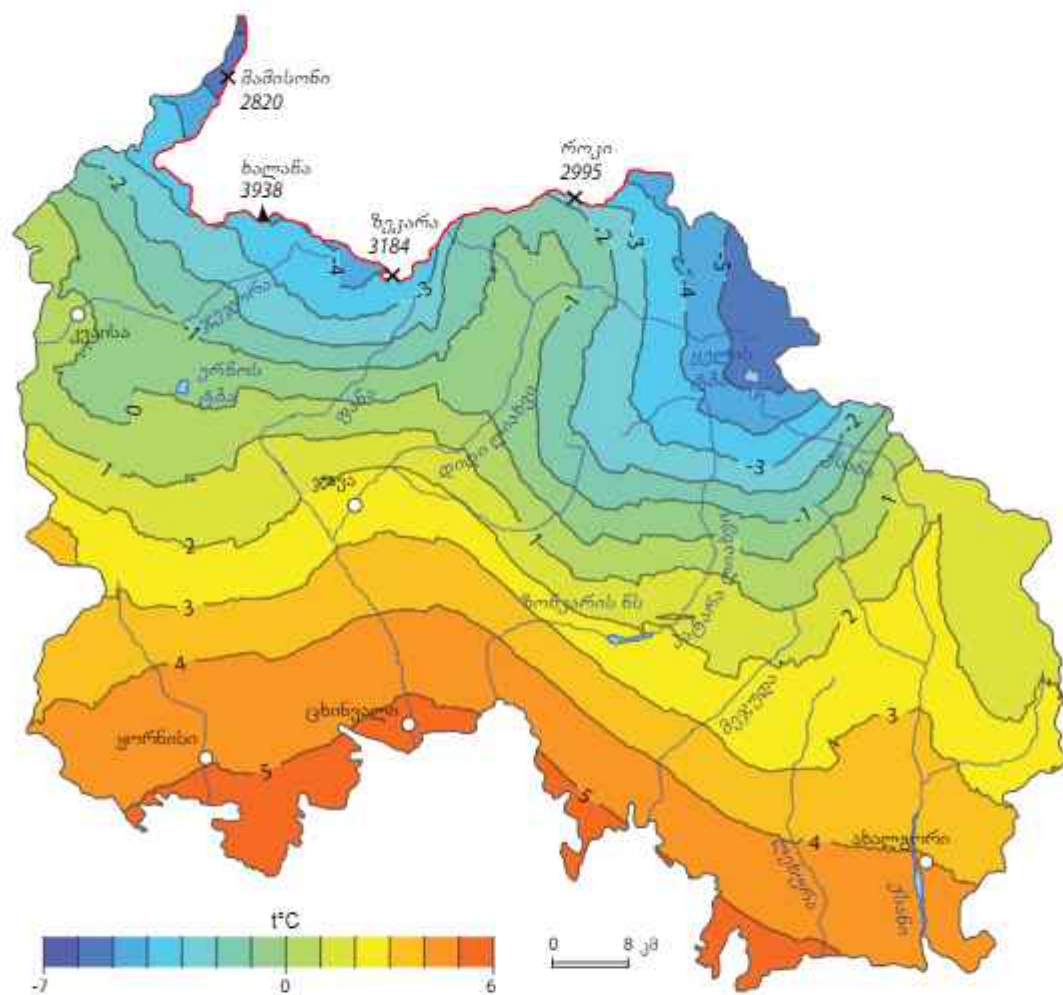
სურ. 32. ჰაერის საშ. ტემპერატურა 1961-1980 წწ.



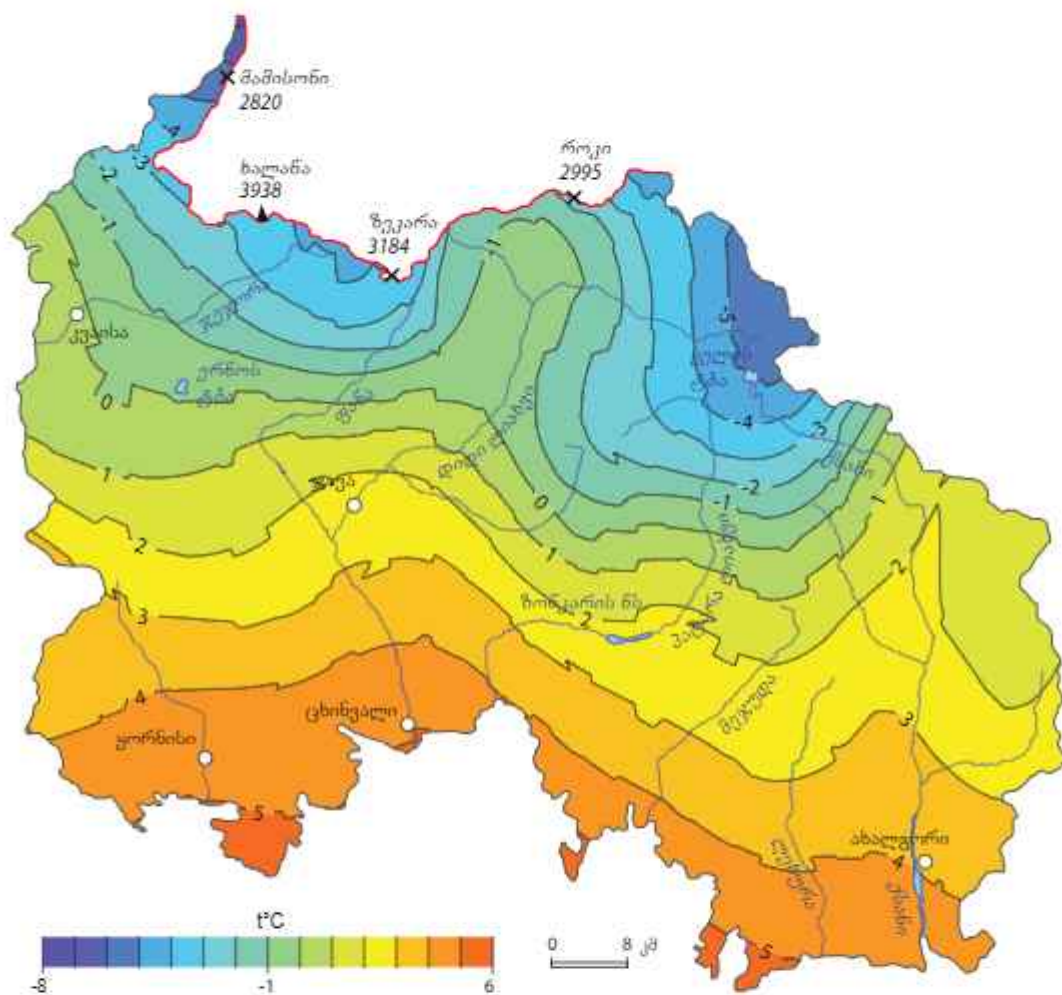
სურ. 33. ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 1981-2000 წწ.



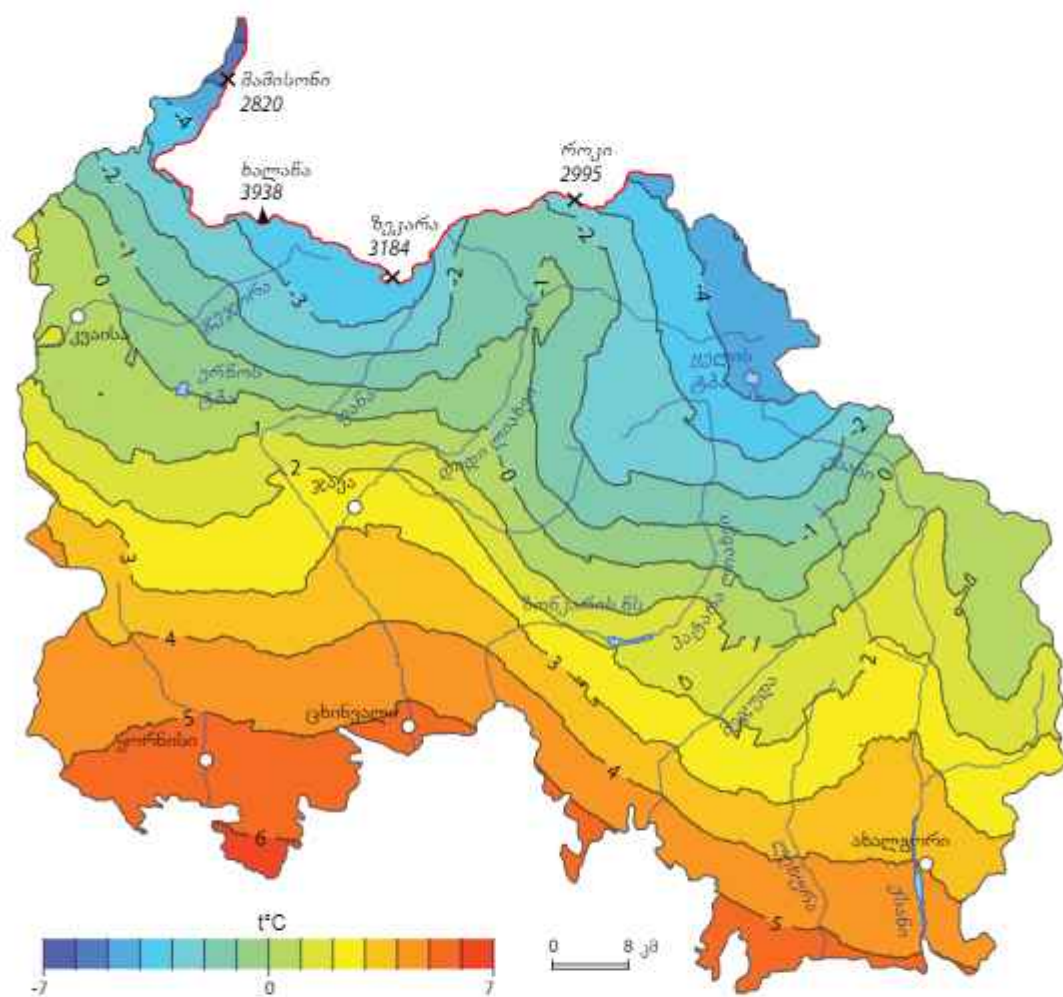
სურ. 34. ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 2001-2023 წწ.



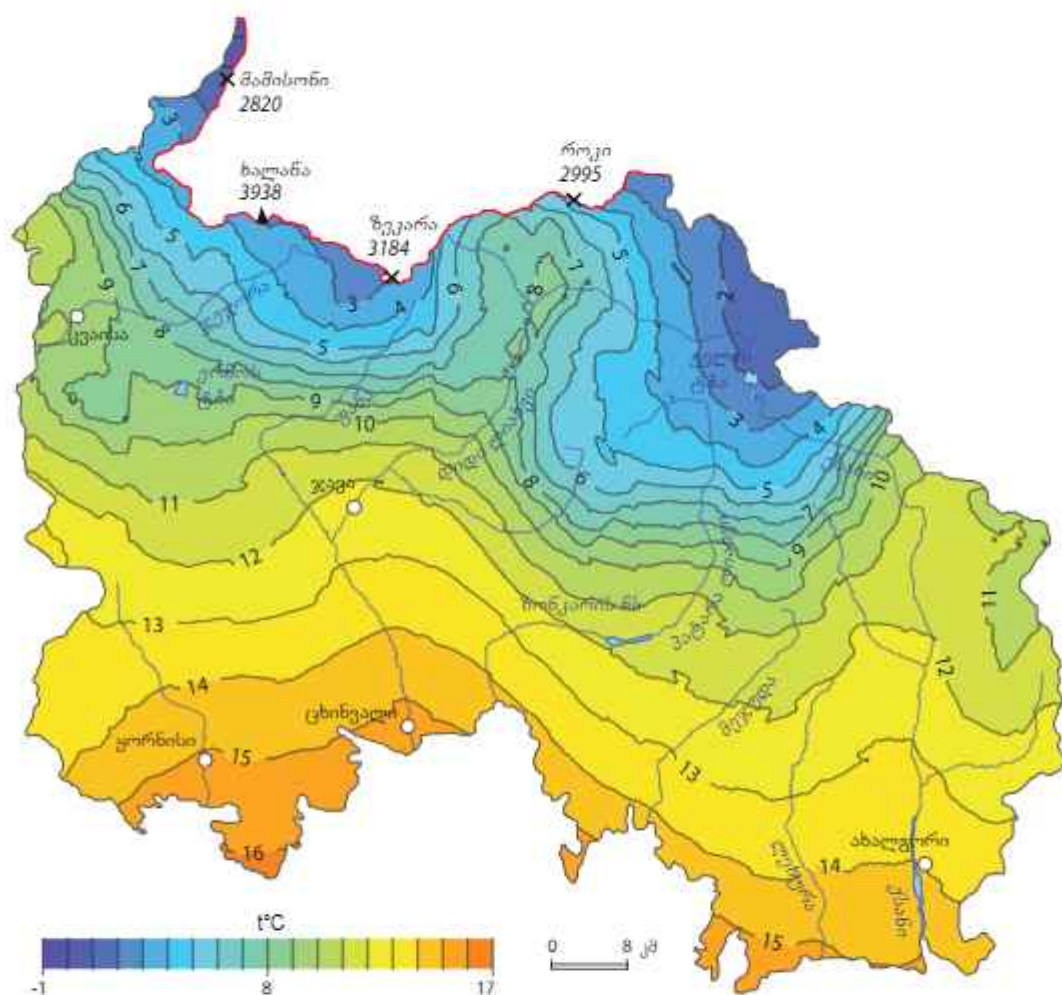
სურ. 35. პერის მინიმალური ტემპერატურა 1961-1980 წწ.



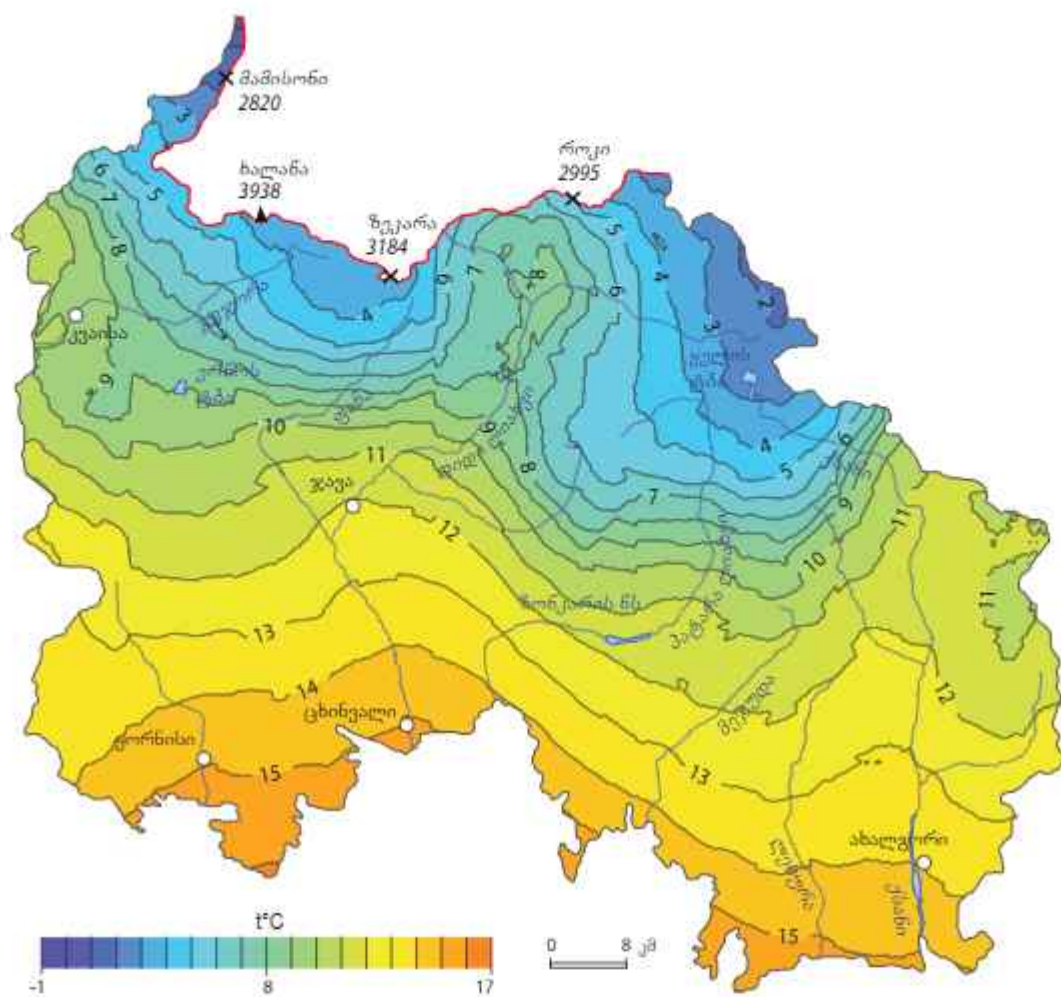
სურ. 36. პერის მინიმალური ტემპერატურა 1981-2000 წწ.



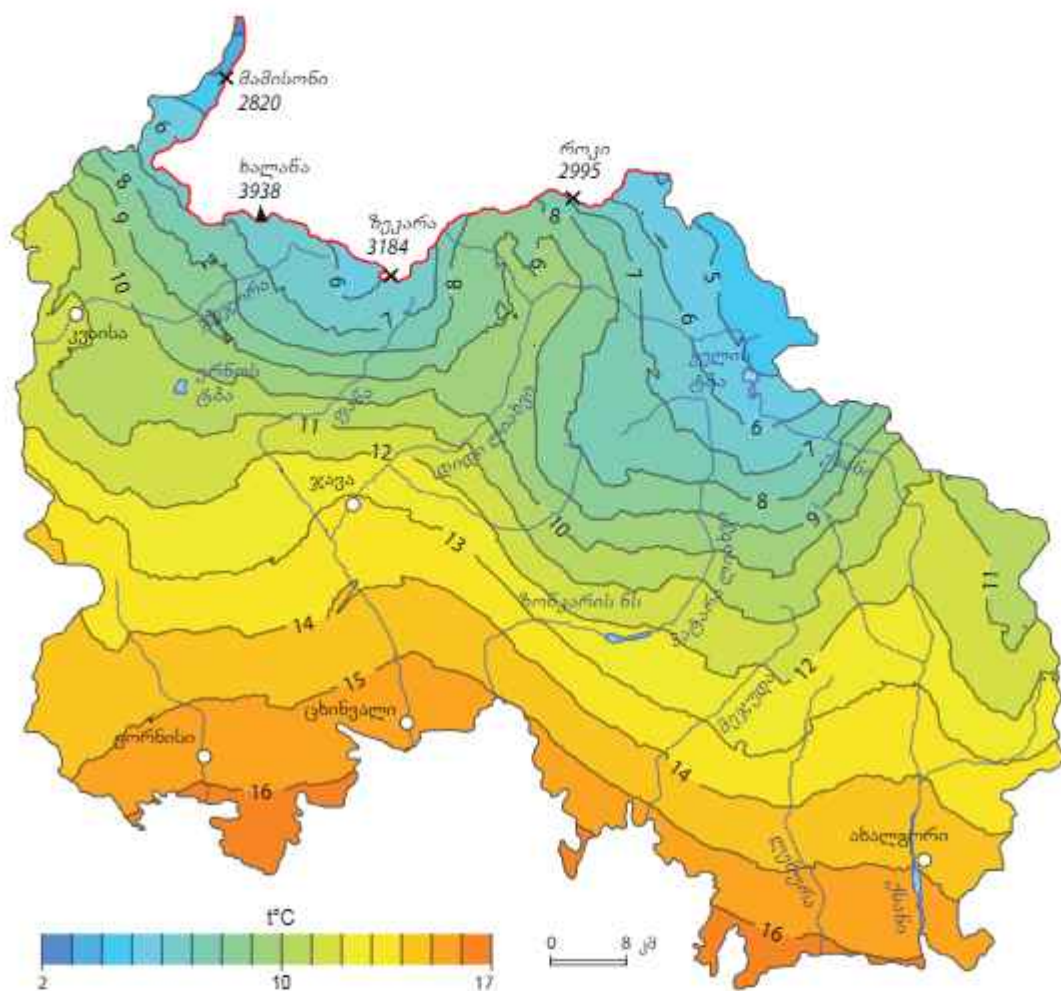
სურ. 37. ჰაერის მინიმალური ტემპერატურა 2001-2023 წწ.



სურ. 38. ჰაერის მატყიმალოური ტემპერატურა 1961-1980 წწ.



სურ. 39. ქვერის მაქსიმალური ტემპერატურა 1981-2000 წწ.



სურ. 40. ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა 2001-2023 წწ.

მან კენდალის ტესტების და რუკების ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია გაკეთდეს დასკვნა, რომ ცხინვალის რეგიონში ადგილი აქვს ტემპერატურის მატებას, რომელიც მომავალში კიდევ უფრო თვალსაჩინო გახდება. ტემპერატურის მატება უარყოფითად აისახება როგორც გარემოზე, ისე სოციალურ სფეროზე.

4.2. სითბური ტალღები

კლიმატის ცვლილების შედეგად იმატებს არამართო მზიანი დღეების რაოდენობა, არამედ ცხელი დღეების და ღამეების რაოდენობაც. მაღალ ტემპერატურასთან ხანგრძლივმა კონტაქტმა შეიძლება მრავალი უარყოფითი ზეგავლენა მოახდინოს – მაგალითად, დააზიანოს მოსავალი, გაზარდოს ტყის ხანძრების რისკი, გამოიწვიოს საქონლის სიკვდილი და სხვ. გლობალურ დათბობასთან დაკავშირებული სითბური ტალღები ადამიანის ჯანმრთელობაზეც მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს და ეს ზემოქმედება მზარდია.

როდესაც ღამის ტემპერატურა საშუალო ტემპერატურაზე მაღალი რჩება, ეს ადამიანის ორგანიზმს თერმორეგულაციის საშუალებას არ აძლევს. როცა სითბური ტალღების ზემოქმედება დიდი ხნით ნარჩუნდება, ორგანიზმი თანდათან იფიტება იმის გამო, რომ მუდმივად უწევს ადაპტაცია და შეგუება ამ პირობებთან. თუ ღამის ტემპერატურა აჭარბებს 22-24°C, დღის ტემპერატურა კი ბევრად მაღალია 32-34 გრადუსზე, ორგანიზმი თავის ბუნებრივ ტემპერატურას ვერ უბრუნდება. ეს განსაკუთრებით რთულად გადასატანია ბავშვებისთვის, მოხუცებისთვის, ორსული ქალებისა და ქრონიკული დაავადებების მქონეთათვის.

ცხინვალის რეგიონისთვის დაითვალა სითბური ტალღების რაოდენობა, მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (WMO) მიხედვით სითბურ ტალღებად (ექსტრემალურ სიცხედ) ითვლება ის პერიოდი, როდესაც ზედიზედ 5 დღის განმავლობაში ჰაერის ტემპერატურა 5 და მეტი გრადუსით აჭარბებს საშ. მაქსიმალურ ტემპერატურას. მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაცია 1961-1990 წლებს ნორმალურ პერიოდად მიიჩნევს. ამიტომ, საკვლევი პერიოდი დაიყო ორ 30 წლიან პერიოდად: 1961-1990 წწ. და 1991-2023 წწ.

საკვლევი რეგიონისთვის ბადეზე არსებული პუნქტებისთვის გამოითვალა ზაფხულის თვეების მაქსიმალური ტემპერატურების საშუალო მრავალწლიურები. მაგალითისთვის, ქ. ცხინვალისთვის მან შეადგინა 25,7°C, სითბური ტალღების (ექსტრემალურად ცხელ) დღეთა რაოდენობა მოცემულია ცხრ. 3-ში. როგორც ცხრილიდან ჩანს, ასეთი დღეები 1961-1990 წლებში უმნიშვნელო რაოდენობითაა. რაც შეეხება მეორე პერიოდს, 1991-2023 წწ მათი რაოდენობა მნიშვნელოვნადაა მომატებული.

ცხრილი 3. ექსტრემალურად ცხელ დღეთა რაოდენობა

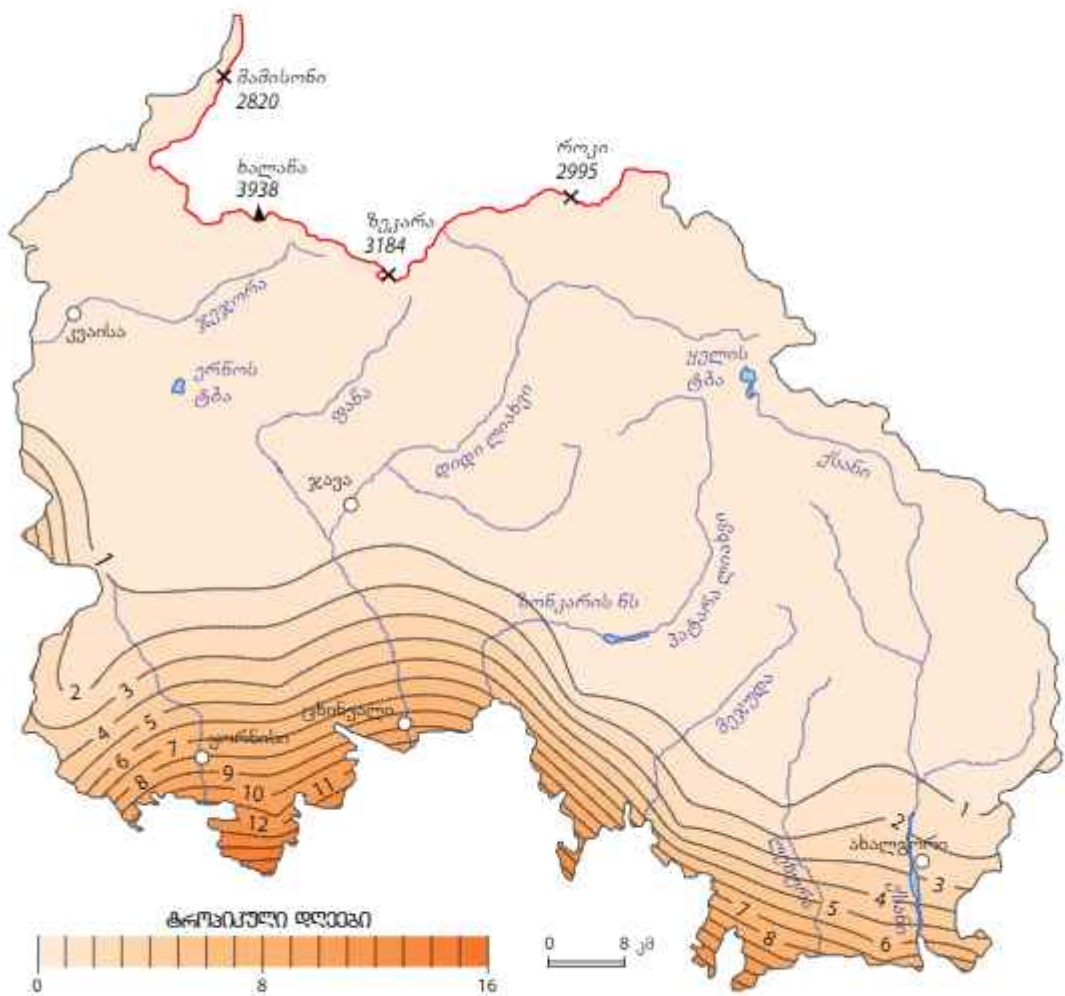
ბადის წერტილის ნომერი	ზაფხულის (ივლისი-აგვისტო) საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა, °C	ექსტრემალურად ცხელ დღეთა რაოდენობა	
		1961-1990 წწ.	1991-2023 წწ.
20	27.56587	1	18
21	26.91354	1	21
22	26.4538	2	21
23	26.23718	2	22
28	26.90431	1	15
29	27.45727	1	15
30	27.5514	1	14
31	26.62489	2	16
32	25.03876	1	21
33	24.27663	2	22

34	24.90133	1	21
35	23.9246	2	21
38	24.02568	2	14
39	25.31228	3	13
40	25.23006	1	13
41	25.72286	0	13
42	25.75789	0	15
43	23.16023	1	22
44	22.96811	2	23
45	21.97644	2	22
46	23.49887	1	22
47	21.90336	3	21
50	23.74767	2	17
51	22.32422	3	25
52	22.46325	2	24
53	23.99515	1	21
54	22.30323	2	21
55	20.60626	6	24
56	20.25838	7	21
57	19.30595	6	25
58	21.8165	4	20
59	20.38971	10	18
62	20.10948	1	27
63	20.26669	1	28
64	21.34224	2	26
65	20.72356	2	25
66	19.97121	2	25
67	15.55742	2	37
68	15.85568	2	37
69	14.48645	1	40
70	19.26685	5	20
74	20.86512	1	27
75	17.50489	0	35
76	15.01541	0	41
77	14.10301	0	40
78	18.46516	3	32
79	18.77883	3	26
80	14.99526	1	37
81	12.40967	1	37
86	16.91003	0	36
87	15.03074	0	39

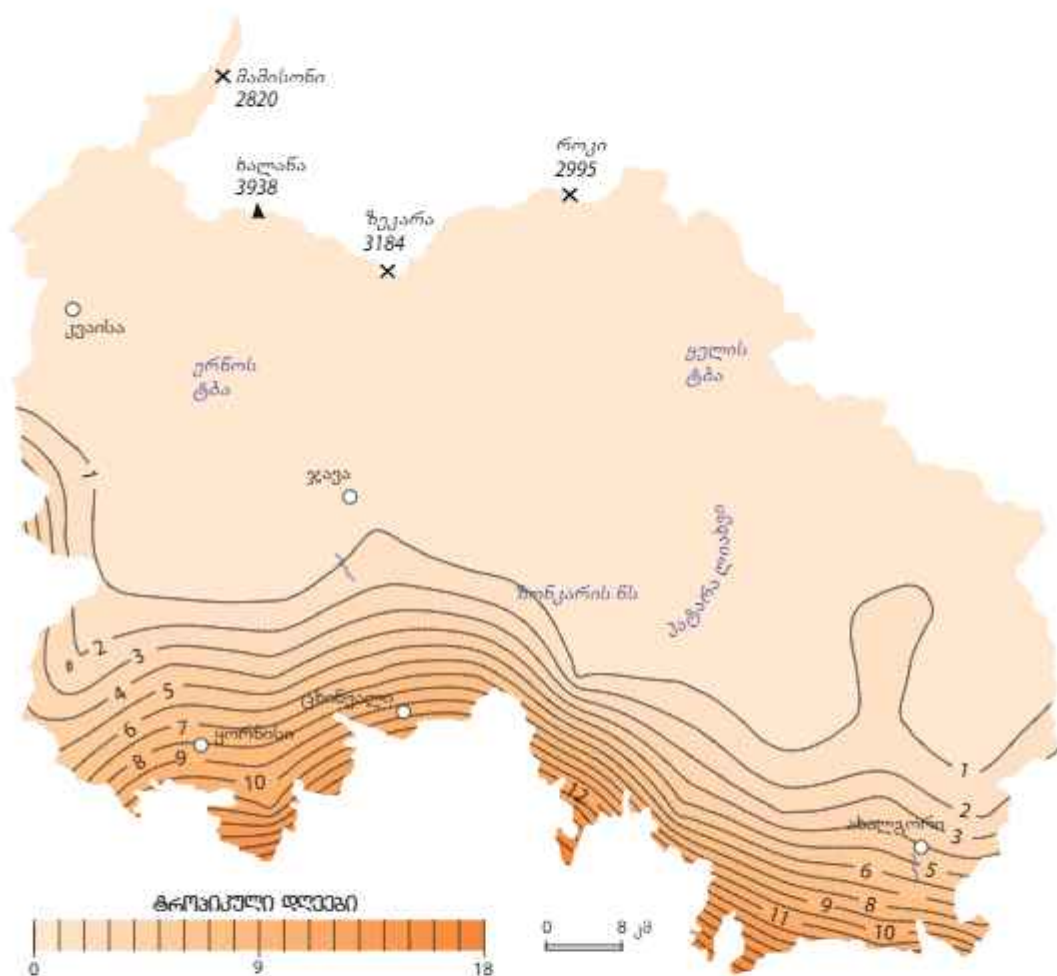
4.3. ცხელი დღეები

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის განმარტებით, ცხელი დღე ეწოდება დღეს, როდესაც დღიური მაქსიმალური ტემპერატურა აღემატება 30°C -ს.

საკვლევ რეგიონში ცხელი დღეების რაოდენობა 2001 წლიდან საგრძნობლად იმატებს. თუ პირველ პერიოდში (1961-1980 წწ.) ასეთი მხოლოდ 16 დღე იყო, მეორეში (1981-2000 წწ.) – თვრამეტი, მესამე პერიოდში (2001-2023 წწ.) უკვე 35-ია (სურ. 41-43). რუკებზე ცხელი დღეების რაოდენობის სივრცული განაწილება აჩვენებს, რომ ცხელი დღეების რაოდენობა ძირითადად რეგიონის სამხრეთ, დაბალმთიან ნაწილში იმატებს. ადგილი აქვს კლიმატური ზონების აწევას სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ საშუალოდ 0,04 გრადუსით.



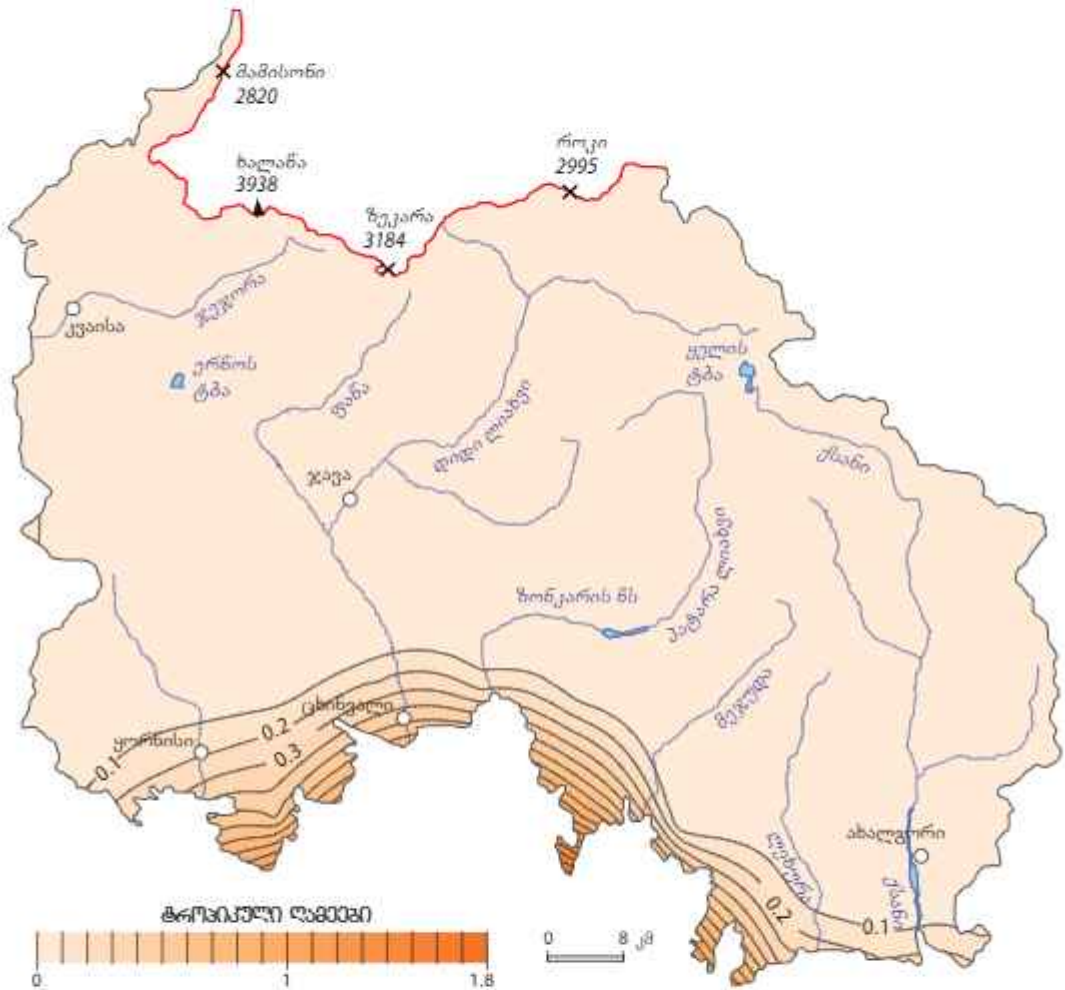
სურ. 41. ცხელი დღეები 1961-1980 წწ.



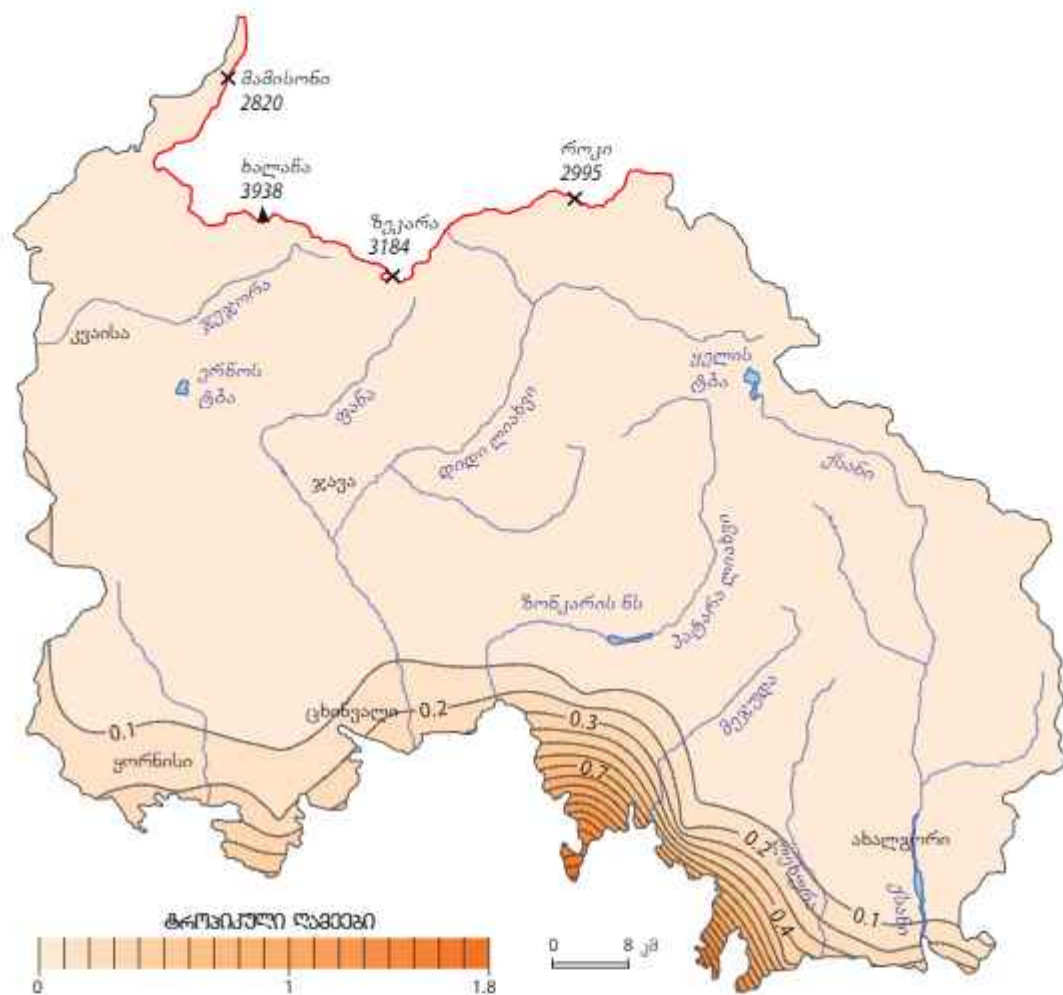
სურ. 42. ცხელი დღეები 1981-2000 წწ.

დესაც ჰაერის ტემპერატურა 20°C -ზე დაბლა არ ჩამოდიოდა შეადგენდა 1.8 დღეს. მესამე პერიოდში, 2001-2023 წლებში უმნიშვნელოდ, მაგრამ აქვს მატების ტენდენცია და აღწევს 4.5 დღეს.

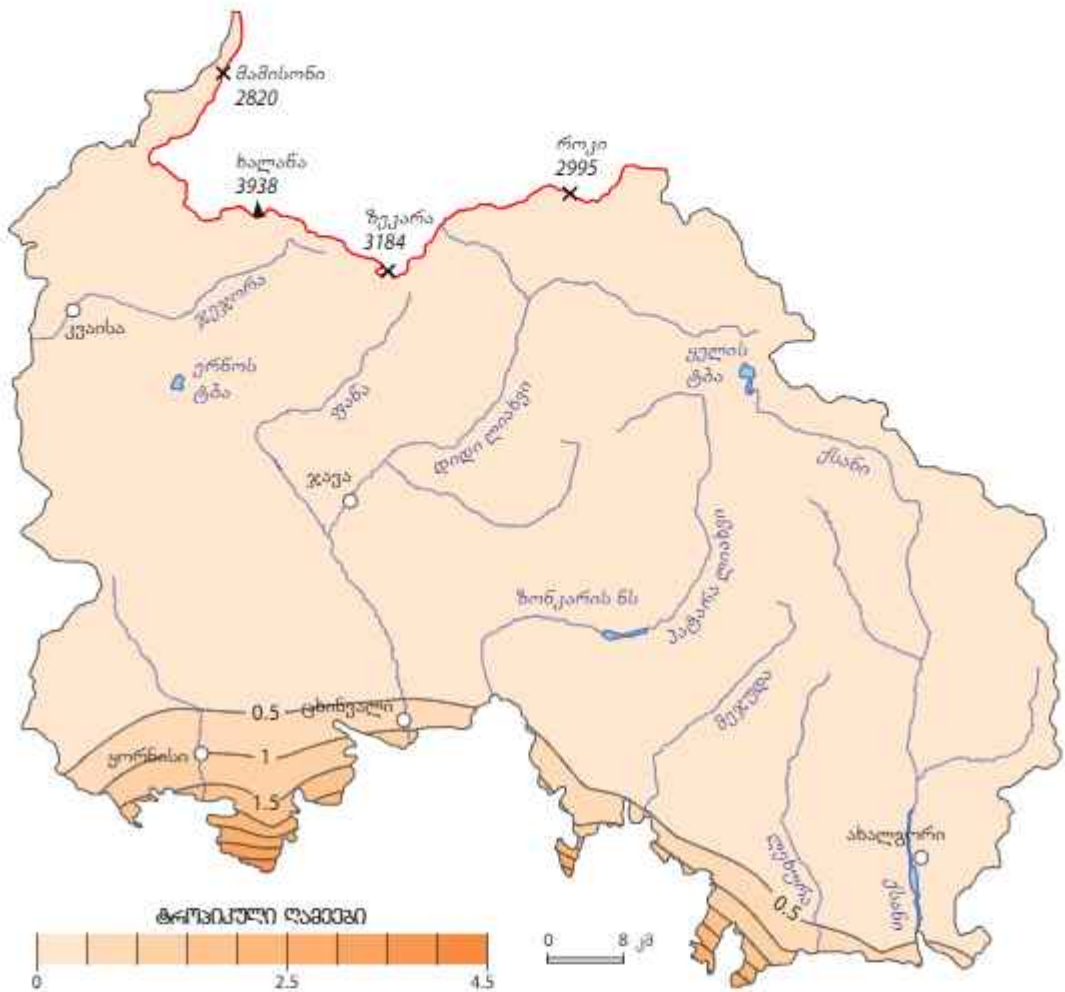
ტროპიკული ღამეები უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.



სურ. 44. ტროპიკული ღამეები 1961-1980 წწ.



სურ. 45. ტროპიკული ღამეები 1981-2000 წწ.



სურ. 46. ტროპიკული დაბეები 2001-2023 წწ.

4.5. წყინვების და ყინვიანი დღეების მრავალწლიური სვლილების დანდასიები

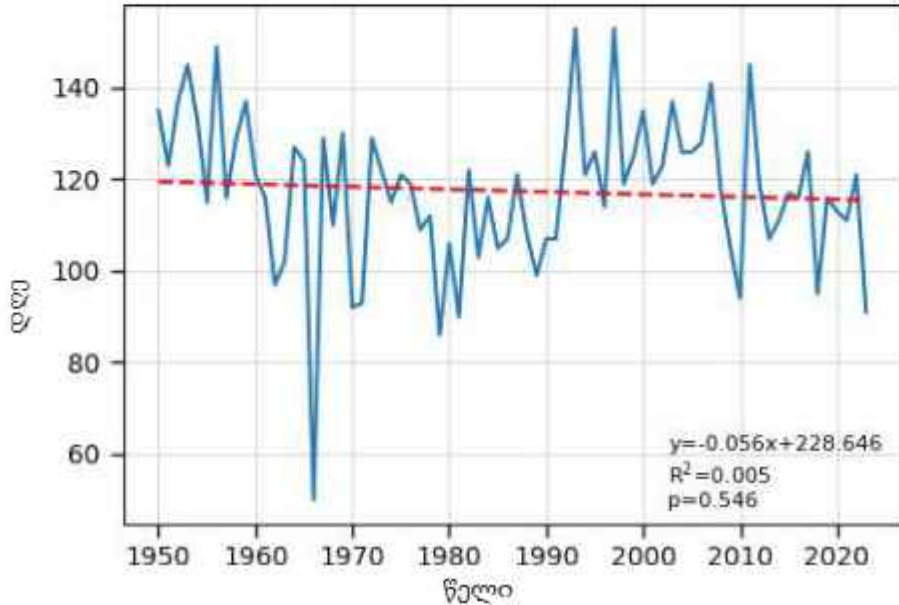
წყინვებს ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰაერის დღიური მინიმალური ტემპერატურა 0°C -ზე დაბალია. ხოლო, როდესაც ჰაერის დღიური მაქსიმალური ტემპერატურა 0°C -ზე დაბალია, ამ შემთხვევაში გვაქვს ყინვიანი დღე [10]. წყინვებს ადგილი აქვს ღამით, ამიტომ მას ღამის წყინვებსაც უწოდებენ.

ცხინვალის რეგიონში წყინვების და ყინვიანი დღეების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციის დასადგენად რეგიონში არსებულ ჰაერის სხვადასხვა ტიპებში შეირჩა პუნქტები. მონაცემების გასაანალიზებლად გამოყენებული იქნა მან კერძალის ტესტი. პუნქტები შეირჩა რეგიონში არსებულ ყველა ჰაერის ტიპში, მათი ნომრები მოცემულია სურ. 7-ზე.

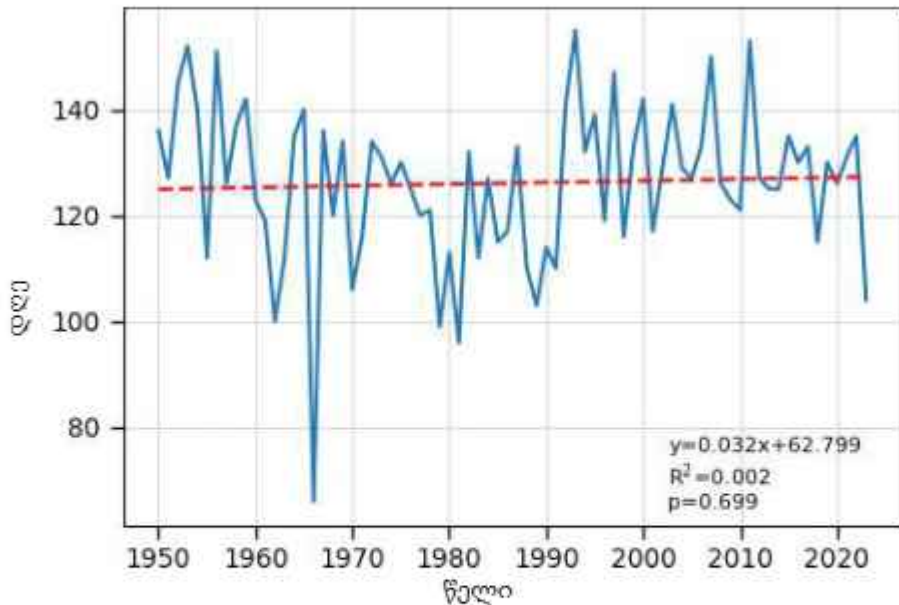
მან კერძალის ტესტი აჩვენებს (სურ. 47-56), რომ რეგიონში წყინვებს შემცირების ტენდენცია აქვს. ეს მოსალოდნელიც იყო, რადგან ზემოთ აღწერილ ჰაერის ტემპერატურების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციებში (სურ. 35-37) მინიმალურ-

მა ტემპერატურებმა მატების ტენდენცია გამოავლინა. შესაბამისად, უფრო იშვიათი ხდება დღიური მინიმალური ტემპერატურის 0°C -ზე დაბლა დაცემა.

ჰავის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 47-48).

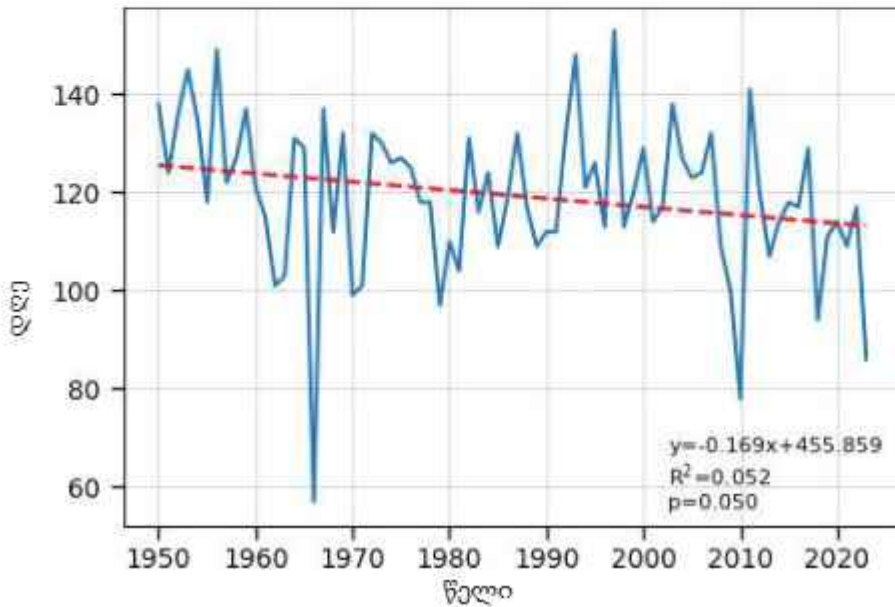


სურ. 47. წყინეების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 41-ე პუნქტი)

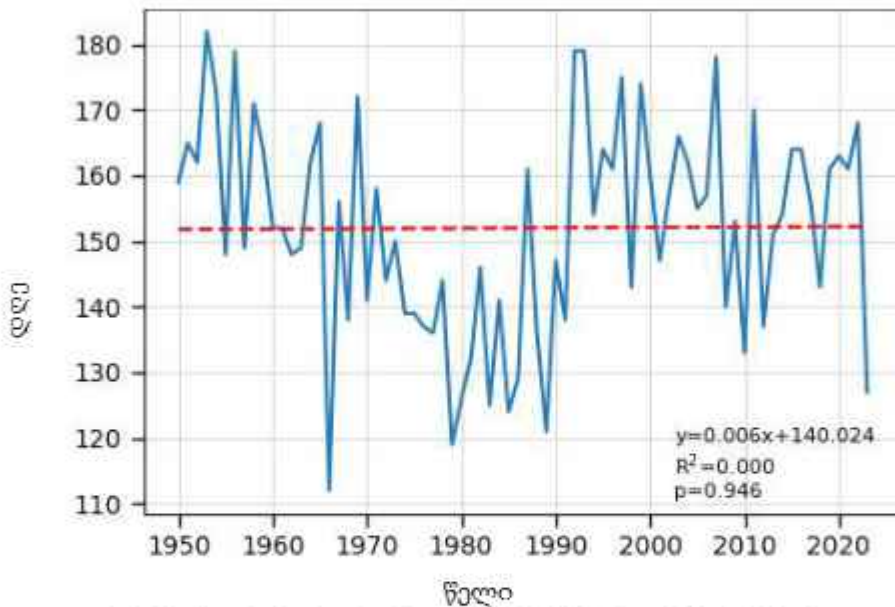


სურ. 48. წყინეების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 34-ე პუნქტი)

ჰავის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 49-50)

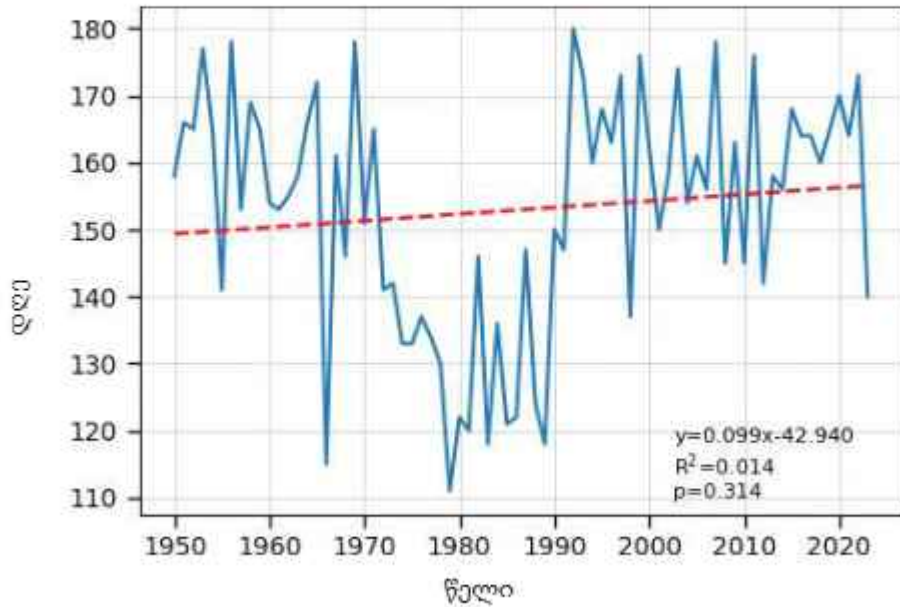


სურ. 49. წაყინვების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 39-ე პუნქტი)

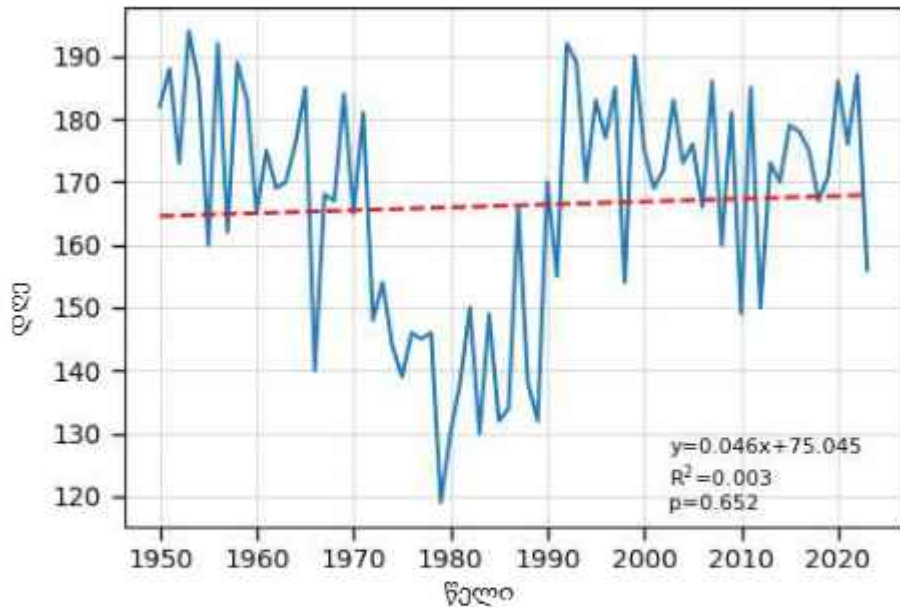


სურ. 50. წაყინვების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 54-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით, ნალექების მინიმუმით ზამთარში (სურ. 51-52)

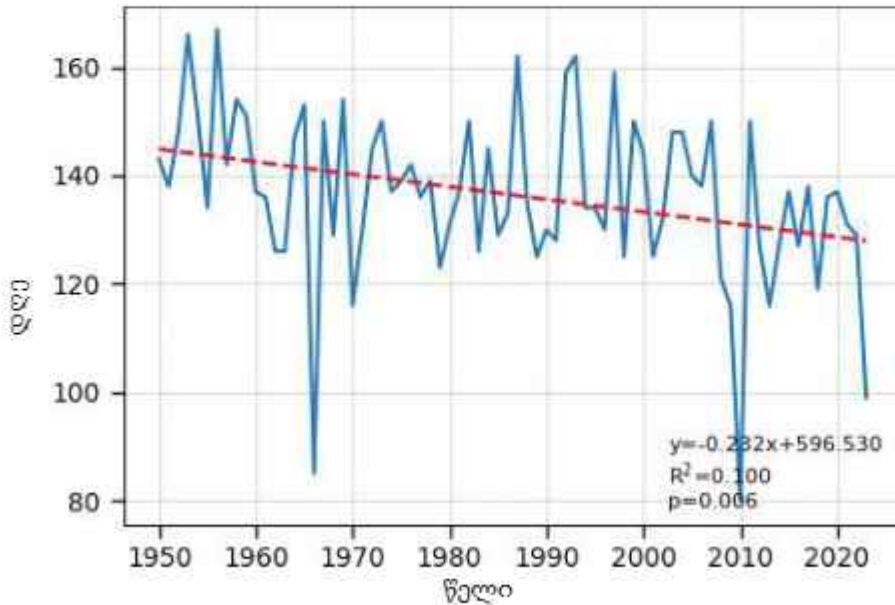


სურ. 51. წყინვების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 47-ე პუნქტი)



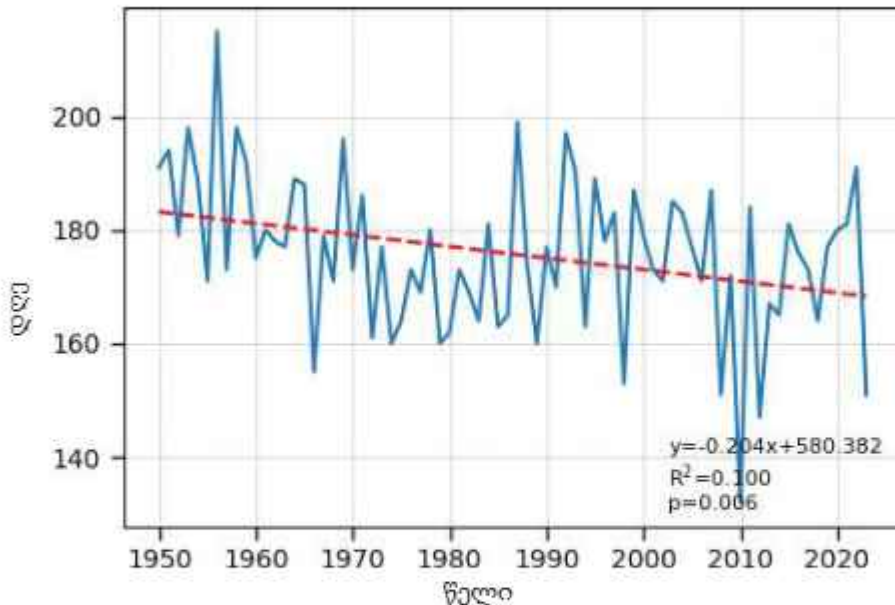
სურ. 52. წყინვების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 55-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით (სურ. 53)

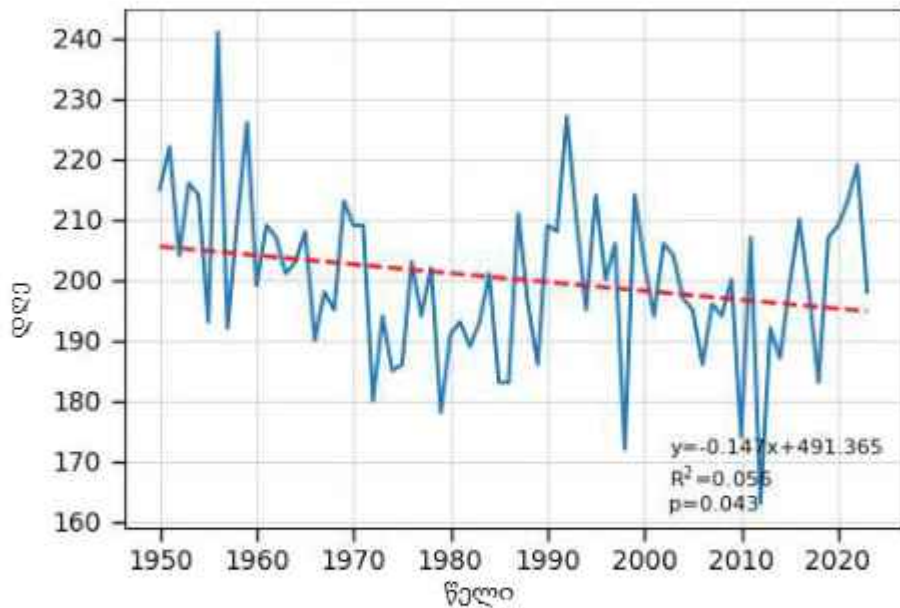


სურ. 53. წაყინვების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 50-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით (სურ. 54-55)

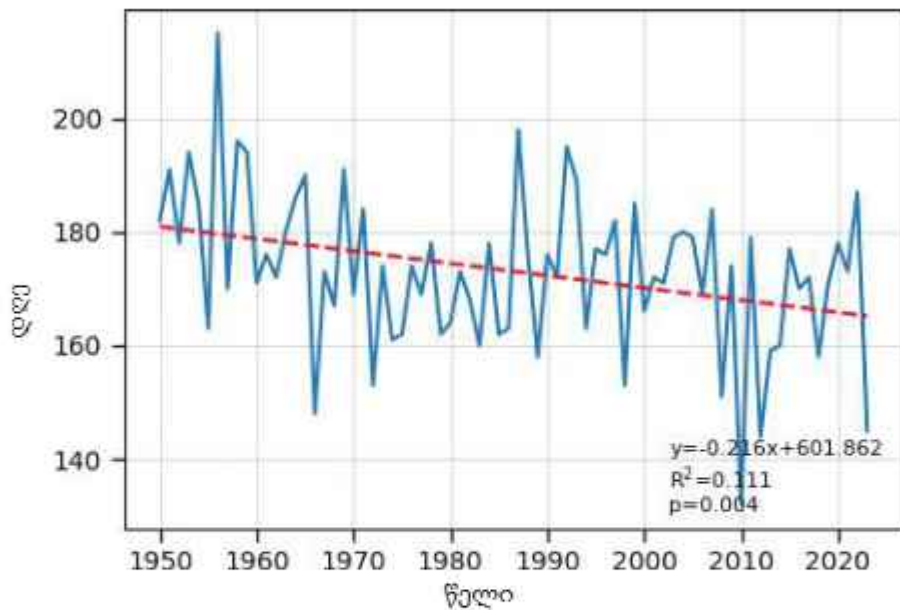


სურ. 54. წაყინვების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 62-ე პუნქტი)



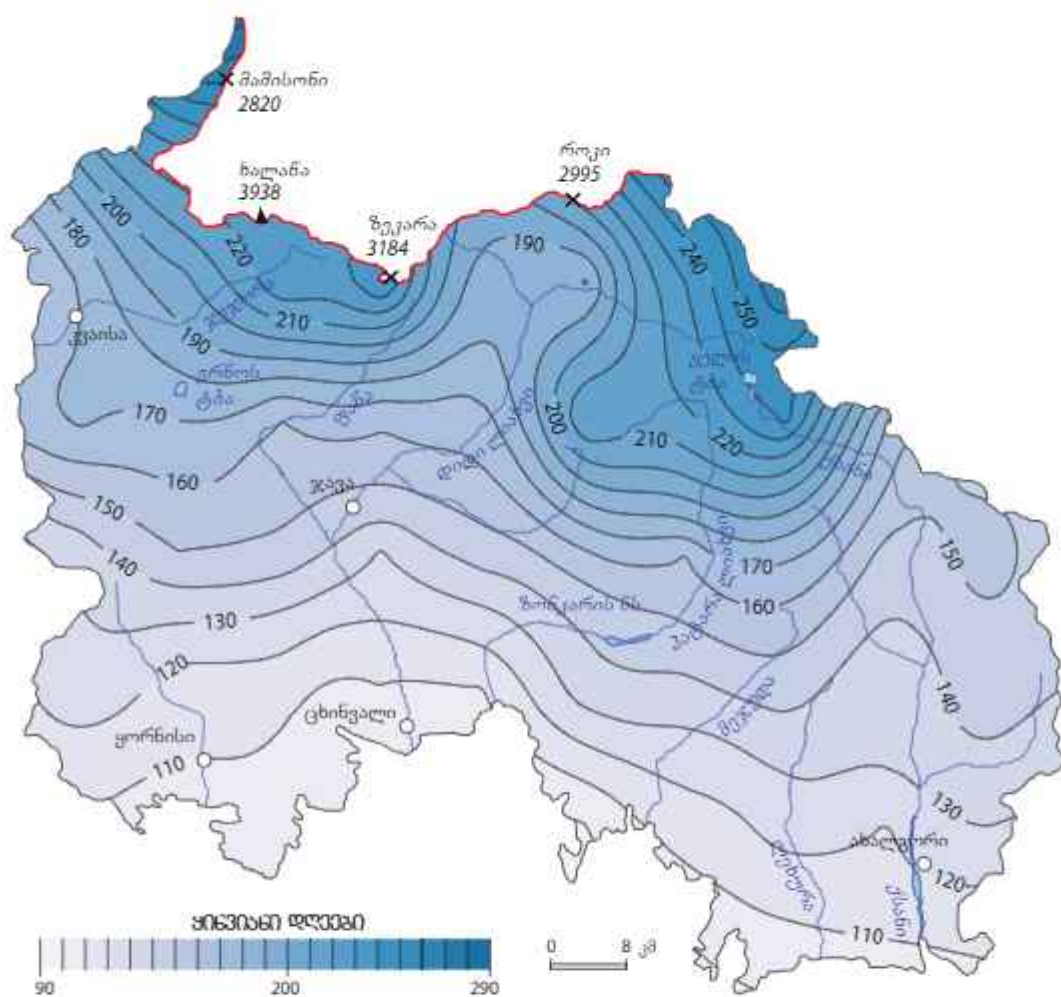
სურ. 55. წყინეების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 75-ე პუნქტი)

ჰავის ტიპი: ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით (სურ. 56)

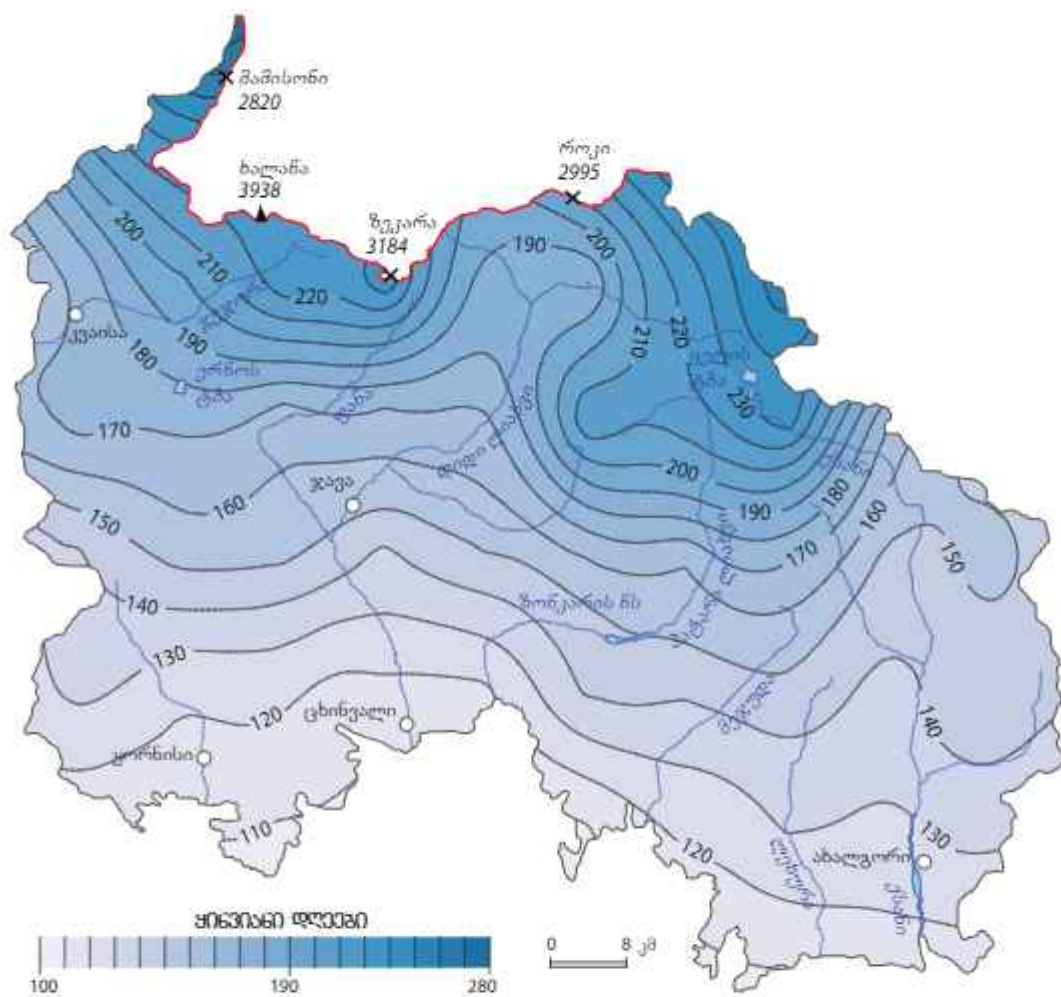


სურ. 56. წყინეების ტენდენცია 1950-2023 წწ. (ბადის 74-ე პუნქტი)

წყაინვების ცვლილების სივრცული განაწილების საჩვენებლად შედგა რუკები (სურ. 57-59). მათი ანალიზი აჩვენებს, რომ წაყინვების რაოდენობა რეგიონის მთელ ტერიტორიაზე იკლებს.

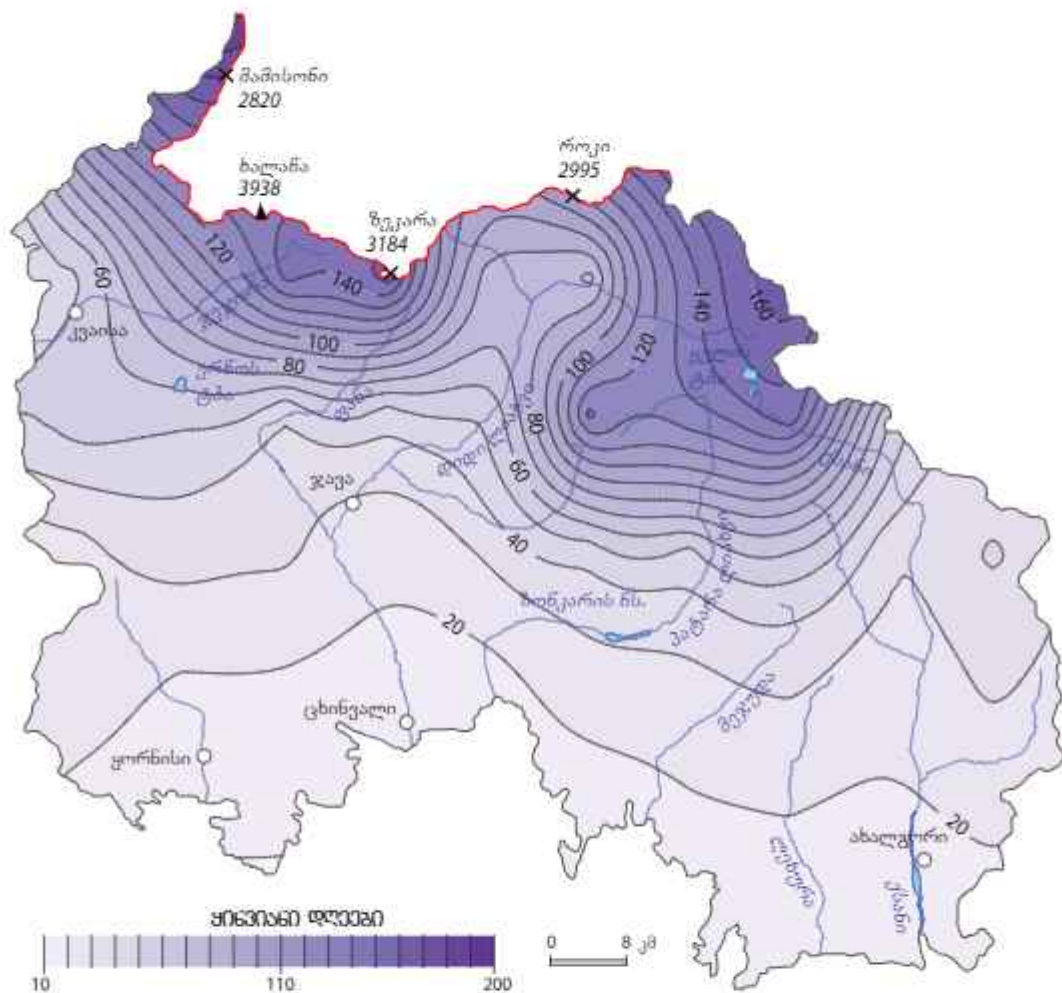


სურ. 57. წაყინვები 1961-1980 წწ.

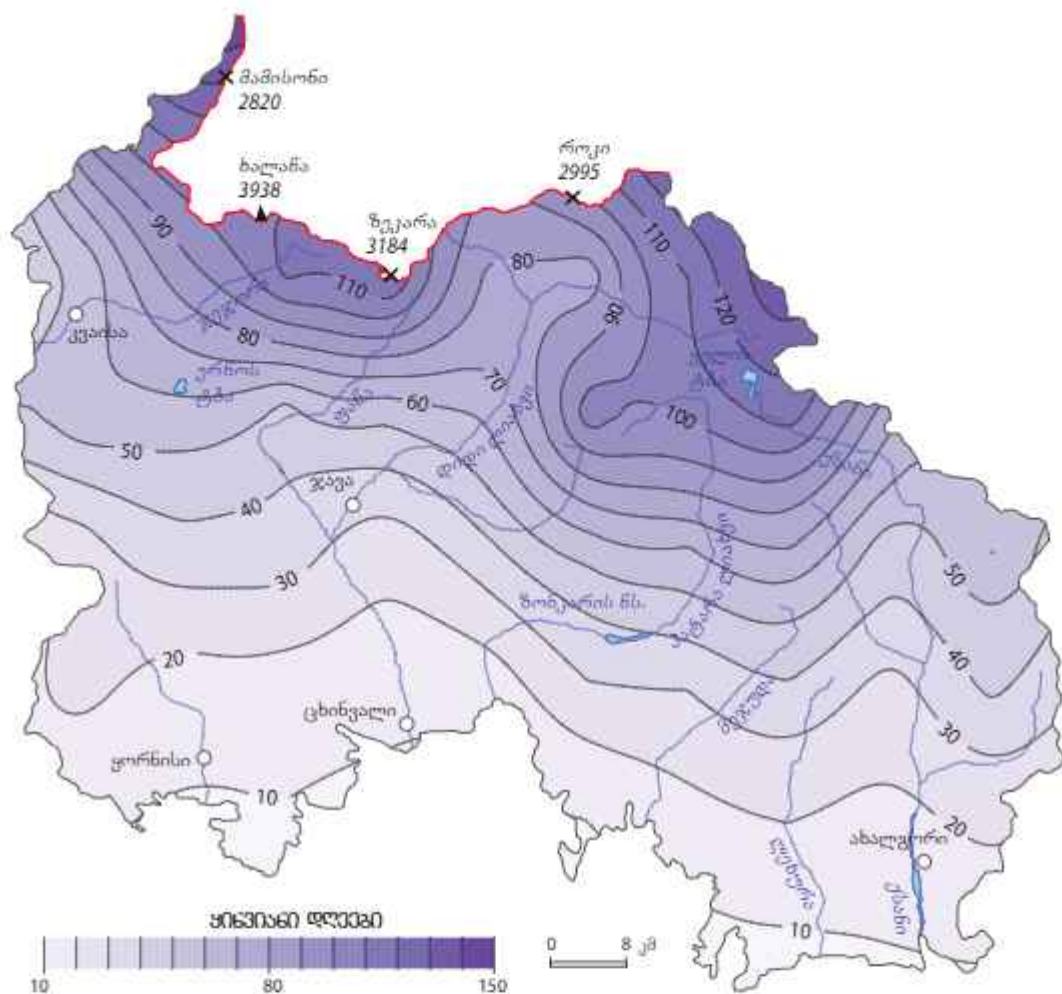


სურ. 58. წყონვეები 1981-2000 წწ.

ყინვიაწი დღეების რაოდენობა და მისი სივრცული ცვლილება მოცემულია რუკებზე (სურ. 60-62).



სურ. 60. ყინვიაწი დღეების რაოდენობა 1961-1980 წწ.



სურ. 62. ყიზიყანი დღეების რაოდენობა 2001-2023 წწ.

რუკების ანალიზიდან ჩანს, რომ ყიზიყანი დღეების რაოდენობაც, ღამის წყინევის მსგავსად იცლებს. ეს კლება განსაკუთრებით თვალსაჩინოა რეგიონის ჩრდილოეთ ნაწილში.

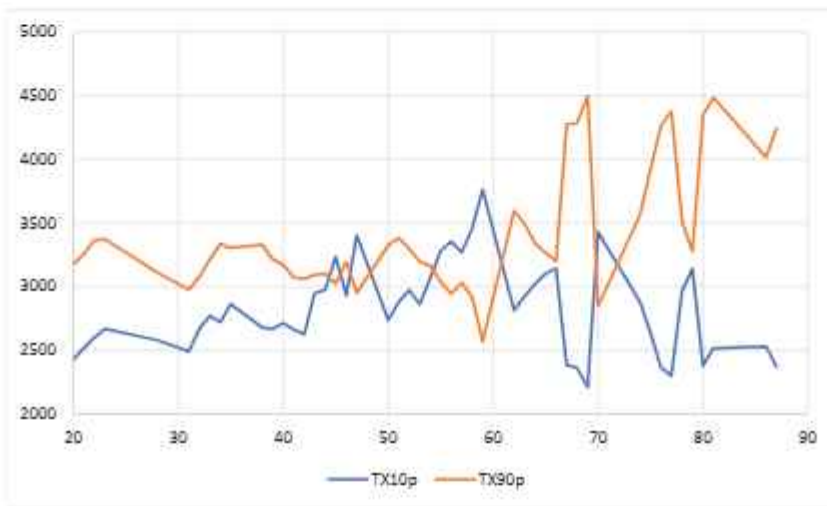
4.6. ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები

ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები მოცემულია დანართი 2-ში, ასევე აგებულია გრაფიკები (სურ. 63-66). ეს ინდექსები აჩვენებს, თუ სად მდებარეობს გამორჩეულად თბილი ან ცივი ადგილი ბადეზე მოცემულ მონაცემთა მასივში.

გამოთვლილი ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები უჩვენებს, რეგიონში გამორჩეულად თბილი ან ცივი ადგილის მდებარეობას. მაქსიმალური ტემპერატურის TX10p (როდესაც ტემპერატურა ნაკლებია საბაზისო პერიოდის 10 პროცენტით), უფრო რეგიონის შუა ტერიტორიაზე ნაწილდება. TX90p (როდესაც ტემპერატურა

აღემატება საბაზისო პერიოდის 90 პროცენტის), მდებარეობს ბადის უფრო ზემოთ მდებარე წერტილებზე.

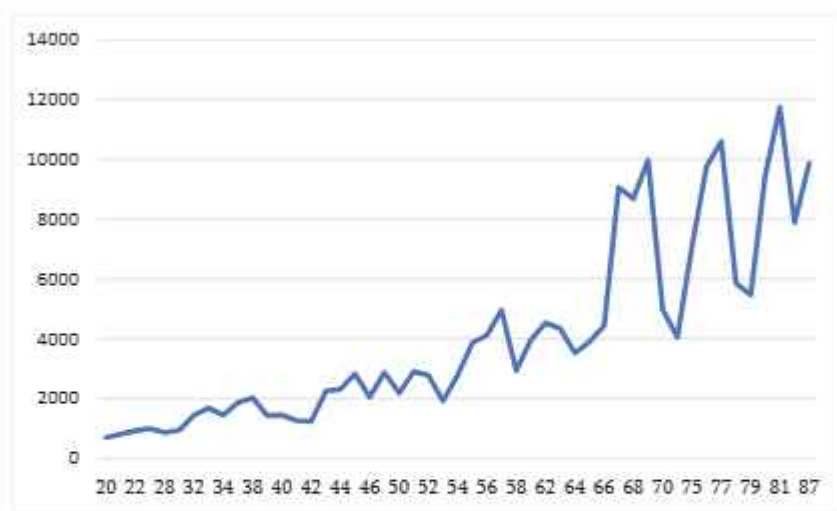
მინიმალური ტემპერატურის შემთხვევაში კი პირიქით ხდება: TN10p უფრო ზედა წერტილებზეა განაწილებული და TN90p ქვედა ნაწილში. წაყინვიანი დღეების პროცენტები უზგენებს, რომ ასეთი დღეების უმეტესი რაოდენობა ზედა წერტილებზეა (ბადის წერტილები: 68, 77, 81) განაწილებული. მსგავსი განაწილების სურათია ყინვიანადღეთა პროცენტების შემთხვევაშიც (ბადის წერტილები: 66, 68, 77, 86). ტემპერატურის განაწილებას არაერთგვაროვანი ხასიათი აქვს: გამოიყოფა ლოკალური დათბობის/აცივების ცენტრები, რაც ძირითადად რელიეფის არაერთგვაროვნებითაა განპირობებული.



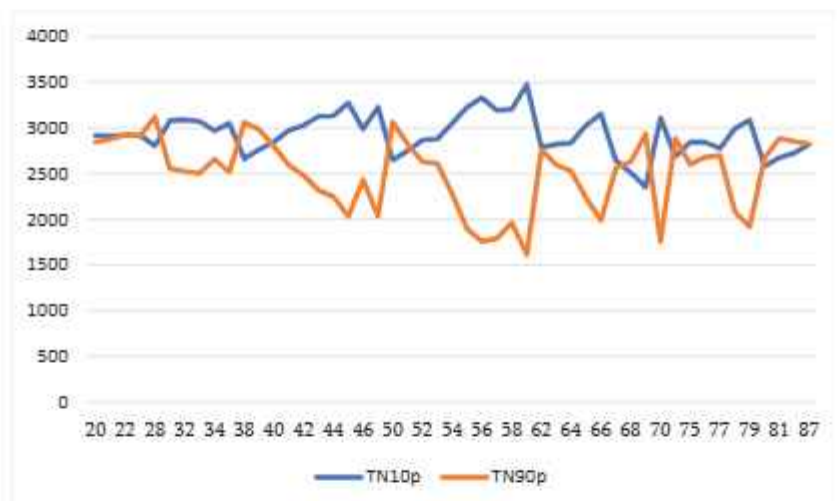
სურ. 63. მაქსიმალური ტემპერატურის TX10p-TX90p კლიმატური ინდექსები რეგიონის წერტილებისთვის



სურ. 64. წაყინვების დღეთა რიცხვი რეგიონის წერტილებისთვის



სურ. 65. ყინვიან დღეთა რიცხვი რეგიონის ქვერტილებისთვის



სურ. 66. მინიმალური ტემპერატურის (TN10p, TN90p) კლიმატური ინდექსები

როგორც განაწილების სურათებიდან ჩანს, რეგიონში თბილი და ცივი ღამეების რაოდენობის ცვლილება ფიქსირდება.

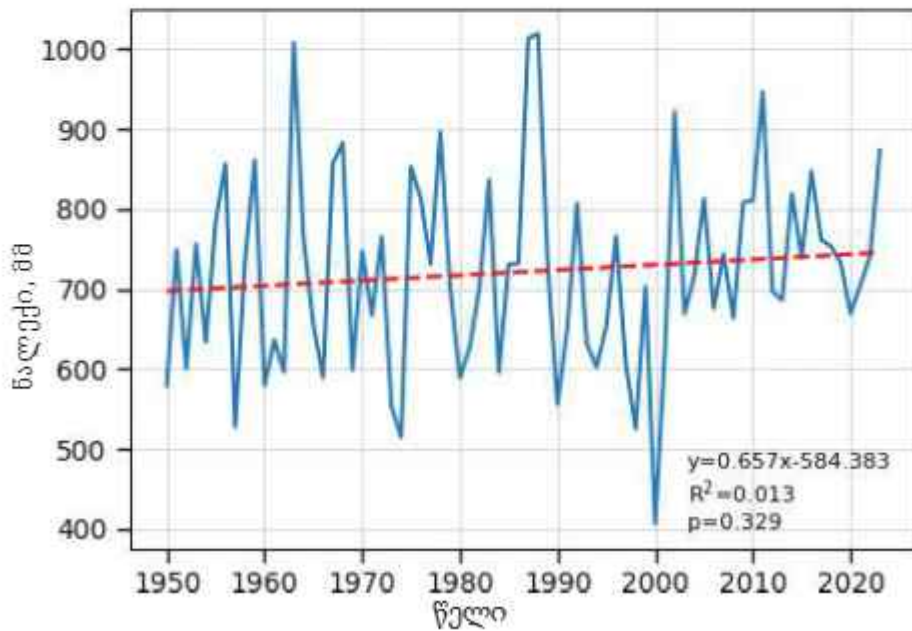
თავი 5. საკვლევ ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციები

5.1. ნალექების ცვლილება

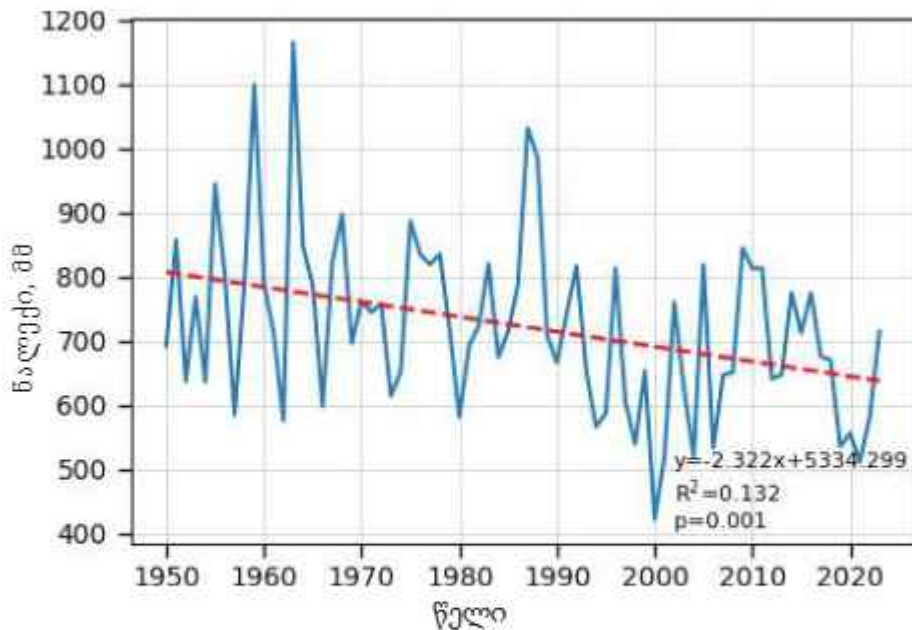
ნალექების განაწილება სიმაღლის მიხედვით, ტემპერატურისგან განსხვავებით, არაა პირდაპირ კავშირში ადგილის სიმაღლესთან. ნალექიანობა სიმაღლის მიხედვით ყველგან არ მატულობს, პირიქით, ზოგან კიდევ მცირდება, რთული ოროგრაფიული პირობებისა და გაბატონებული ატმოსფერული ცირკულაციური პროცესების სირთულის გამო, ნალექების შიგაწლიური განაწილება თავისებურია. ატმოსფეროს ცირკულაციის, რადიაციისა და ოროგრაფიული ფაქტორების ერთობლივი მოქმედება განსაზღვრავს ტერიტორიის ტენიანობის საკმაოდ დიდ კონტრასტებს. ამიტომ, საკვლევ რეგიონში ნალექების ცვლილების გასაანალიზებლად გამოყენებული იქნა: მან კენდალის ტესტი, რუკები, ნალექების დღიური ინტენსივობის მარტივი ინდექსები, სხვადასხვა ხანგრძლივობის უნალექო პერიოდების რუკები და სხვ.

ცხინვალის რეგიონში ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების ტენდენციის დასადგენად ბადის პუნქტები ისე შეირჩა, რომ მოიცვა რეგიონში არსებული ჰავის ყველა ტიპი. ცვლილება შეფასდა მან კენდალის ტესტით 1950-2023 წწ პერიოდისთვის (სურ. 67-75), უნალექო პერიოდისთვის (სურ. 76-85). შერჩეული პუნქტების ნომრები იდენტიფიკაციისათვის მოცემულია სურ. 7-ზე. როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, ატმოსფერული ნალექები ძირითადად იკლებს, მატება ფიქსირდება მხოლოდ ცხინვალ-ახალშენი-ოჟორას რაიონში. რაც შეეხება უნალექო დღეების რაოდენობას, ამავე რაიონში იკლებს, სხვაგან მატების ტენდენციაა. ანუ, სადაც ნალექები იკლებს, უნალექო დღეები იმატებს და პირიქით.

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 67-68)

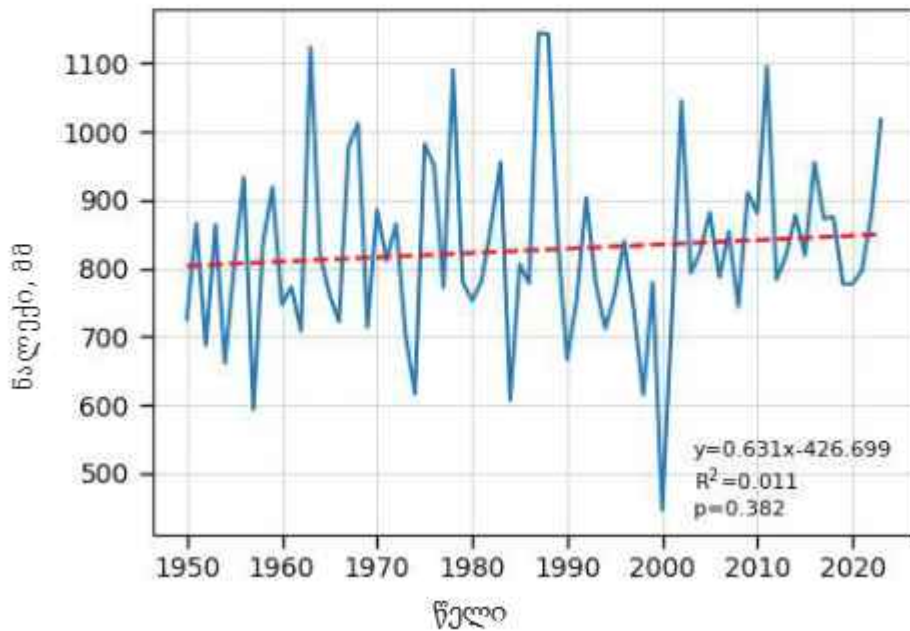


სურ. 67, ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 4I-ე პუნქტი)

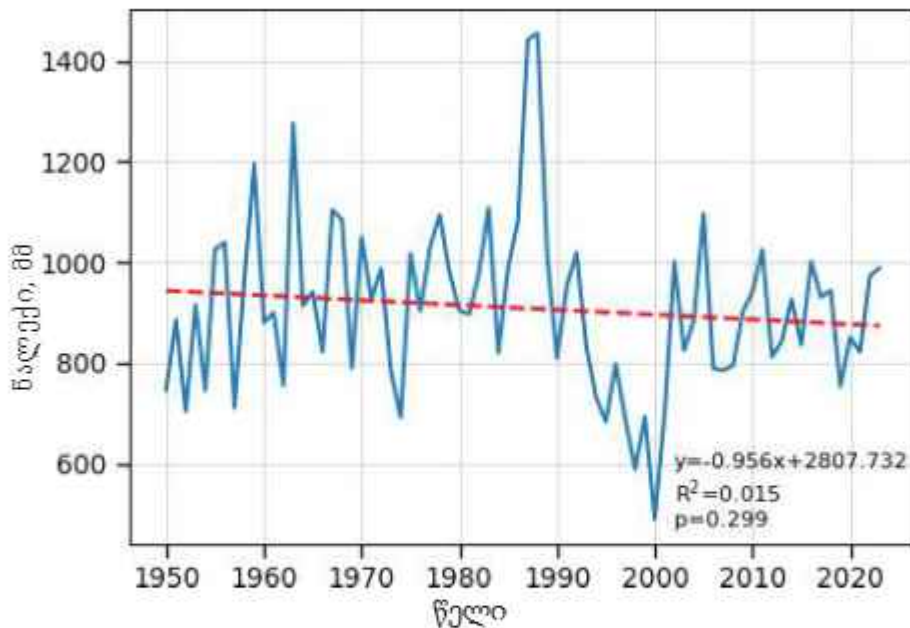


სურ. 68, ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 34-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 69-70)

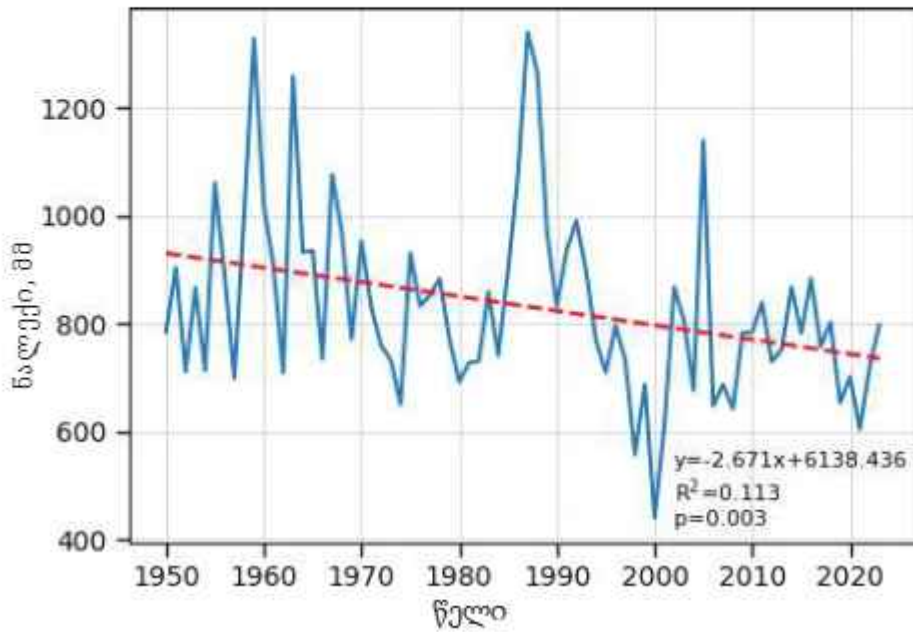


სურ. 69. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 39-ე პუნქტი)

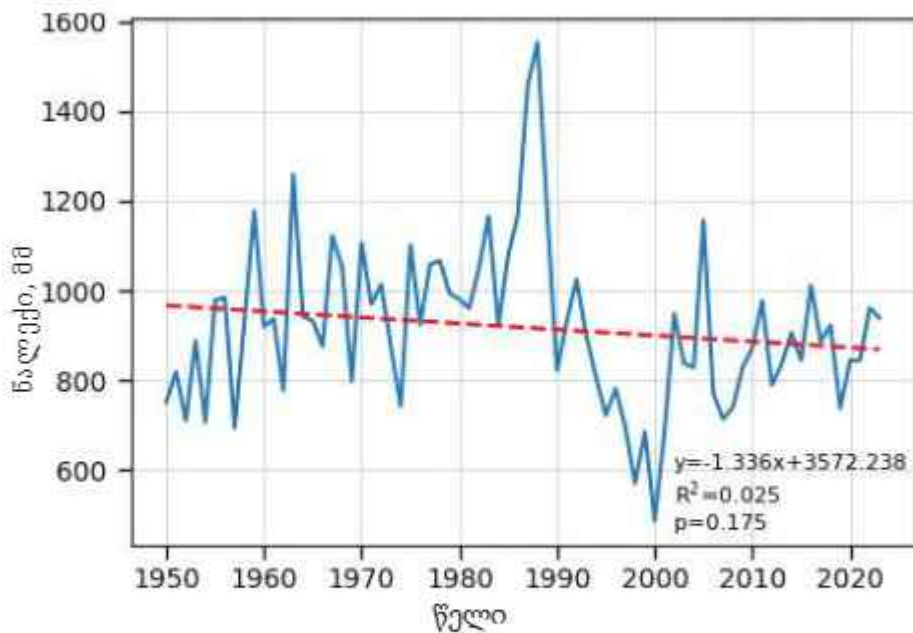


სურ. 70. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 54-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით, ნალექების მინიმუმით ზამთარში (სურ. 71-72)

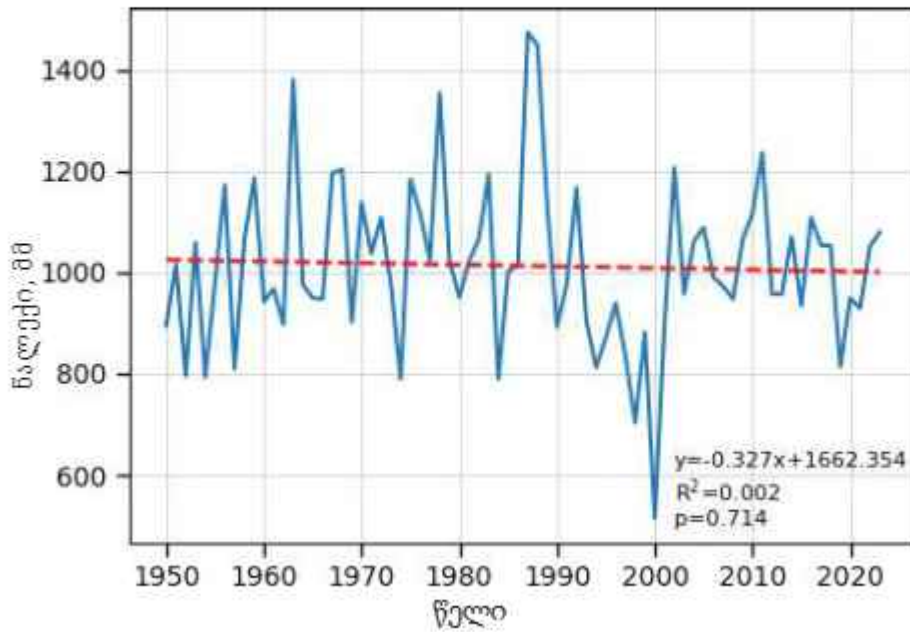


სურ. 71. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 47-ე პუნქტი)



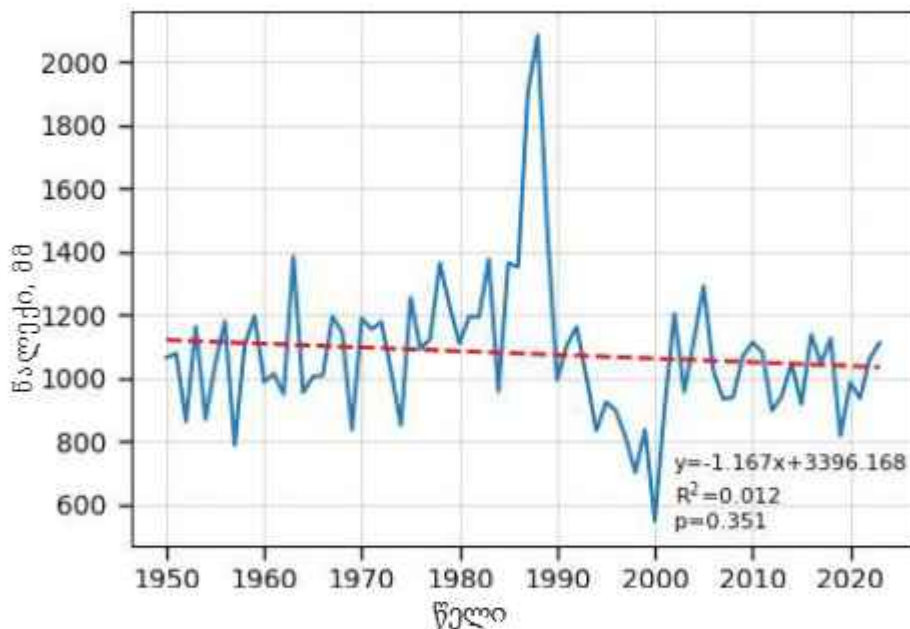
სურ. 72. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 55-ე პუნქტი)

პავის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით (სურ. 73)

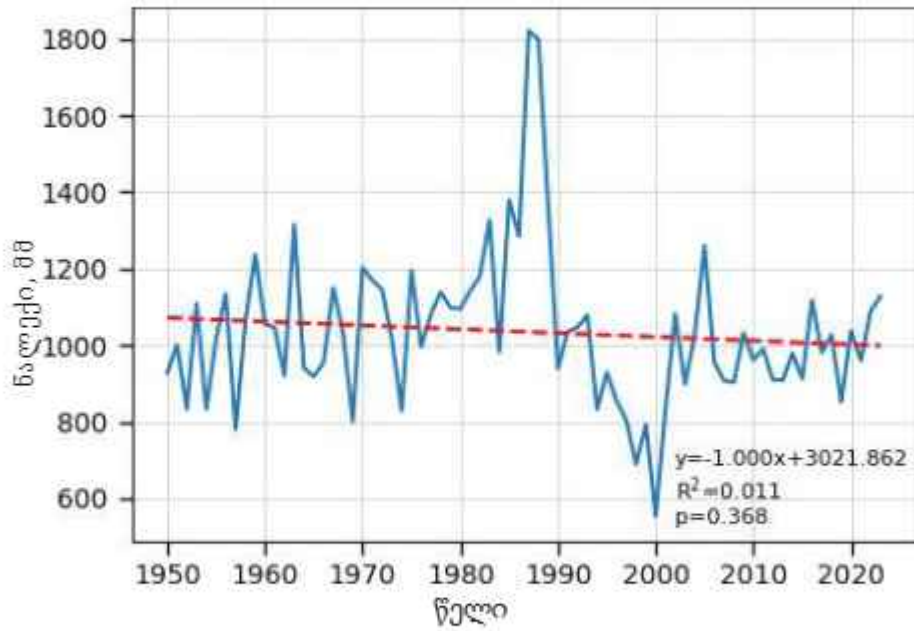


სურ. 73. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 50-ე პუნქტი)

პავის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით (სურ. 74, 75)

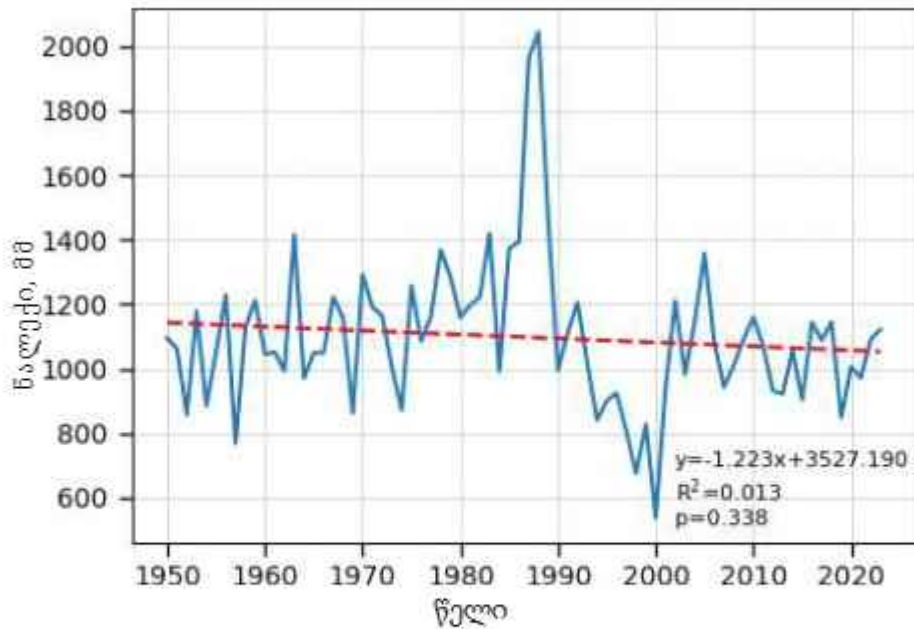


სურ. 74. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 62-ე პუნქტი)

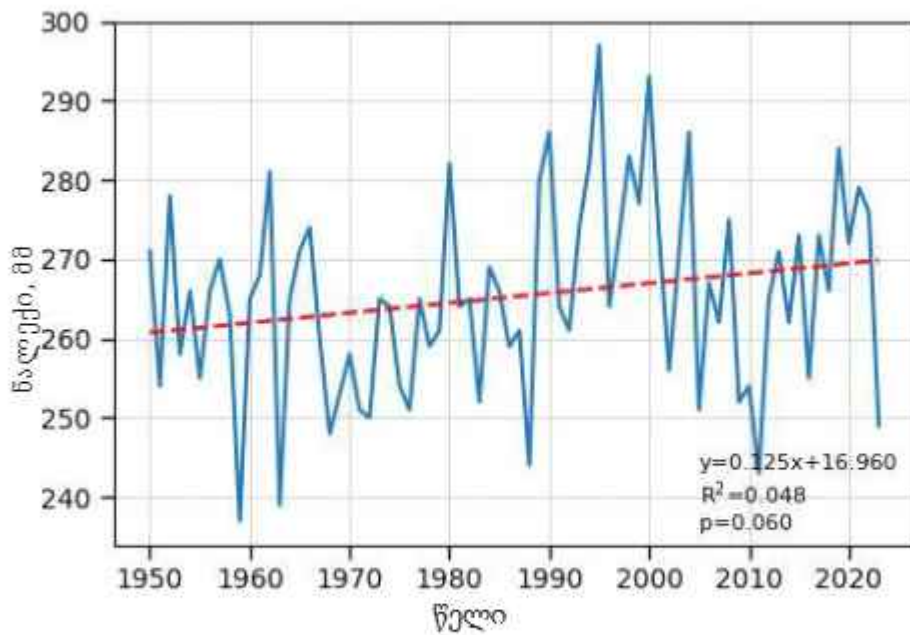


სურ. 75. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 75-ე პუნქტი)

ჰავის ტიპი: ნოტიო ჰავა. ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით (სურ. 76)

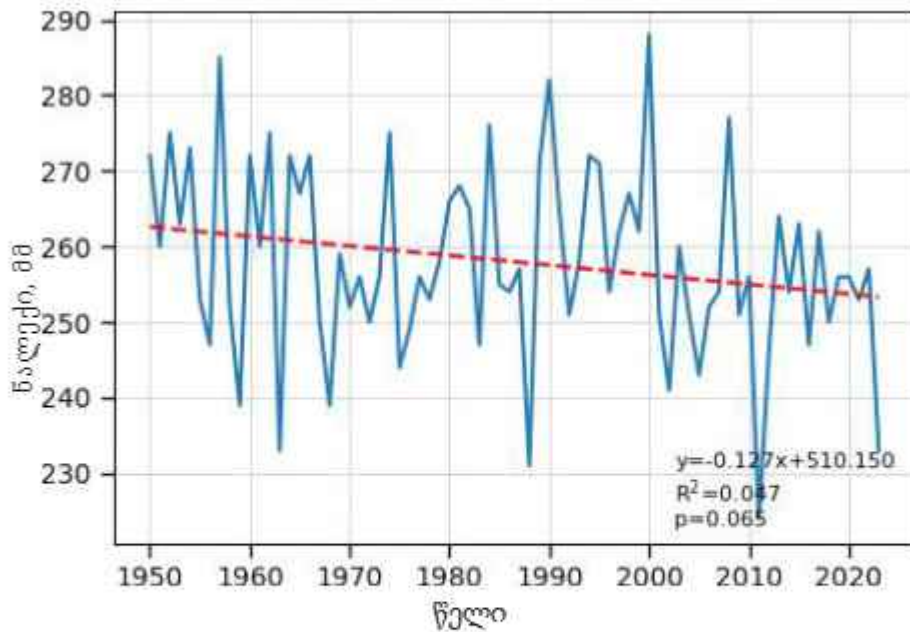


სურ. 76. ნალექების ცვლილება 1950-2023 წწ. (ბადის 74-ე პუნქტი)



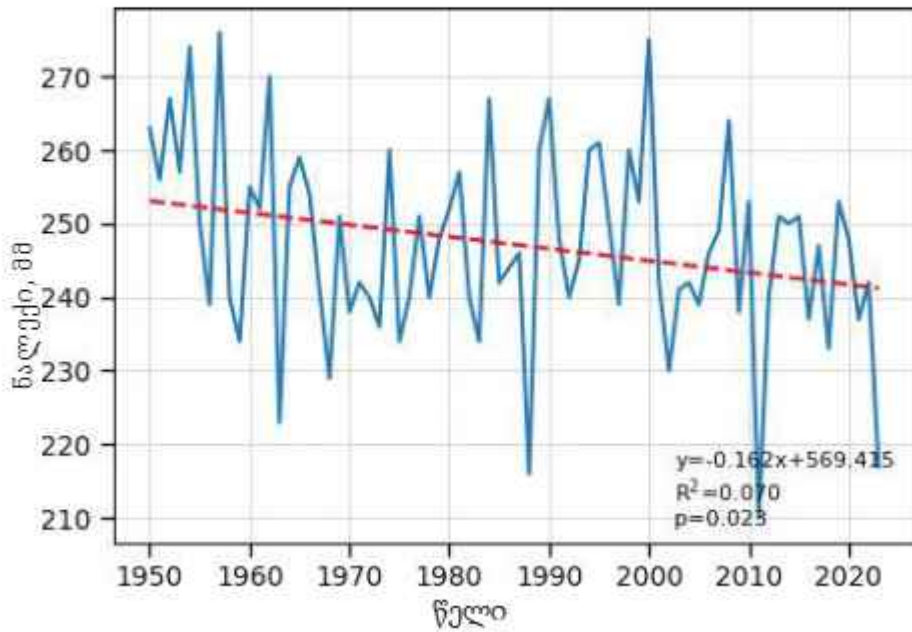
სურ. 77. უნაღეჯო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 34-ე პუნქტი)

ჰავის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით, ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში (სურ. 77, 78)

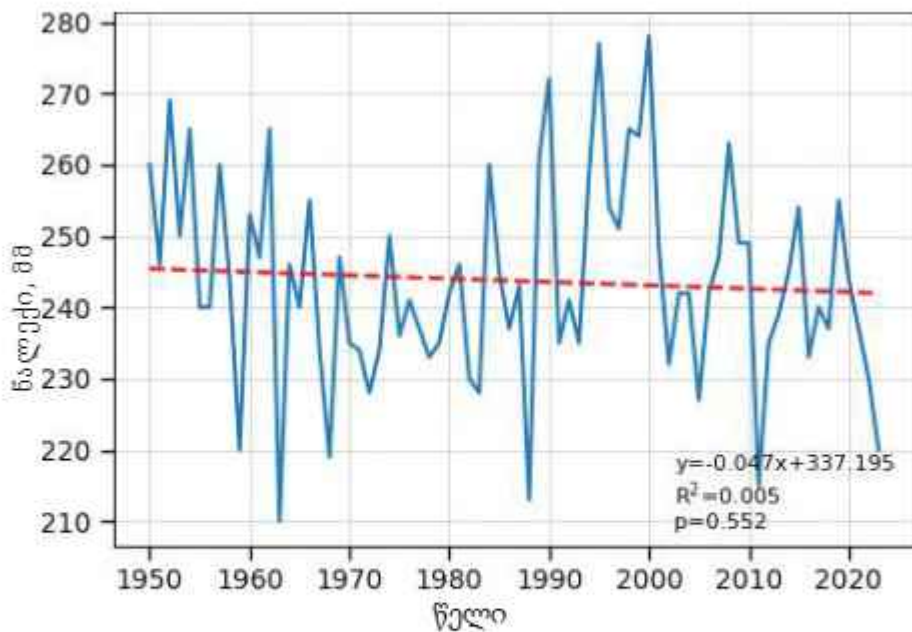


სურ. 78. უნაღეჯო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 41-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით, ნალექების ორი მიწიშემთა წელიწადში (სურ. 79, 80)

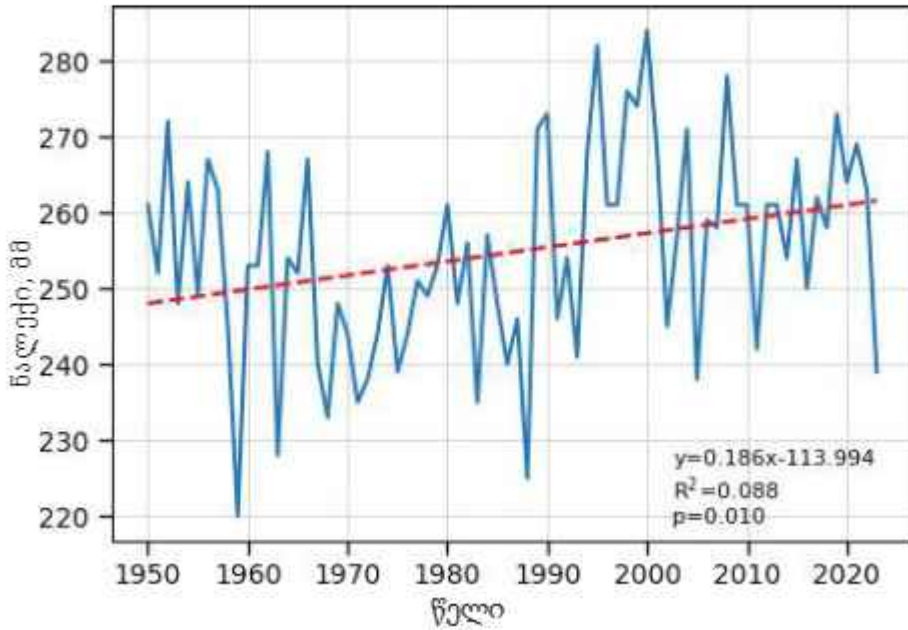


სურ. 79. უნალექო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 39-ე პუნქტი)

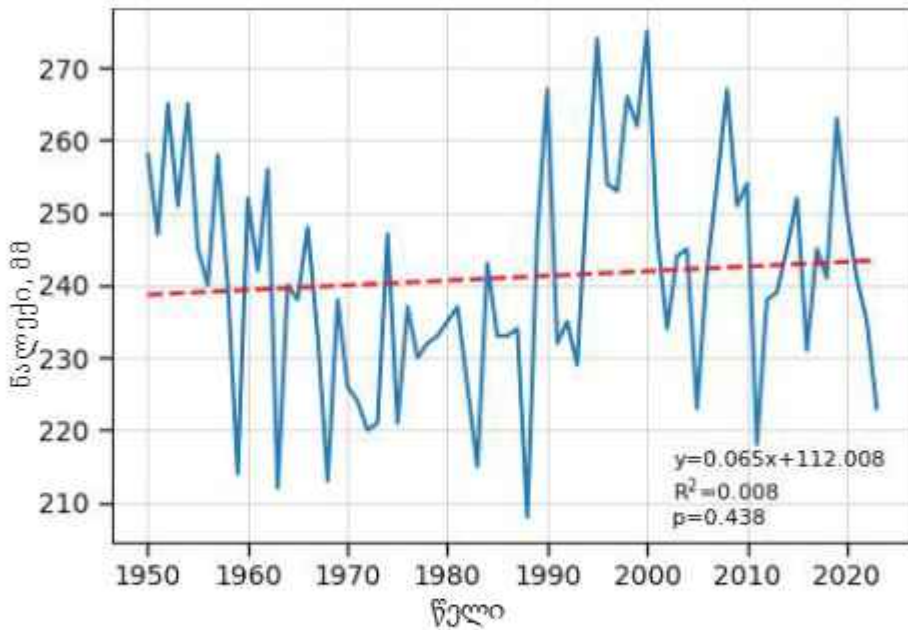


სურ. 80. უნალექო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 54-ე პუნქტი)

პავის ტიპი: ზომიერად ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით, ნალექების მინიმუმით ზამთარში (სურ. 81, 82)

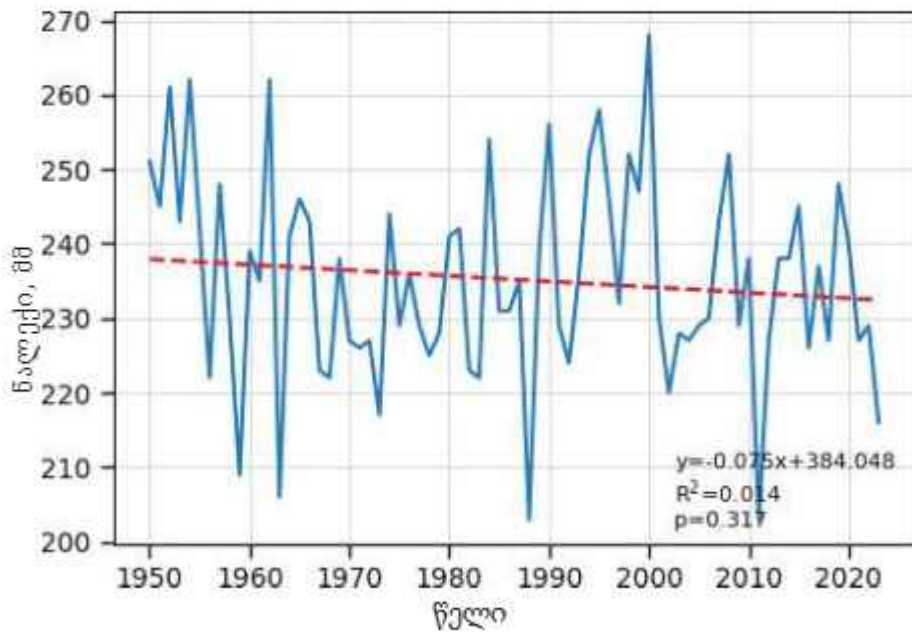


სურ. 81. უნალექო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 47-ე პუნქტი)



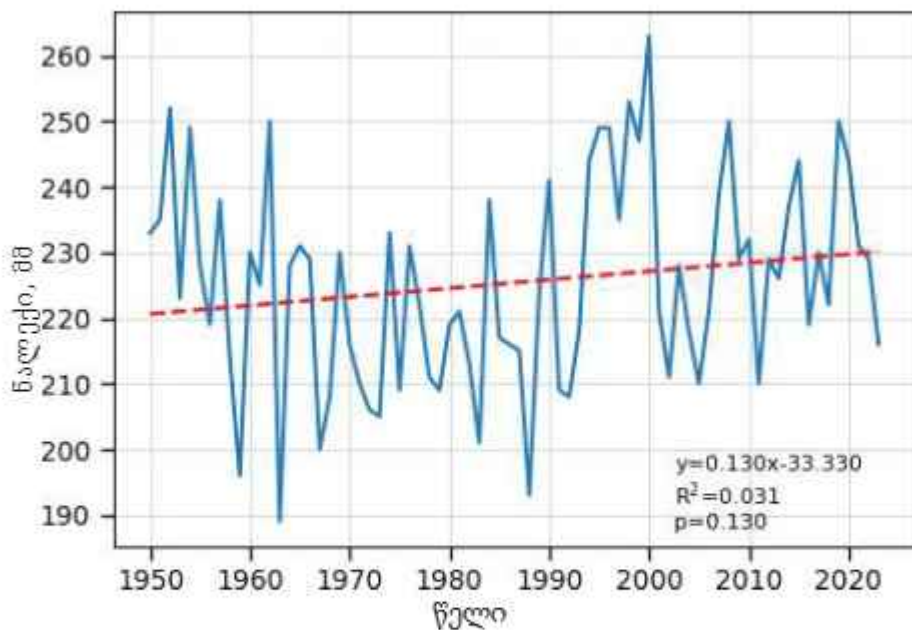
სურ. 82. უნალექო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 55-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით (სურ. 83)

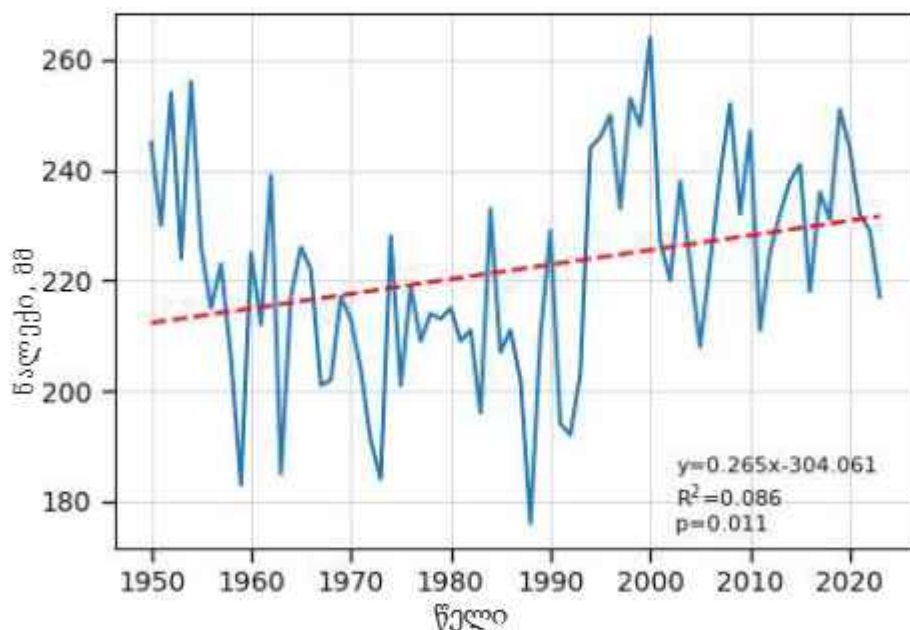


სურ. 83. უნალექო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 50-ე პუნქტი)

ჰაერის ტიპი: ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და მოკლე ზაფხულით (სურ. 84, 85)

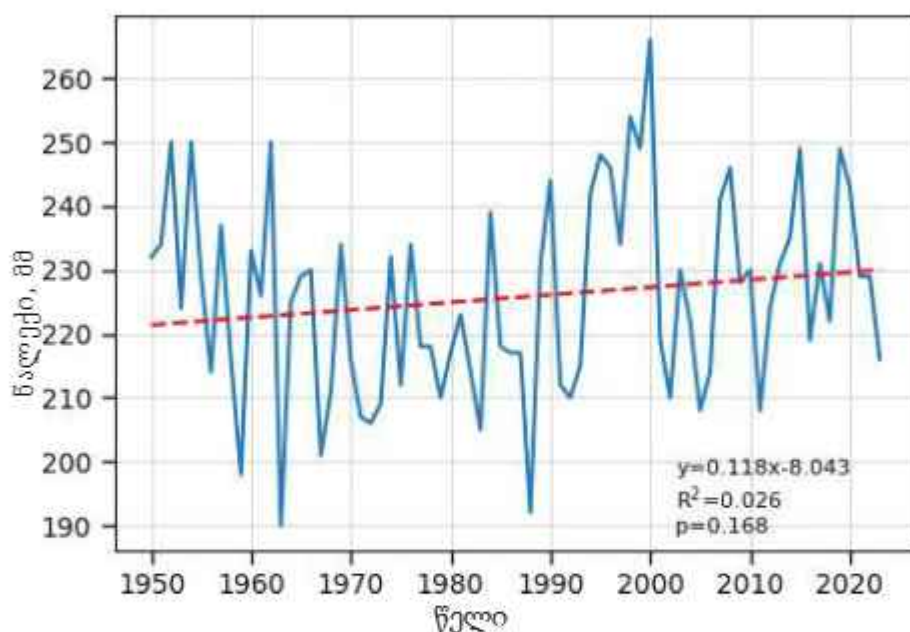


სურ. 84. უნალექო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 62-ე პუნქტი)



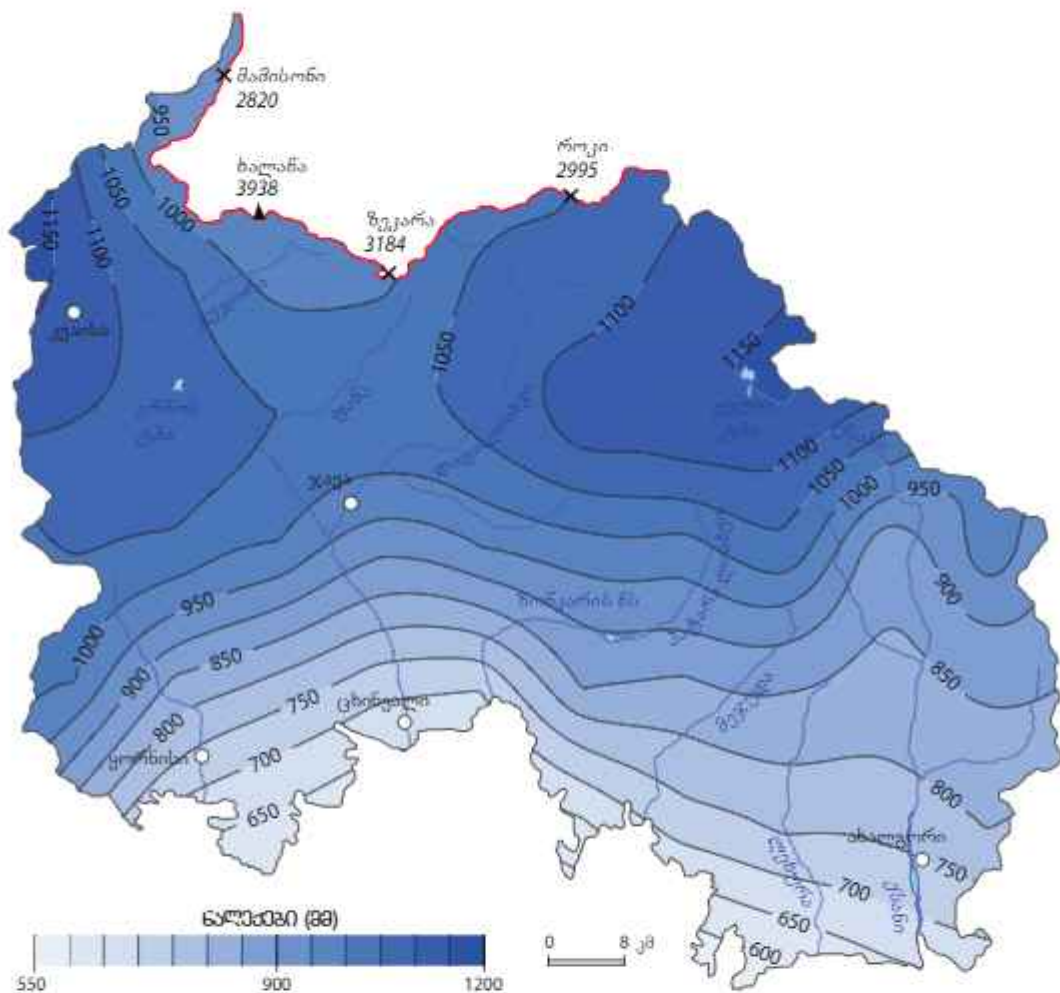
სურ. 85. უნაღუეო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 75-ე პუნქტი)

ჰავის ტიპი: ნოტიო ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით (სურ. 86)

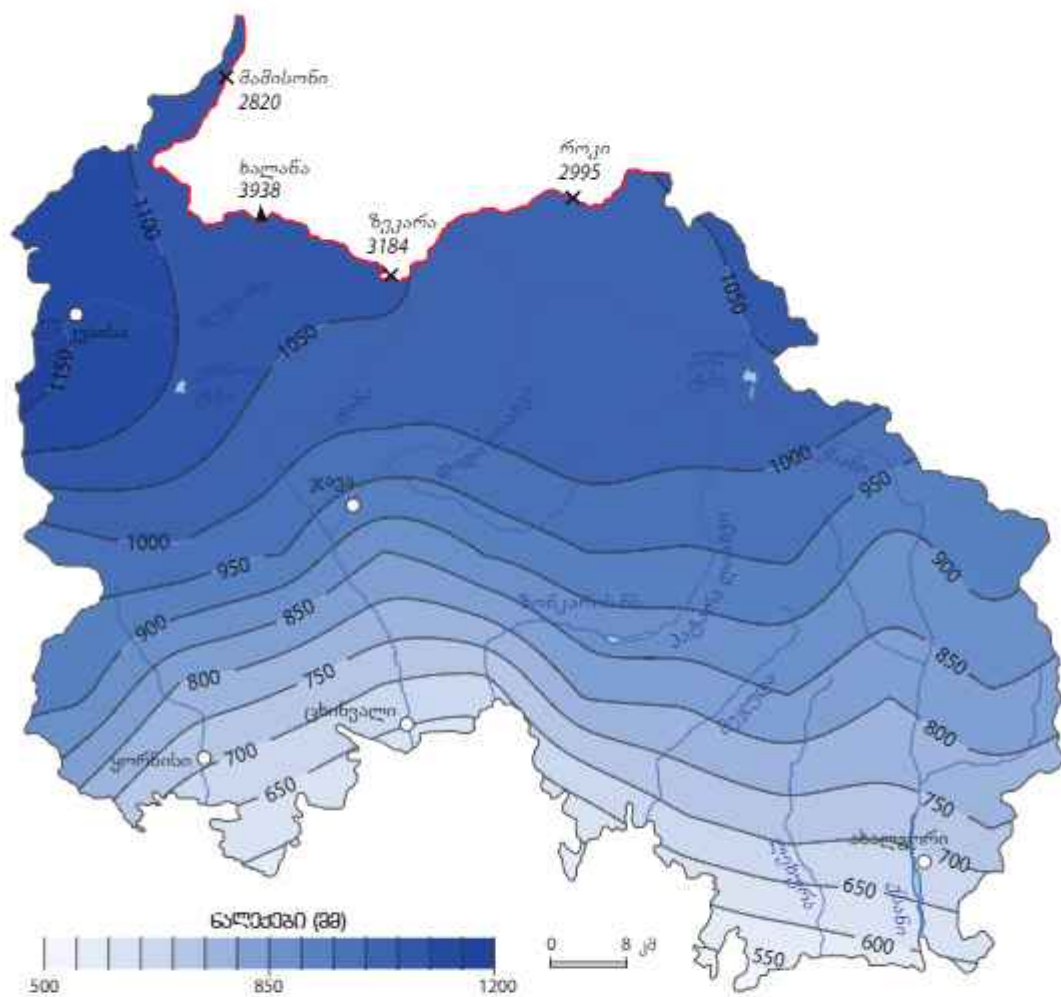


სურ. 86. უნაღუეო დღეები 1950-2023 წწ. (ბადის 74-ე პუნქტი)

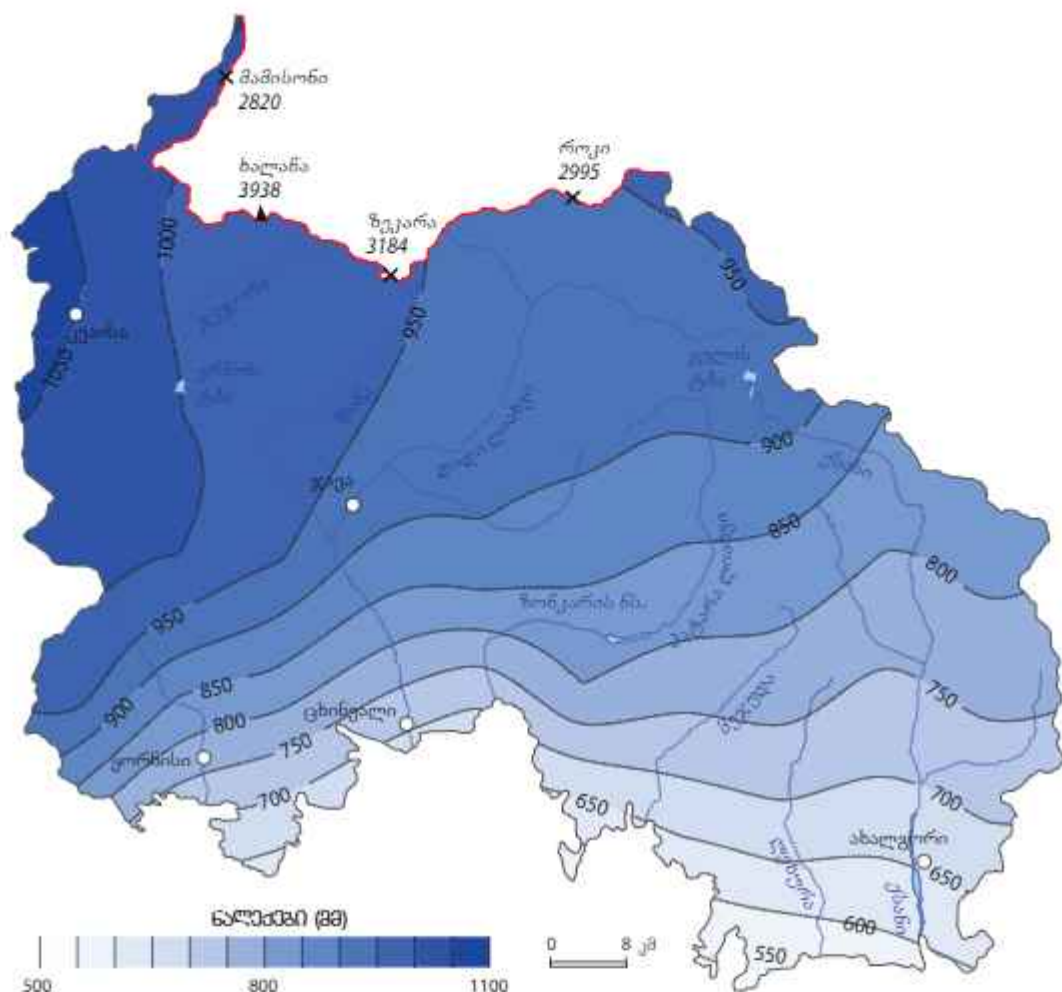
ატმოსფერული ნალექების ცვლილების სივრცული განაწილება კარგად ჩანს წარმოდგენილ რუკებზე (სურ. 87-89). ნალექების კლება ძირითადად ხდება ჩრდილოეთში, მაღალმთიან რაიონებში.



სურ. 87. ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა 1961-1980 წწ.

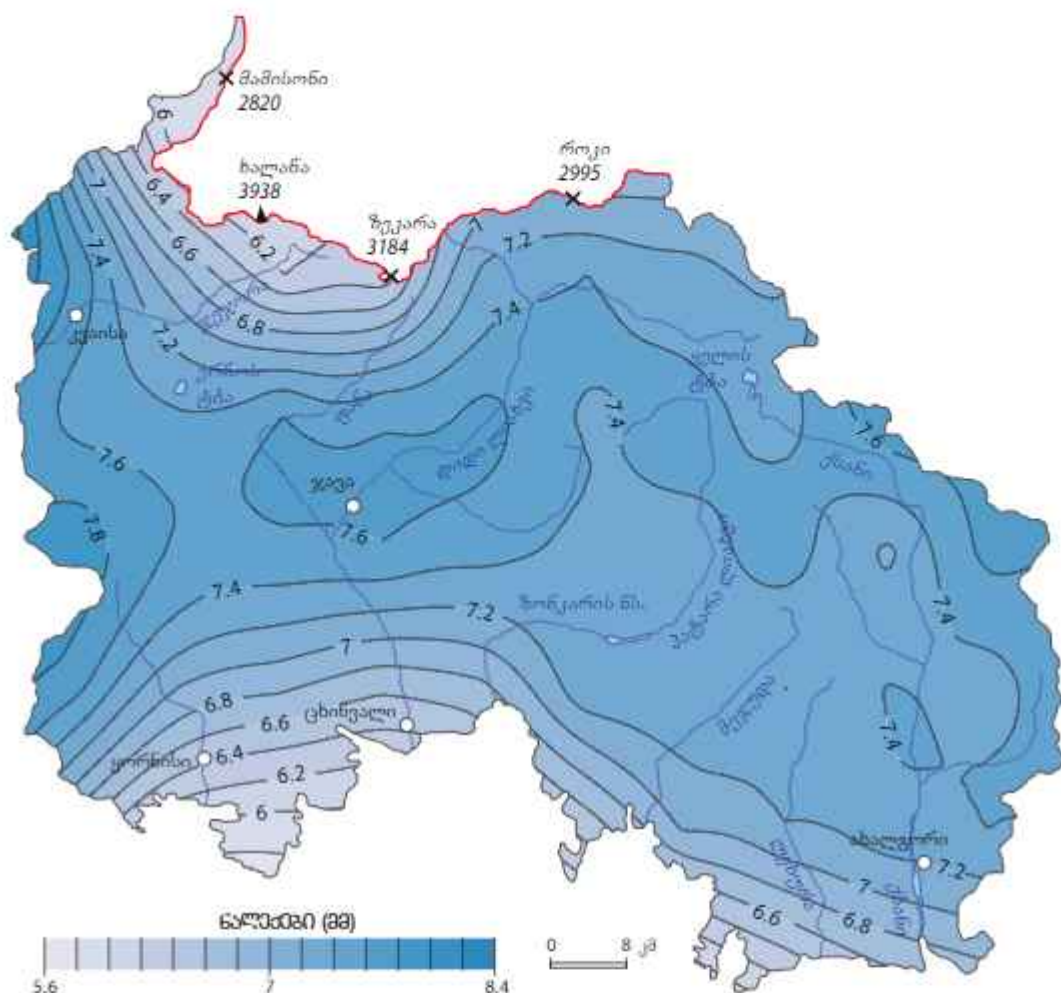


სურ. 88. ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა 1961-2000 წწ.

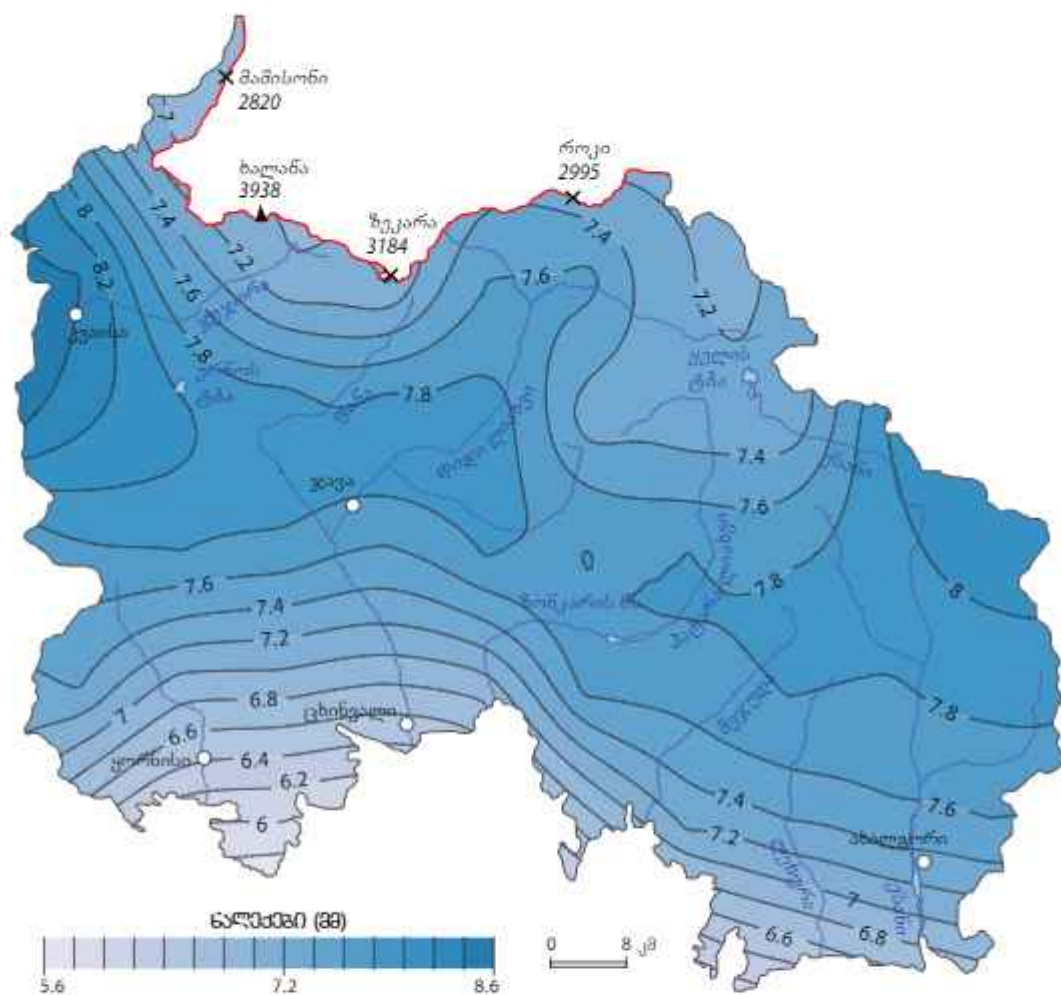


სურ. 89. ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა 2001-2023 წწ.

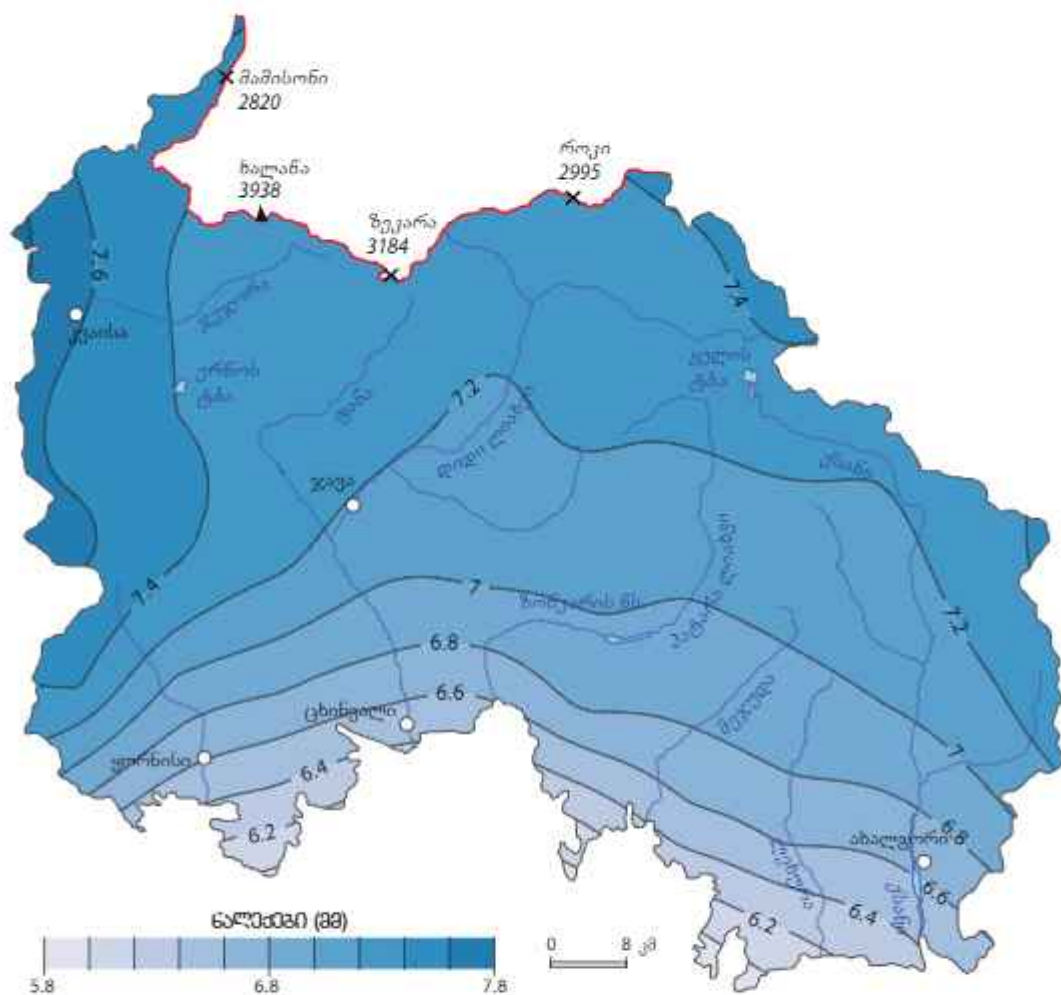
რეგიონში ნალექების ცვლილებების ტენდენციის შესამოწმებლად ასევე გამოყენებული იქნა ნალექების დღიური ინტენსივობის მარტივი ინდექსი (SDII), რომელიც არის ერთი წლის განმავლობაში წვიმიანი დღეების (დღეები, როდესაც ნალექების რაოდენობა ტოლია ან მეტია 1,0 მმ-ზე) ნალექების ჯამის ფარდობა წვიმიანი დღეების რაოდენობაზე, მისი განზომილებაა მილიმეტრი დღეში (მმ/დღე). წარმოდგენილ რუკებზე (სურ. 90-92) ნათლად ჩანს, რომ ნალექების დღიური ინტენსივობის მარტივი ინდექსიც კლების ტენდენცია აქვს, აღნიშნული შეიძლება გამოწვეული იყოს ნალექების შემცირებით და უნალექო დღეების გაზრდით. ჩვენი კვლევების თანახმად, ცხინვალის რეგიონში ადგილი აქვს ორივე შემთხვევის თანხვედრას – იკლებს ნალექები და იმატებს უნალექო დღეები. სურ. 93-95-ზე ჩანს, რომ ხუთდღიანი უნალექო დღეების რაოდენობა მცირედ იზრდება.



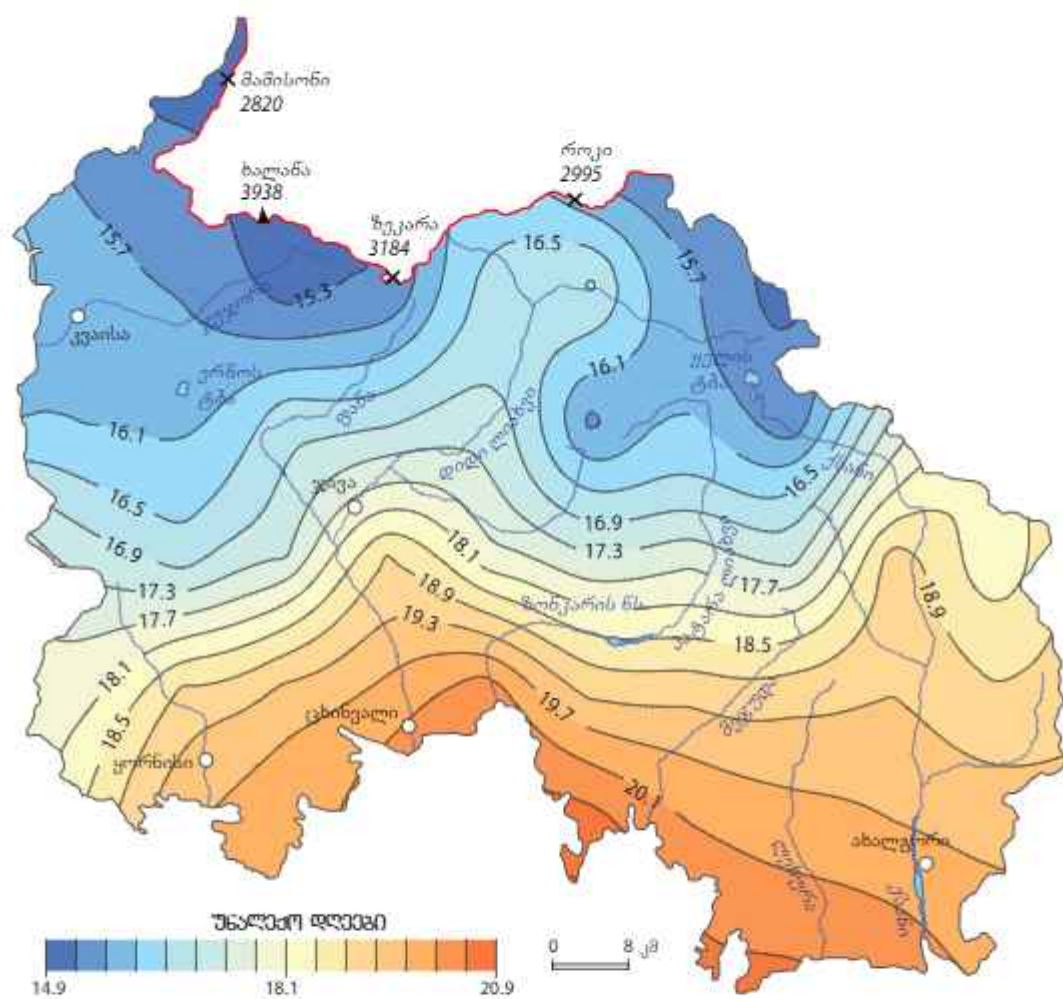
სურ. 90. ნალექების დღიური ინტენსივობის მარტივი ინდექსი 1961-1980 წწ.



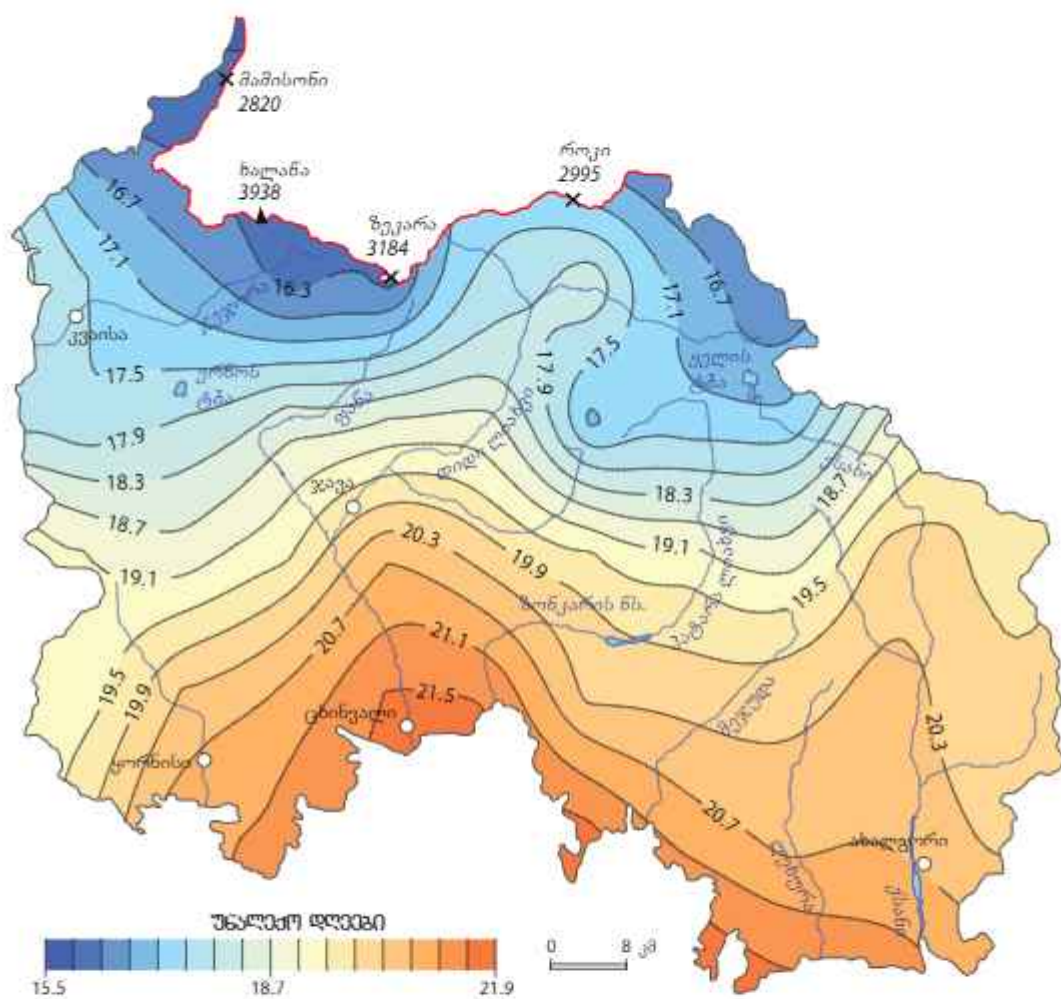
სურ. 91. ნალექების დღიური ინტენსივობის მარტივი ინდექსი 1981-2000 წწ.



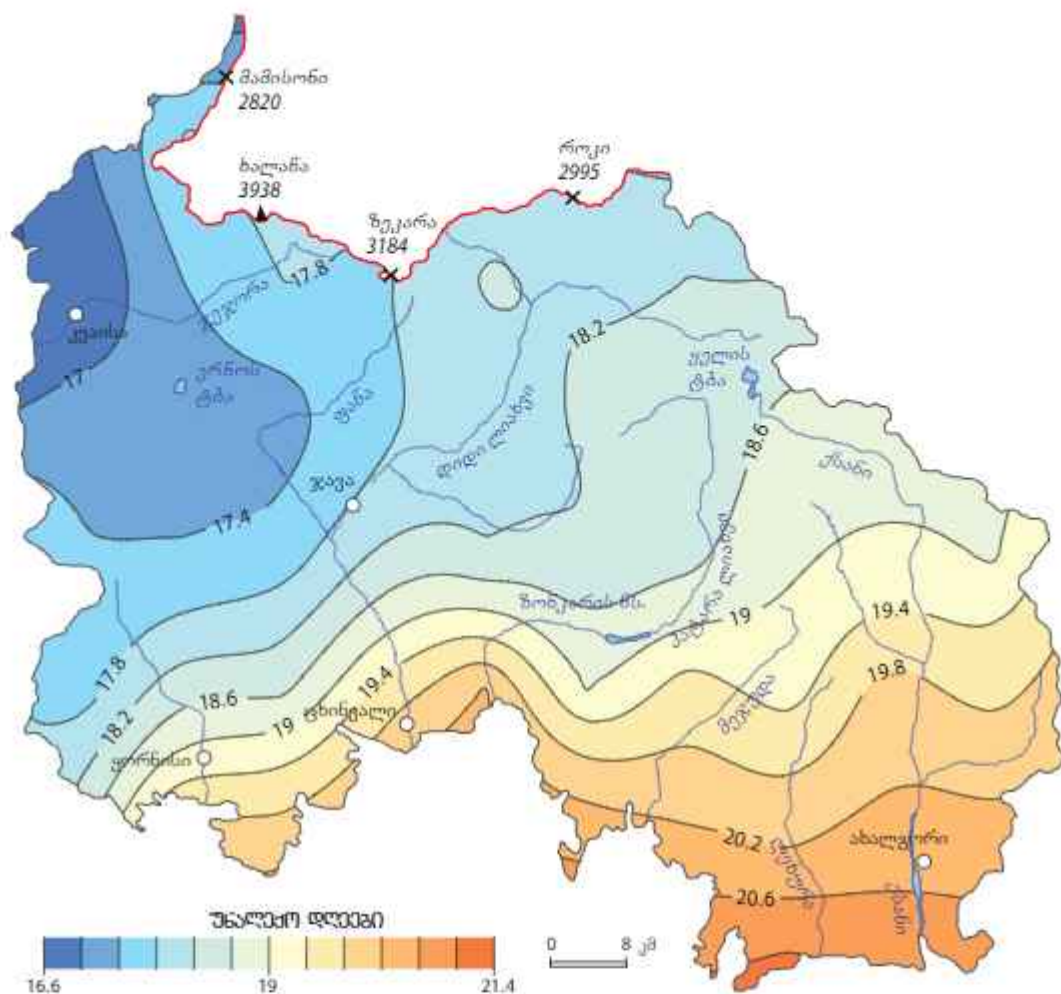
სურ. 92. ნალექების დელიური ინტენსივობის მარტივი ინდექსი 2001-2023 წწ.



სურ. 93. ხუთდღიანი უნალექო დღეების რაოდენობა 1961-1980 წწ.



სურ. 94. ხუთდღიანი უნალექო დღეების რაოდენობა 1981-2000 წწ.

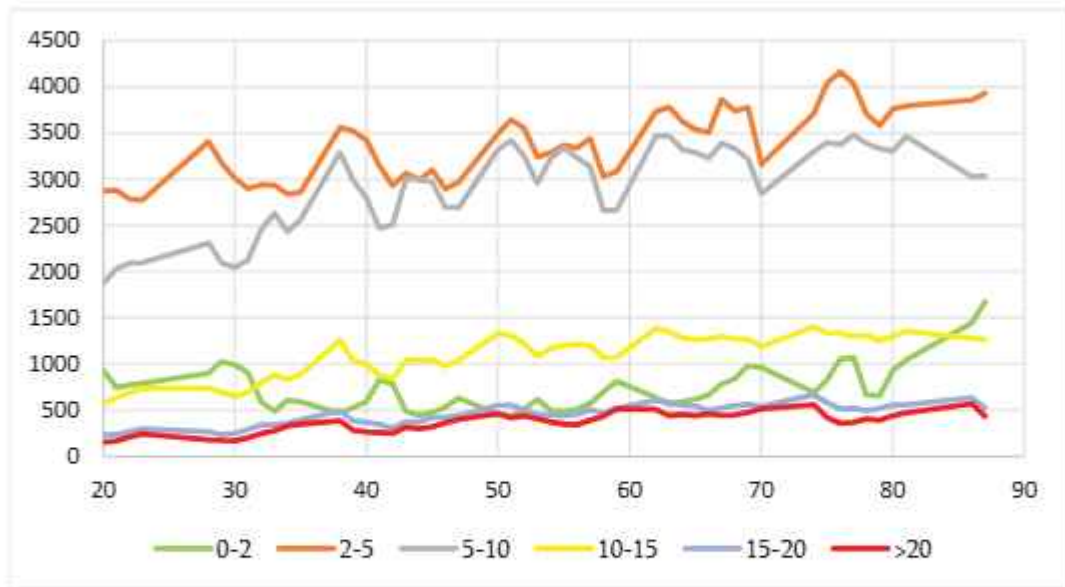


სურ. 95. ხუთდღიანი უნალექო დღეების რაოდენობა 2001-2023 წწ.

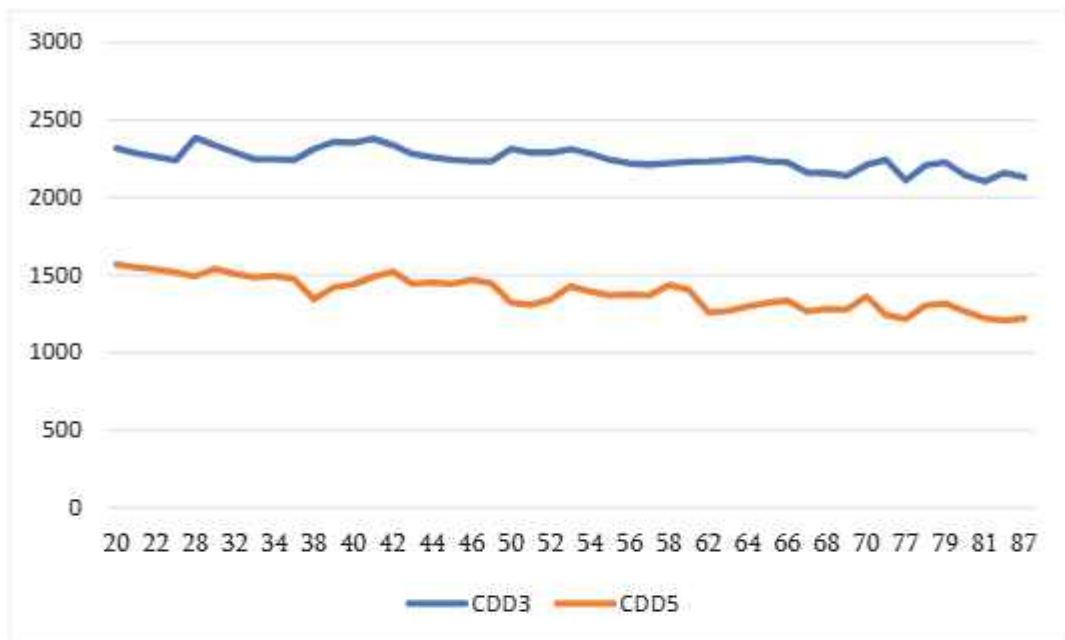
5.2. ნალექების კლიმატური ინდექსები

ნალექების კლიმატური ინდექსები მოცემულია დანართი 2-ში. ატმოსფერული ნალექების მიხედვით, რეგიონი საკმაოდ მშრალია. ამიტომ საჭირო გახდა ინტენსივობის ინდექსების მოდიფიცირება რეგიონის პირობების მიხედვით. გამოითვალა დღეების რაოდენობა, როცა ნალექების რაოდენობა ტოლი და მეტი იყო 0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20 და >20 მმ-ზე დღეში (სურ. 96), ასევე, თანამიმდევრულად 3 და 5 დღიანი უნალექო დღეების რაოდენობა (CDD), როგორც გრაფიკიდან ჩანს, რეგიონში სჭარბობს 2-5 მმ და 5-10 მმ ნალექები, უხვნალექიანი (>15) დღეები მცირეა.

ნალექიან დღეთა განაწილება ბადის წერტილების მიხედვით შემდეგნაირია: მცირე ნალექით მთელი რეგიონია მოცული, ხოლო შედარებით მეტ ნალექიან დღეთა რიცხვი იკლებს. 3 და 5 დღიანი უწყვეტი უნალექო დღეების განაწილებაში მკვეთრი ცვლილებები არ გვხვდება.

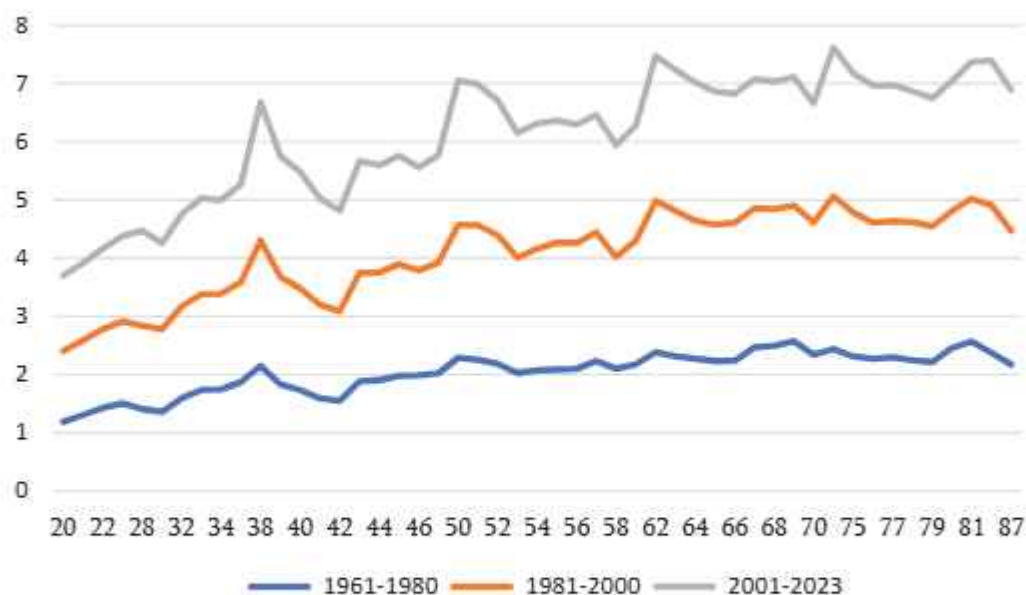


სურ. 96. ატმოსფერული ნალექების ინტენსივობა, მმ

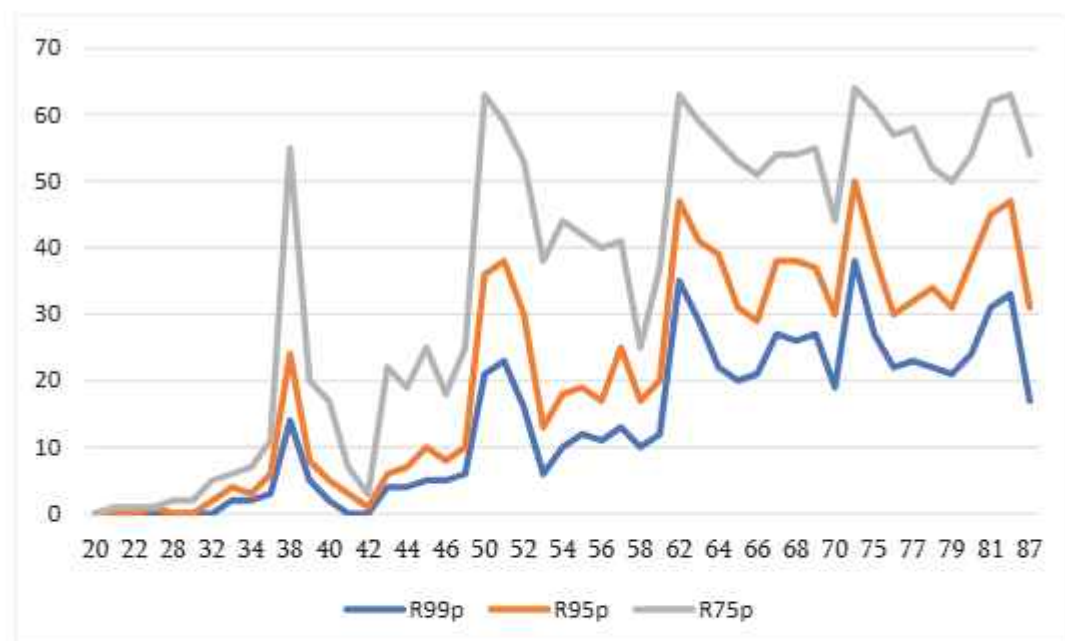


სურ. 97. 3 (CDD 3) და 5 (CDD 5) დღიანი უწყვეტი უნალექო დღეების რაოდენობა

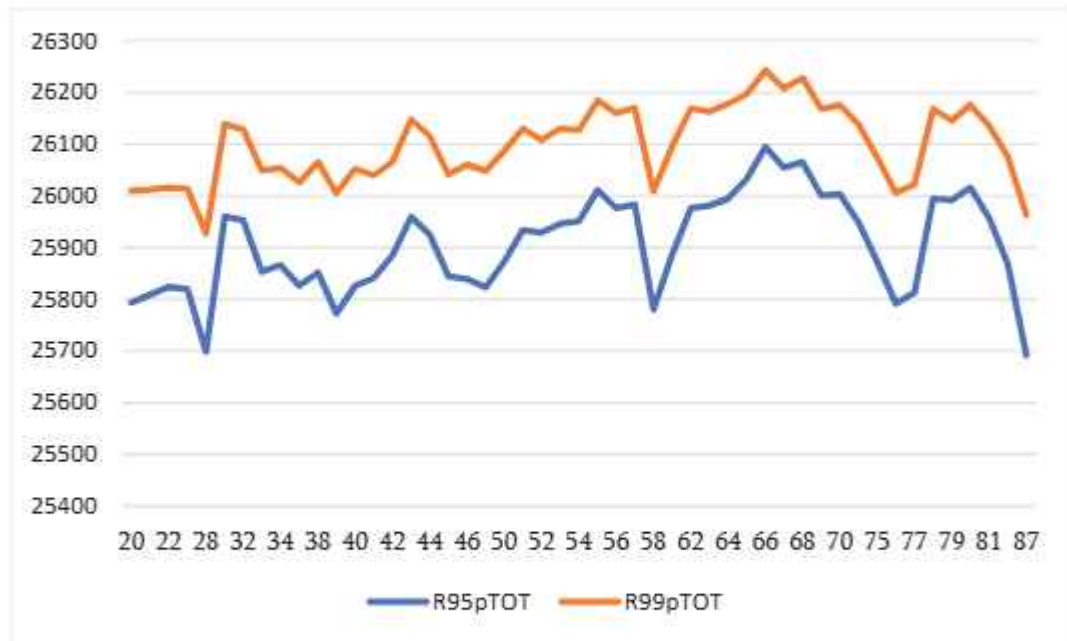
სამ თანაბარ ნაწილად გაყოფილი საკვლევი პერიოდის მიხედვით, ატმოსფერული ჯამური ნალექის პროცენტები (სურ. 98) ბადის წერტილებისთვის წანაცვლებულია, რაც შესაბამისობაშია ნალექის რაოდენობის ზონალურ ცვლილებასთან.



სურ. 98. ატმოსფერული ნალექის პროცენტული საბაზისი პერიოდისთვის



სურ. 99. ატმოსფერული ნალექის 75, 95 და 99 პროცენტული



სურ. 100. ნაღების R95pTOT და R99pTOT ინდექსები

R95p და R99p ინდექსები გამოითვლება ყოველდღიური ნაღების ექსტრემალური ტენდენციების დასადგენად, თუმცა სხვა ინდექსები, როგორიცაა r10mm, r20mm, r25mm და rx1day, ასევე ავლენს ტენდენციებს შედარებით მაღალი და ექსტრემალური ყოველდღიური ნაღების მოვლენებში. r95p და r99p ინდექსები ზომავს წელიწადში მთლიან ნაღებს დღეებიდან, სადაც ნაღების 95-ე და 99-ე პროცენტული დღიური ნაღების ჯამზე მეტია, დადგენილია, რომ მშრალი კლიმატის მქონე რეგიონებში R99p 1500 დღეზე ნაკლებია, ხოლო ნოტიო კლიმატისთვის მნიშვნელოვნად მეტი.

ნაღების R95pTOT, R99pTOT ინდექსები წარმოადგენს იმ დღეების ნაღების წლიურ ჯამს მთელ პერიოდში, როცა დღიური ნაღები აჭარბებდა საბაზისო პერიოდის დღიური ნაღების ზღვრულ 95, 99 პროცენტულს შესაბამისად.

ნაღების მოვლენების სიხშირე განისაზღვრება სინოპტიკური მასშტაბის ცირკულაციური პროცესების თანმიმდევრობით, ხოლო მოვლენის ინტენსივობა რეგულირდება ნაღების რაოდენობით. ექსტრემალური ნაღები ნაკლებად ინტენსიური და არახშირია. ასეთი პერიოდულობა პირდაპირ კავშირშია დაბალ წლიურ ჯამურ ნაღებთან და მოკლე ნოტიო სეზონთან. ნაღების განაწილებას ჰეტეროგენული ხასიათი აქვს. რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში გამოიყოფა რამოდენიმე ლოკალური ცენტრი, სადაც მოიმატებს ექსტრემალური ნაღების ინტენსივობა, მიუხედავად იმისა, რომ რეგიონი არ გამოირჩევა ექსტრემალური ნაღების სიხშირით. ეს ტენდენცია ჩრდილო ნაწილზე (ბადის წერტილები: 66, 79, 81) შედარებით უფრო გამოხატული გახდება. სამაგიეროდ, დაიწყებს შემცირებას მცირე ნაღებიანი დღეები. ეს გადანაწილება რეგიონს სტიქიური მოვლენების მიმართ უფრო მოწყვლადს გახდის.

დასკვნა

ჩატარებული კვლევების შედეგად, ცხინვალის რეგიონში ფიქსირდება კლიმატის ცვლილება ჰაერის ტემპერატურის მატების და ატმოსფერული ნალექების კლების ტენდენციით. თუმცა, ტერიტორიის გარკვეულ, მცირე ნაწილზე, ადგილი აქვს ნალექების მატებას. ექსტრემალური ტემპერატურა გაიზარდა ბევრად უფრო მეტად, ვიდრე საშუალო ტემპერატურა. ტემპერატურის მატება უფრო თვალსაჩინოა რეგიონის ჩრდილოეთ ნაწილში, სადაც მაღალმთიანი რელიეფია. ქ.ცხინვალში ჰაერის საშუალო ტემპერატურამ 1957-2023 წწ პერიოდში $0,5^{\circ}\text{C}$ -ით მოიმატა. ასევე იმატებს სითბური ტალღების (ექსტრემალურად ცხელ) დღეთა და ტროპიკულ ღამეთა რაოდენობა. შესაბამისად, მცირდება ყინვიანი დღეების და ღამის წყინვების რაოდენობა.

რეგიონში დაფიქსირდა კლიმატური ზონების აწევა სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ, საშუალოდ $0,04$ გრადუსით.

ნალექების ინდექსები მიუთითებს ძირითადად, ნალექების შემცირებაზე, როგორც ნალექების რაოდენობის შემცირების, ასევე უნალექო პერიოდების ხანგრძლივობის ზრდის ხარჯზე.

კლიმატის აღნიშნული ცვლილება გავლენას მოახდენს როგორც გარემოზე, ასევე სოციალურ სფეროზე. კერძოდ, კლიმატის ცვლილების ფონზე, გაიზარდება სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების სიხშირე და ინტენსივობა; ტემპერატურის მატება გავლენას მოახდენს როგორც წყლის რესურსების შემცირებაზე, ასევე მის ხარისხზე; უარყოფითი ზეგავლენა გამოვლინდება ტყეზეც, როგორც არსებული მავნებელ-დაავადებების პროგრესირების, ასევე, ახალი ზიანის მომტანი მწერებისა და დაავადებების გაჩენის მხრივ. გარდა ამისა, კლიმატის ცვლილების შედეგად გაიზარდება ტყის ხანძრების სიხშირე და გავრცელების მასშტაბები; მოიმატებს გვალვები, გაიზარდება სასოფლო-სამეურნეო და ტყის მიწების დეგრადაციის მასშტაბები, რაც სერიოზულად იმოქმედებს საკვების წარმოებაზე, მეცხოველეობასა და მის პროდუქტიულობაზე, მრავალწლიან და მარცვლოვან კულტურებზე და ა.შ.

სითბური ტალღების მატება უარყოფითად იმოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე და სხვ.

ყოველივე აღნიშნული მიგვანიშნებს, რომ გადაუდებელი და სასიცოცხლოდ აუცილებელია კლიმატის ცვლილების შემარბილებელი ღონისძიებების გატარება რათა შემლებისდაგვარად შეჩერდეს ადამიანის ეკონომიკური საქმიანობით გამოწვეული კლიმატის ცვლილების პროცესი და შემცირდეს არსებული რისკები, როგორც გარემოზე, ისე საზოგადოებაზე.

ლიტერატურა

1. მ. კორძაძია, საქართველოს ჰავა, თბ., 1961
2. ლ. მარუაშვილი, საქართველოს გეომორფოლოგია, თბ., 1964
3. ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია, საქართველოს სსრ, თბ., 1981
4. საქართველოს ეროვნული ატლასი, თბ., 2012.
5. CSP (U.S. Climate Change Science Program). (2008). Synthesis and Assessment Product 3.3: Weather and climate extremes in a changing climate. www.globalchange.gov/browse/reports/sap-33-weather-and-climate-extremes-changing-climate
6. EUMETNET/ECSN optional program: 'European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)' Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI.2013
7. "Heat wave meteorology". Encyclopedia Britannica. Retrieved 1 April 2019.
8. Kunkel, K. (2022). Updated version of Figure 2.3 in: CCSP (U.S. Climate Change Science Program). (2008). Synthesis and Assessment Product 3.3: Weather and climate extremes in a changing climate. www.globalchange.gov/browse/reports/sap-33-weather-and-climate-extremes-changing-climate
9. Lu, J. Vecchi, G., & Reichler, T. Expansion of the Hadley cell under global warming. Geophysics. Res. Lett. 34. <https://doi.org/10.1029/2006GL028443> (2007).
10. Mann-Kendall Test. <https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>
11. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2024). Heat stress datasets and documentation (provided to EPA by NOAA in April 2024) [Data set].
12. Sarofim, M. C., Saha, S., Hawkins, M. D., Mills, D. M., Hess, J., Horton, R., Kinney, P., Schwartz, J., & St. Juliana, A. (2016). Chapter 2: Temperature-related death and illness. In USGCRP (U.S. Global Change Research Program). The impacts of climate change on human health in the United States: A scientific assessment (pp. 43–69). <http://dx.doi.org/10.7930/J0MG7MDX>
13. Stephens, g. L. & Hu, Y. Are climate-related changes to the character of global-mean precipitation predictable? Env. Res. Lett. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/025209> (2010).
14. Taylor, K.E.: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophysics. Res., 106, 7183-7192, 2001
15. The 5th assessment report of the IPCC (2013), <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

**N. Bolashvili, Z. Gulashvili, N. Suknidze,
M. Tatishvili, T. Chichinadze**

**Creation of Databases of Climate Elements
in the Occupied Territories of the Tskhinvali
Region and Assessment of Risks Caused by
Climate Change Using Modern Methods**

The research was carried out with the financial support of the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia, Grant # OTG-I-24-456 – “Creation of databases of climate elements in the occupied territories of the Tskhinvali region and assessment of risks caused by climate change using modern methods”.

Editor:

Liana Kartvelishvili, Doctor of Geographical Sciences, Professor

Reviewer:

Avtandil Amiranashvili, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

English text editor:

Natalia Gagnidze



„This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) [grant number #OTG-I-24-456

Contents

Introduction	98
Chapter 1. Physical-Geographical Characteristics of the Study Area.....	100
Chapter 2. Climate	102
Chapter 3. Research Methodology.....	107
3.1. Brief Overview of the Methodology	107
3.2. Climate Indices	109
3.3. Used Data	110
3.4. Data Validation.....	112
Chapter 4. Long-Term Trends in Climate Variables Within the Study Area	116
4.1. Long-Term Variations in Near-Surface Air Temperature.....	116
4.2. Heatwaves	140
4.3. Hot Days.....	142
4.4. Tropical Nights	144
4.5. Multi-Year Trends in Freezing and Icy Days	147
4.6. Climate Indices of Air Temperature.....	158
Chapter 5. Long-Term Precipitation Trends in the Study Area	162
5.1. Precipitation Changes	162
5.2. Climate Indices of Precipitation	181
Conclusion.....	185
References	186
Annex 1.	187
Annex 2.	188

Introduction

Since the 1990s, the effects of climate change have become increasingly evident worldwide. Phenomena such as glacier melt, rising sea levels, extreme heat events, severe droughts, wildfires, massive floods, and landslides have occurred with greater frequency in recent years.

Georgia is no exception to this trend. Climate change has also negatively impacted the country. Compared to the 1956–1985 period, the average annual air temperature has increased by 0.25–0.58°C across most of Georgia. Regarding precipitation, annual amounts have generally increased in Western Georgia, while some regions in the East have experienced a decrease.

A wide range of negative effects from climate change is being observed in Georgia. There has been a significant increase in both the scale and frequency of landslides, gravitational processes, and mudflows. Glaciers are melting at an accelerated rate. Additionally, climate change has a significant impact on human health—heatwaves linked to global warming negatively affect people's well-being. Unfortunately, these adverse effects are expected to intensify in the future. The country's primary goal is to enhance its adaptive capacity by implementing climate-resilient practices, thereby reducing the vulnerability of communities most sensitive to climate change. To achieve this, it is essential to support and conduct scientific research. The 2002 United Nations report prepared for the World Summit in Johannesburg highlights that the consequences of natural disasters are especially severe in countries where policymakers disregard scientific forecasts.

Georgia has a long history of meteorological observations and climate research. This has allowed local researchers to assess future climate change trends, taking into account the country's complex geographical conditions, determining the level of vulnerability across various sectors of the economy and natural ecosystems, and developing appropriate adaptation strategies. Unfortunately, since the early 1990s, the hydrometeorological observation network in Georgia has been nearly dismantled. A recent trend towards the restoration of meteorological stations has emerged, but it still lags significantly behind the network that existed prior to the 1990s.

The occupied territories are an inseparable part of our country. To establish a unified environmental information database, it is essential to create a dataset of meteorological elements for these regions.

Identifying climate parameters and indices for the Tskhinvali region is particularly crucial, as there are no meteorological observations available for the occupied territories. This gap must be addressed to fully assess climate change across the entire territory of Georgia.

The novelty of this study lies in the creation, for the first time, of a geographic information system (GIS) database of meteorological elements for the Tskhinvali region, along with the initiation of efforts to promote public access to this database and assess climate change.

The results of this study are innovative, as they enable the modeling and analysis of real conditions in the occupied territories—an area of strategic importance for the entire

country. The project outcomes make it possible to: (1) assess climate change trends in the occupied territories, and (2) support the future development of a multi-hazard early warning system following the restoration of territorial integrity, which would contribute to climate risk reduction, prevention, and preparedness. These findings can also be applied to evaluate the impact of climate change on the country's most vulnerable sectors, including agriculture, tourism, healthcare, and energy, as well as to improve coordination during emergency situations. Notably, the geographic information system developed in this study is dynamic—it can be updated and modified at any time to incorporate new data.

Chapter 1. Physical-Geographical Characteristics of the Study Area

The occupied territory of the Tskhinvali region was formerly the South Ossetian Autonomous region within the composition of Georgian SSR (1922–1990). The region borders the North Ossetian Autonomous Republic (Russian Federation) to the north, Kazbegi and Dusheti municipalities to the east, Kaspi, Gori, Kareli, and Khashuri municipalities to the south, and Sachkhere and Oni municipalities to the west.

The region included four administrative districts: Tskhinvali, Znauri, Akhalgori (Leningori), and Java. There was one city — the regional center Tskhinvali (former city Staliniri from 1936 to 1961) — and four urban-type settlements: Znauri, Kvaisa, Akhalgori, and Java.

The northern part of the region is relatively mountainous, while the southern part features a medium-altitude relief (Fig. 1). Detailed information about the region's physical-geographical characteristics can be found in L. Maruashvili's work [3].

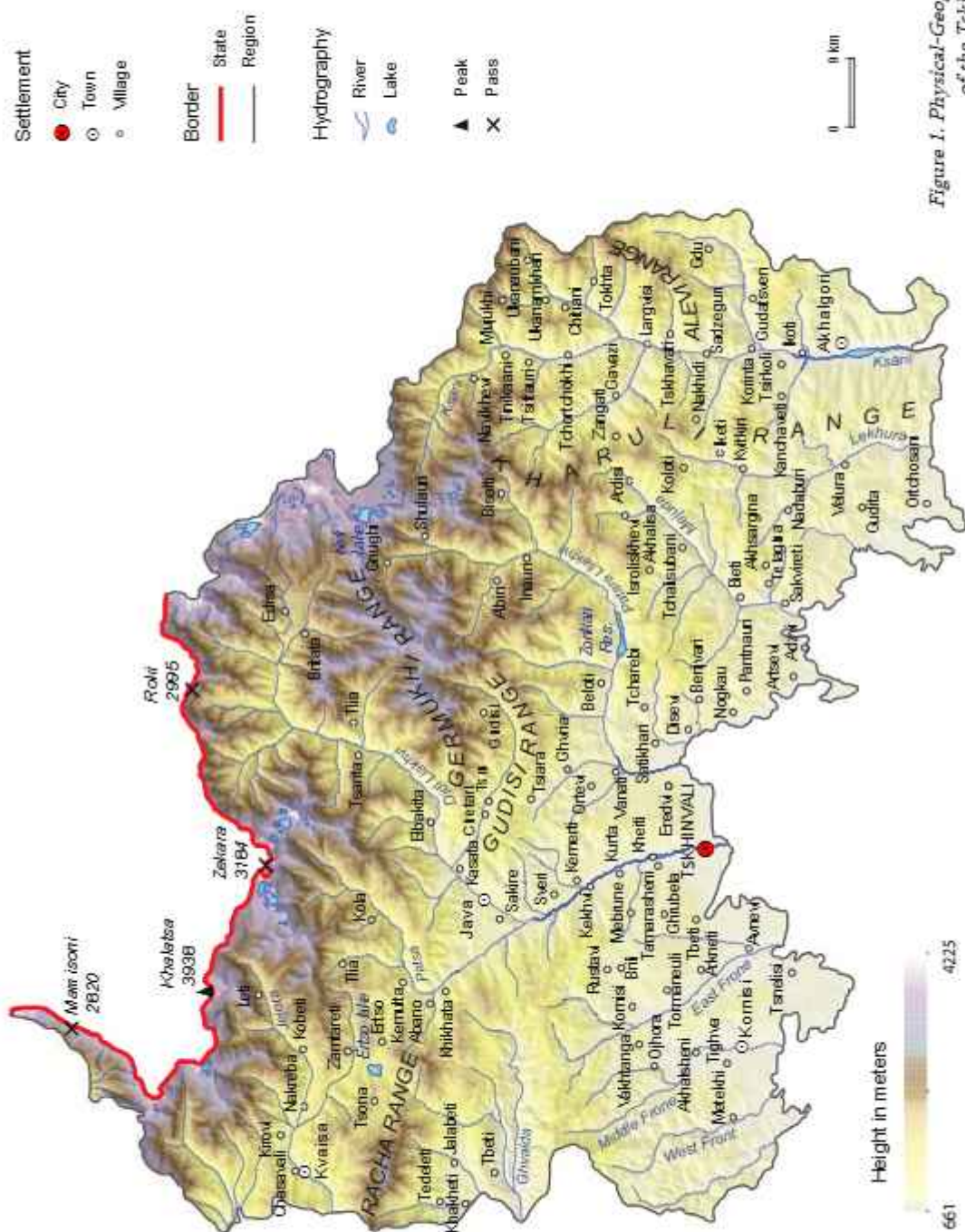


Figure 1. Physical-Geographical Map of the Tskhinvali Region

Chapter 2. Climate

The high-mountainous terrain plays a significant role in shaping the region's climate. The main watershed ridge of the Caucasus acts as a barrier, protecting the region from the intrusion of cold air masses from the north. Climate elements in the area follow a pattern of vertical zonality, which is reflected in the decrease of air temperature with increasing altitude, as well as in variations in atmospheric precipitation, snow cover height, and its duration. At elevations up to 1,000 meters, the climate is warmer than in the lowlands of Shida Kartli. The average annual temperature is 7.8–9.6°C [4].

The city of Tskhinvali is located at an elevation of 860 meters above sea level, in the valley of the Greater Liakhvi River, on the Tiriphon-Saguramo Plain. According to M. Kordzakhia [2], the average January temperature in Tskhinvali is 10°C lower than in the village of Mukhrani (Mtskheta Municipality, 550 meters). The vertical temperature gradient in this case is 0.3°C per 100 meters. The average January temperature in Tskhinvali is also 0.5°C higher than in Java, which is situated at an elevation of 1,040 meters in a sloped valley of the Liakhvi River. Here, the vertical temperature gradient is 0.2°C per 100 meters. In summer, air temperature decreases more significantly with elevation, with the vertical gradient ranging from 0.4°C to 0.6°C per 100 meters. Autumn is generally warmer than spring.

Frosts occur from November to April, with an average of 157 frost days per year in the region. The Liakhvi River valley is characterized by low precipitation. Depending on elevation, precipitation increases by approximately 15%. The primary precipitation maximum occurs in May–June, with a secondary peak in October–November. The number of rainy days ranges from about 100 to 140 per year. In the lower part of the region, fog is rare (10–20 days per year), but its frequency increases in the middle and upper zones. The number of thunderstorm days averages between 20 and 40 per year.

According to long-term observations, the annual duration of sunshine in most parts of Georgia exceeds 2,000 hours on average. In the lower part of the study region, certain areas experience more than 2,500 hours of sunshine annually (Fig. 2).

Wind speed varies depending on the terrain and season. It is highest in winter and lowest in summer. In the lower and more open parts of the region, westerly and easterly winds are predominant, and their frequency remains relatively constant throughout the year. In the middle and upper parts of the region, northerly winds are more common. The Liakhvi River valley is particularly windy, with wind speeds ranging from 3 to 5 m/s [5].

It is notable that the average wind speed has decreased across the entire country by approximately 1–2 m/s in all seasons. The most significant reductions have been observed in areas such as Mta-Sabueti and Poti, which are considered among the most promising locations for wind energy development according to the national wind atlas.

At the same time, despite the overall decline in average wind speeds, certain areas have experienced an increase in the number of strong windy days. This trend appears to be driven by a rise in the frequency of such days over the past 15 years, with the most pronounced changes occurring in the Mtkvari River valley, particularly in regions such as Gori and Tbilisi [6].

Cloud cover in the region averages between 55% and 60%. In the lowland areas (the lower part of the region), cloudiness is higher during the winter months. As elevation increases, seasonal differences in cloud cover become less pronounced. The Liakhvi River valley is the least cloudy area.

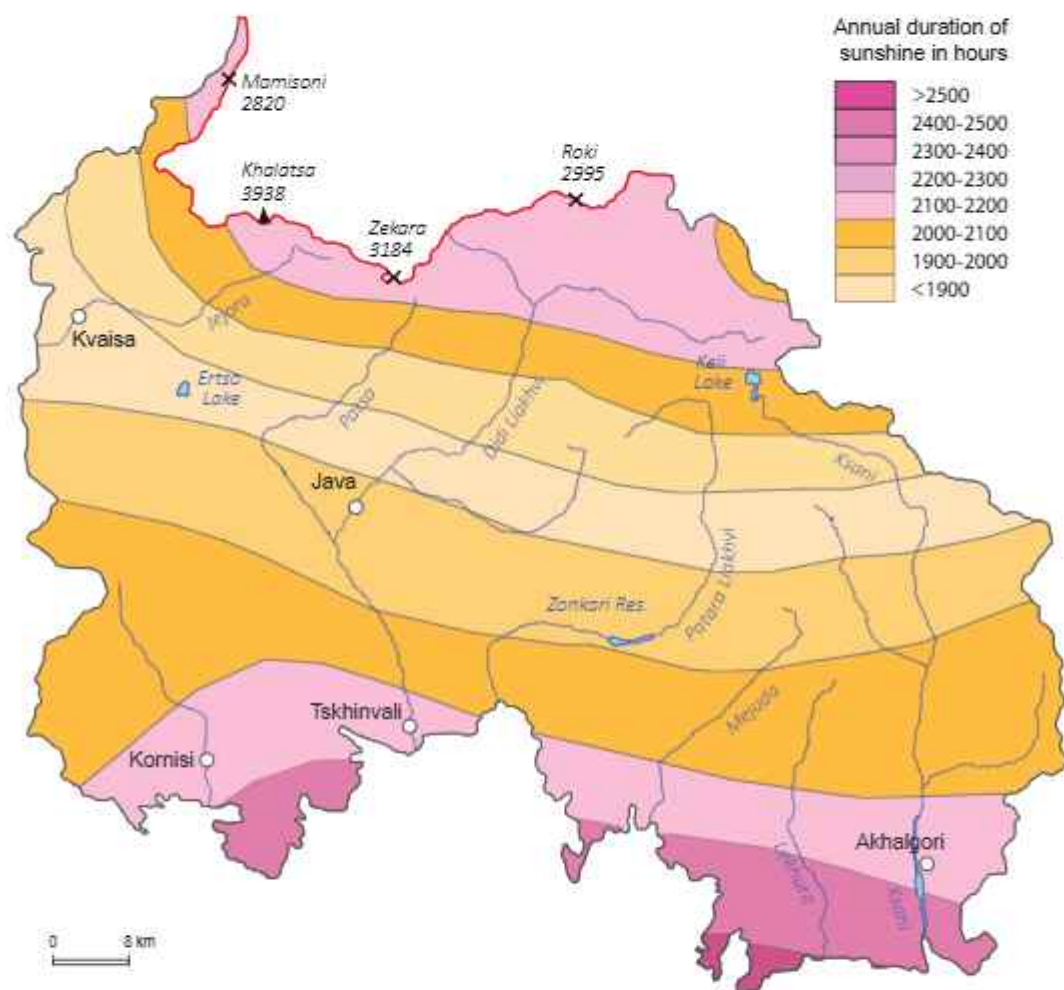


Figure 2. Sunshine duration of [5]

Regarding fog, the average annual number of foggy days increases significantly with elevation, although there are some exceptions to this general trend. The distribution of foggy days in the study region is illustrated in Fig. 4.

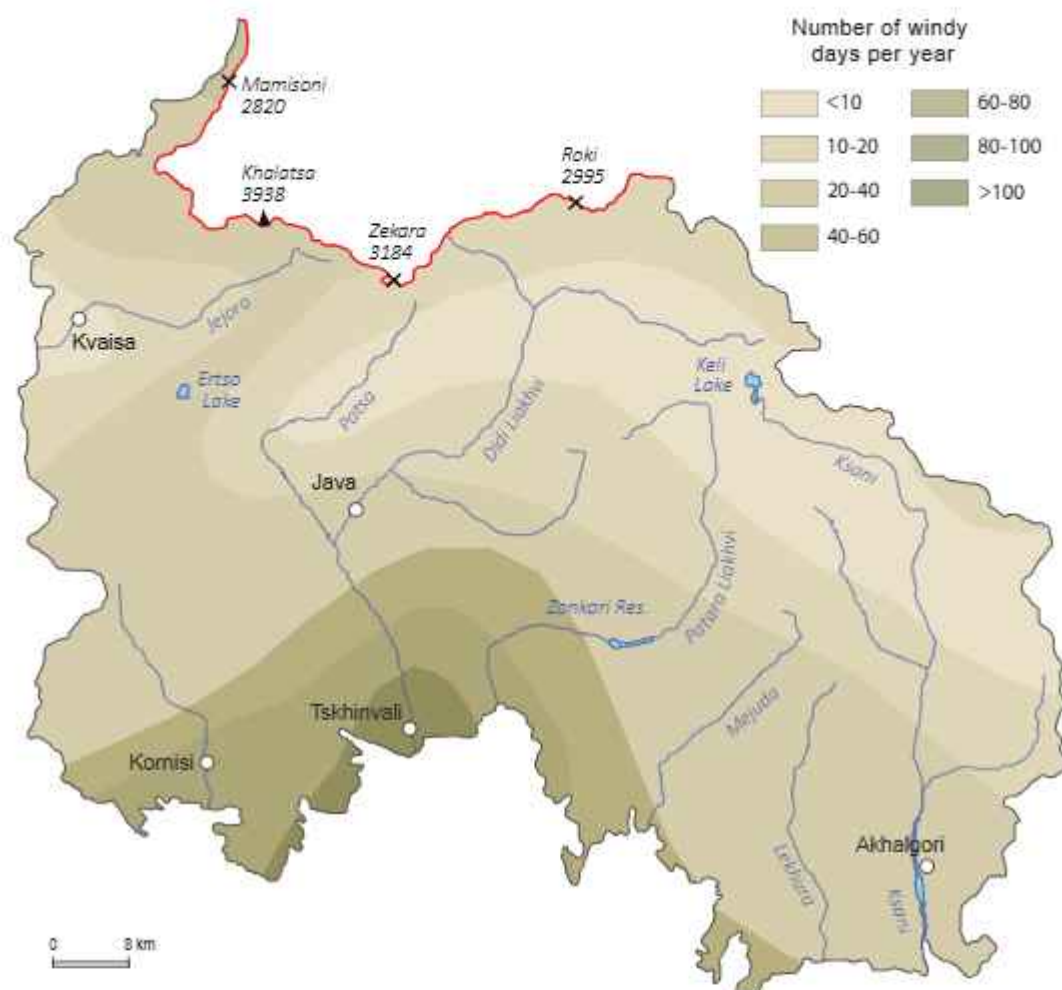


Figure 3. The number of windy days [5]

According to the climate classification developed by M. Kordzakhia (Fig. 5), the region is primarily located within the moderately humid climate zone, which comprises five distinct climate types. A small area in the northwestern part of the region falls within the humid subtropical maritime climate zone, which includes a single climate type.

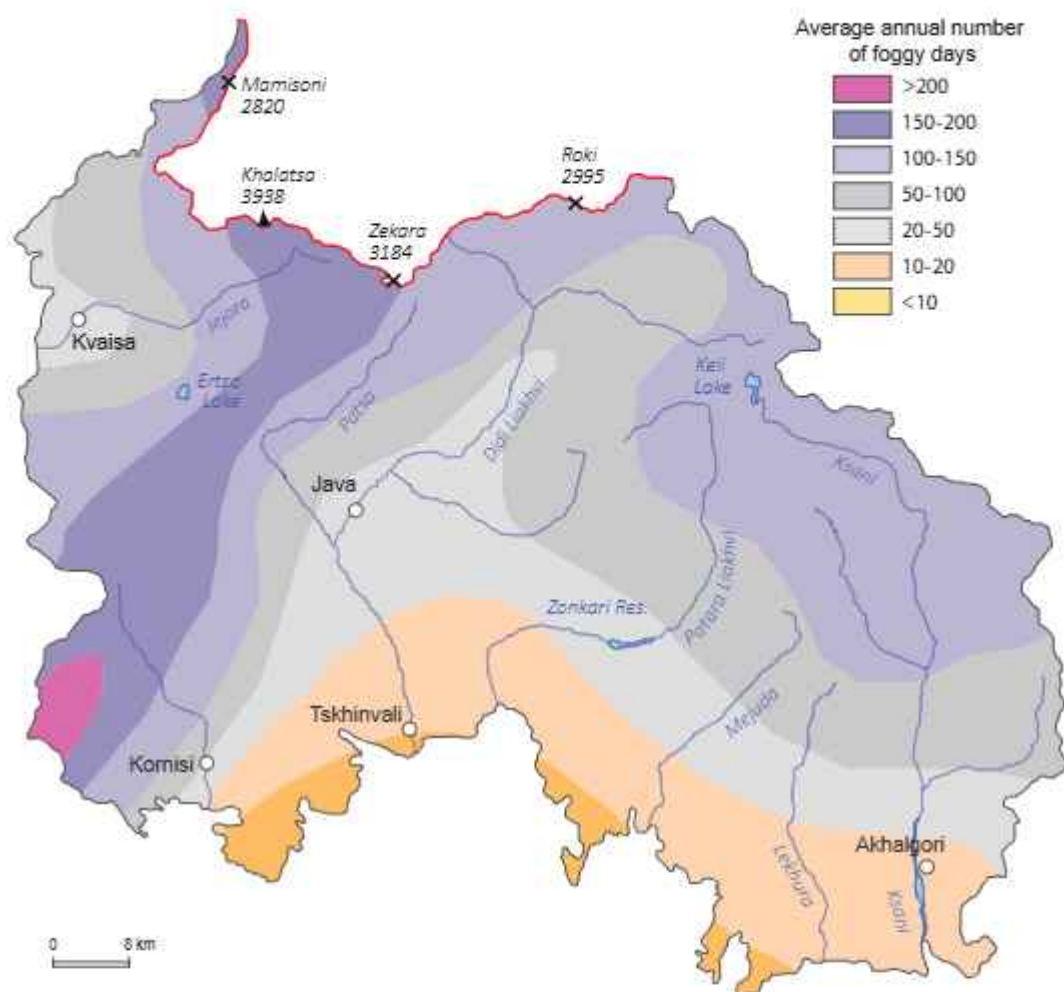


Figure 4. The number of foggy days [4]

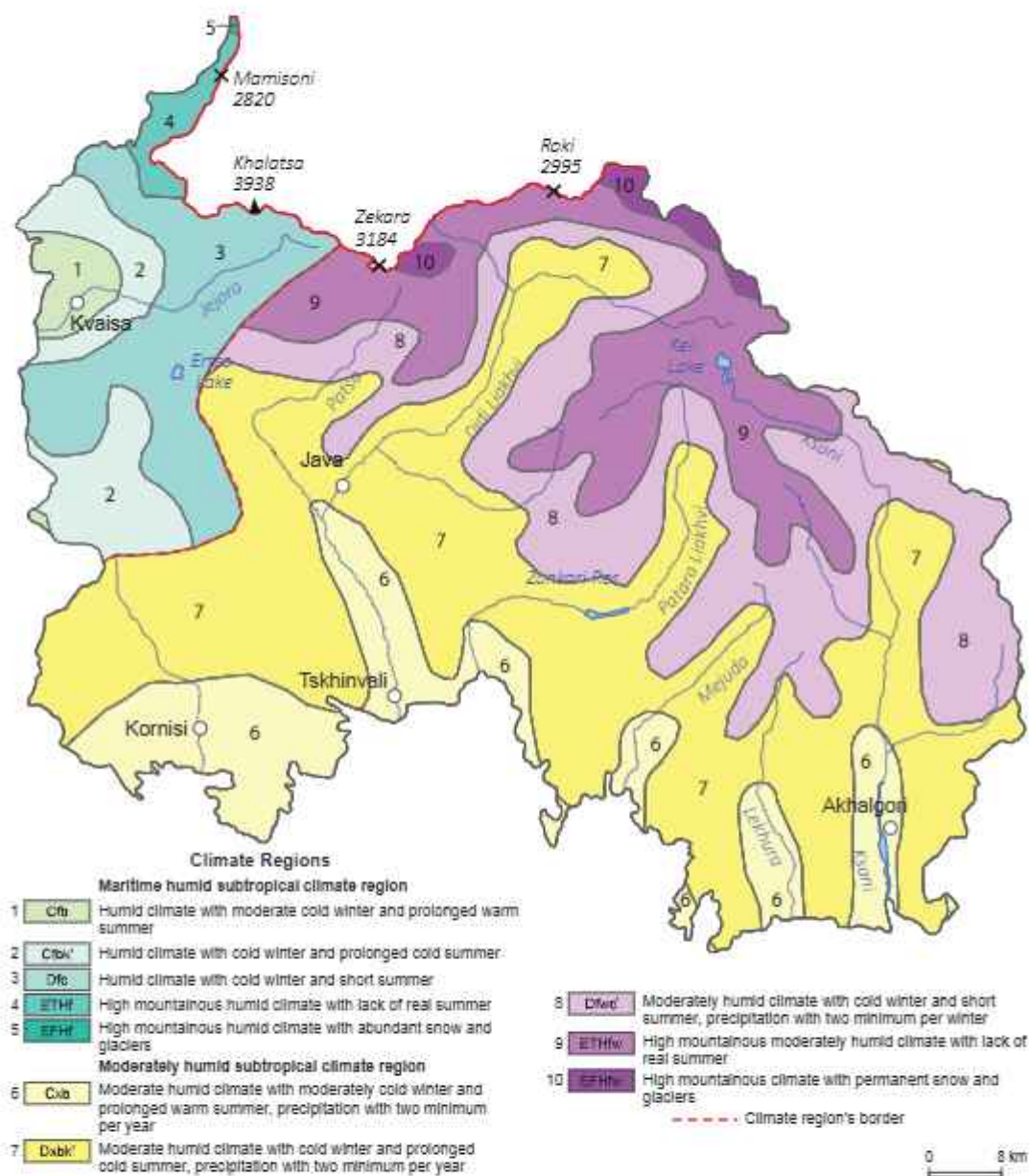


Figure 5. Climate types [4]

Chapter 3. Research Methodology

3.1. Brief Overview of the Methodology

The daily database of air temperature (average, minimum, maximum) and precipitation for 1950–2023 was created using the EOBS Copernicus databases, which represent a coordinate grid.

E-OBS comes as an ensemble dataset and is available on a 0.1 and 0.25 degree regular grid for the elements daily mean temperature TG, daily minimum temperature TN, daily maximum temperature TX, daily precipitation sum RR, daily averaged sea level pressure PP, daily averaged relative humidity HU, daily mean wind speed FG and daily mean global radiation QQ. They cover the area: 25N–71.5N x 25W–45E. The data files are in NetCDF-4 format. The Global 30 Arc-Second Elevation Data Set (GTOPO30), a global raster Digital Elevation Model (DEM) with a horizontal grid spacing of 30 arc seconds (approximately 1 kilometer) developed by USGS is used for the elevation file as well. A special program was created using the Scientific DataSet Lite library to convert the data to Excel. For the Tskhinvali region, daily data were obtained for 108 points.

The R-based software package ClimPact2, was used to calculate the climate indices.

Elevations were taken from the DEM with a step of 0.05°, resulting in maps using Cokriging interpolation, where the main data were the grid station data, and the secondary data were the elevations.

Elevations were taken from the DEM with a spacing of 0.05°, as a result of which maps were created using Cokriging interpolation, where the main data was the data from the grid stations, and the secondary data was the elevations. Maps created using GIS.

Any interpolated data requires calibration. Statistical analysis was performed to validate the obtained data, including Pearson's correlation coefficient, standard deviation, and other parameters, as well as Taylor diagrams [18], which provide "a brief statistical summary of how well the samples fit together in terms of their correlation, standard deviation, and ratio of their variances."

Taylor diagrams are mathematical diagrams designed to graphically indicate which of several approximate representations (or models) of a system, process, or phenomenon is most realistic. This diagram, invented by Karl E. Taylor in 1994 facilitates the comparative assessment of different models. It is used to quantify the degree of correspondence between the modeled and observed behavior in terms of three statistics: the Pearson correlation coefficient, the root-mean-square error (RMSE) error, and the standard deviation.

Although Taylor diagrams have primarily been used to evaluate models designed to study climate and other aspects of Earth's environment, they can be used for purposes unrelated to environmental science (e.g., to quantify and visually display how well fusion energy models represent reality).

Taylor diagrams can be constructed with a number of different open source and commercial software packages, including: GrADS, IDL, MATLAB, NCL, Python, R, and CDAT.

Taylor diagrams display statistics useful for assessing the similarity of a variable simulated

by a model (more generally, the "test" field) to its observed counterpart (more generally, the "reference" field). Mathematically, the three statistics displayed on a Taylor diagram are related by the error propagation formula (which can be derived directly from the definition of the statistics appearing in it):

$$E^2 = \sigma\Delta^2 = \sigma_r^2 + \sigma_t^2 - 2\sigma_r\sigma_t\rho,$$

where ρ is the correlation coefficient between the test and reference fields, E is the centered RMS difference between the fields (with any difference in the means first removed), and σ_r, σ_t are the standard deviations of the reference and test fields, respectively. The law of cosines, $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\phi$ (where a, b , and c are the length of the sides of the triangle, and $\cos\phi$ is the angle between sides a and b) provides the key to forming the geometrical relationship between the four quantities that underlie the Taylor diagram.

The Mann-Kendall (MK) test [14] is a non-parametric test widely used for detecting trends in time series data, particularly in climate and hydrological studies to determine whether a time series exhibits an upward or downward trend. The test does not require the data to be normally distributed or linear. A minimum of 20 years of data is recommended for the analysis. The null hypothesis assumes no trend, while the alternative hypothesis in a two-tailed test indicates the presence of a trend, either upward or downward.

Given a time series $X_1, \dots, X_n$, MK the Mann-Kendall test computes the test statistic S as follows:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sign}(x_j - x_i)$$

If $S > 0$, then the latest observations in the time series are larger than the previous ones. Conversely, it is decreasing when $S < 0$. When $S = 0$, there is no trend.

Percentiles are an effective way to understand data distribution, especially when dealing with large datasets, as it gives a clear indication of where the majority of values lie [19]. Percentiles are used to understand and interpret data. They indicate the values below which a certain percentage of the data in a data set is found.

In statistics, a k -th percentile, also known as percentile score or centile, is a **score** (e.g., a data point) below which a given percentage k of arranged scores in its frequency distribution falls («exclusive» definition) or a score at or below which a given percentage falls («inclusive» definition); i.e. a score in the k -th percentile would be above approximately $k\%$ of all scores in its set. For example, the 97th percentile of data is a data point below which 97% of all data points exist (by the exclusive definition). Percentiles depends on how scores are arranged.

Percentiles are a type of quantiles, obtained adopting a subdivision into 100 groups. The 25th percentile is also known as the first quartile (Q1), the 50th percentile as the median or second quartile (Q2), and the 75th percentile as the third quartile (Q3). For example, the 50th percentile (median) is the score below (or at or below, depending on the definition) which 50% of the scores in the distribution are found.

The percentage of values in a given data set can be calculated using the following formula:

$$P = (n/N) \times 100$$

where N is the total number of values in the data set, n is the ordinal rank of the given value (with values ordered from smallest to largest), and P is the percentile.

3.2. Climate Indices

To characterize extreme deviations in climate events, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has developed 27 primary climate change indices [10]. In this study, based on the specific characteristics of the region, the following climate indices have been calculated:

Warm day-times (TX90p): Number of days when the daily maximum temperature (TX) exceeds the 90th percentile.

Cold day-times (TX10p): Number of days when the daily maximum temperature (TX) falls below the 10th percentile.

Warm nights (TN90p): Number of days when the daily minimum temperature (TN) exceeds the 90th percentile.

Cold nights (TN10p): Number of days when the daily minimum temperature (TN) falls below the 10th percentile.

Icing days (ID): Annual count of days when the daily maximum temperature (TX) is below 0°C.

Frost days (FD): Annual count of days when the daily minimum temperature (TN) is below 0°C.

Heat waves (HW): According to the World Meteorological Organization, a heat wave occurs when the daily maximum temperature exceeds the average maximum temperature by at least 5°C for five consecutive days.

Consecutive dry days (CDD): Maximum number of consecutive days with precipitation less than 1 mm.

Simple Daily Intensity Index (SDII): The total annual precipitation on wet days (days with precipitation ≥ 1.0 mm) divided by the number of wet days in the year. The unit of measurement is millimeters per day (mm/day). SDII is a key climate change indicator for the wet season.

Daily Maximum Precipitation Index (Rx1D, Rx5D):

Rx1D: Maximum 1-day precipitation amount in a year.

Rx5D: Maximum consecutive 5-day precipitation amount in a year.

R95pTOT: Annual total precipitation from days when daily precipitation exceeds the 95th percentile of the 1961–1990 base period.

R99pTOT: Annual total precipitation from days when daily precipitation exceeds the 99th percentile of the 1961–1990 base period.

3.3. Used Data

At various times, the following meteorological stations and observation posts have operated in the Tskhinvali region: Roka, Kevselta, Lower Roka, Edisi, Ermani, Vaneli, Java, Pavliani, Kekhvi, Vanati, Tskhinvali, Znauri, Akhalgori (Leningori), Korinta, and Ghromi (Table 1).

Table 1

Observation point	Type of observation	Elevation, m a.s.l.	Period of operation (opening and closing)
Roka	Meteorological station	1795	1931-1959; 1989-1992
Kevselta	Meteorological station	1750	1929-1963
Lower Roka	Meteorological observation post	1400	1947-1957
Edisi	Meteorological station	1970	1934-1948
Ermani	Meteorological station	2240	1942-1988
Vaneli	Precipitation measurement post	1310	1957-1989
Java	Meteorological station	1109	1914-1987
Pavliani	Precipitation measurement post	1320	1947-1992
Kekhvi	Precipitation measurement post	895	1946-1990
Vanati	Precipitation measurement post	1020	1942-1944; 1946-1987
Tskhinvali	Meteorological station	862	1917-1923; 1929-1991
Tskhinvali	Meteorological observation post	862	1925-1929
Znauri (Kornisi)	Meteorological observation post	820	1960-1989
Korinta	Precipitation measurement post	908	1947-2006
Ghromi	Meteorological observation post	800	1946-1991
Akhalgori	Meteorological station	760	1940-1960; 1963-2004

The present study uses daily observation data from the following stations and observation posts in the study region (Fig. 6): Tskhinvali, Akhalgori, Ermani, Korinta, Vaneli, Pavliani, Kekhvi, and Vanati [1], and also data from the E-OBS Copernicus database [11]. Figure 7 shows the points from which data were extracted from above mentioned sources.

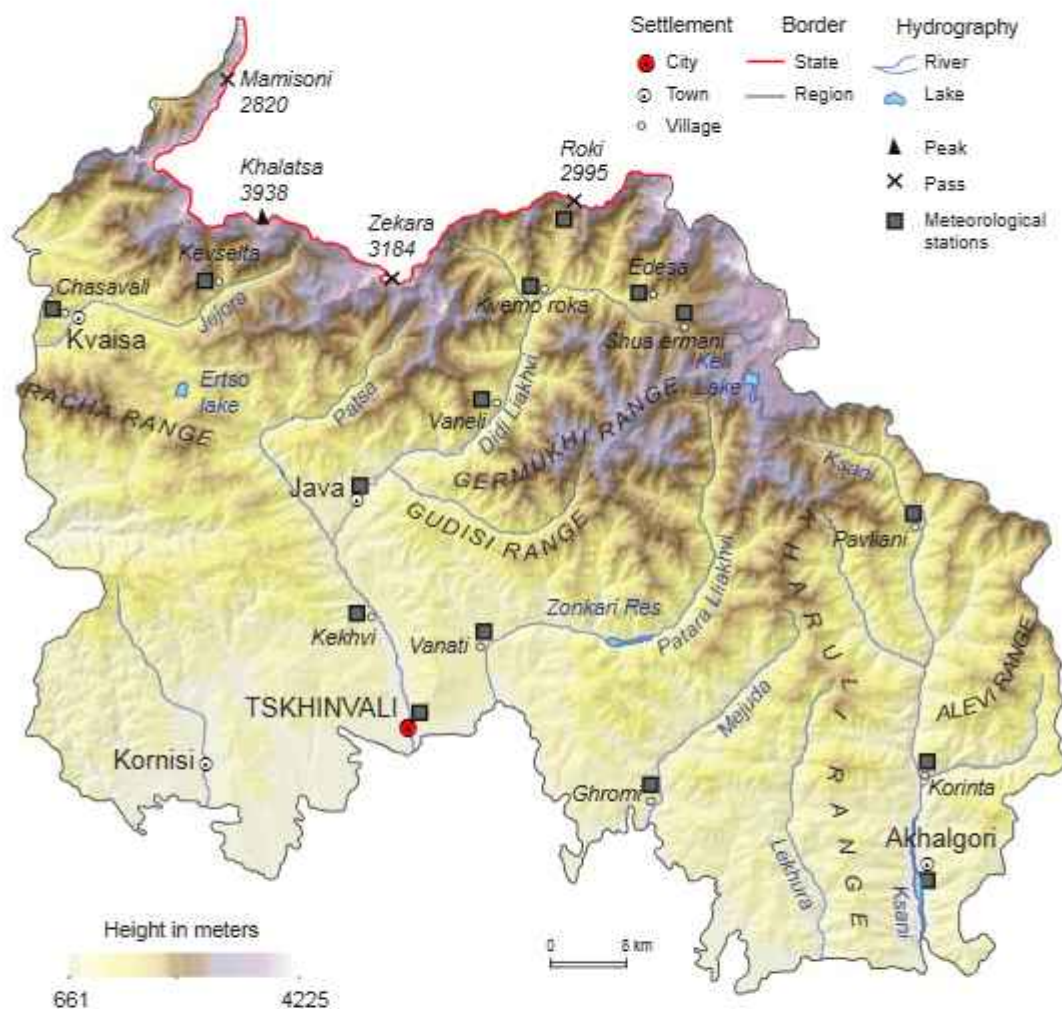


Figure 6. Meteorological stations and observation posts in the Tskhinvali region



Figure 7. Grid points for which data were collected

3.4. Data Validation

Data validation is the process of checking the accuracy and consistency of data. It plays a crucial role in maintaining data integrity and preventing errors by helping to promptly identify inaccuracies that could negatively impact the final analysis.

In this study, we use data from ground-based meteorological stations in the Tskhinvali region for the period before 1990, and E-OBS gridded data for the period 1961–2023. The objective is to assess climate change in the study region. In recent years, only E-OBS data has been available. To evaluate the reliability and quality of the E-OBS data, a comparison was conducted between ground station data (1961–1990) and E-OBS grid data for the same period. Figure 8 presents the average air temperatures recorded at the Tskhinvali meteorological station and the corresponding nearby E-OBS grid point.

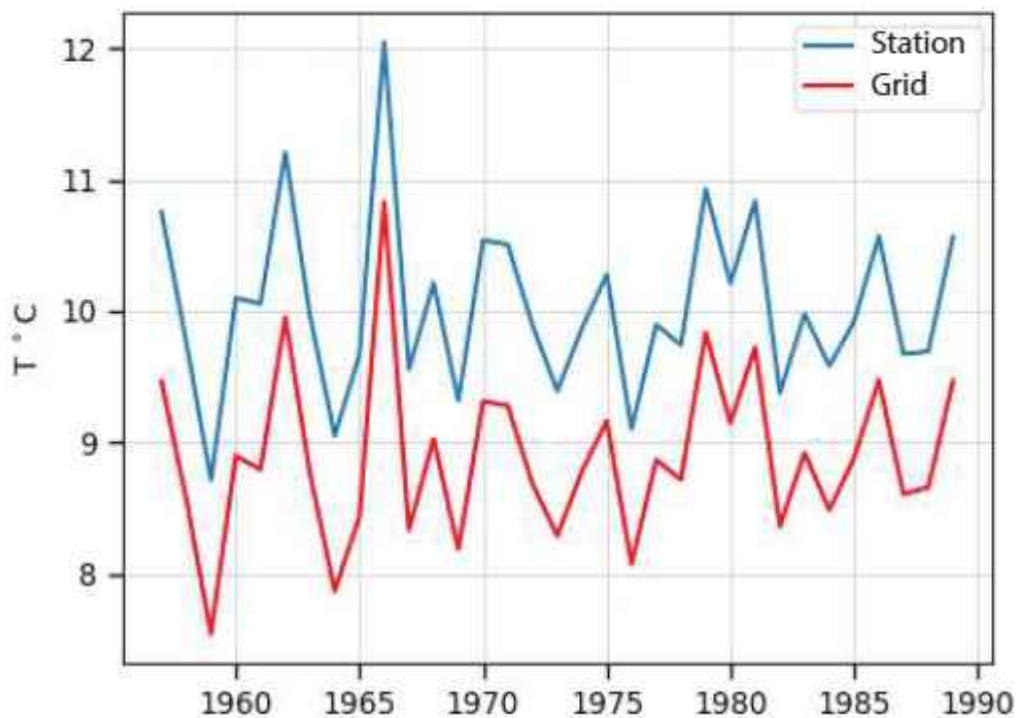


Figure 8. Average annual temperatures of Tskhinvali and the nearby grid point

As shown in the figure, the temperatures recorded at the Tskhinvali meteorological station are approximately 1.5°C higher than those from the grid data. However, the temperature trend is consistent in both cases. The quantitative difference can be attributed to the slight, but significant, elevation difference between the station and the grid point, which is 250 meters. The altitude of the meteorological station in Tskhinvali is 862 meters, while the altitude of the grid point is 1,120 meters. The vertical temperature gradient in this case is 0.6°C .

Regarding the correlation between the station and the grid point, the correlation for temperature data is very high, at 0.99, while for precipitation data, it is 0.95. The correlation coefficients between the station and grid data are presented in Table 2.

The Taylor diagram also shows a very high correlation between these points (Fig. 9). Therefore, the E-OBS grid data can be reliably used in research, and the results derived from them can be considered accurate. Using the established correlations, the time series of average air temperatures for Tskhinvali was reconstructed for the period 1990–2023 (Annex 1).

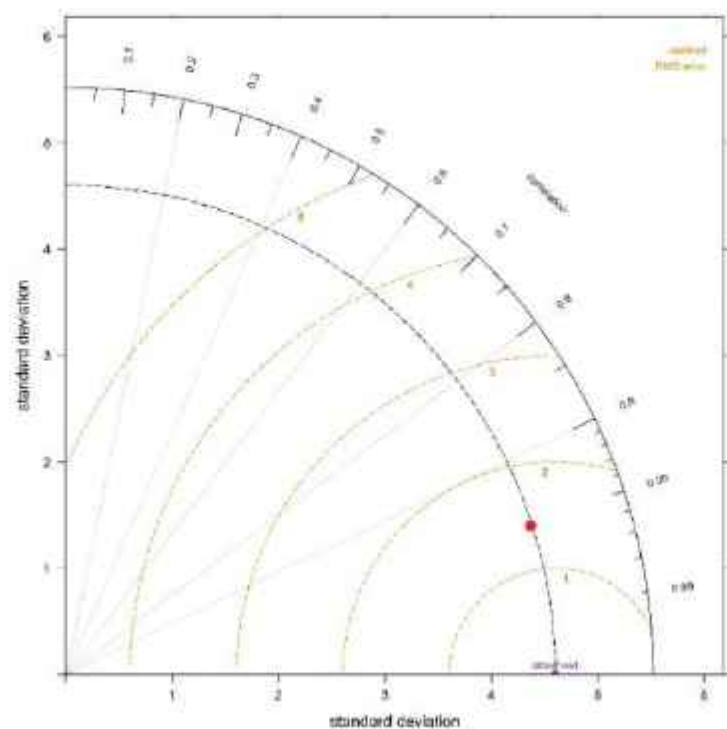


Figure 9. Taylor diagram (Tskhinvali)

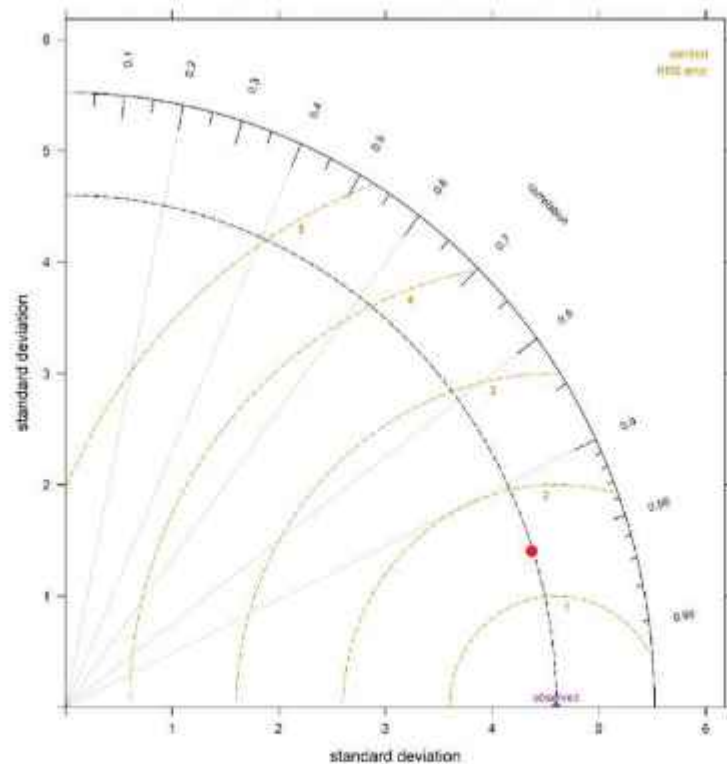


Figure 10. Taylor diagram (Korinta)

Chapter 4. Long-Term Trends in Climate Variables Within the Study Area

4.1. Long-Term Variations in Near-Surface Air Temperature

To determine the long-term trend of air temperature changes in the Tskhinvali region, points were selected to represent all climate types in the area. The Kendall test was used to analyze the climate data (Figs. 12-21). The grid point numbers for the selected locations are shown in Fig. 7.

Climate type: A moderately humid climate with moderately cold winters, long warm summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 12-13)

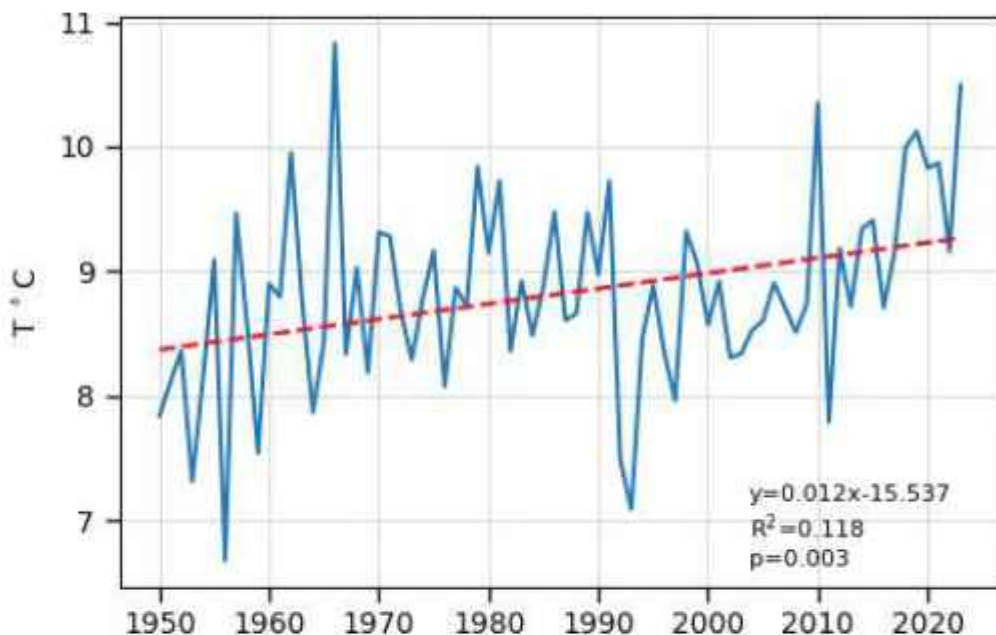


Figure 12. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 41)

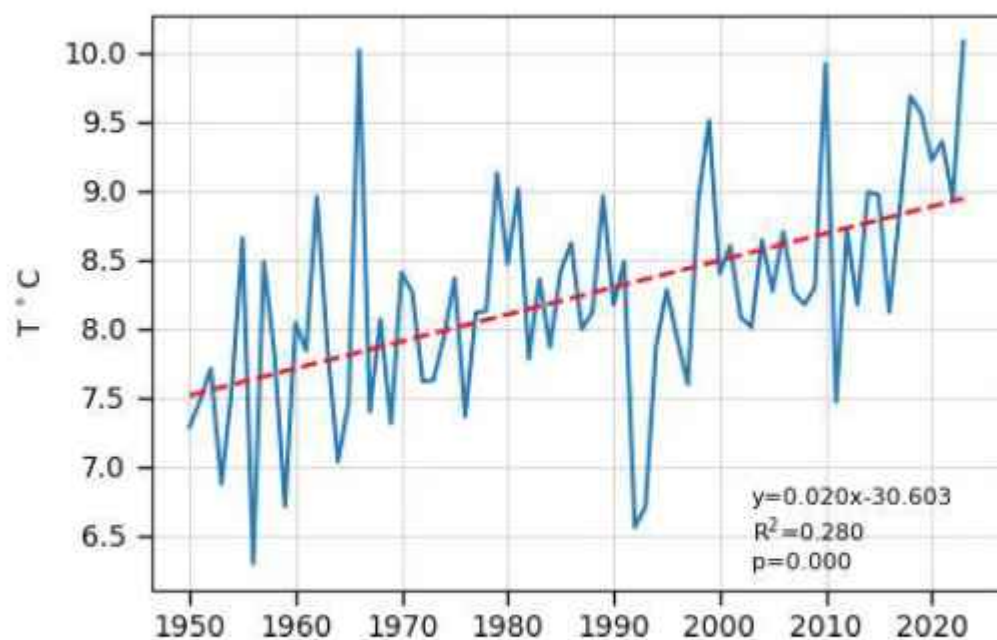


Figure 13. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 34)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, long cool summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 14-15)

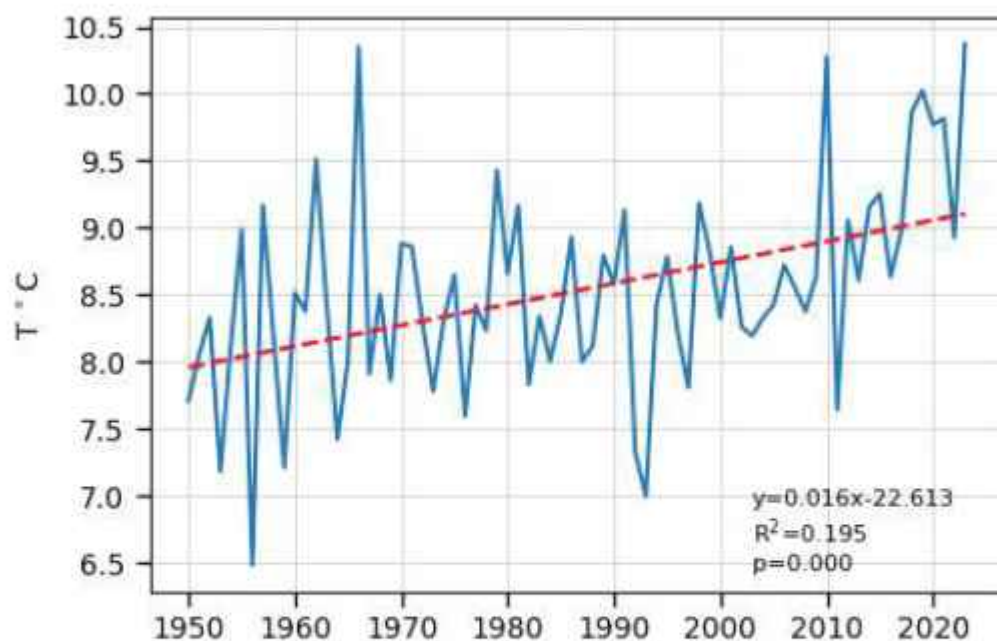


Figure 14. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 39)

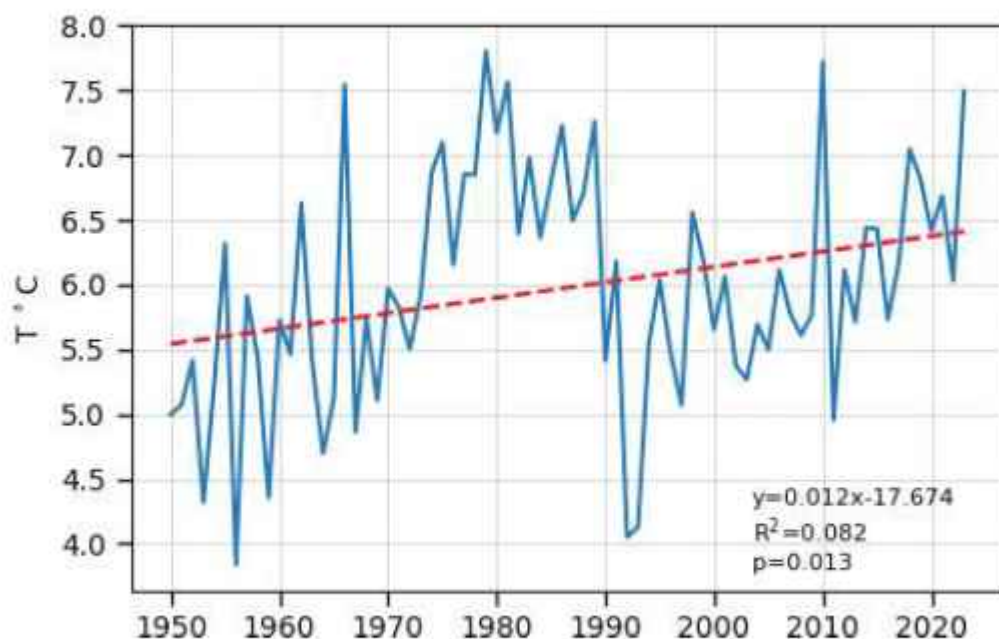


Figure 15. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 54)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, short summers, and minimal precipitation during the winter months (Figs. 16-17)

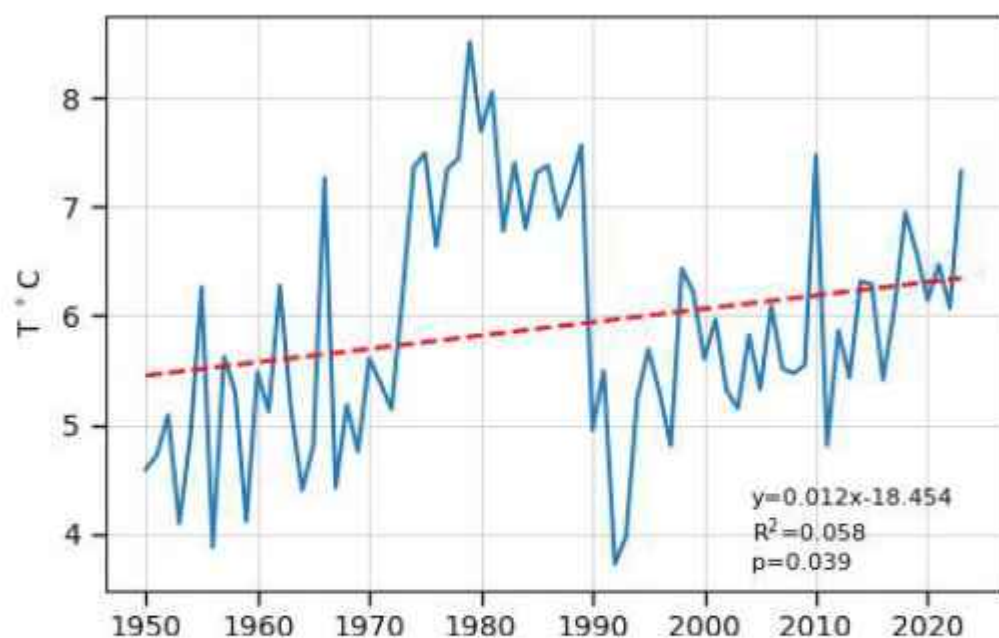


Figure 16. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 47)

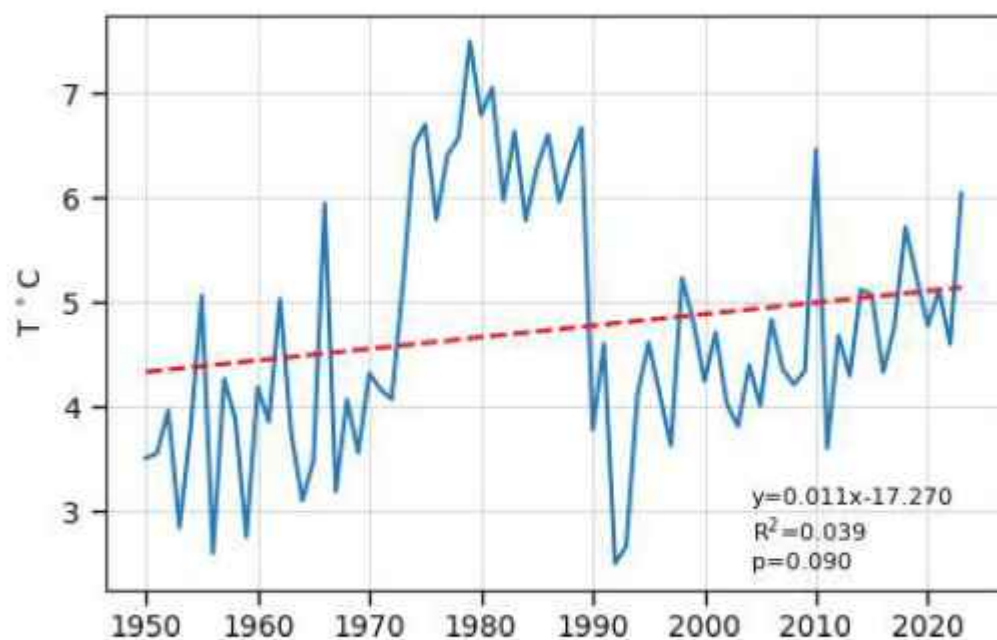


Figure 17. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 55)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and long cool summers (Fig. 18)

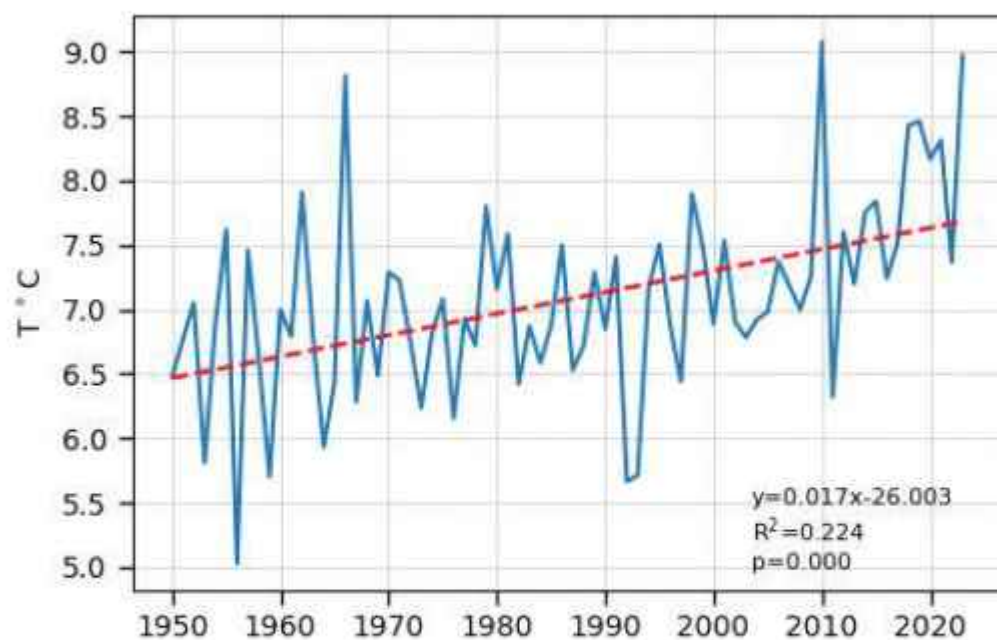


Figure 18. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 50)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and short summers (Figs. 19-20)

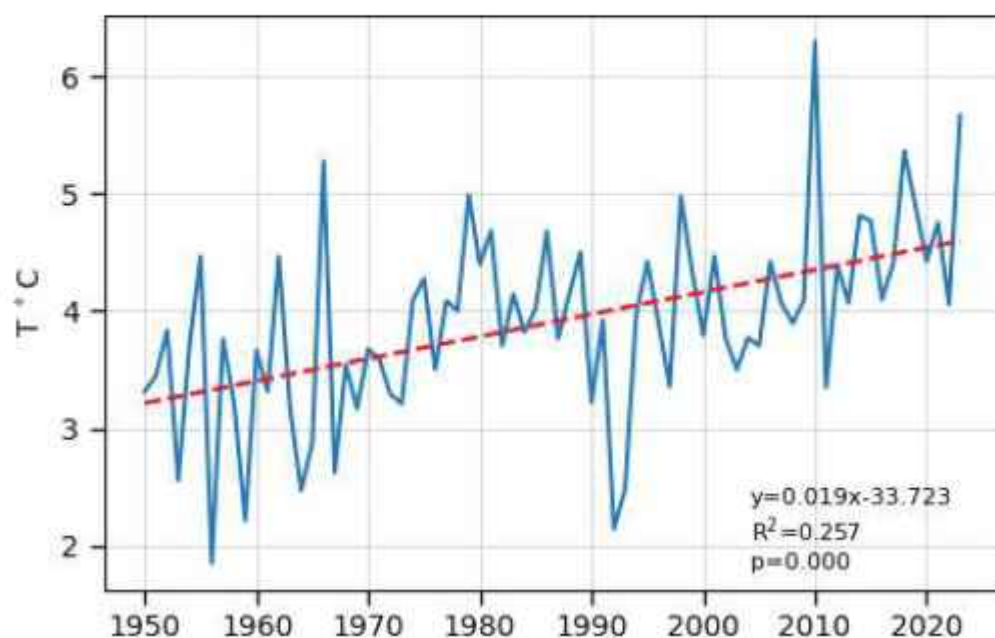


Figure 19. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 62)

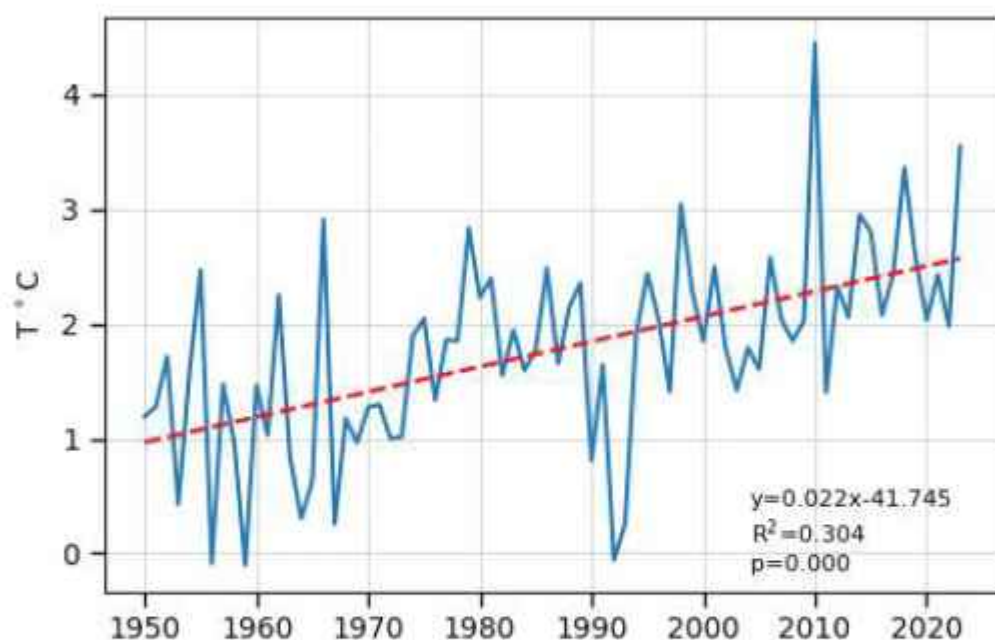


Figure 20. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 75)

Climate type: A humid climate characterized by moderately cold winters and long, warm summers (Fig. 21)

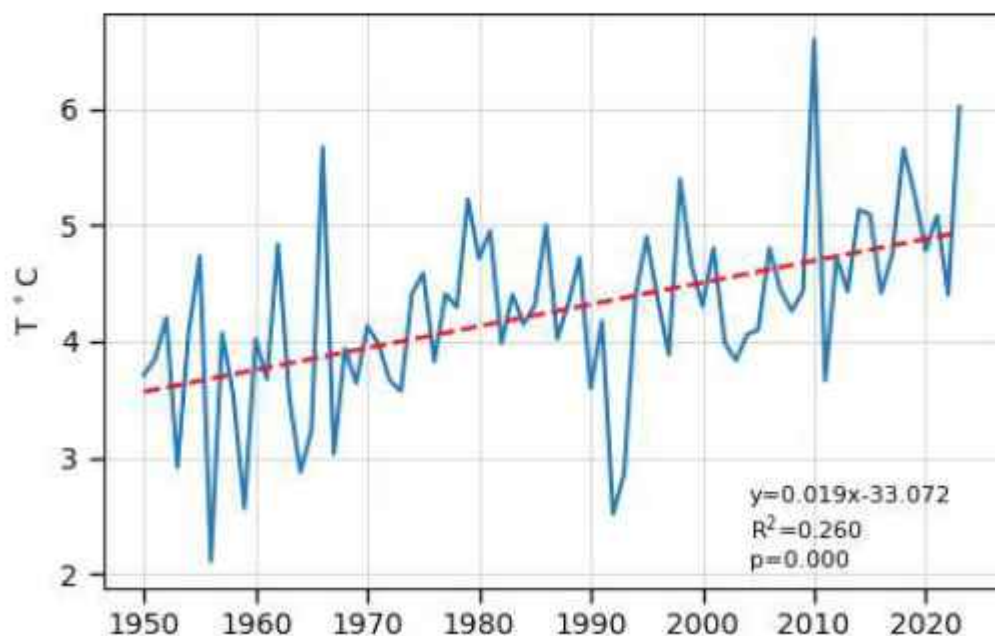


Figure 21. Change in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 74)

As shown in the presented graphs, there is a clear trend of increasing average annual air temperature across all climate types. Notably, the temperature increase is more pronounced in the north, where the terrain is mountainous. In this area, the average annual temperature has increased by 1.5°C, whereas in the southern lowland areas, the increase is 0.7°C. The average annual temperature increase for the entire region is 1.1°C. According to the grid data for Tskhinvali, the temperature increase from 1957 to 2023 is 0.5°C, which is consistent with the reconstructed change for Tskhinvali (0.45°C).

The seasonal variation in average air temperature is also of interest. Kendall tests were used for the analysis (Figs. 22-31).

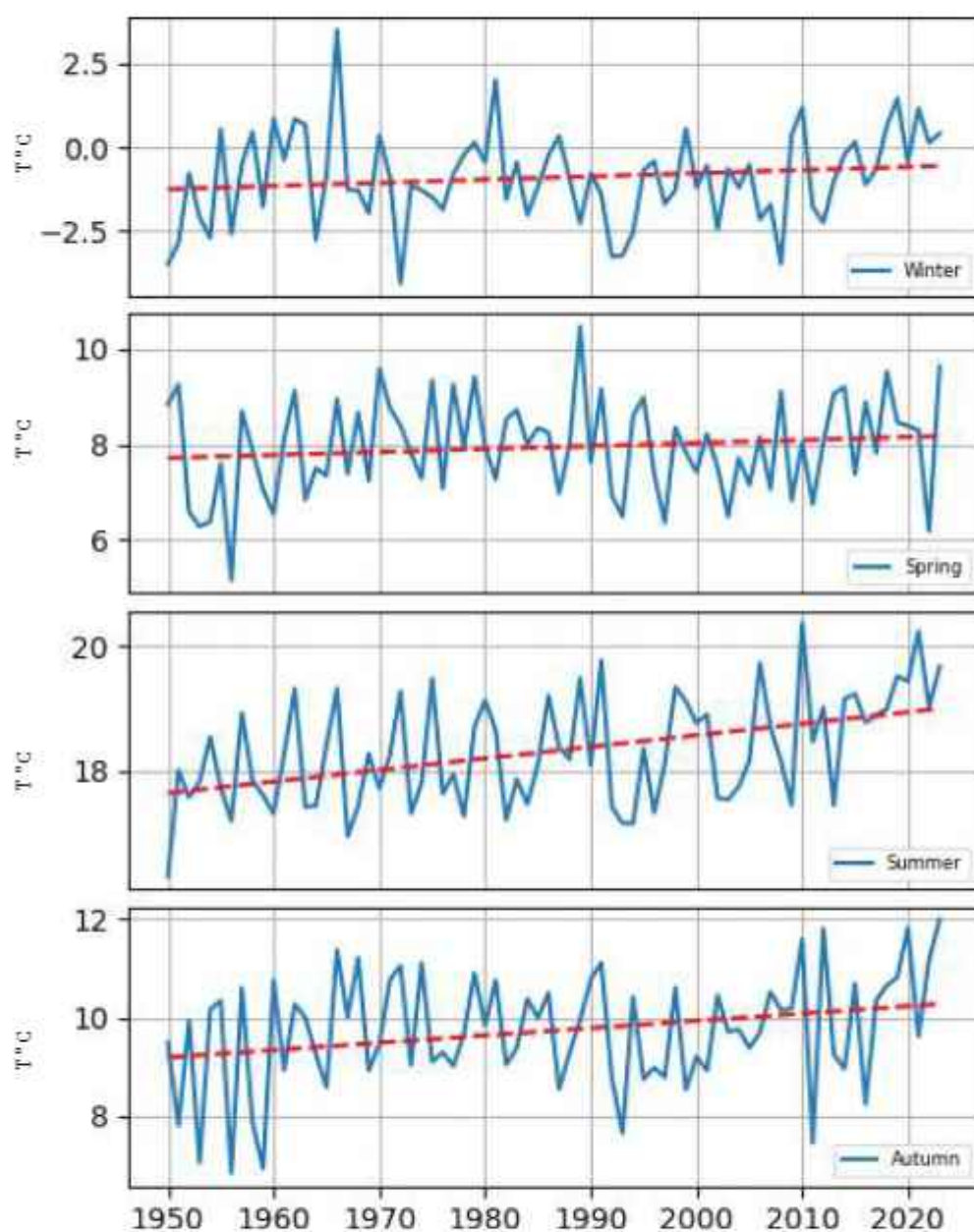


Figure 22. Seasonal changes in average air temperature from 1950 to 2023 (Grid point 41)

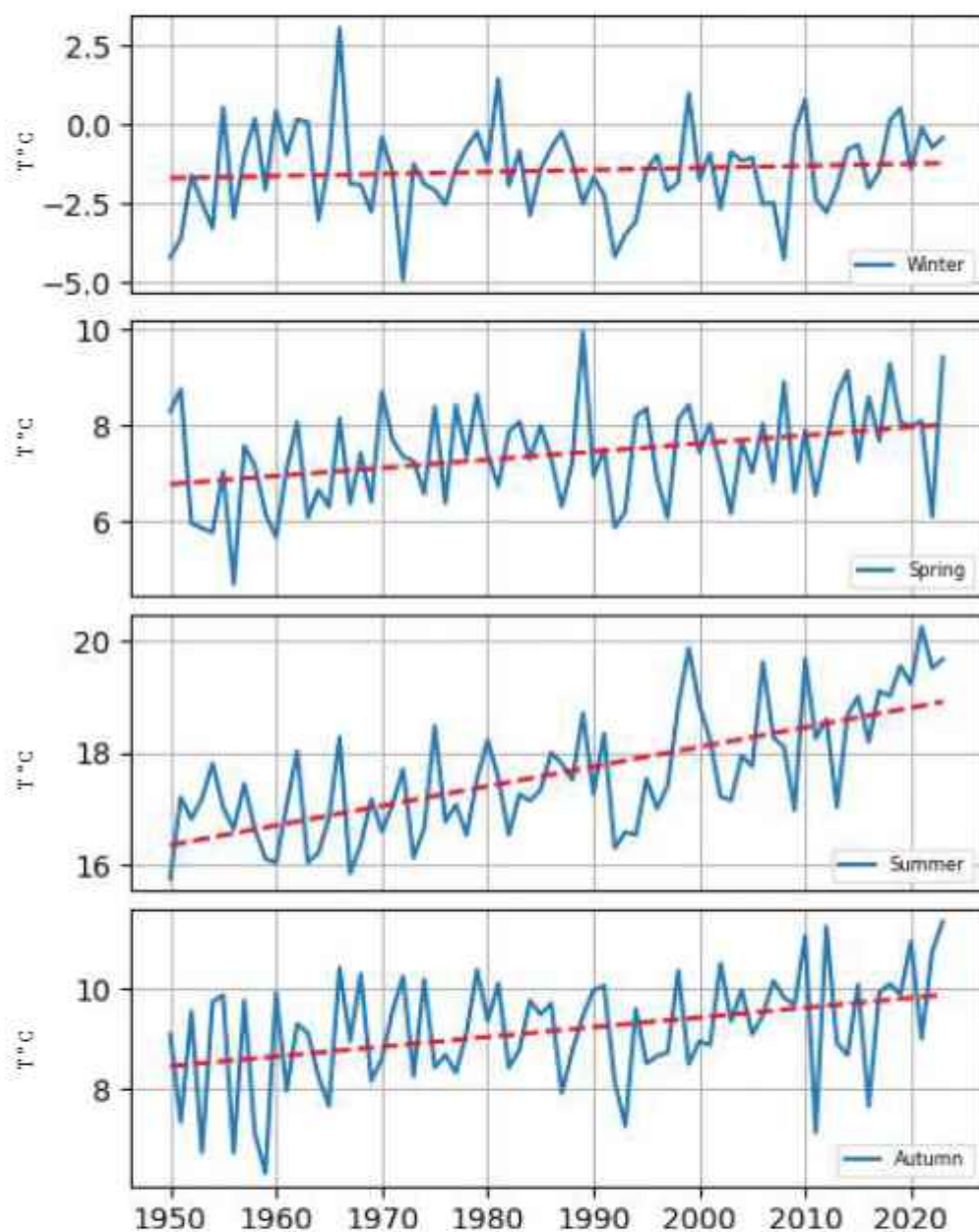


Figure 23. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 34)

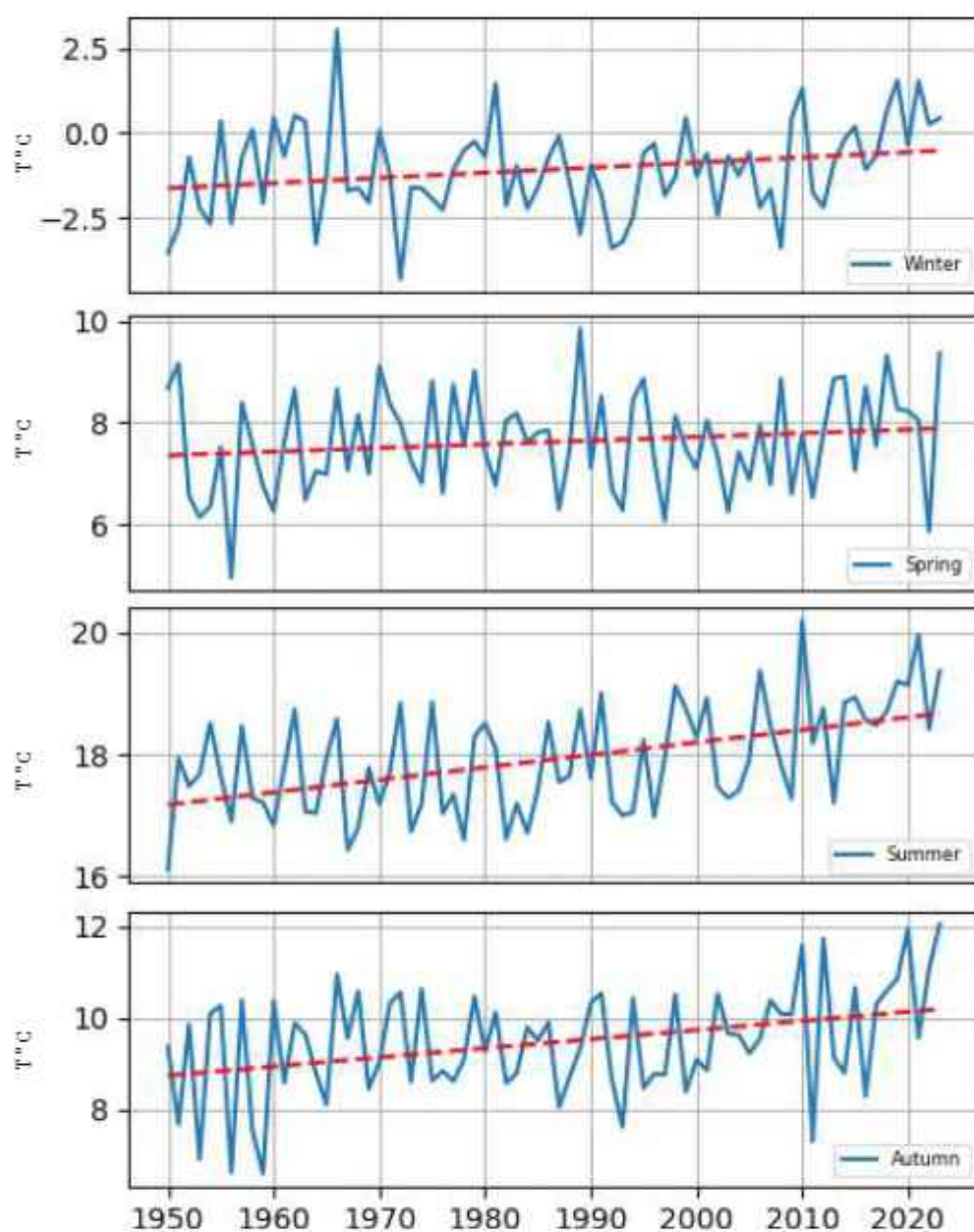


Figure 24. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 39)

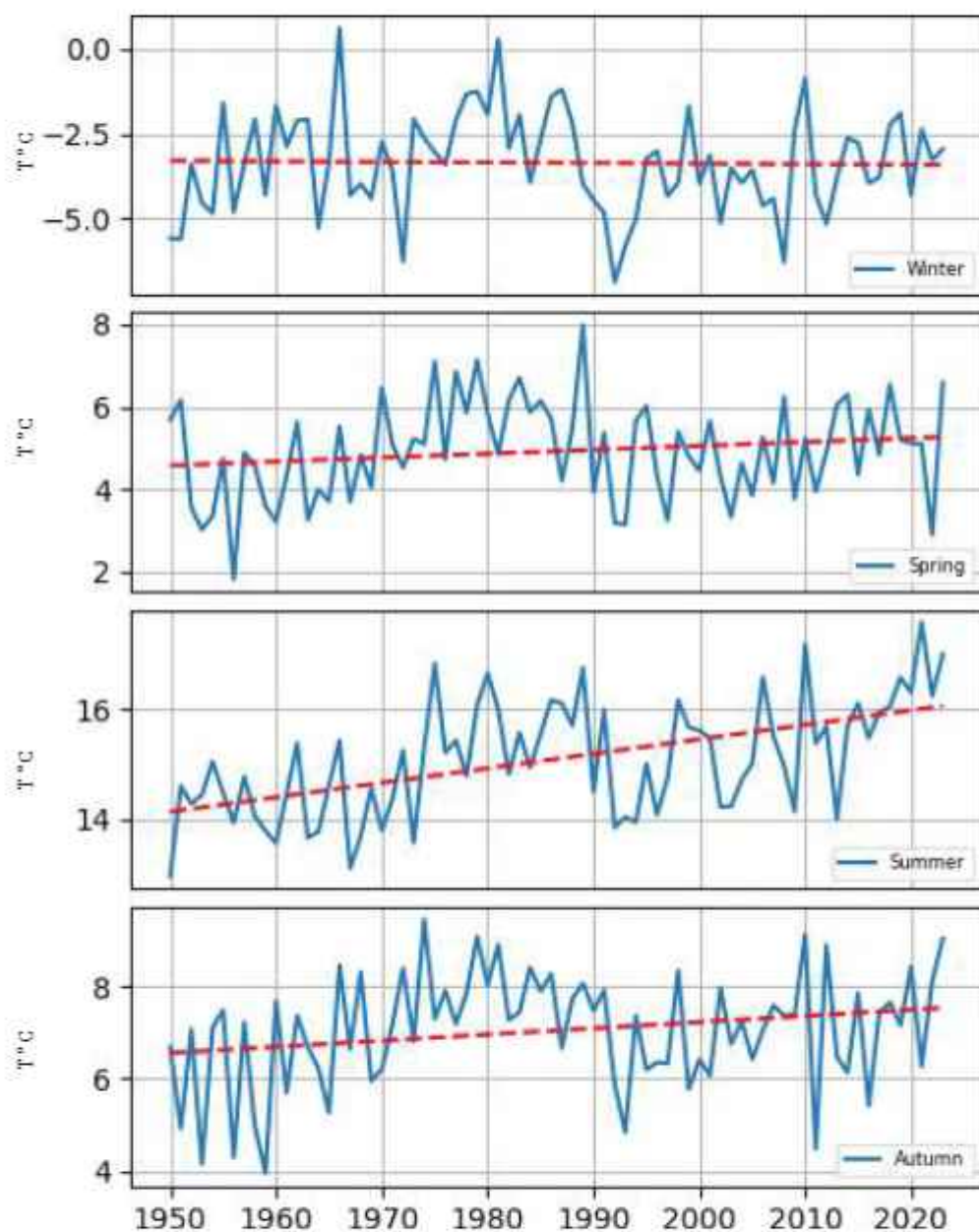


Figure 25. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 54)

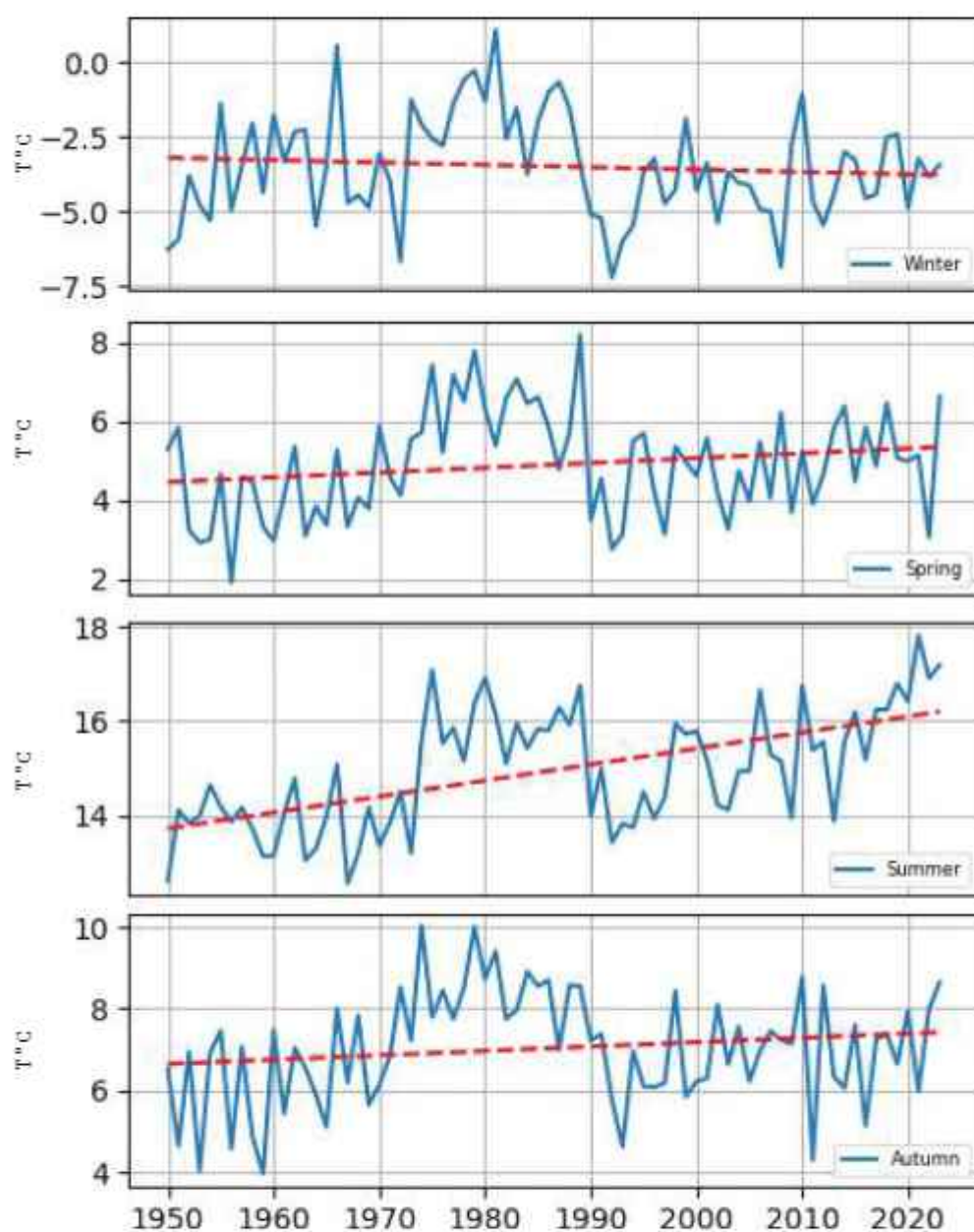


Figure 26. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 47)

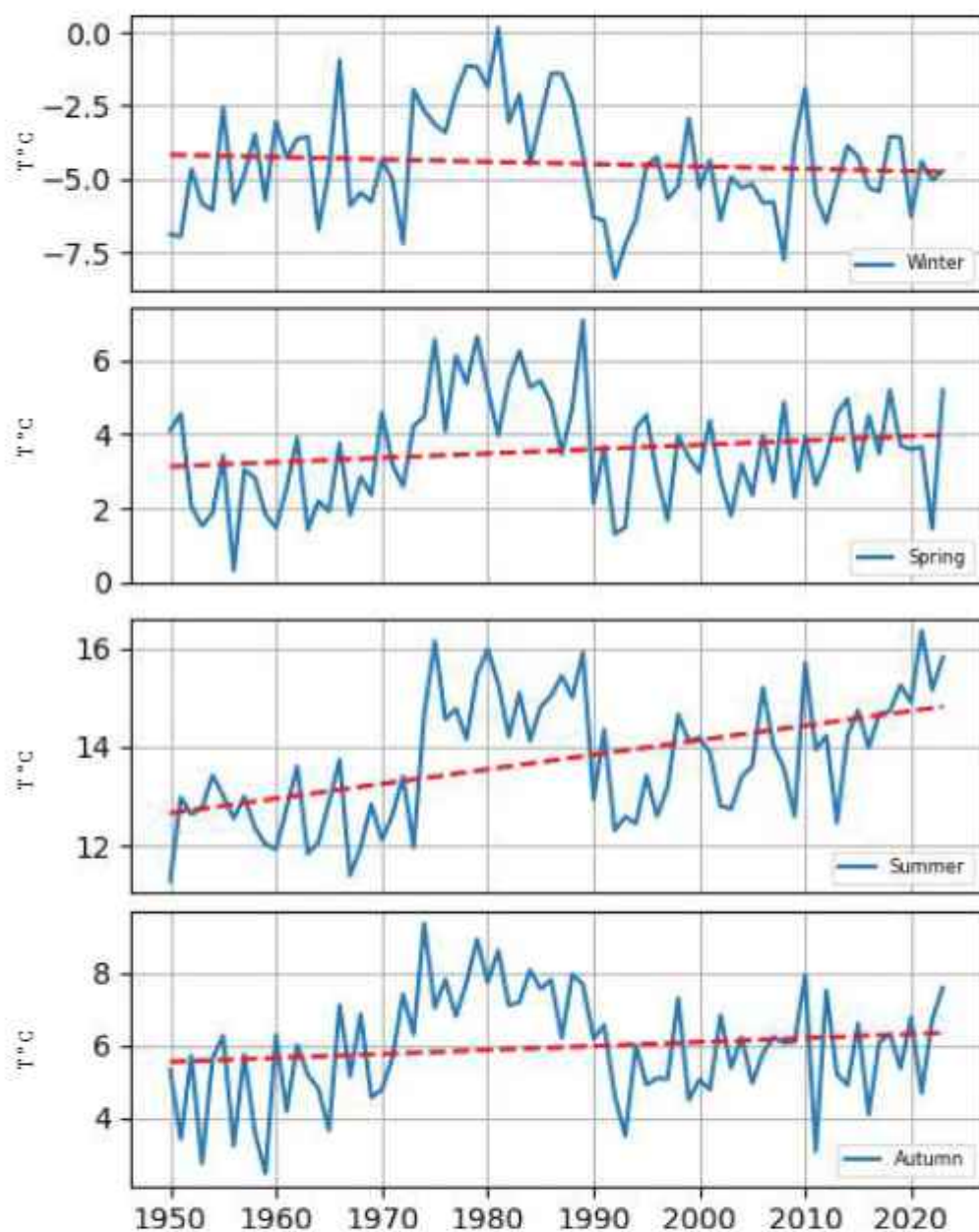


Figure 27. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 55)

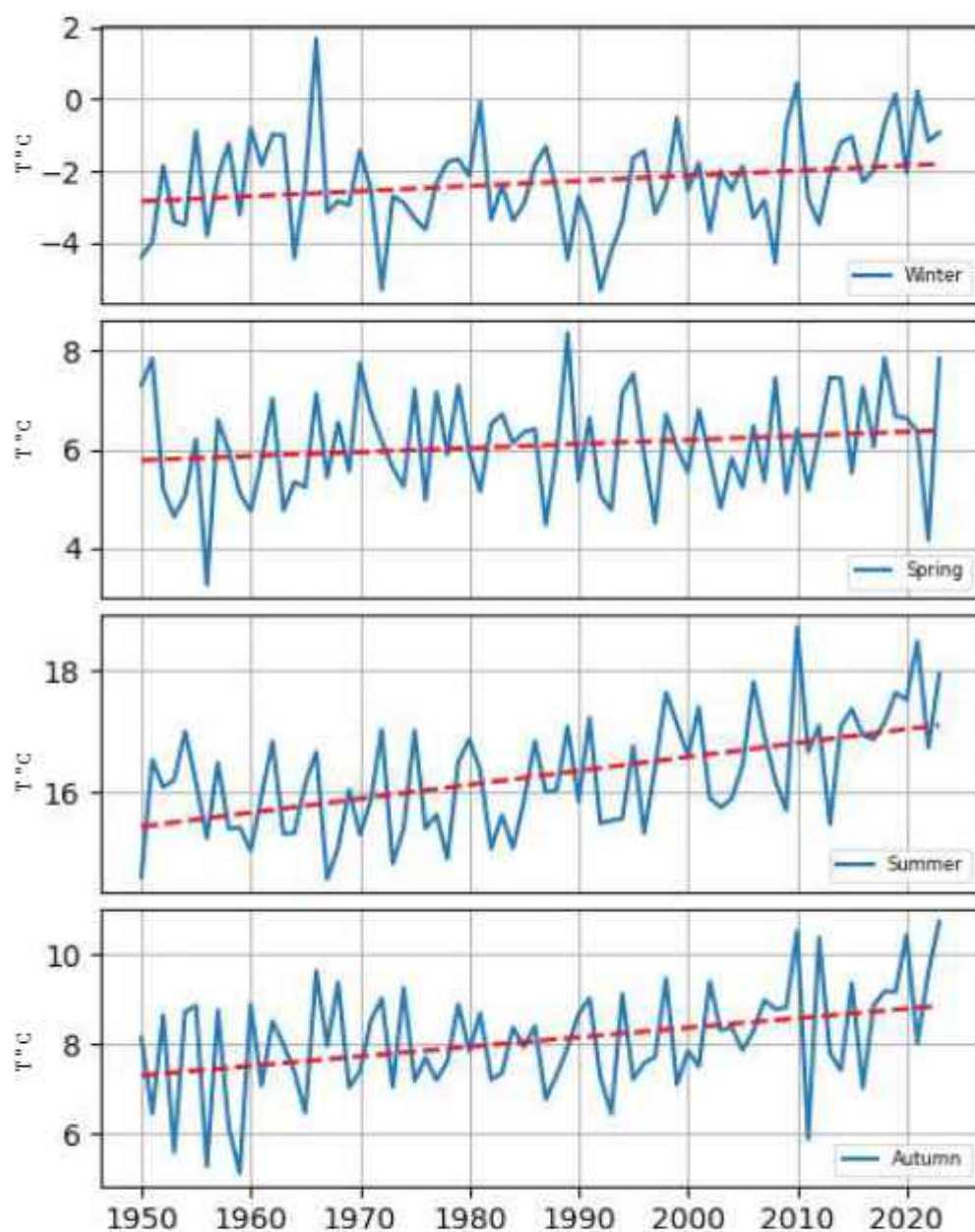


Figure 28. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 50)

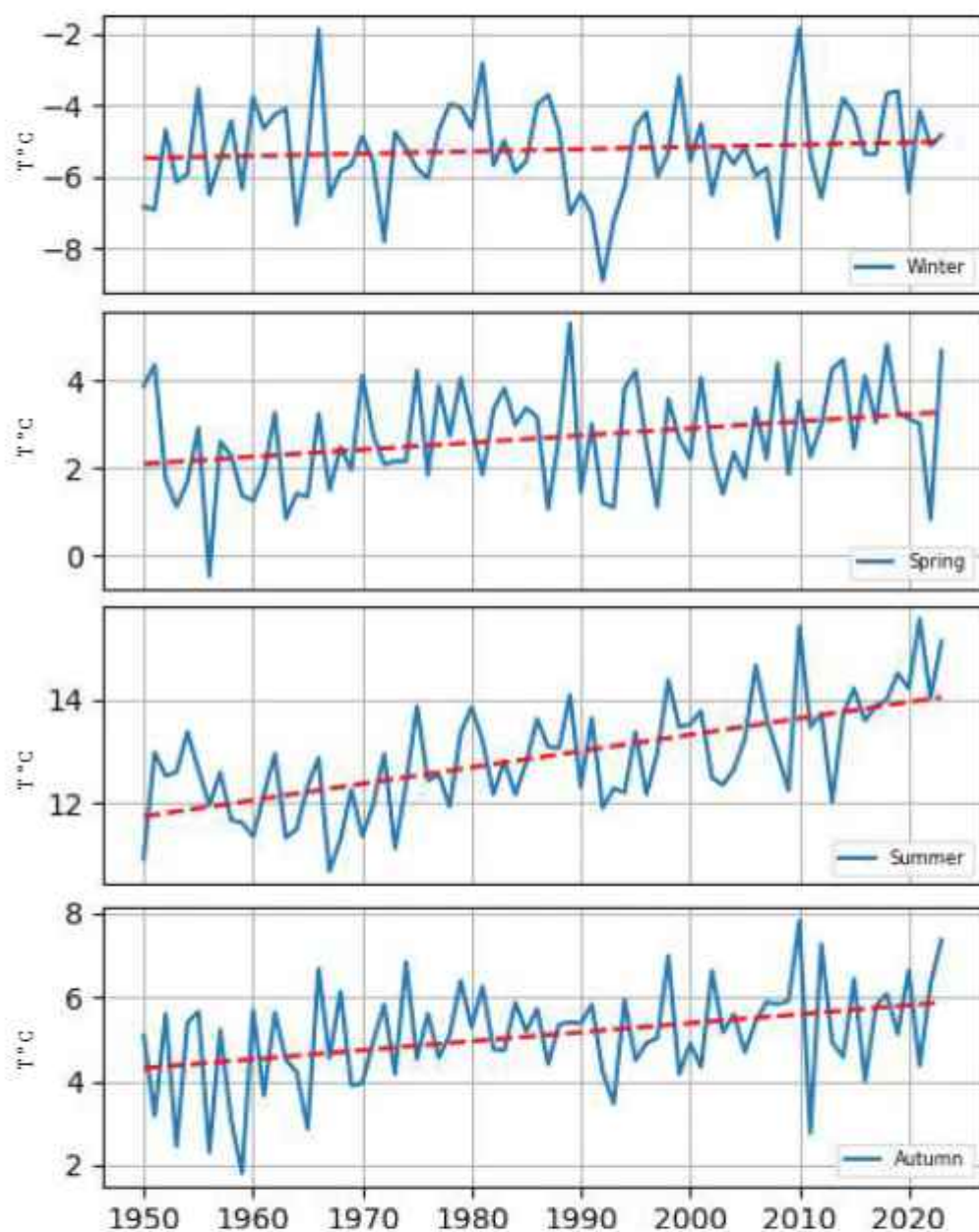


Figure 29. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 62)

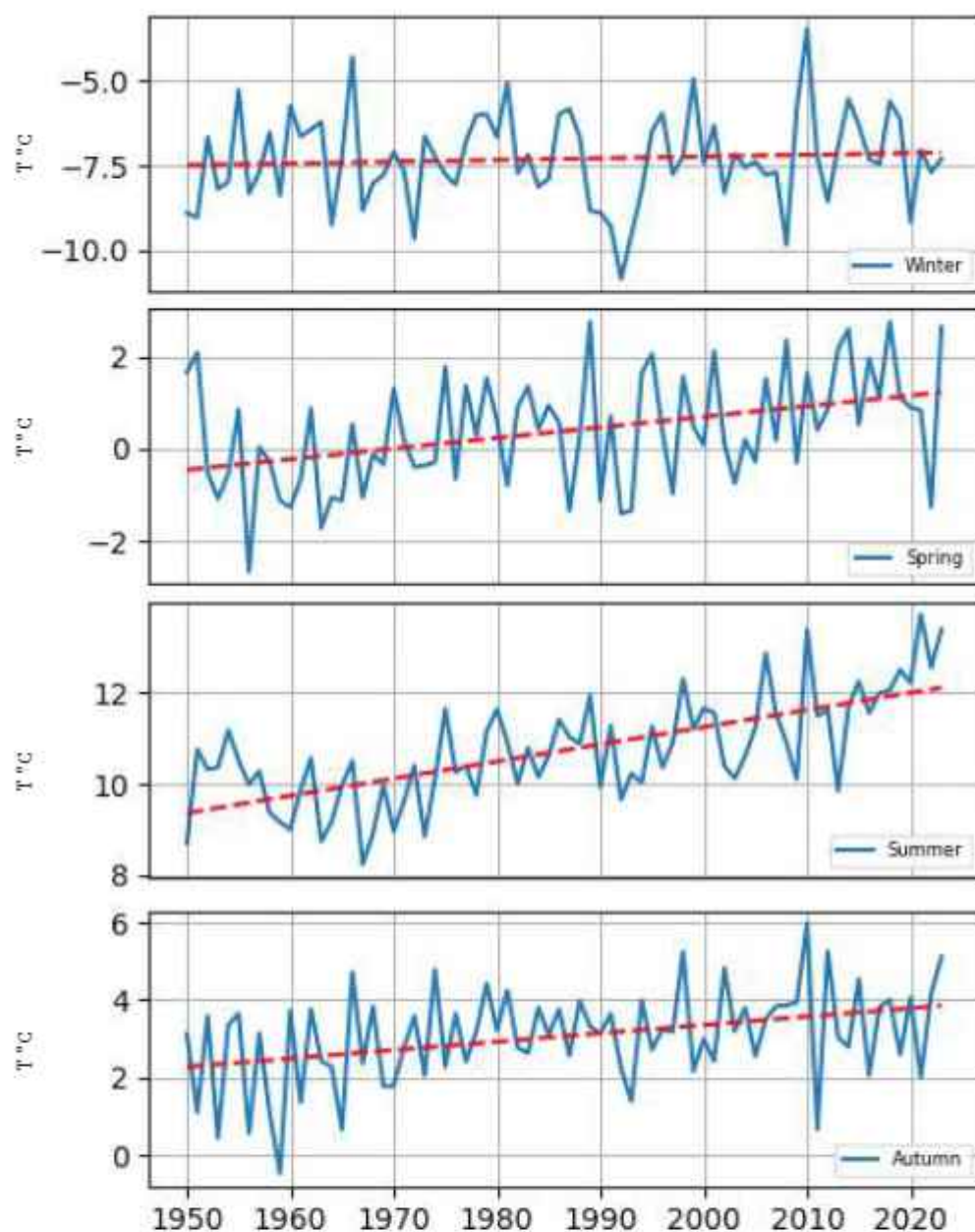


Figure 30. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 75)

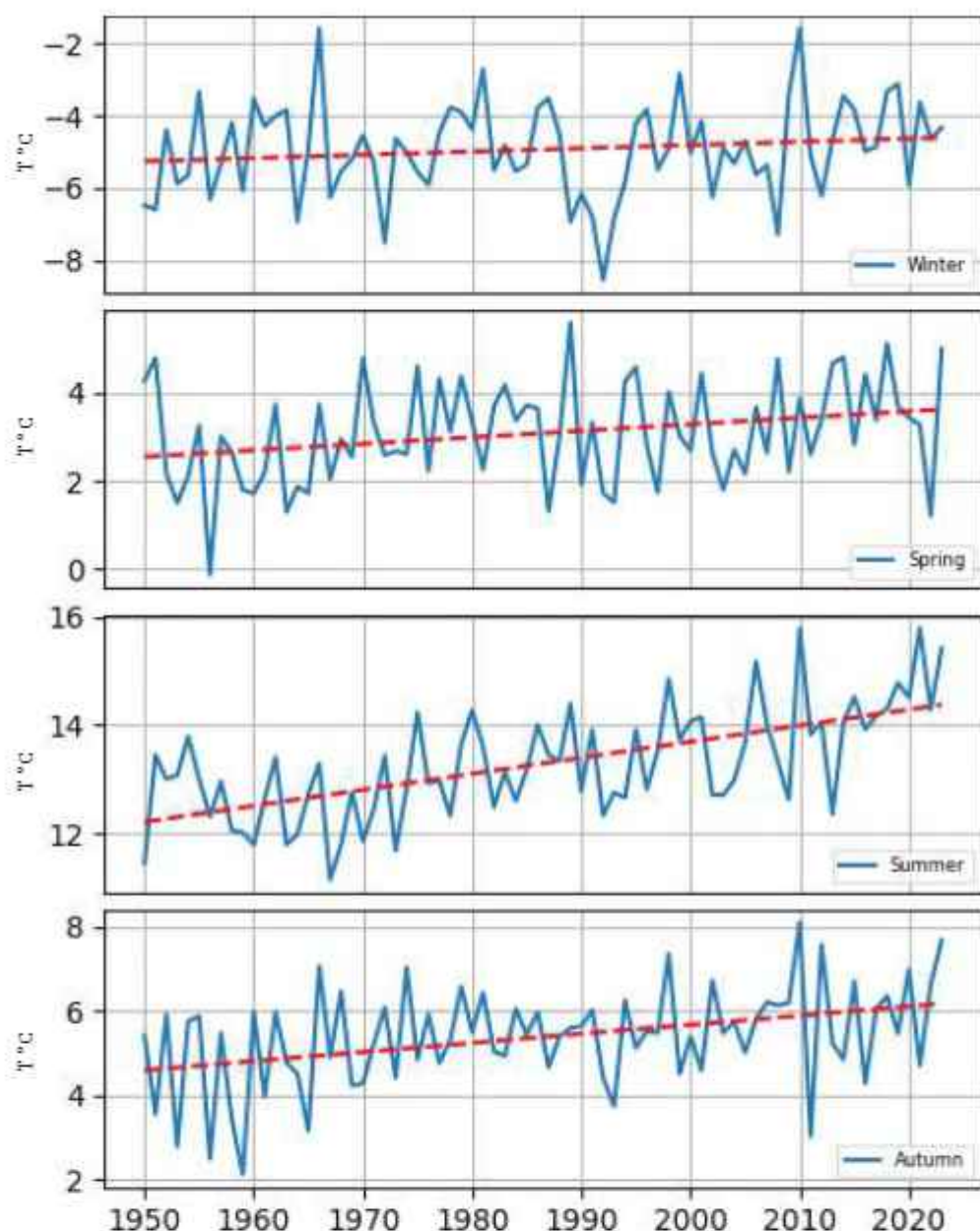


Figure 31. Seasonal changes in average air temperature (Grid point 74)

The graphs show that the average air temperature increases in almost all seasons, with the most significant increase occurring in the summer.

As for positive temperatures, an average of 11°C is maintained throughout all three periods, but there is a shift in climate zones from south to north—in other words, the tropics are expanding northward. A similar trend is observed in the cases of both minimum (Figs. 35–37) and maximum (Figs. 38–40) air temperatures.

As mentioned earlier, the increase in average air temperature is more pronounced in the northern part of the region. The spatial distribution of temperature change is clearly

illustrated in the maps (Figs. 32–34). For map compilation, the study period was divided into three 20-year intervals. Similar to the Mann-Kendall diagrams, the maps clearly show a significant temperature increase in the north. For instance, during the 1961–1980 period, a minimum temperature of -2°C was observed over a fairly large area north of Lake Keli. By the 1981–2000 period, this area decreased, and by 2001–2023, the minimum temperature in this region had risen to 0°C .

Regarding positive temperatures, an average of 11°C is maintained throughout all three periods, but there is a noticeable shift in climate zones from south to north—in other words, the tropics are expanding northward. A similar trend is observed for both minimum (Figs. 35–37) and maximum (Figs. 38–40) air temperatures.

According to various studies, the boundaries of the tropics shift by approximately 0.2–0.3 degrees of latitude per decade, both northward and southward [13]. In the Tskhinvali region, based on our research, the northward movement of natural zones averages around 0.04 degrees.

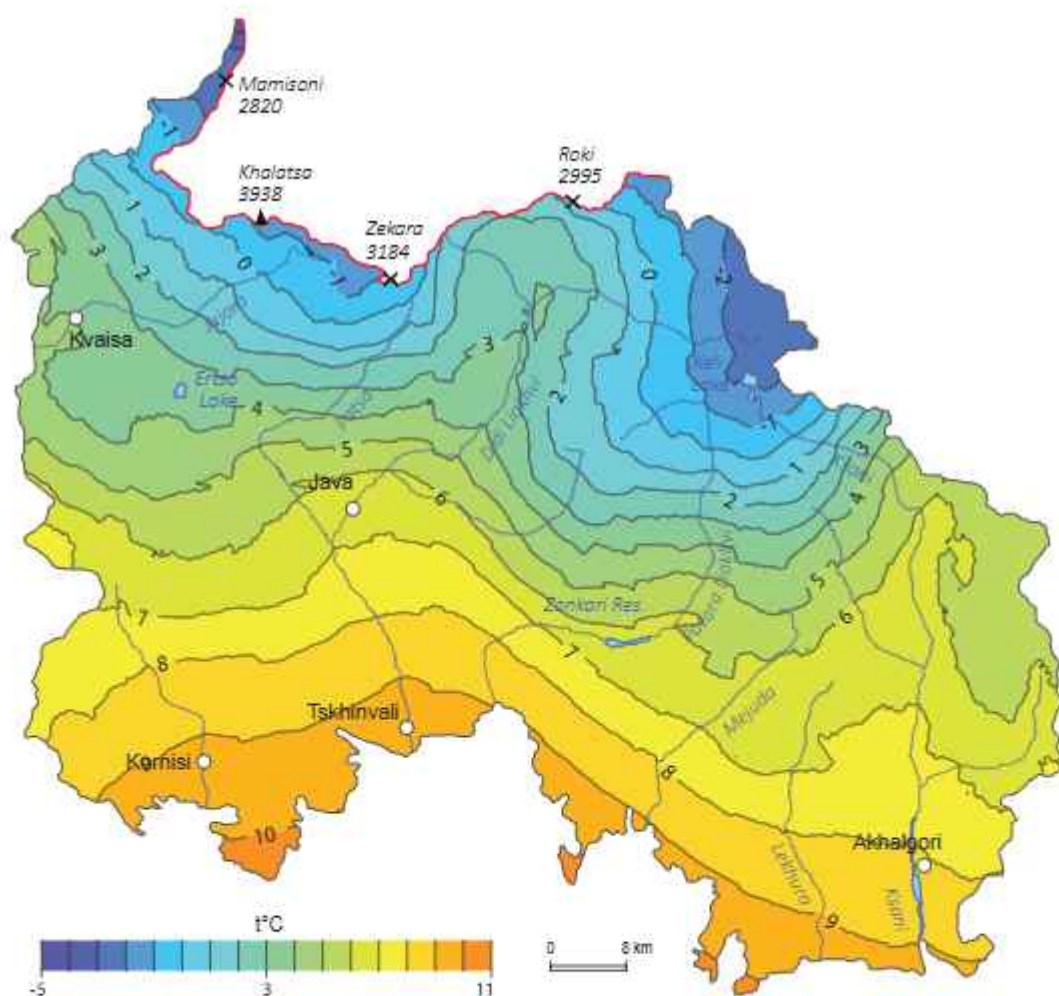


Figure 32. Average air temperature during 1961–1980

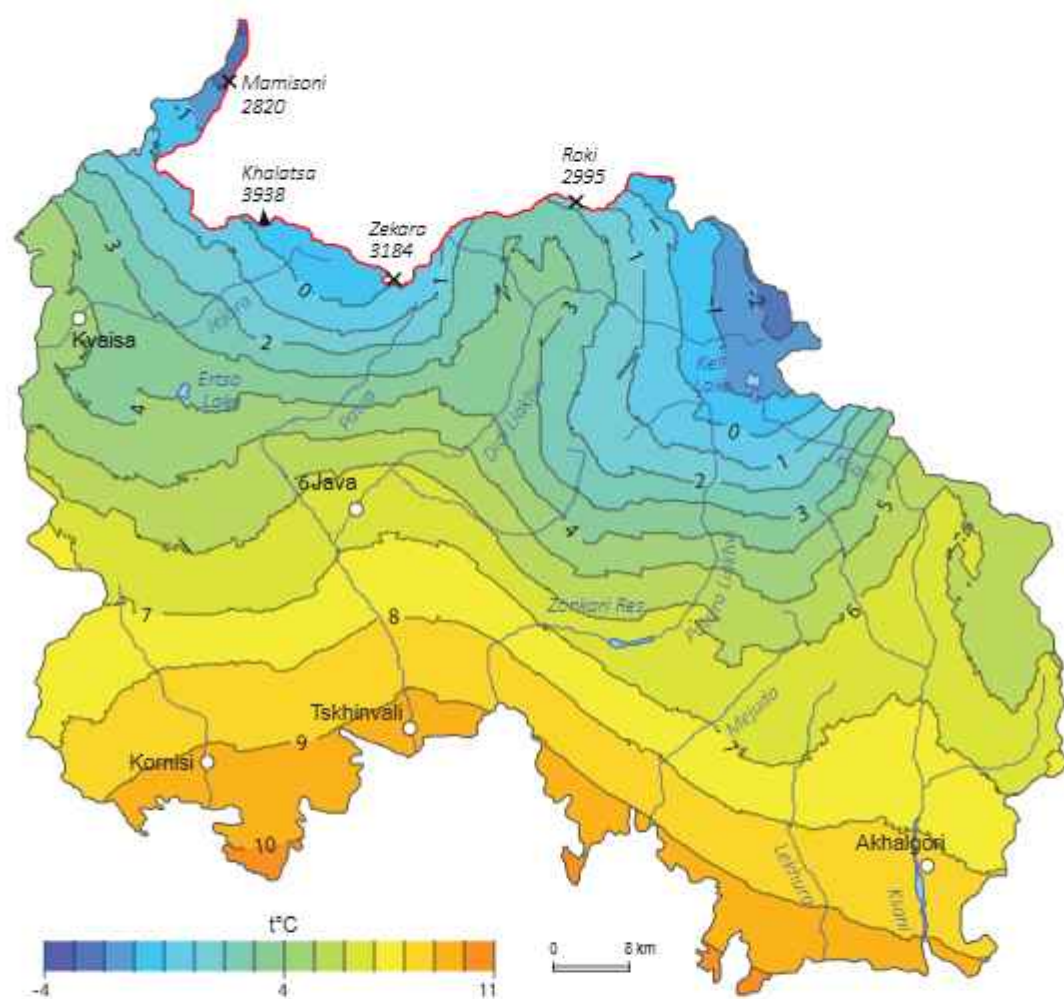


Figure 33. Average air temperature during 1981-2000

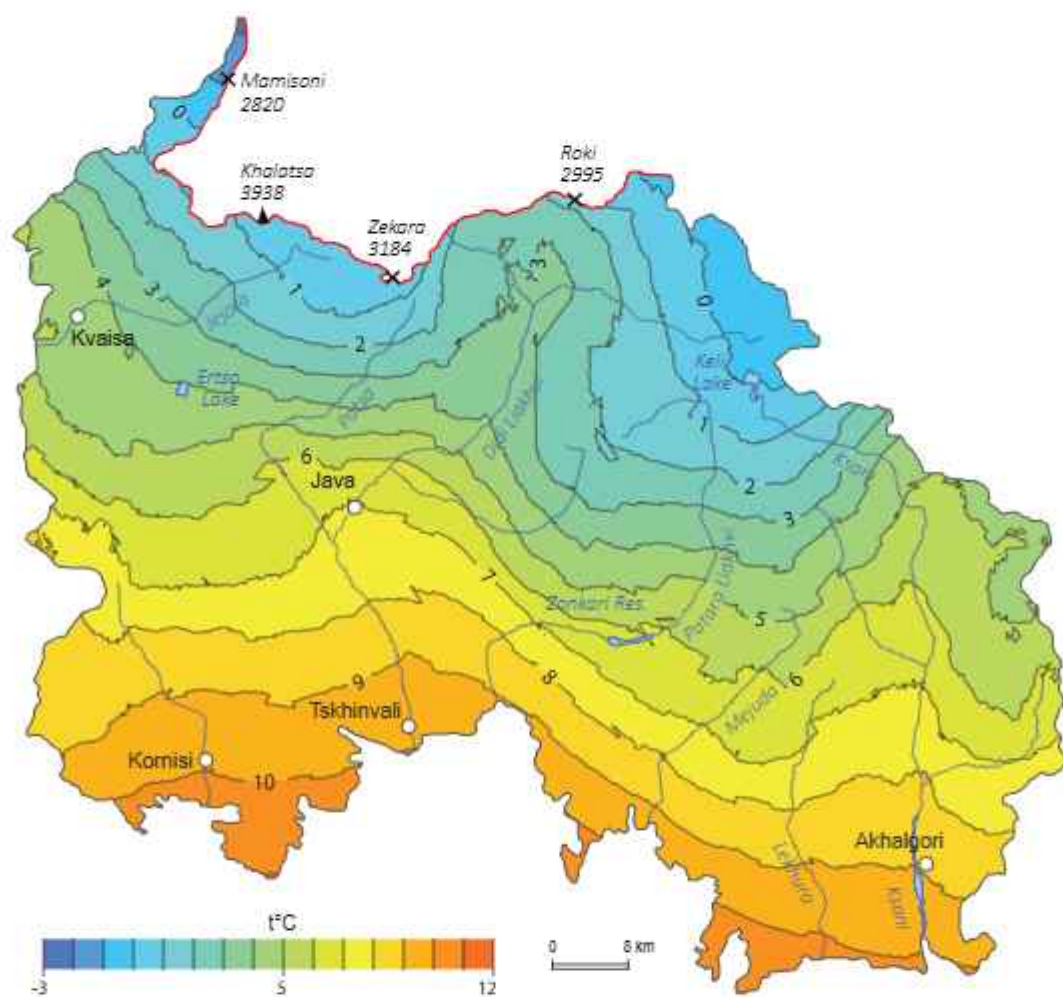


Figure 34. Average air temperature during 2001-2023

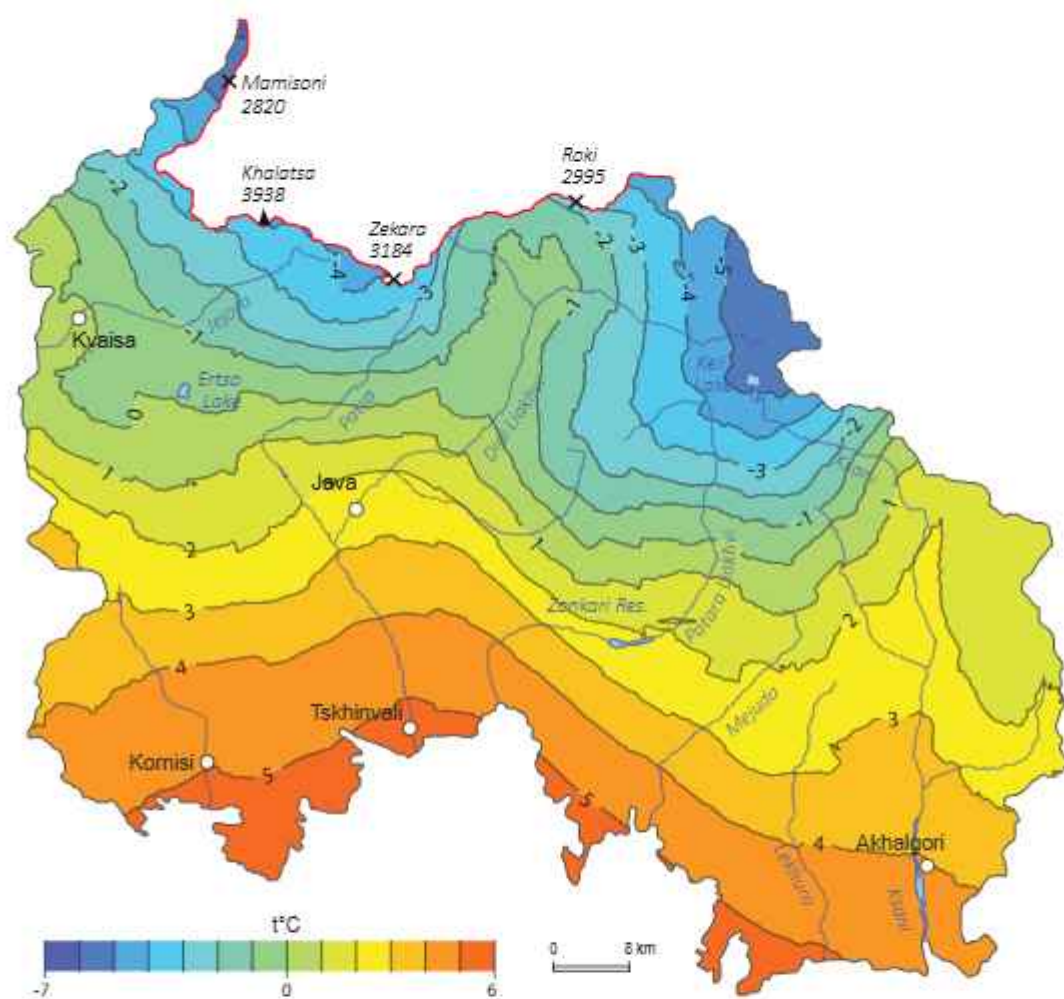


Figure 35. Minimum air temperature during 1961-1980

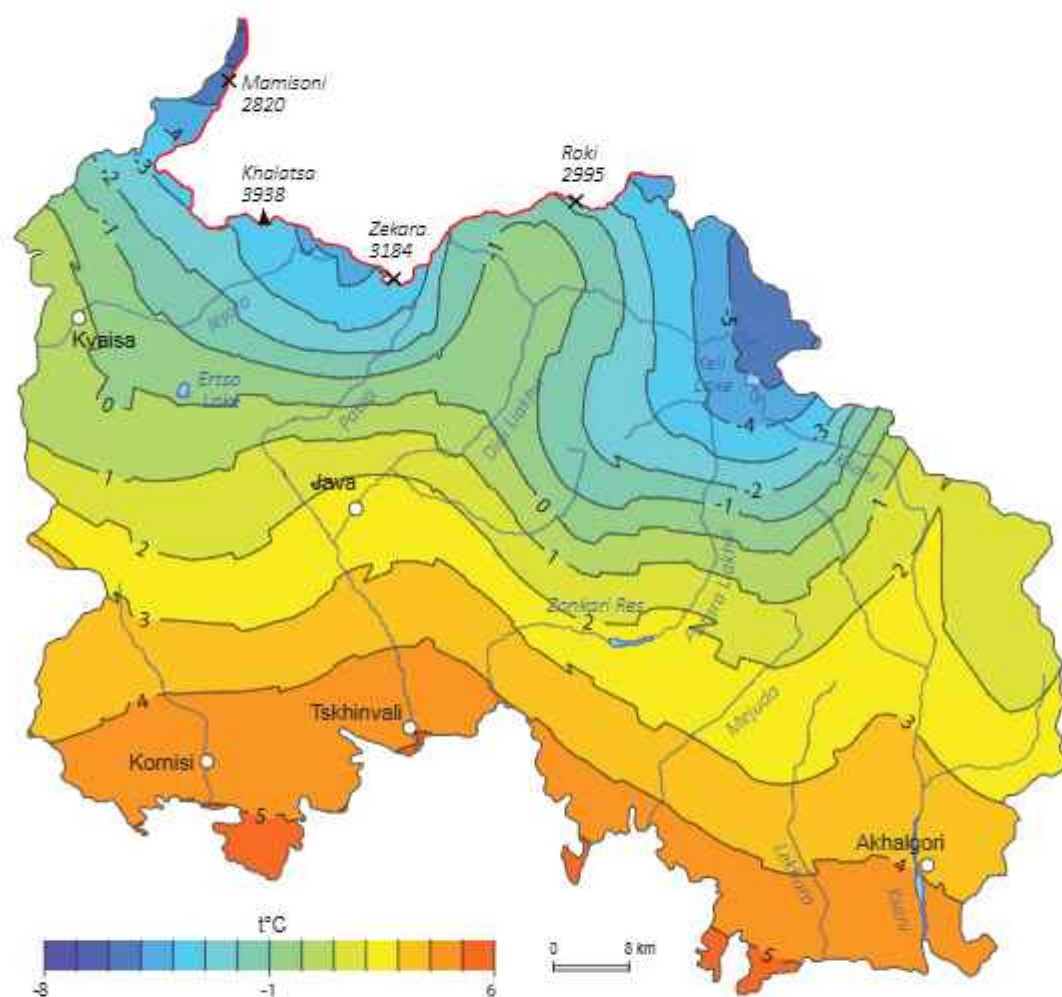


Figure 36. Minimum air temperature during 1981-2000

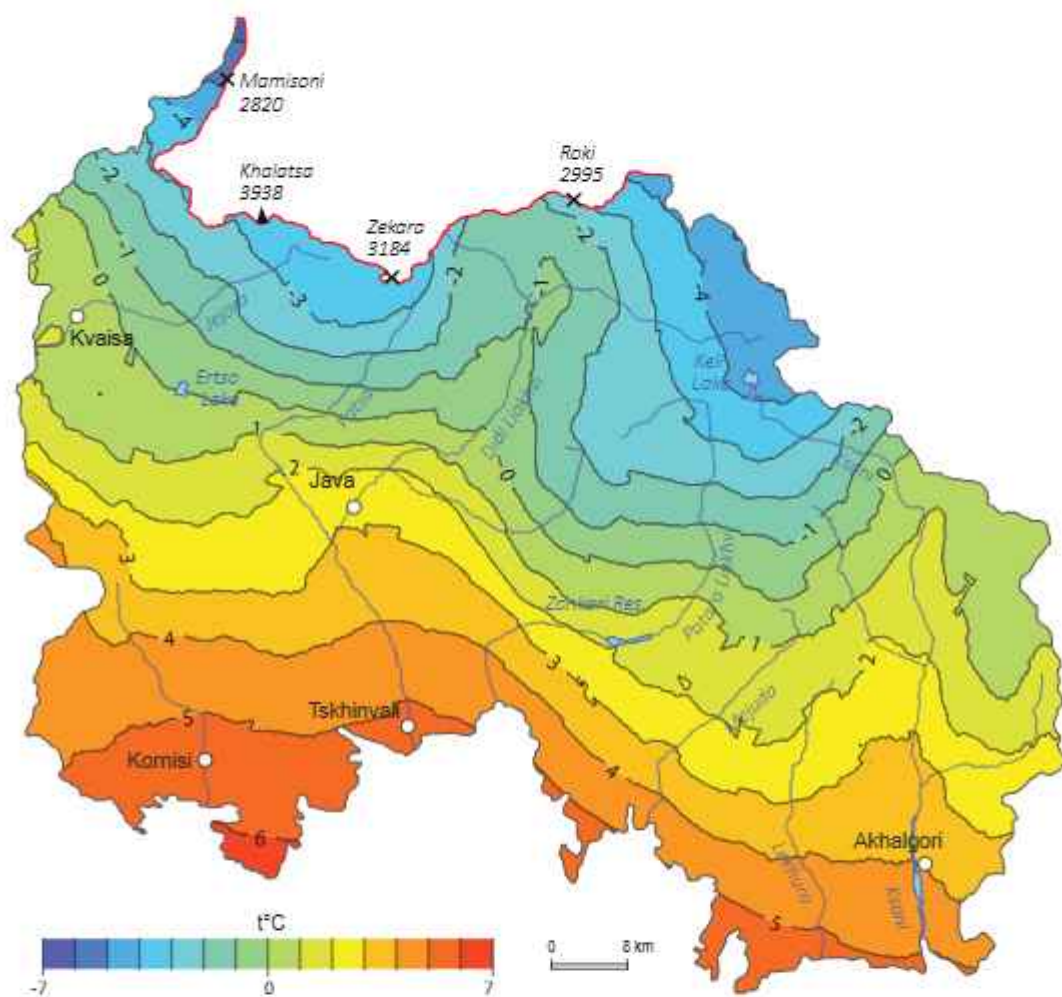


Figure 37. Minimum air temperature during 2001-2023

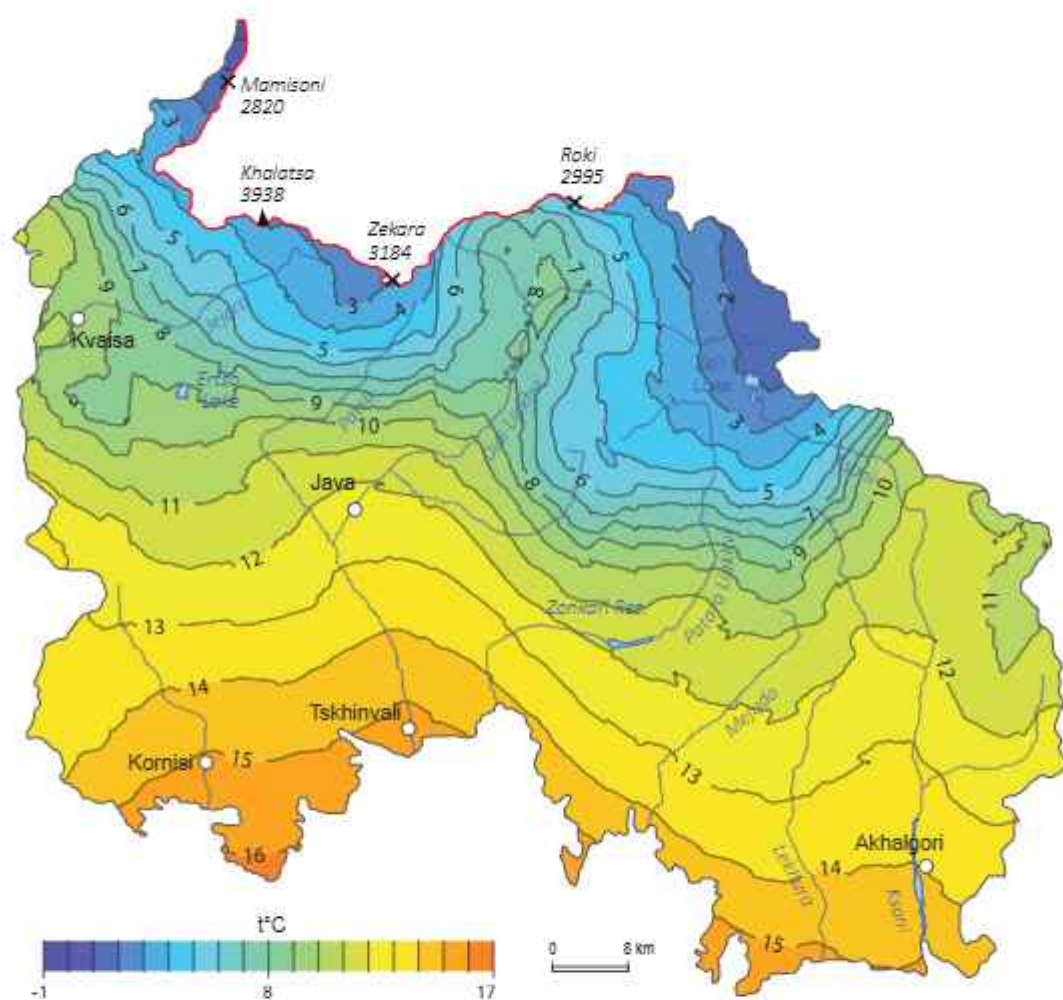


Figure 38. Maximum air temperature during 1961-1980

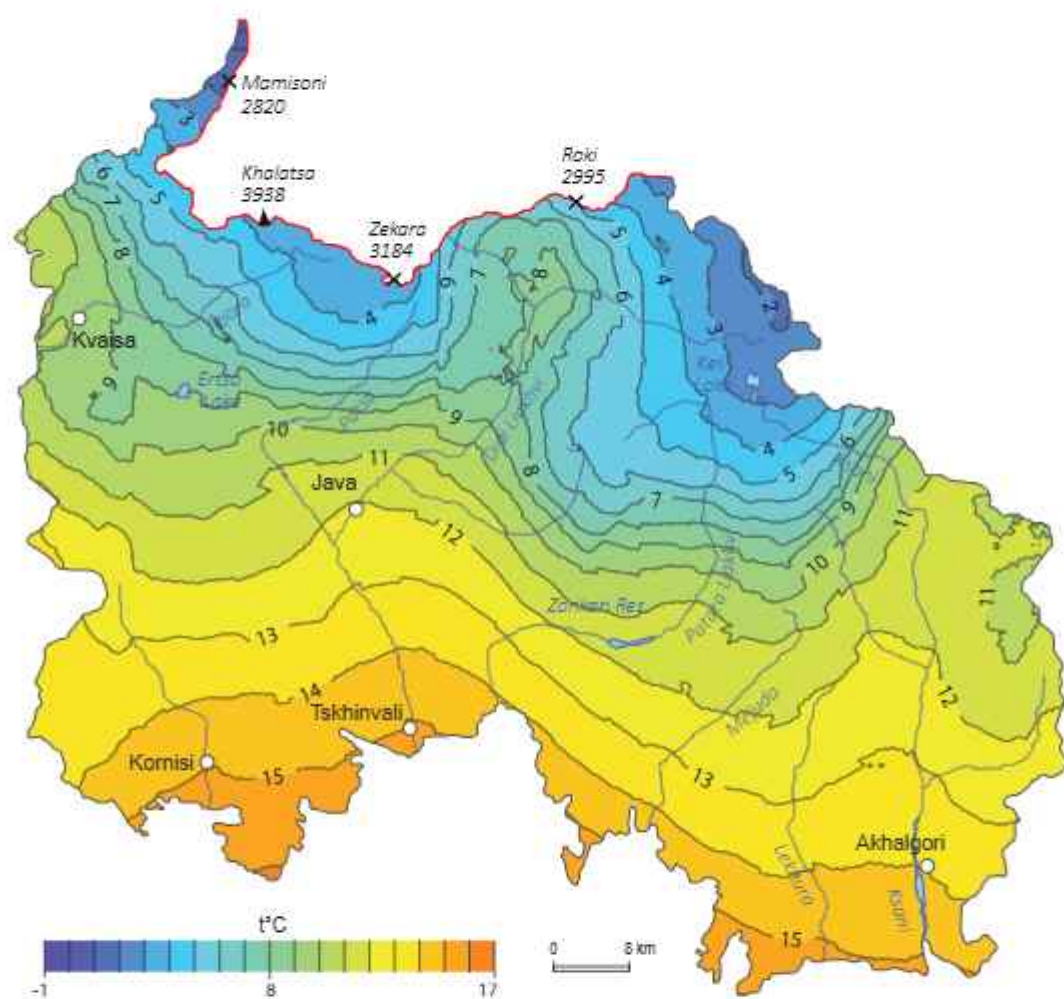


Figure 39. Maximum air temperature during 1981-2000

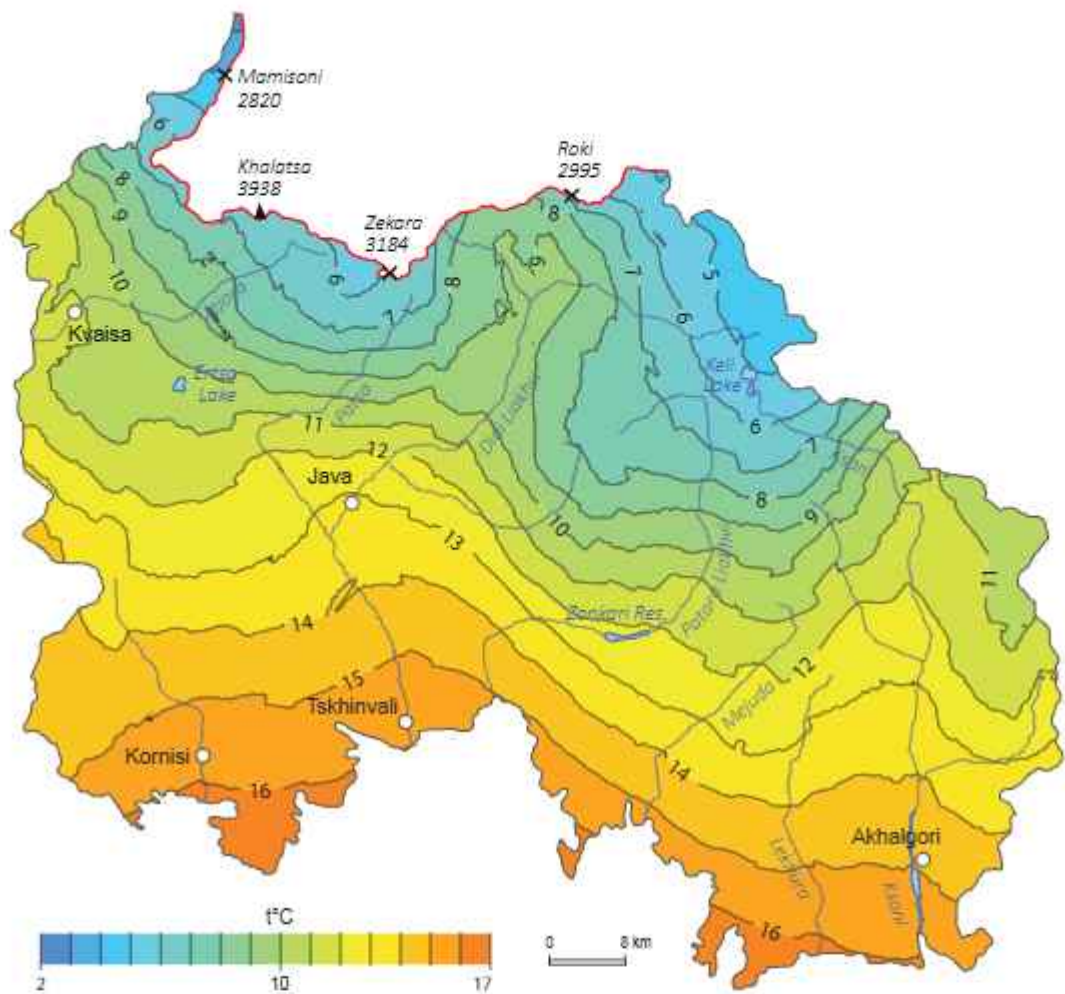


Figure 40. Maximum air temperature during 2001-2023

Based on the analysis of the Mann-Kendall tests and maps, it can be concluded that temperatures in the Tskhinvali region are rising, a trend that is expected to become even more pronounced in the future. This increase in temperature will have negative impacts on both the environment and the social sphere.

4.2. Heatwaves

As a result of climate change, not only is the number of sunny days increasing, but so is the number of hot days and nights. Prolonged exposure to high temperatures can have numerous negative effects, including crop damage, increased risk of forest fires, livestock deaths, and more. Heatwaves linked to global warming also have a significant impact on human health, and this effect is intensifying.

When nighttime temperatures remain higher than average, it interferes with the body's

ability to regulate its temperature. Prolonged exposure to heatwaves can lead to gradual exhaustion as the body continuously adapts to these extreme conditions. If nighttime temperatures exceed 22–24°C and daytime temperatures reach 32–34°C or higher, the body struggles to return to its natural temperature. This is especially challenging for children, the elderly, pregnant women, and individuals with chronic illnesses.

The number of heatwaves was calculated for the Tskhinvali region. According to the World Meteorological Organization (WMO), heatwaves (extreme heat) are defined as periods during which the air temperature exceeds the average maximum temperature by 5°C or more for five consecutive days. The WMO considers the years 1961–1990 as the baseline period. Therefore, the study period was divided into two 30-year intervals: 1961–1990 and 1991–2023.

For the study region, the average multi-year maximum temperatures for the summer months were calculated for the grid points. For example, the city of Tskhinvali had an average of 25.7°C. The number of heatwave (extremely hot) days is shown in Table 3. As indicated in the table, such days were relatively few during the 1961–1990 period. However, in the subsequent period (1991–2023), their frequency has significantly increased.

Table 3. The number of extremely hot days

Grid point number	Average maximum temperature in summer (July–August), °C	The number of extremely hot days	
		1961–1990	1991–2023
20	27.56587	1	18
21	26.91354	1	21
22	26.4538	2	21
23	26.23718	2	22
28	26.90431	1	15
29	27.45727	1	15
30	27.5514	1	14
31	26.62489	2	16
32	25.03876	1	21
33	24.27663	2	22
34	24.90133	1	21
35	23.9246	2	21
38	24.02568	2	14
39	25.31228	3	13
40	25.23006	1	13
41	25.72286	0	13
42	25.75789	0	15
43	23.16023	1	22
44	22.96811	2	23
45	21.97644	2	22
46	23.49887	1	22
47	21.90336	3	21

50	23.74767	2	17
51	22.32422	3	25
52	22.46325	2	24
53	23.99515	1	21
54	22.30323	2	21
55	20.60626	6	24
56	20.25838	7	21
57	19.30595	6	25
58	21.8165	4	20
59	20.38971	10	18
62	20.10948	1	27
63	20.26669	1	28
64	21.34224	2	26
65	20.72356	2	25
66	19.97121	2	25
67	15.55742	2	37
68	15.85568	2	37
69	14.48645	1	40
70	19.26685	5	20
74	20.86512	1	27
75	17.50489	0	35
76	15.01541	0	41
77	14.10301	0	40
78	18.46516	3	32
79	18.77883	3	26
80	14.99526	1	37
81	12.40967	1	37
86	16.91003	0	36
87	15.03074	0	39

4.3. Hot Days

According to the World Meteorological Organization, a hot day is defined as a day when the daily maximum temperature exceeds 30°C.

The number of hot days in the study region has significantly increased since 2001. While there were only 16 hot days in the first period (1961–1980), this number rose to 18 in the second period (1981–2001), and to 35 in the third period (2001–2023) (Figs. 41–43). The spatial distribution of hot days, as shown on the maps, indicates that the number of hot days has primarily increased in the southern, low-mountainous part of the region. Additionally, there is a shift in climate zones from south to north, averaging about 0.04 degrees.

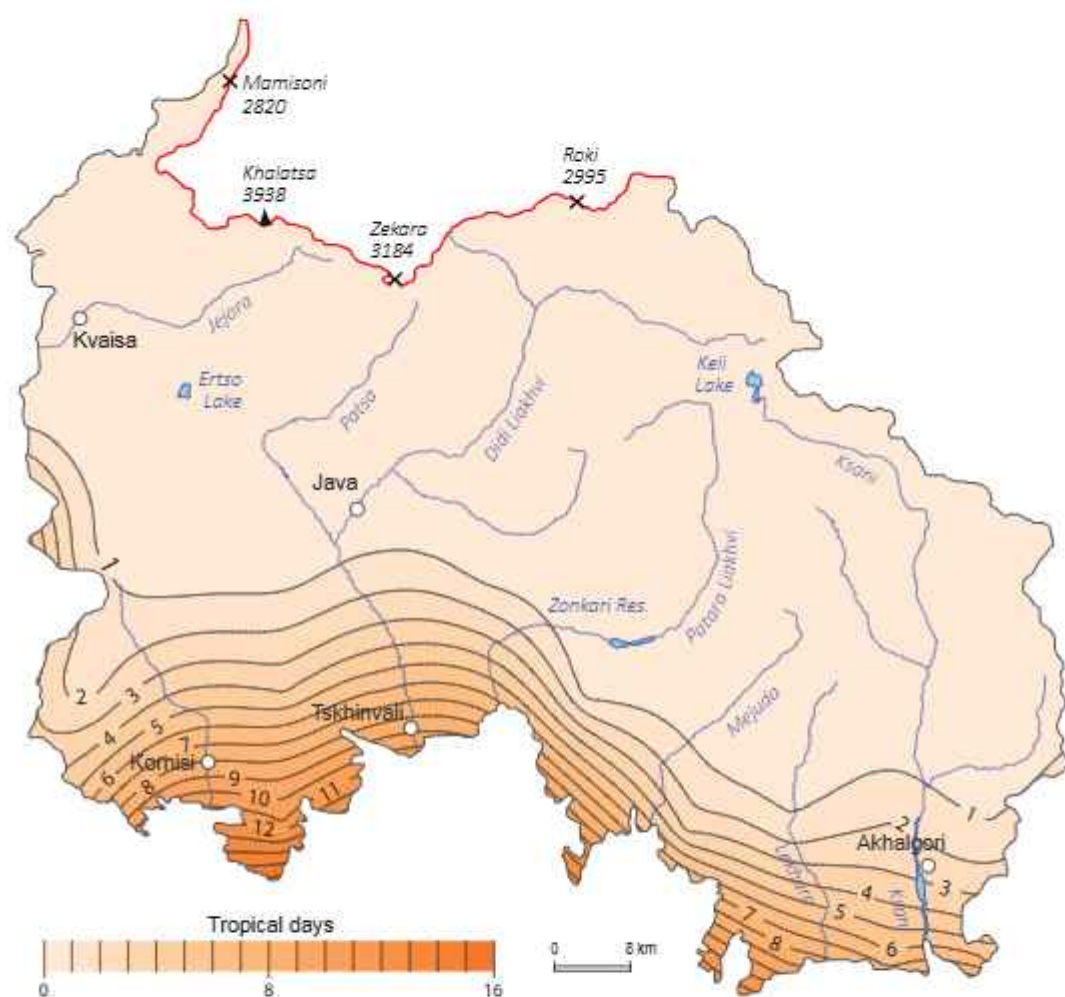


Figure 41. Hot days during 1961-1980

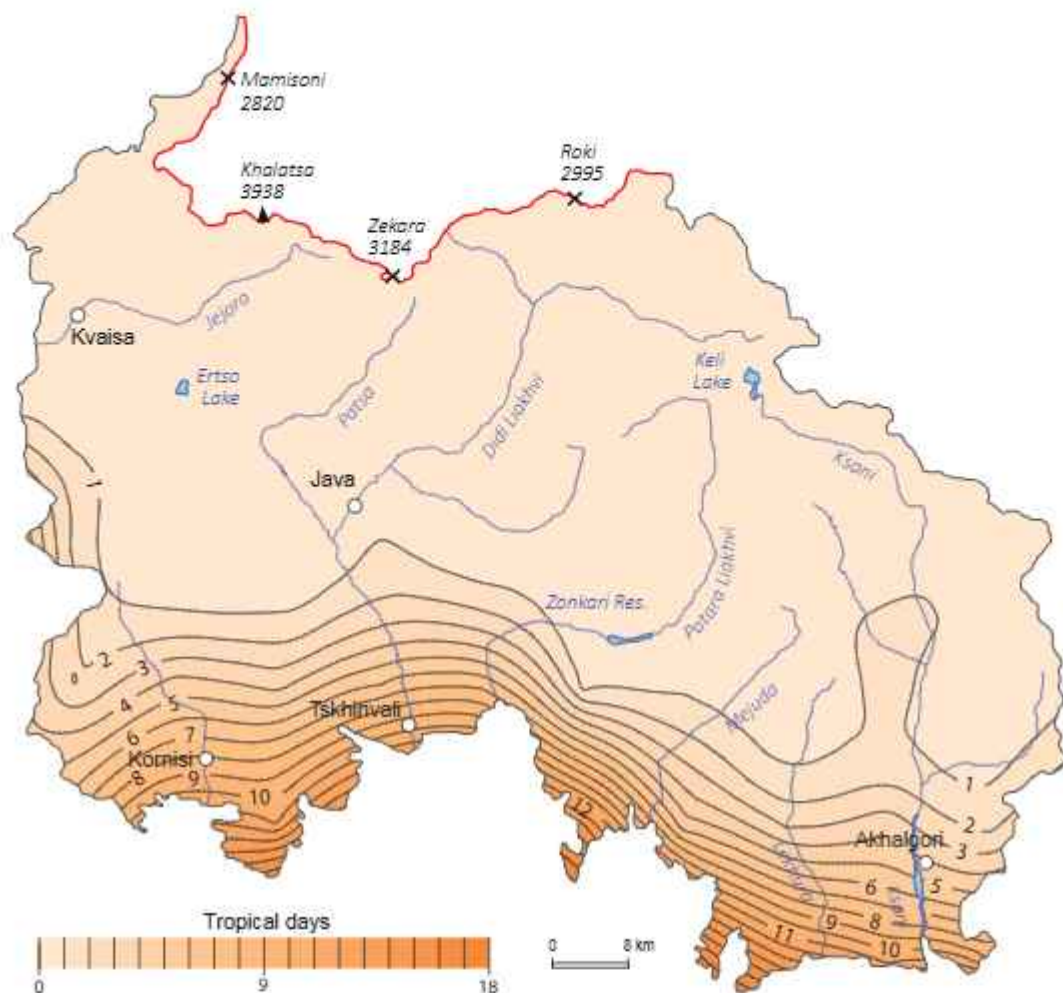


Figure 42. Hot days during 1981-2000

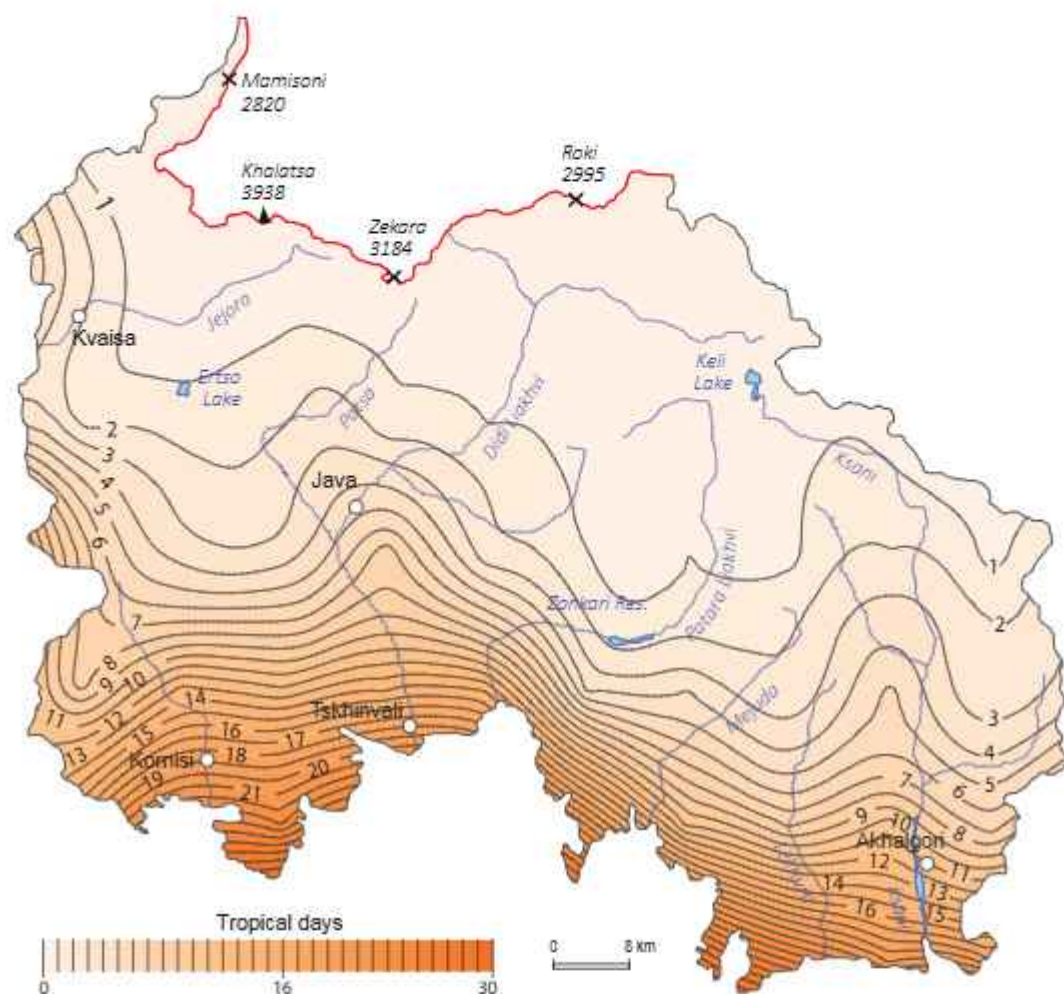


Figure 43. Hot days during 2001-2023

4.4. Tropical Nights

As a result of global warming, nighttime temperatures have risen along with daytime temperatures. According to the World Meteorological Organization [10], a tropical night is defined as a night when the minimum air temperature does not drop below 20°C . These warm nights are often associated with high daytime temperatures (hot days) during the summer. The specific temperature threshold for tropical nights can vary by country – for example, it is 20°C in most European countries, while in the United States, it is 27°C . In this study, a threshold of 20°C is used.

For the Tskhinvali region, the 60-year period was divided into three 20-year intervals, and maps of tropical nights were created (Figs. 44–46). As shown in the maps, during the first two periods (1961–1980 and 1981–2000), the average number of tropical nights was 1.8 days. In the third period (2001–2023), a slight increasing trend is observed, with the number rising to 4.5 days.

Tropical nights can have negative effects on human health.

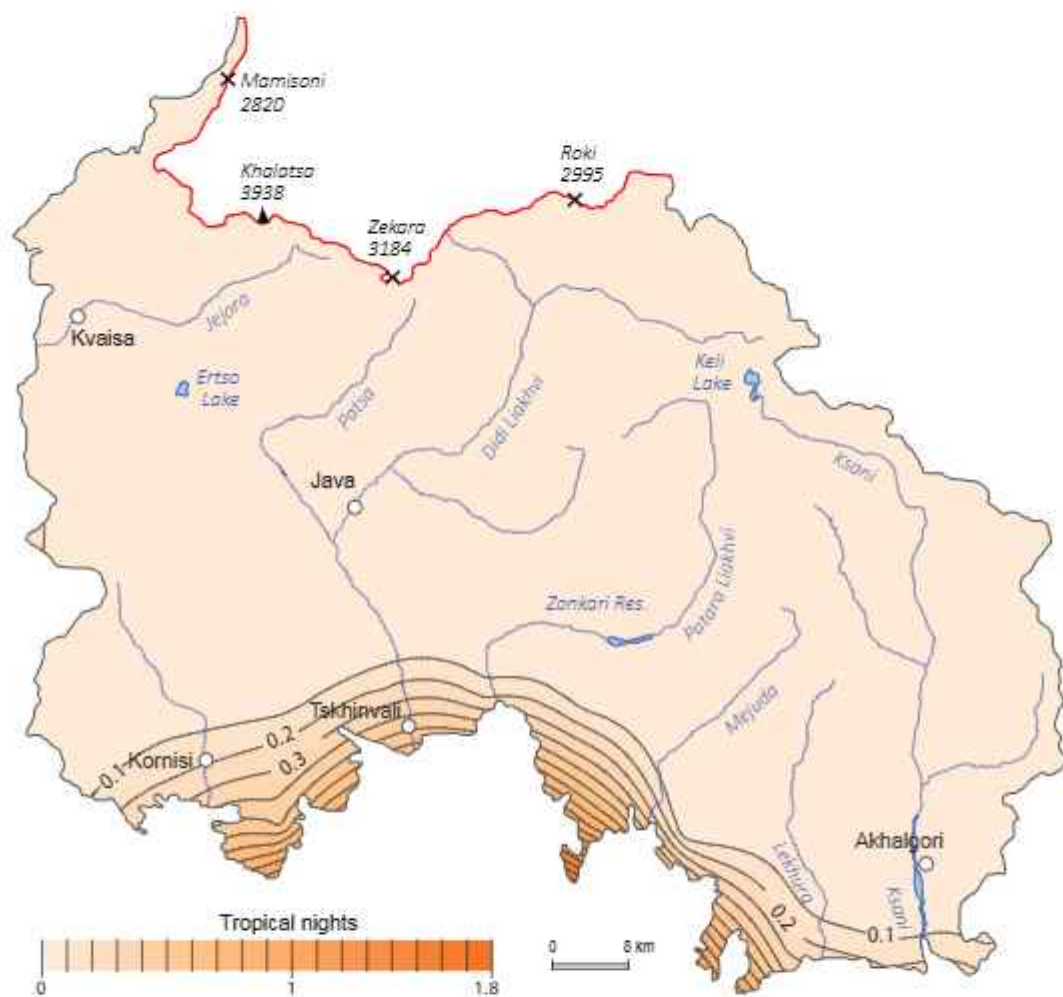


Figure 44. Tropical nights during 1961-1980

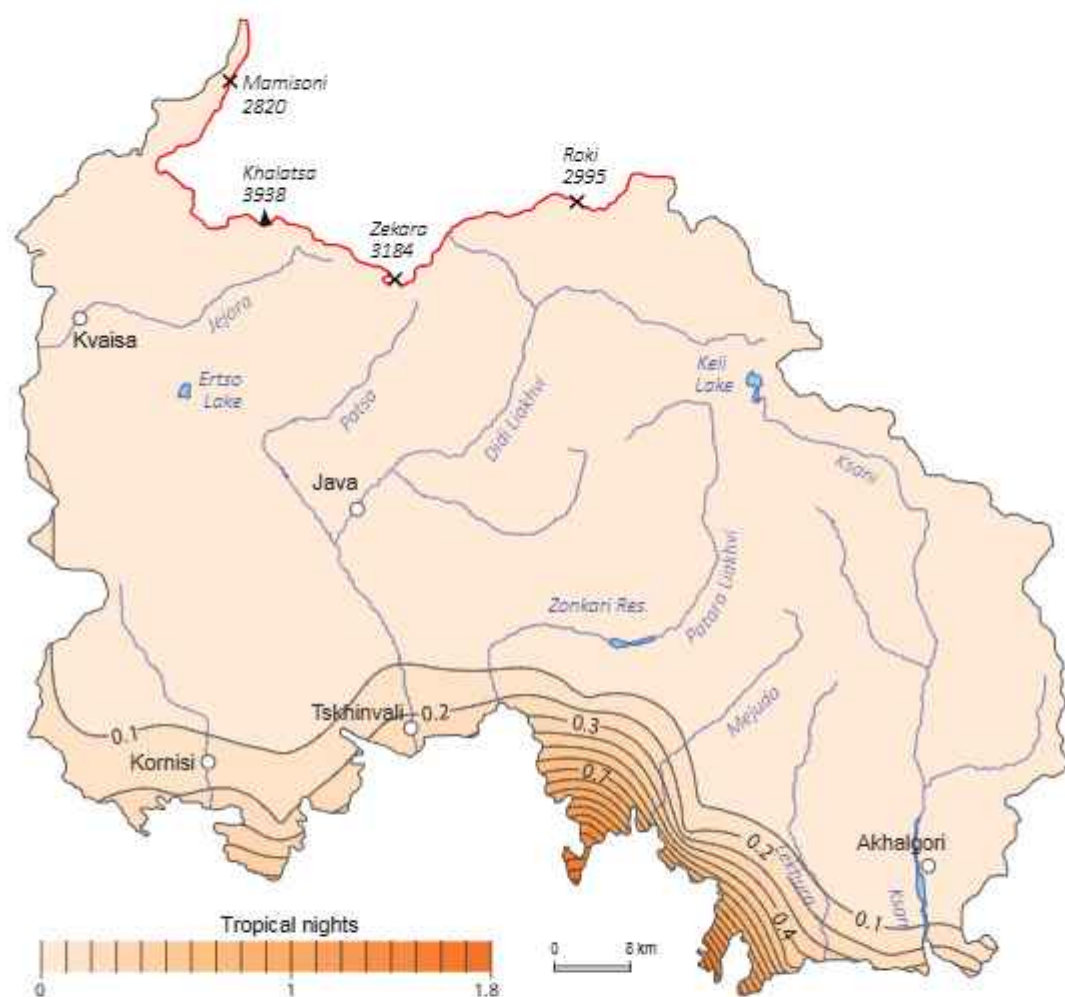


Figure 45. Tropical nights during 1981-2000

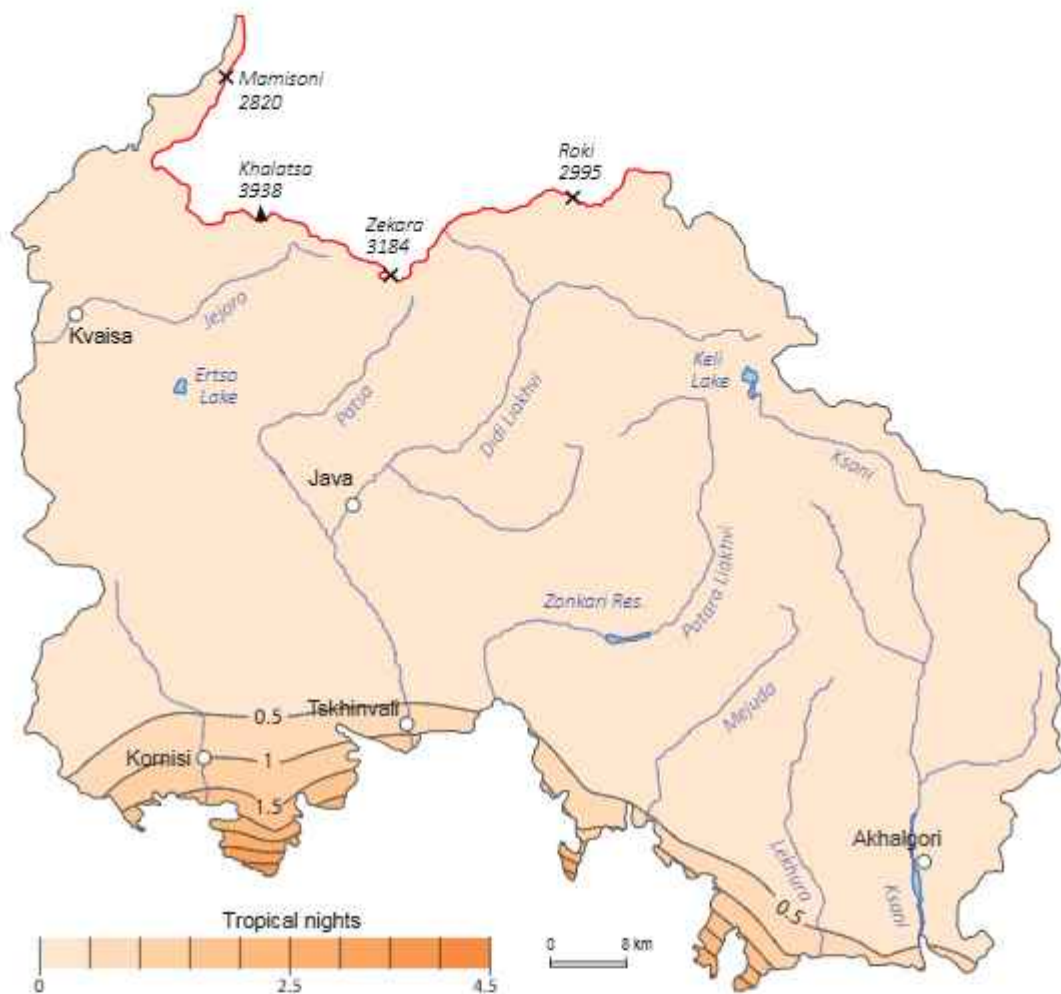


Figure 46. Tropical nights during 2001-2023

4.5. Multi-Year Trends in Freezing and Icy Days

Freezing occurs when the daily minimum air temperature falls below 0°C . When the daily maximum air temperature remains below 0°C , the day is classified as an icy day [10]. Since freezing typically occurs at night, it is also referred to as nighttime freezing.

To determine long-term trends in freezing and icy days in the Tskhinvali region, data points were selected from various climate types present in the area. The Mann-Kendall test was used to analyze the data. The selected points, representing all existing climate types in the region, are shown in Fig. 7.

The Mann-Kendall test results (Figs. 47–56) indicate a decreasing trend in freezing days across the region. This is consistent with the previously identified trend of increasing minimum air temperatures (Figs. 35–37), making it less common for daily minimum temperatures to drop below 0°C .

Climate type: A moderately humid climate with moderately cold winters, long warm summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 47-48).

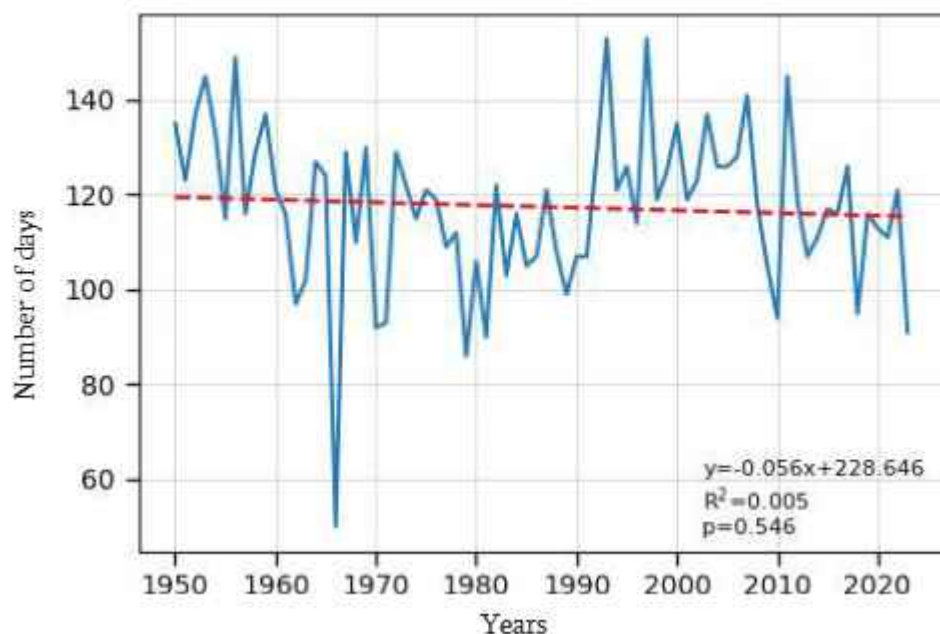


Figure 47. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 41)

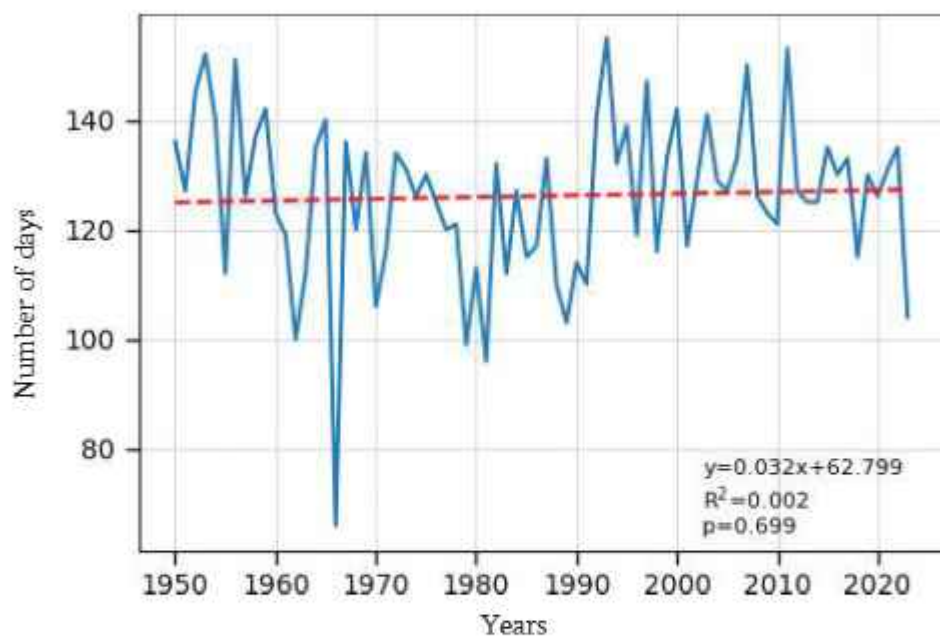


Figure 48. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 34)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, long cool summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 49-50)

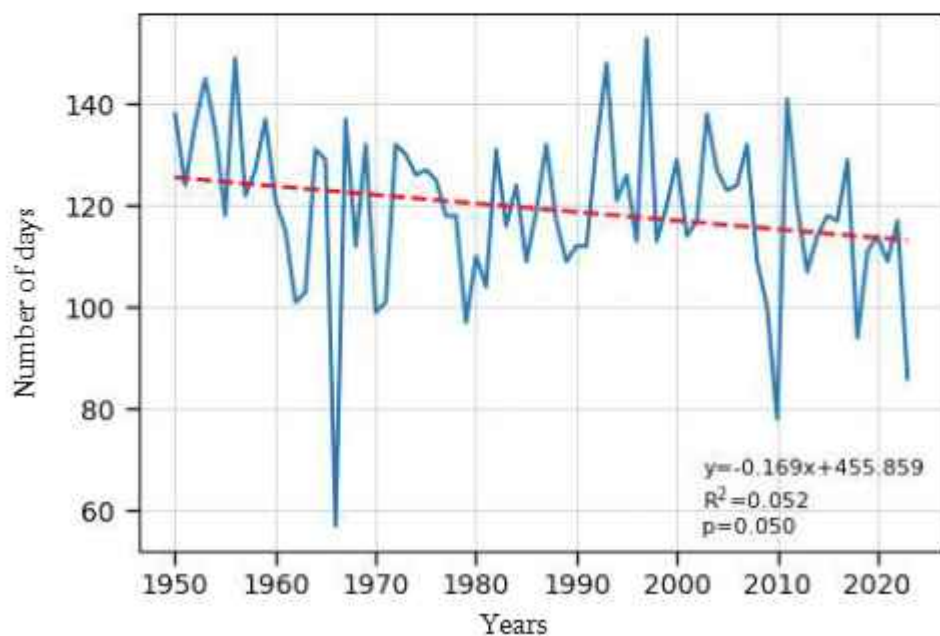


Figure 49. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 39)

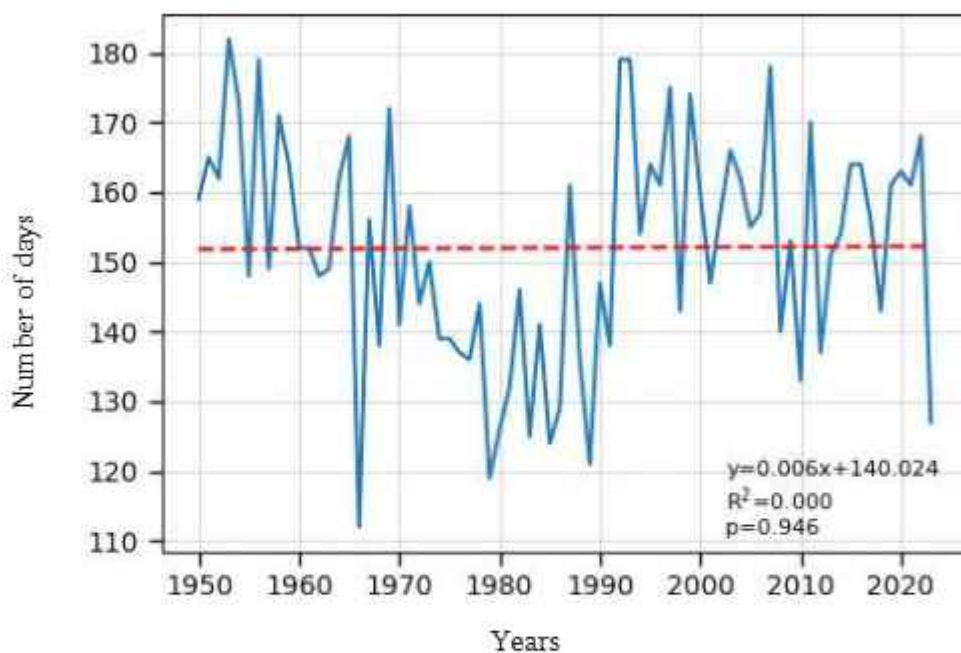


Figure 50. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 54)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, short summers, and minimal precipitation during the winter months (Figs. 51-52)

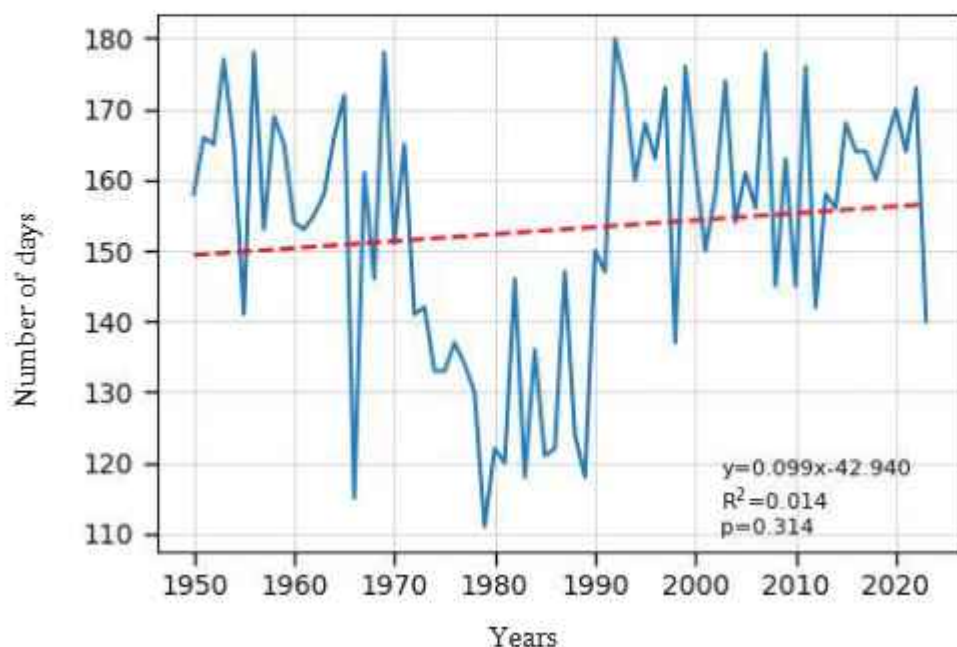


Figure 51. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 47)

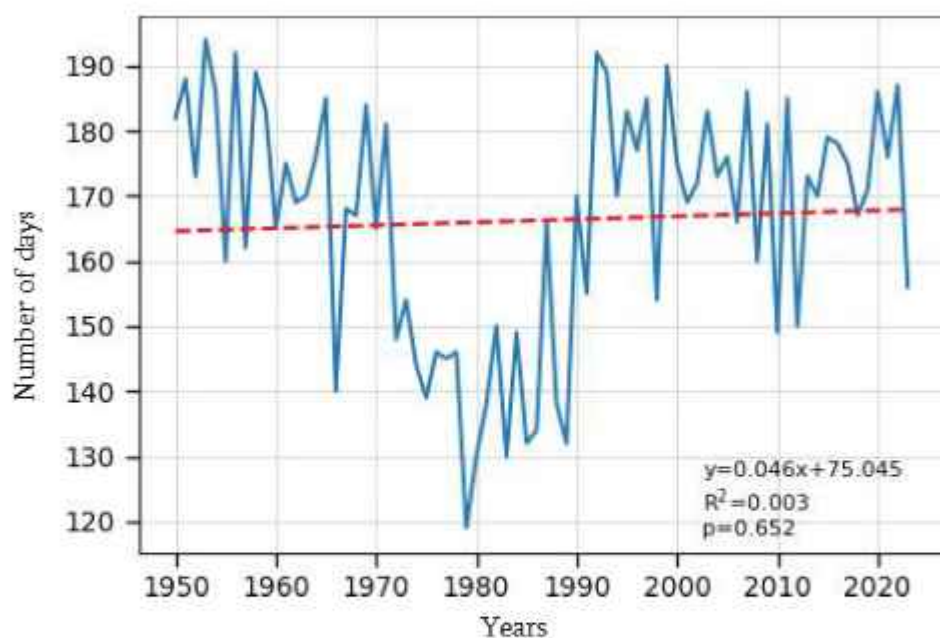


Figure 52. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 55)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and long cool summers (Fig. 53)

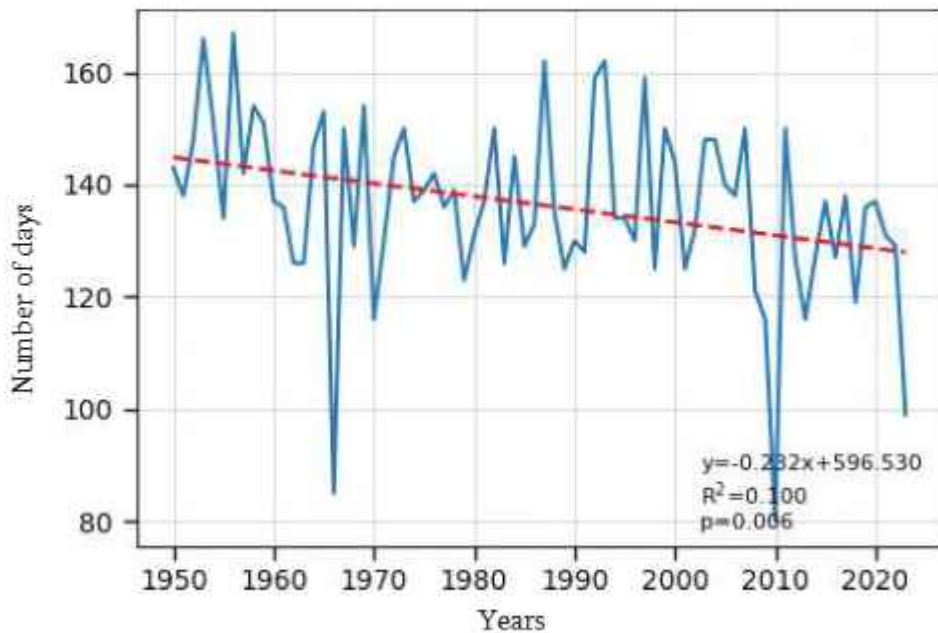


Figure 53. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 50)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and short summers (Figs. 54-55)

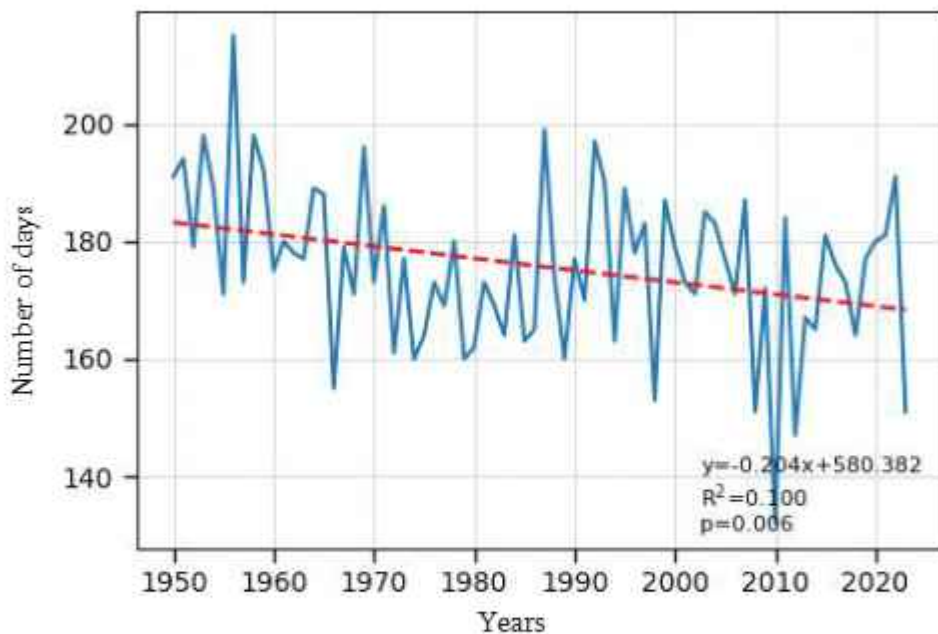


Figure 54. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 62)

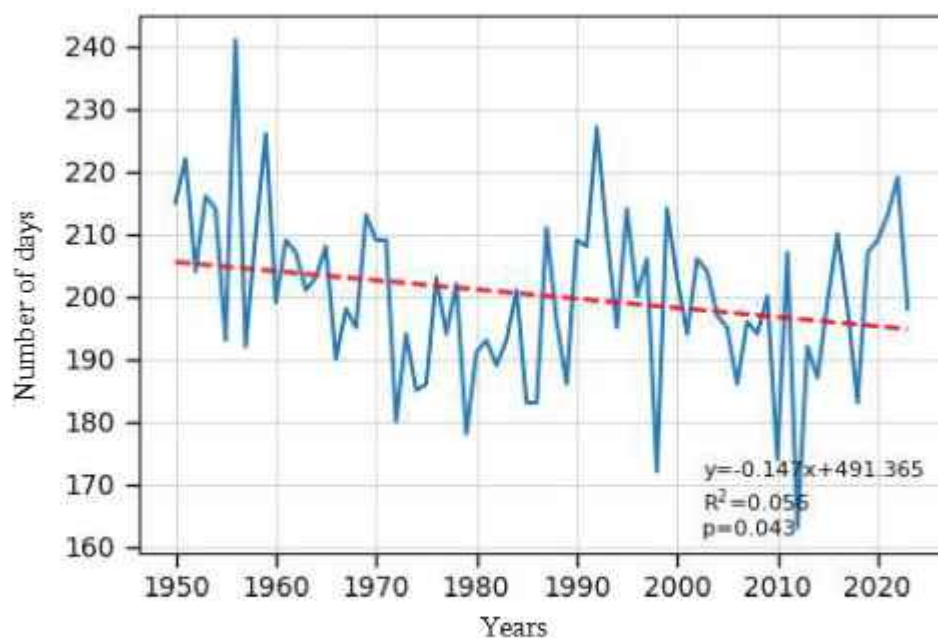


Figure 55. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 75)

Climate type: A humid climate characterized by moderately cold winters and long, warm summers (Fig. 56)

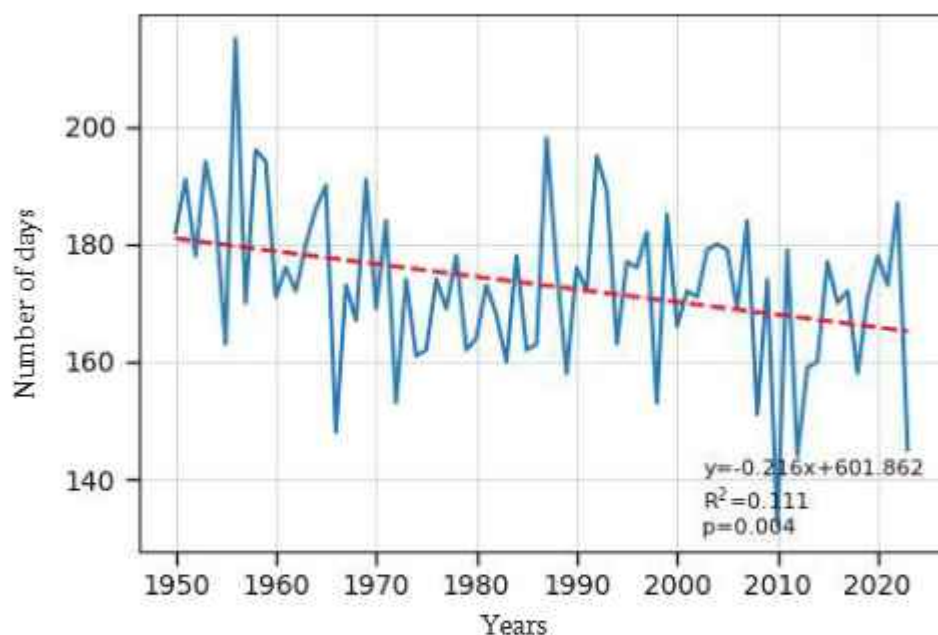


Figure 56. Freezing trend from 1950 to 2023 (Grid point 74)

To illustrate the spatial distribution of changes in freezing, maps were created (Figs. 57–59). The analysis shows a decreasing trend in the number of freezing events across the entire region.

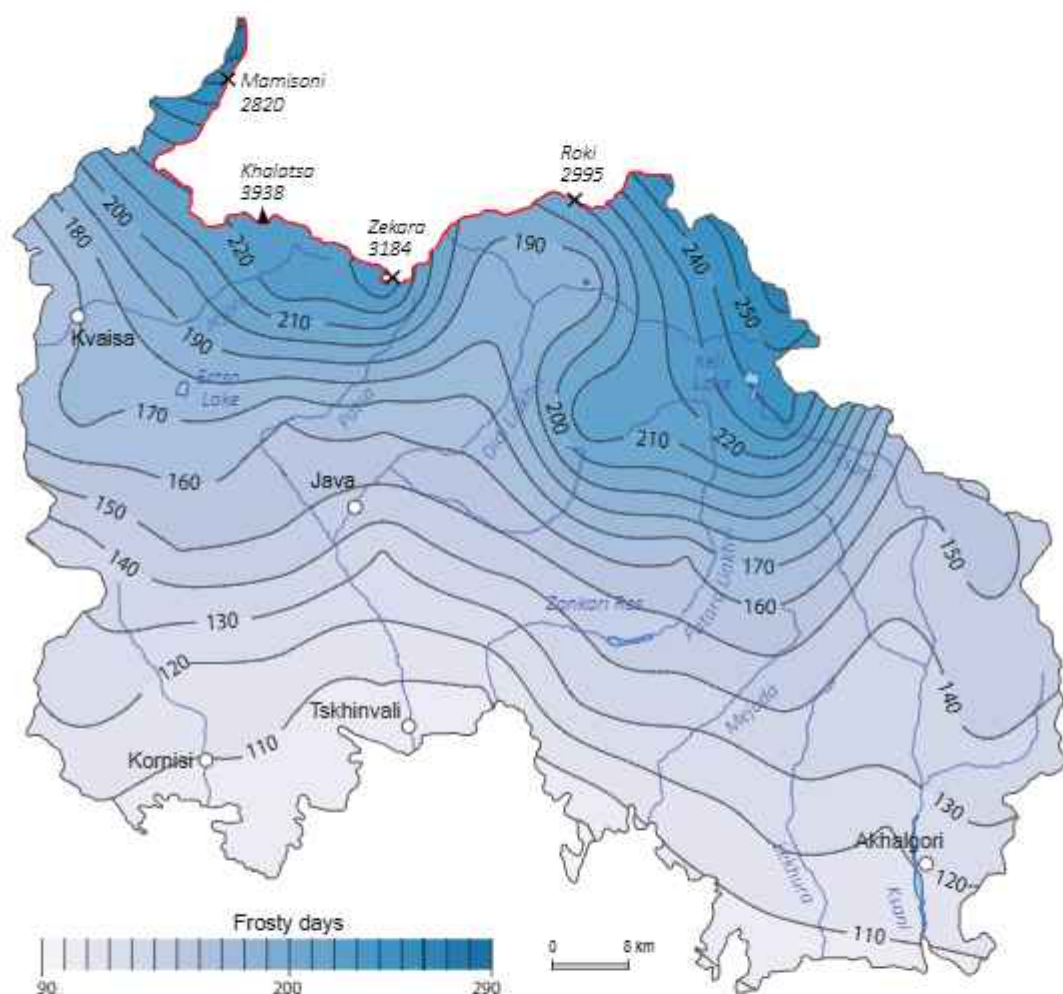


Figure 57. Freezing during 1961–1980

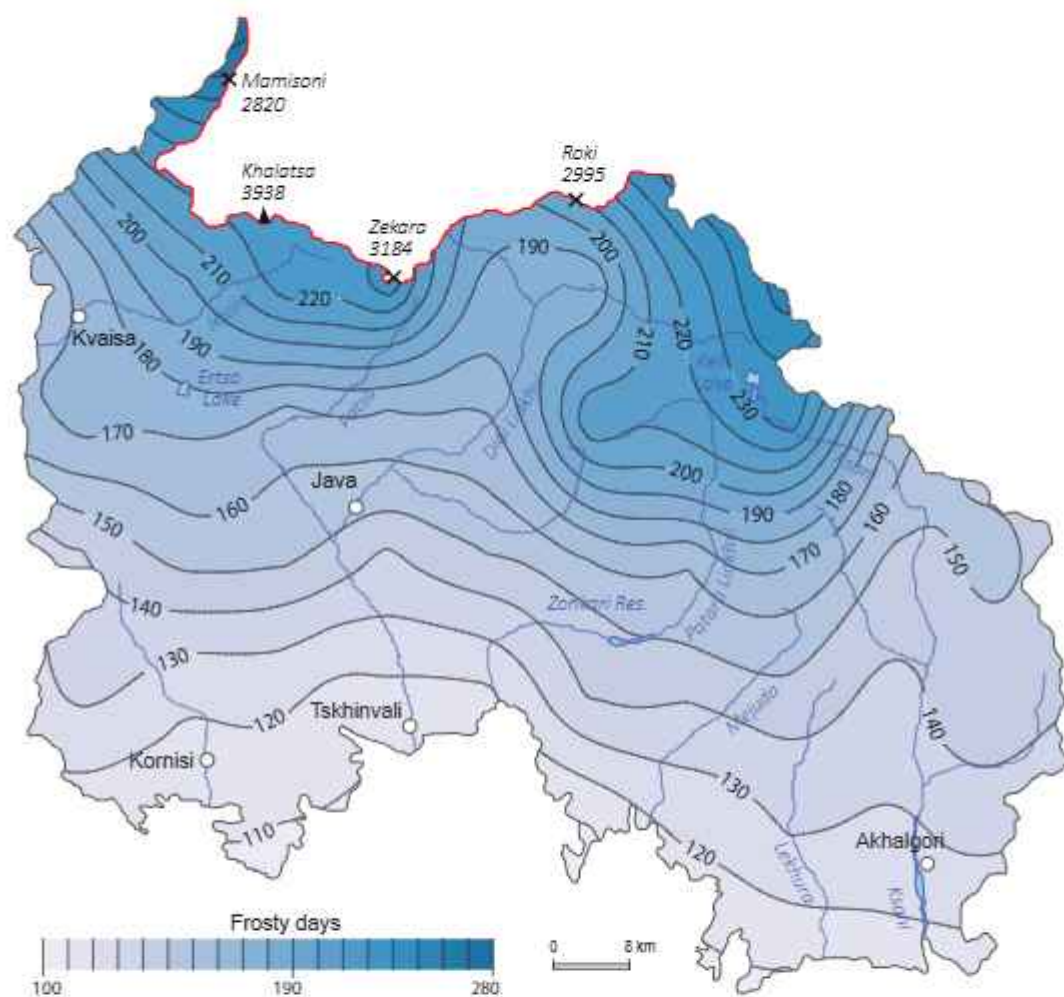


Figure 58. Freezing during 1981-2000

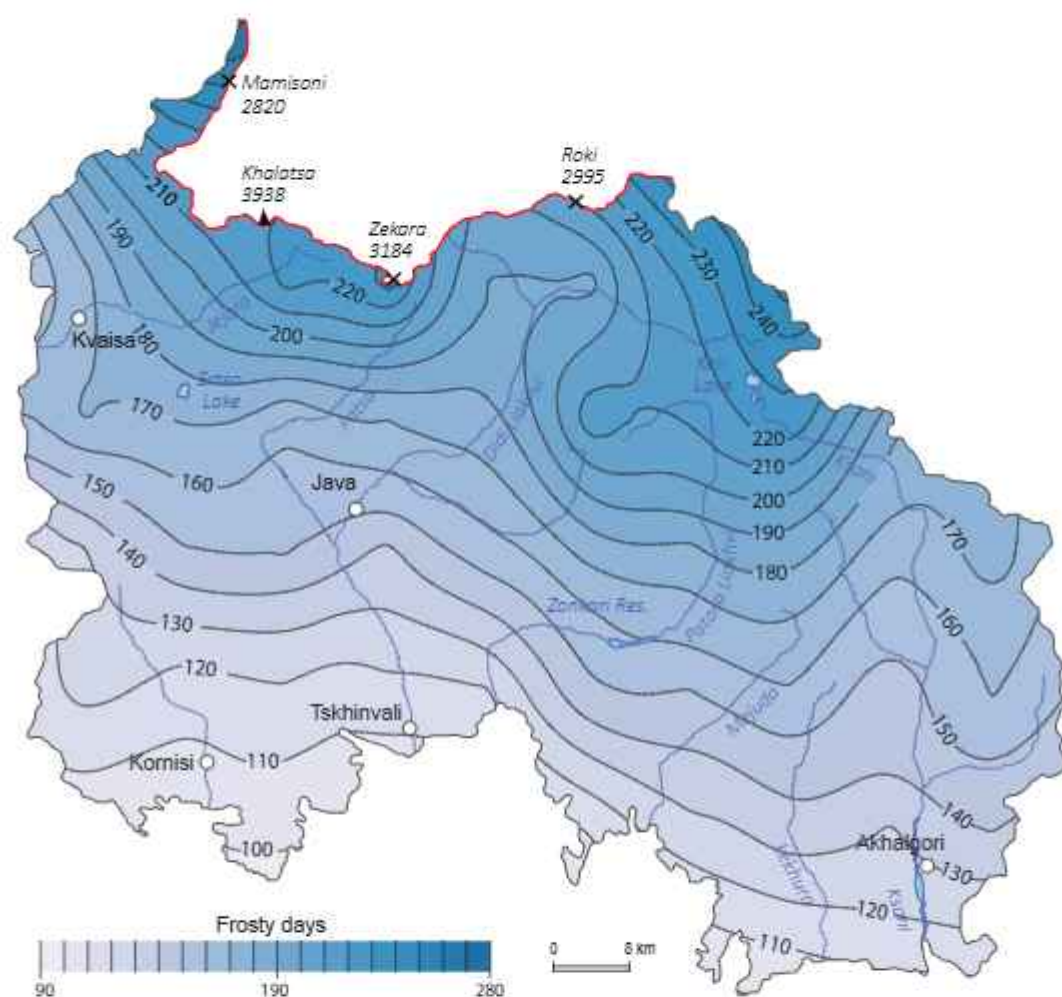


Figure 59. Freezing during 2001-2023

The number of icy days and their spatial variation are shown on the maps (Figs. 60–62).

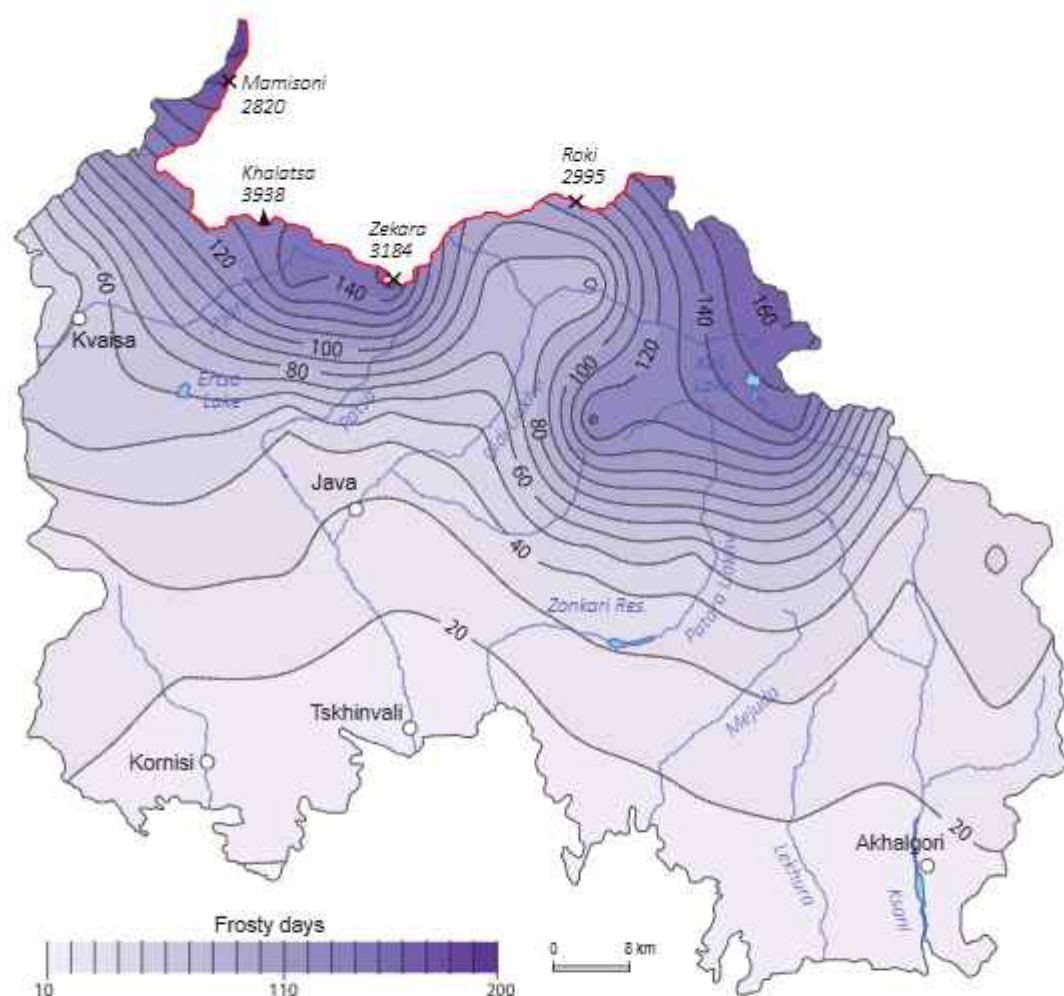


Figure 60. Number of icy days during 1961–1980.

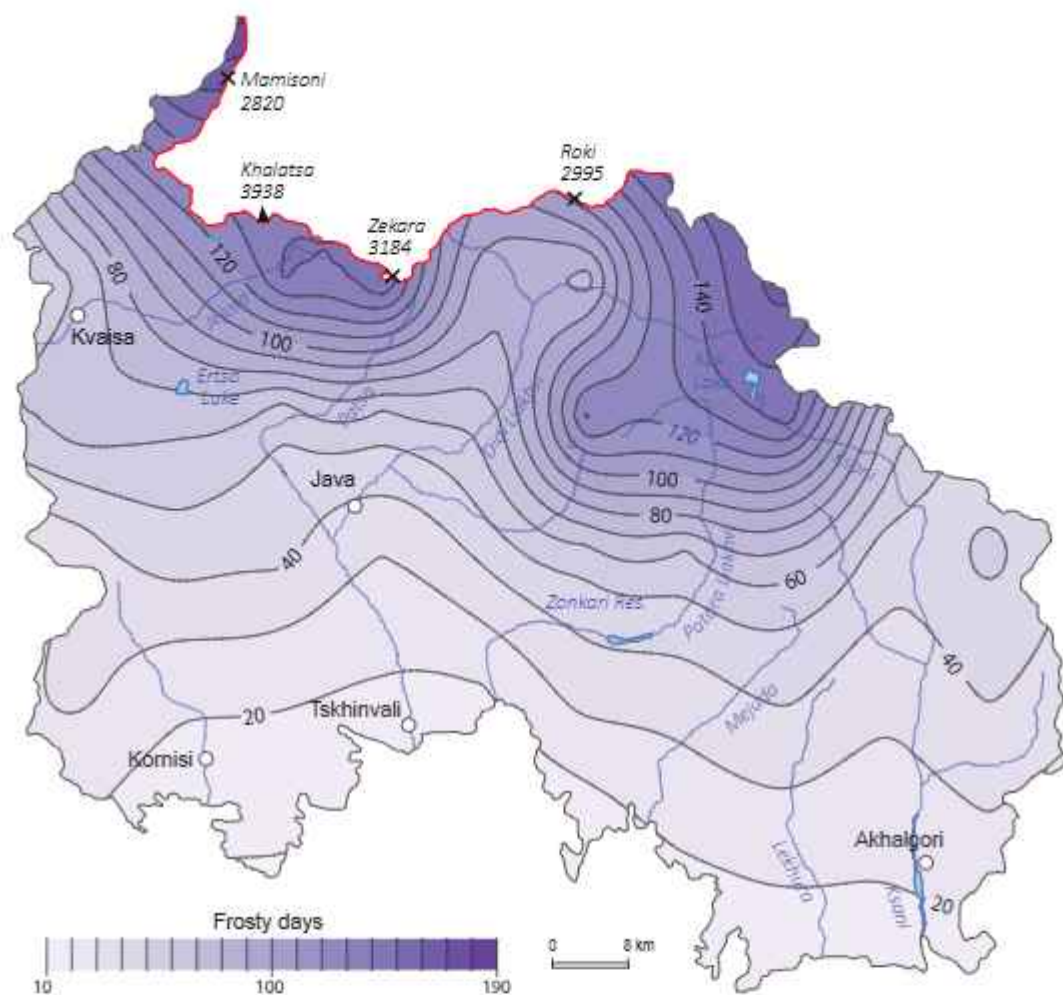


Figure 61. Number of icy days during 1961-2000

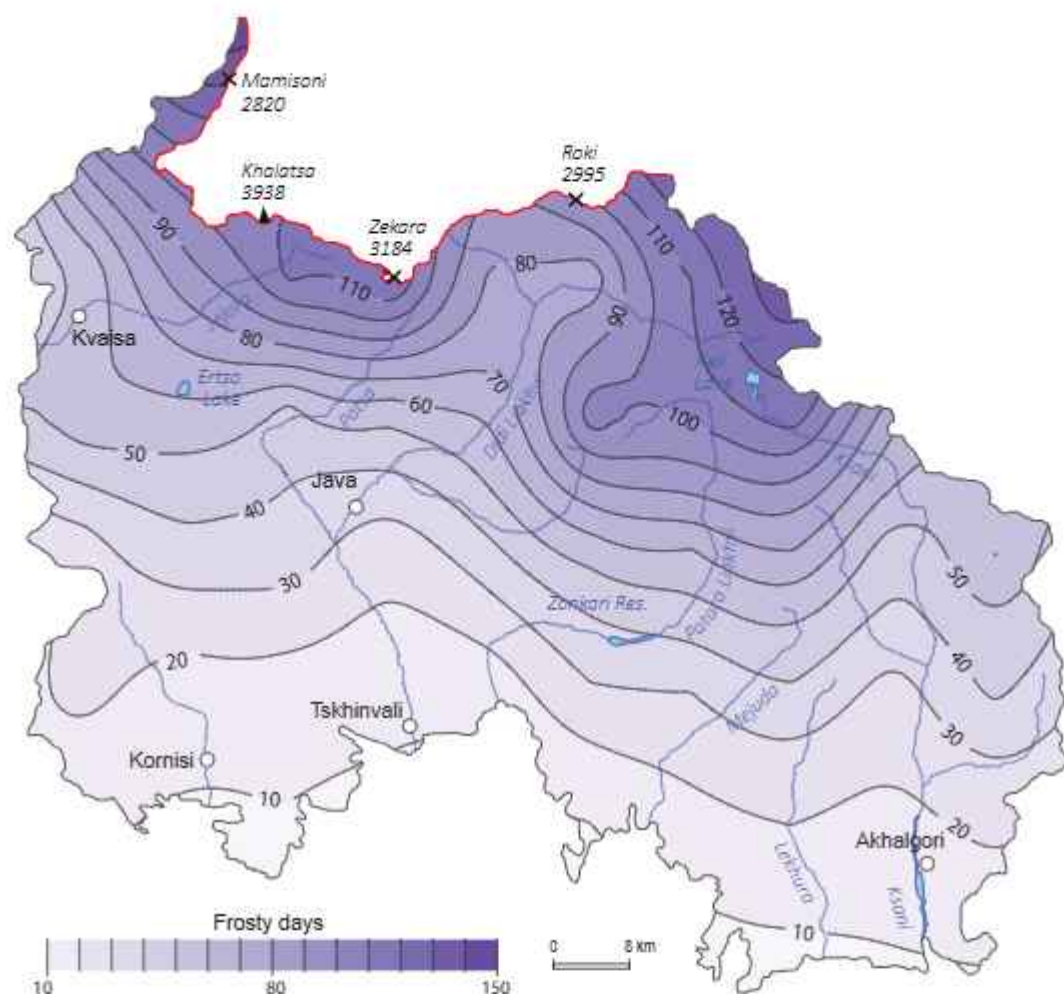


Figure 62. Number of icy days during 2001-2023

Analysis of the maps shows that the number of icy days, like nighttime freezing, is also decreasing – particularly in the northern part of the region.

4.6. Climate Indices of Air Temperature

The calculated air temperature climate indices are presented in the Annex 2, with corresponding graphs shown in Figs. 63–66. These indices help identify areas within the grid dataset that experience extreme warmth or cold.

The temperature indices highlight where exceptionally warm or cold conditions occur within the region. The lower percentile (TX10p), representing days when the maximum temperature falls below the 10th percentile of the base period, is more commonly distributed across the central parts of the region. In contrast, the upper percentile (TX90p), representing days when the maximum temperature exceeds the 90th percentile, is more concentrated in areas located farther north or at higher elevations on the grid.

In the case of minimum temperatures, the pattern is reversed: the TN10p percentile is found at higher elevations, while the TN90p percentile is concentrated at lower elevations. The distribution of FD shows that the majority of such days occur at higher points (e.g., grid points 68, 77, 81). A similar distribution pattern is observed for ID, particularly at points 66, 68, 77, and 86.

The temperature distribution across the region is heterogeneous, with localized warming and cooling centers. This variability is primarily due to the region's complex and varied topography.

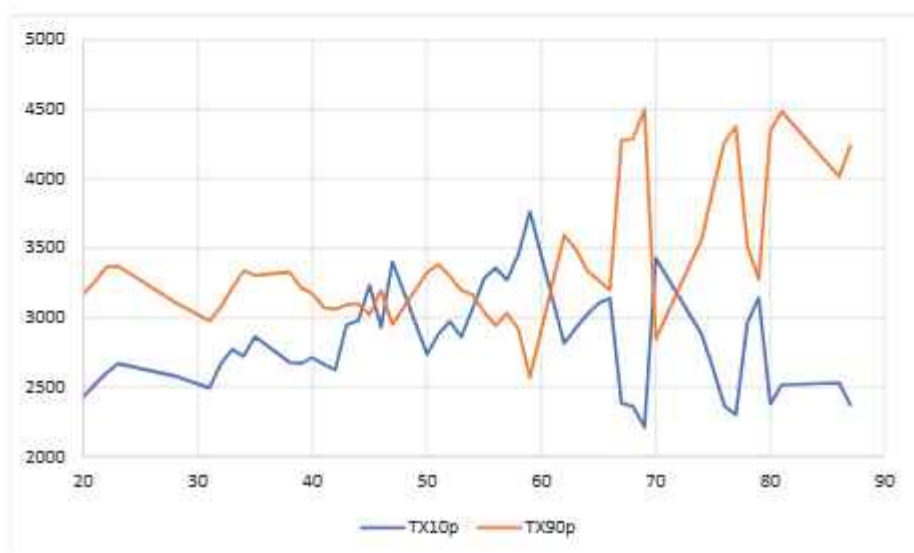


Figure 63. Climatic indices of maximum temperature (TX10p–TX90p) for the region's grid points

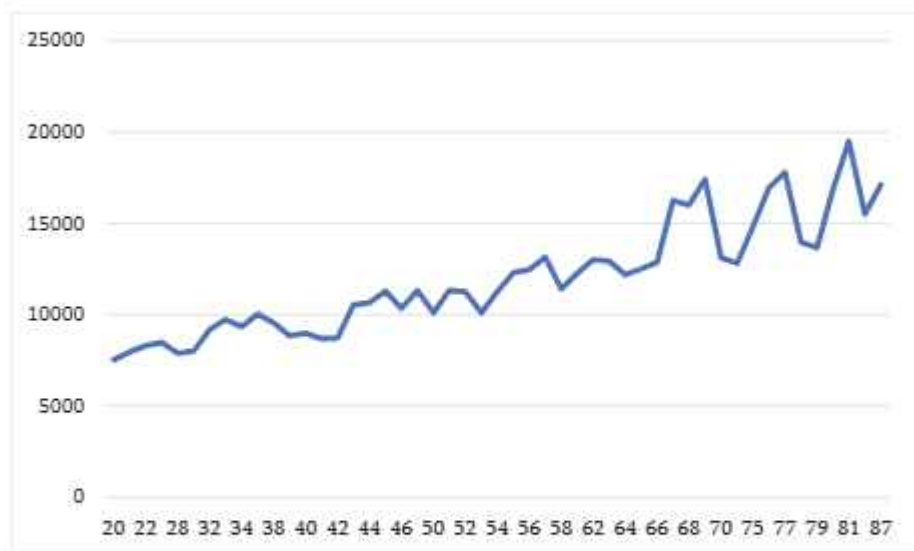


Figure 64. Number of frost days for the region's grid points

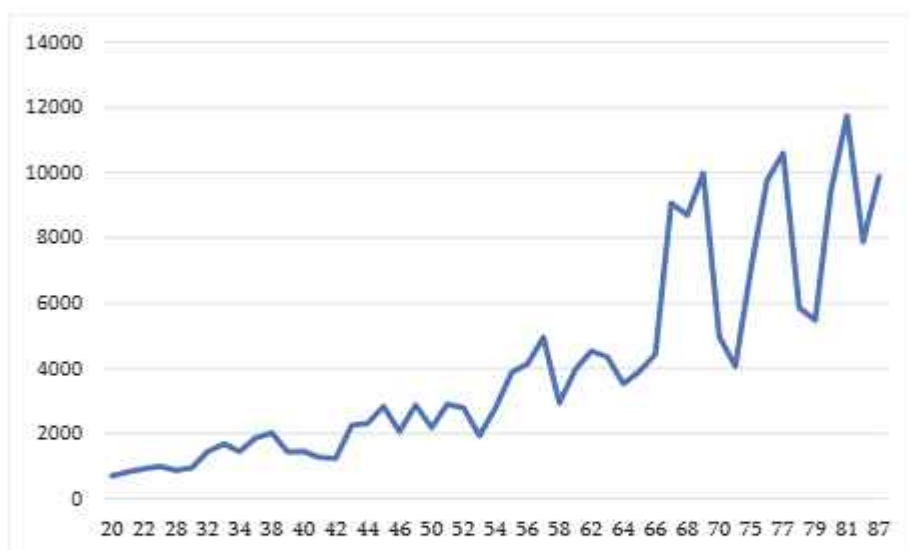


Figure 65. Number of icy days for the region's grid points

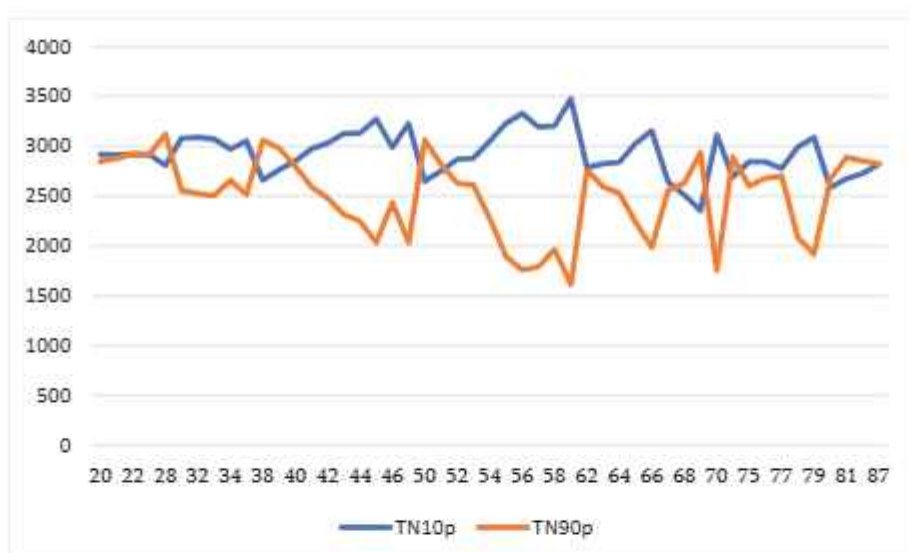


Figure 66. Climatic indices of minimum temperatures TN_{10p} , TN_{90p} for the region's grid points

As shown in the distribution plots, there is a noticeable change in the number of warm and cold nights in the region.

Chapter 5. Long-Term Precipitation Trends in the Study Area

5.1. Precipitation Changes

Unlike air temperature, precipitation distribution does not always correlate directly with elevation. In some areas, precipitation actually decreases with increasing altitude.

Due to the complex interplay of orographic features and atmospheric circulation patterns, the intra-annual distribution of precipitation exhibits significant spatial and temporal variability. The irregularity is influenced by factors such as topography, wind direction, and moisture availability. To analyze precipitation changes in the study region, several methods were employed, including the Mann-Kendall test, spatial mapping, simple indices of daily precipitation intensity, maps of dry periods of varying lengths, and other analytical tools.

To determine the multi-year trend of atmospheric precipitation changes in the Tskhinvali region, grid points were selected to represent all the climate types present in the area. The trend was assessed using the Mann-Kendall test for the period 1950–2023 (Figs. 67–75), as well as for dry periods (Figs. 76–85). The selected grid points for identification are shown in Figure 7.

As indicated by the graphs, atmospheric precipitation is generally decreasing across the region. However, an increase is observed in the Tskhinvali-Akhalshehi-Ozhora area. Regarding the number of dry days, a decrease is noted in this same area, while an increasing trend is observed elsewhere. In other words, where precipitation decreases, dry days tend to increase, and vice versa.

Climate type: A moderately humid climate with moderately cold winters, long warm summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 67–68)

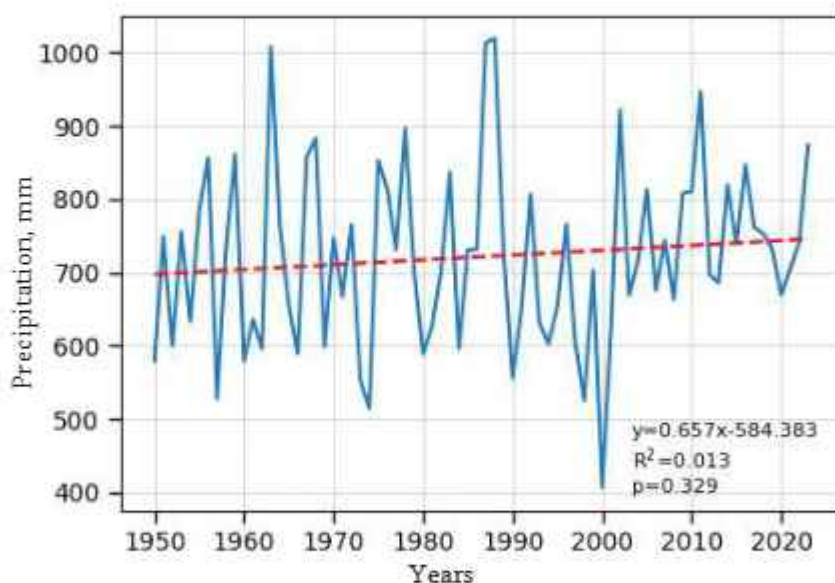


Figure 67. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 41)

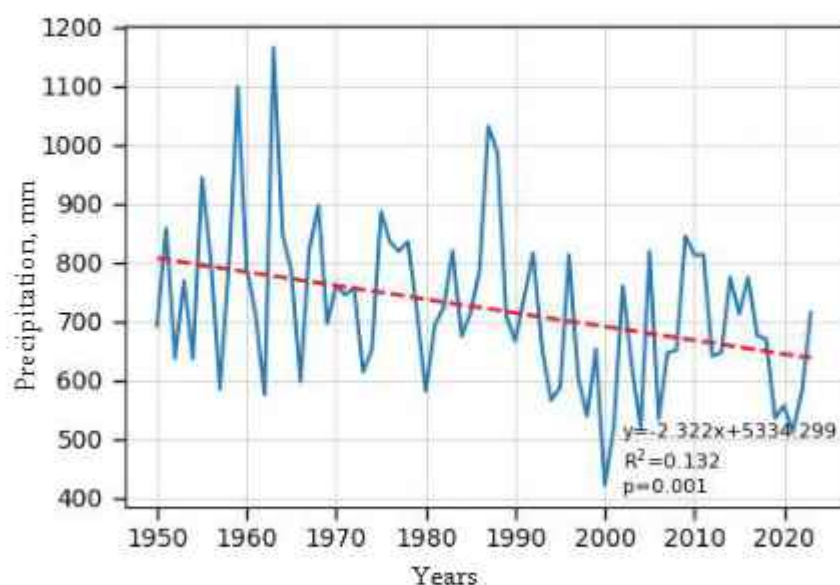


Figure 68. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 34)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, long cool summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 69-70)

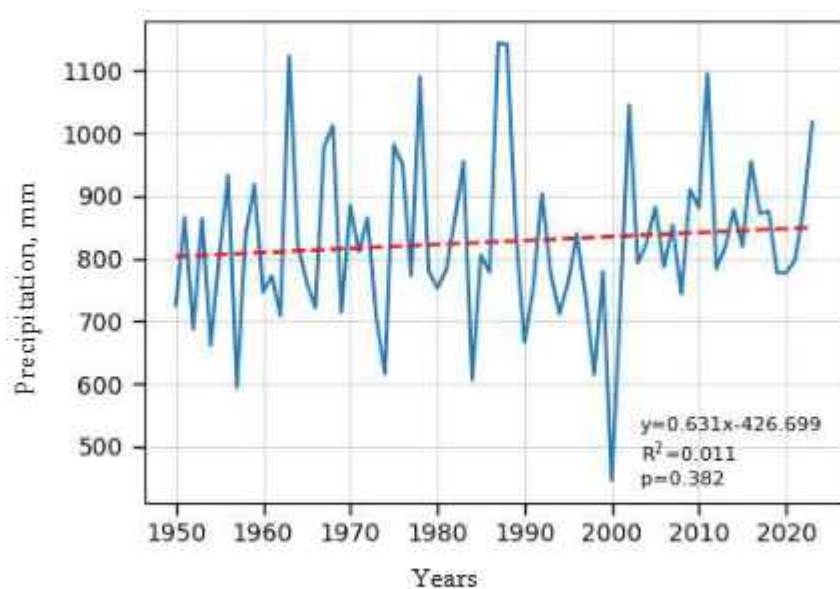


Figure 69. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 39)

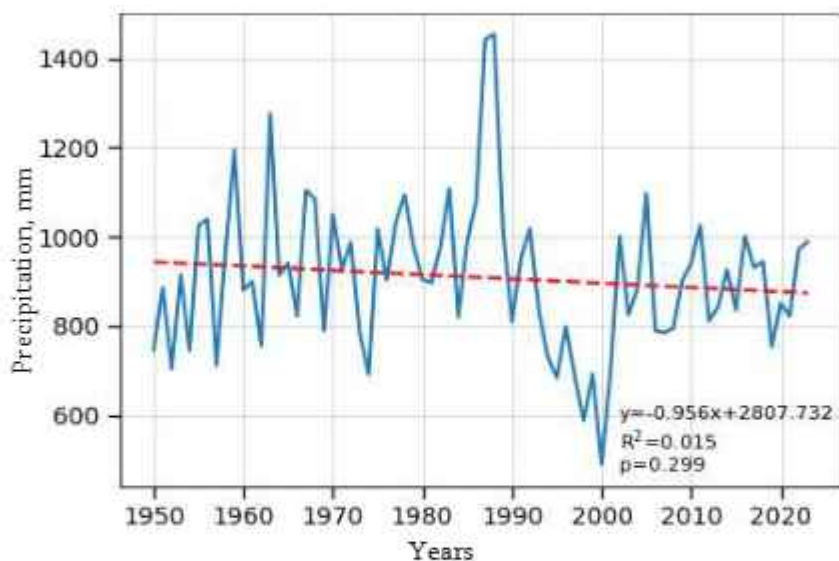


Figure 70. Precipitation trends over the period 1950-2023 (Grid point 54)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, short summers, and minimal precipitation during the winter months (Figs. 71-72)

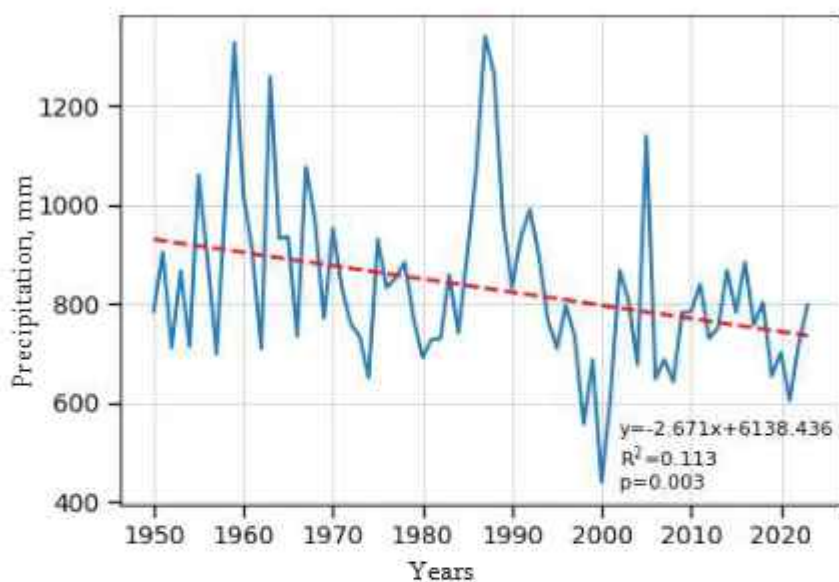


Figure 71. Precipitation trends over the period 1950-2023 (Grid point 47)

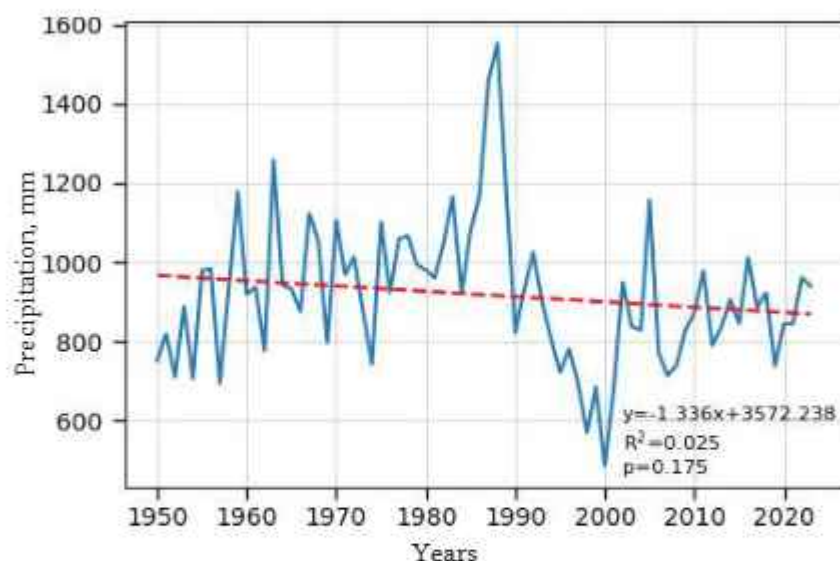


Figure 72. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 55)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and long cool summers (Fig. 73)

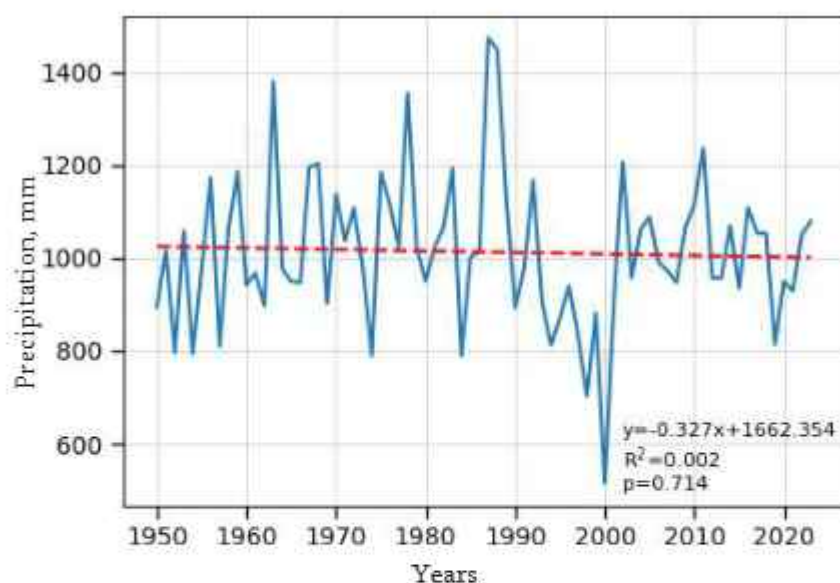


Figure 73. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 50)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and short summers (Figs. 74, 75)

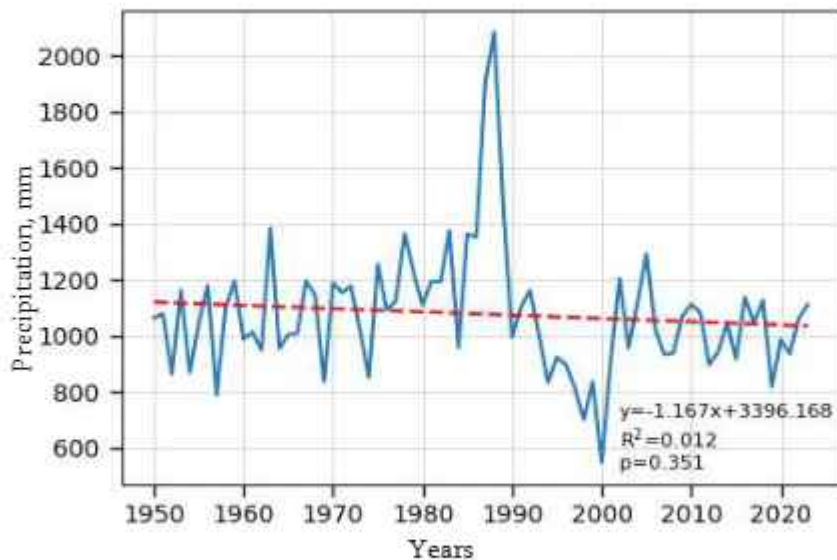


Figure 74. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 62)

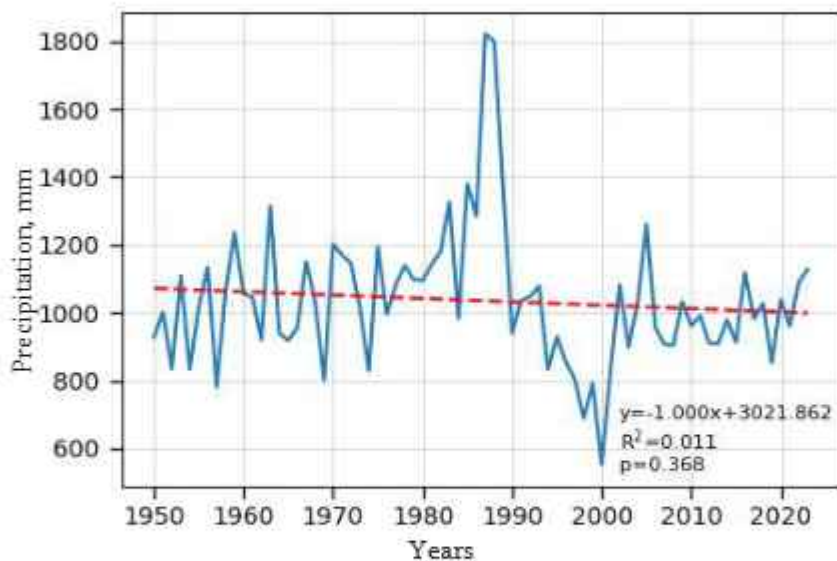


Figure 75. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 75)

Climate type: A humid climate characterized by moderately cold winters and long, warm summers (Fig. 76)

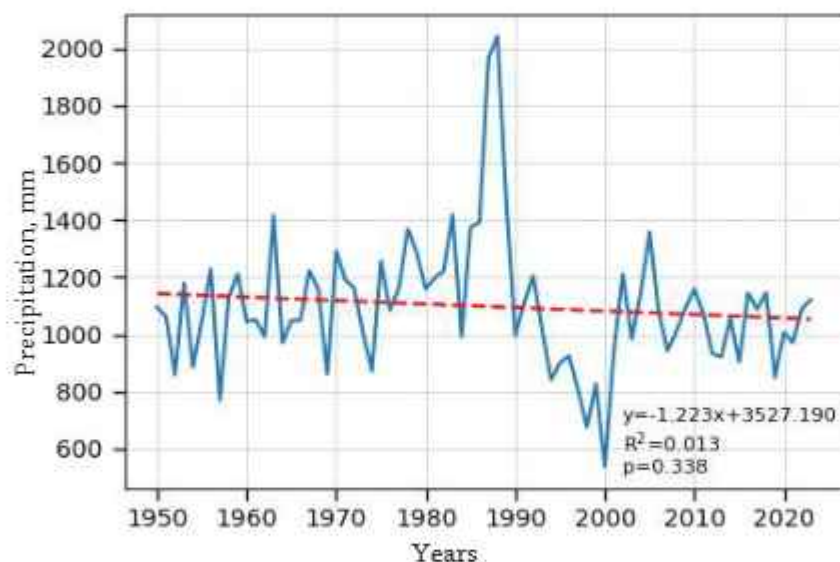


Figure 76. Precipitation trends over the period 1950–2023 (Grid point 74)

Climate type: A moderately humid climate with moderately cold winters, long warm summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 77, 78)

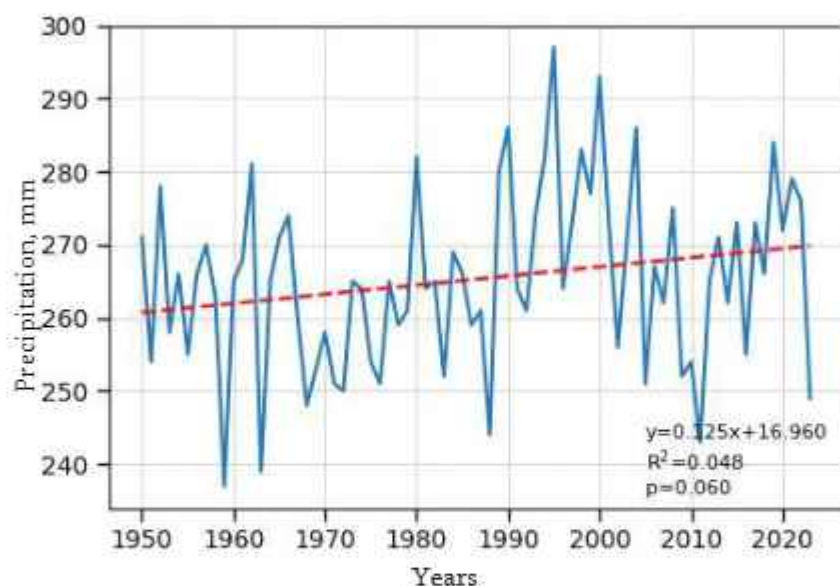


Figure 77. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 34)

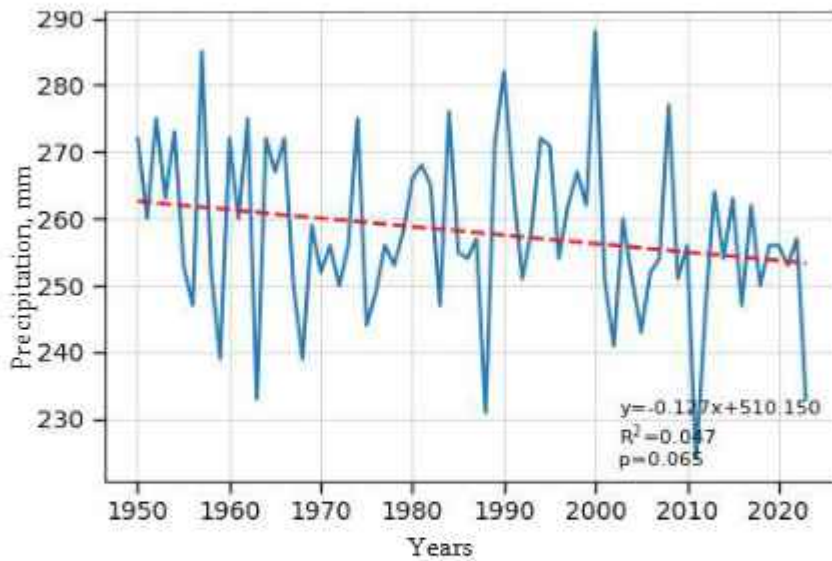


Figure 78. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 41)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, long cool summers, and minimal precipitation occurring twice annually (Figs. 79, 80)

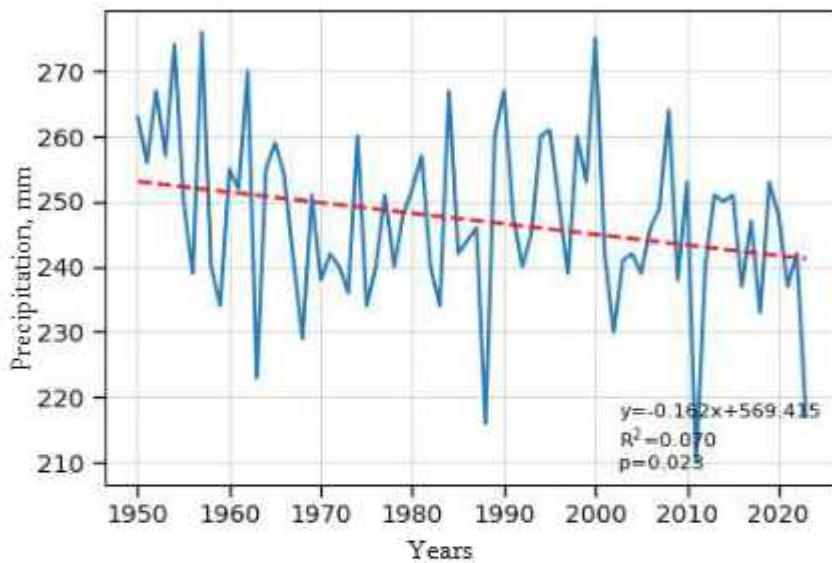


Figure 79. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 39)

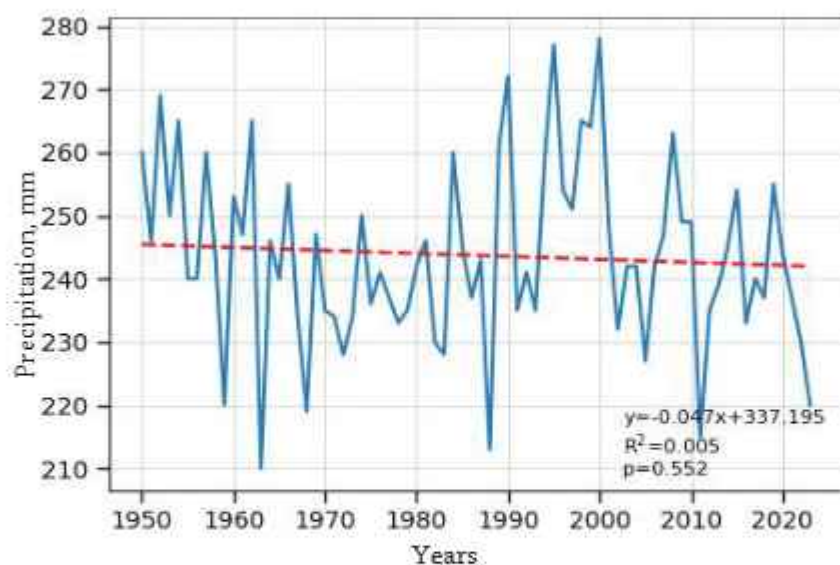


Figure 80. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 54)

Climate type: A moderately humid climate characterized by cold winters, short summers, and minimal precipitation during the winter months (Figs. 81, 82)

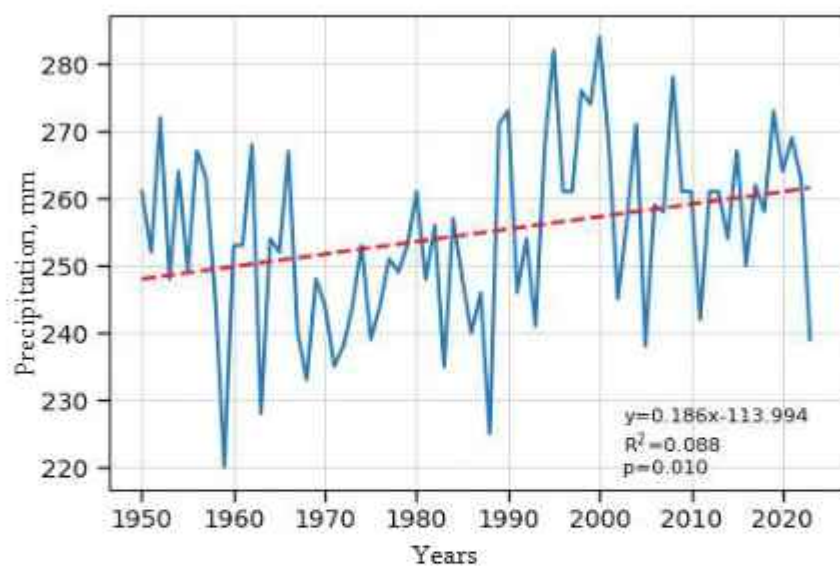


Figure 81. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 47)

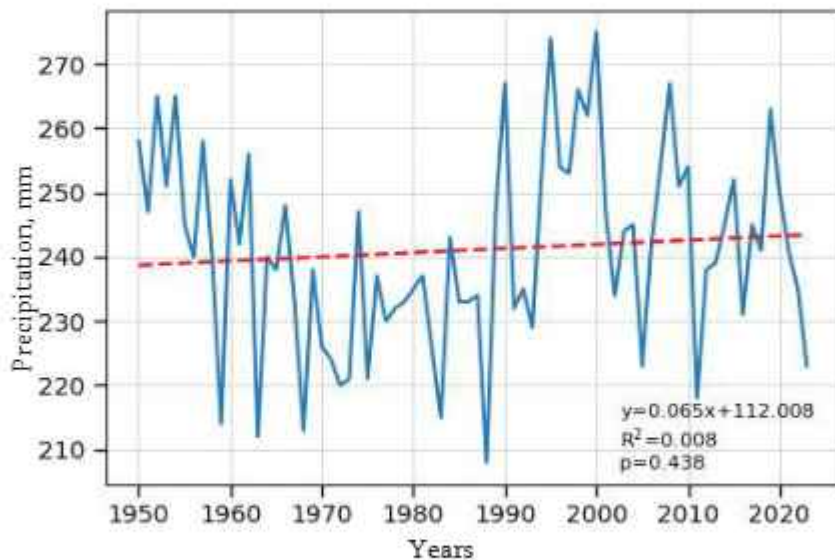


Figure 82. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 55)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and long cool summers (Fig. 83)

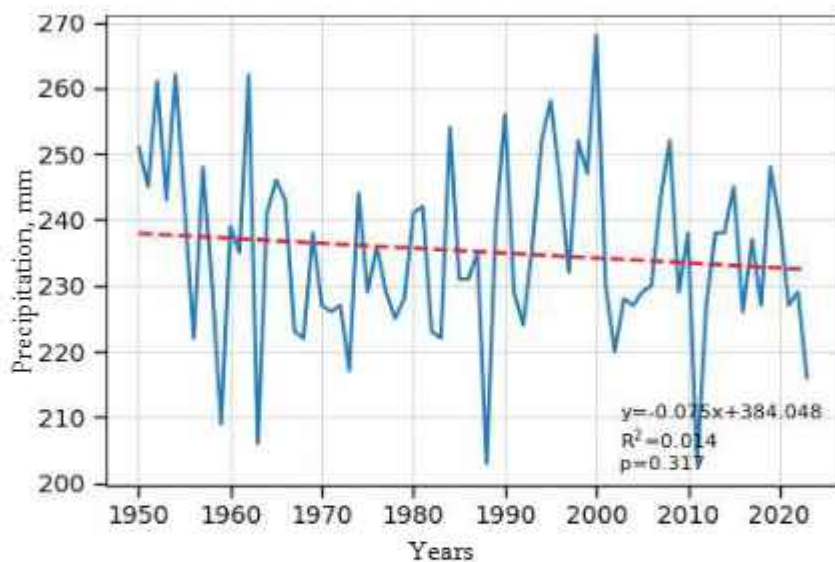


Figure 83. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 50)

Climate type: A humid climate characterized by cold winters and short summers (Figs. 84, 85)

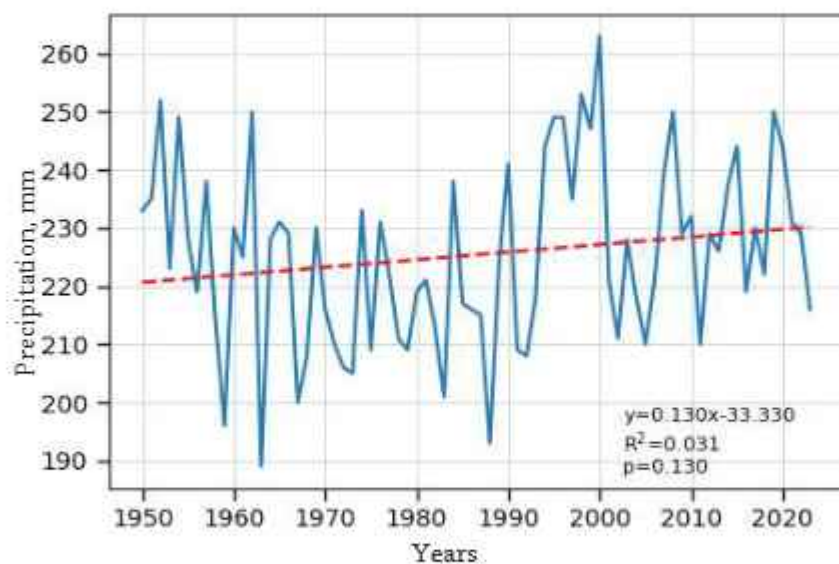


Figure 84. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 62)

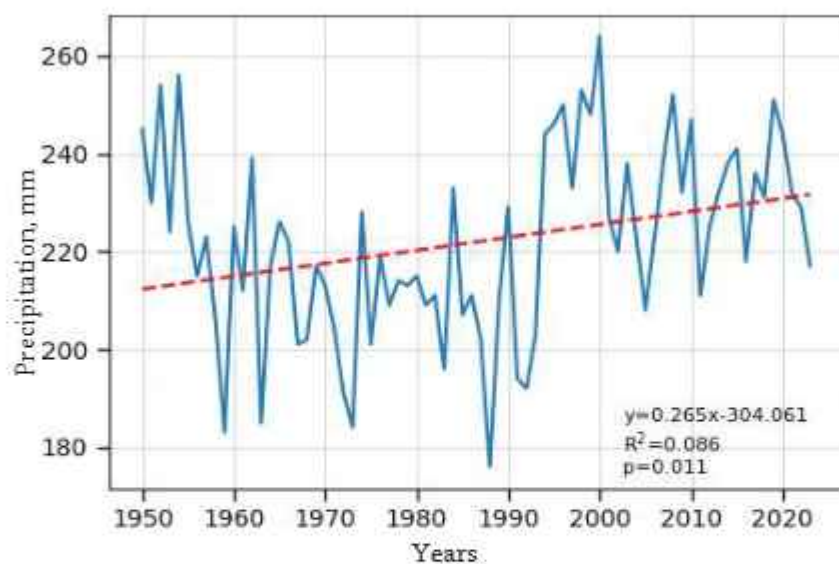


Figure 85. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 75)

Climate type: A humid climate characterized by moderately cold winters and long, warm summers (Fig. 86)

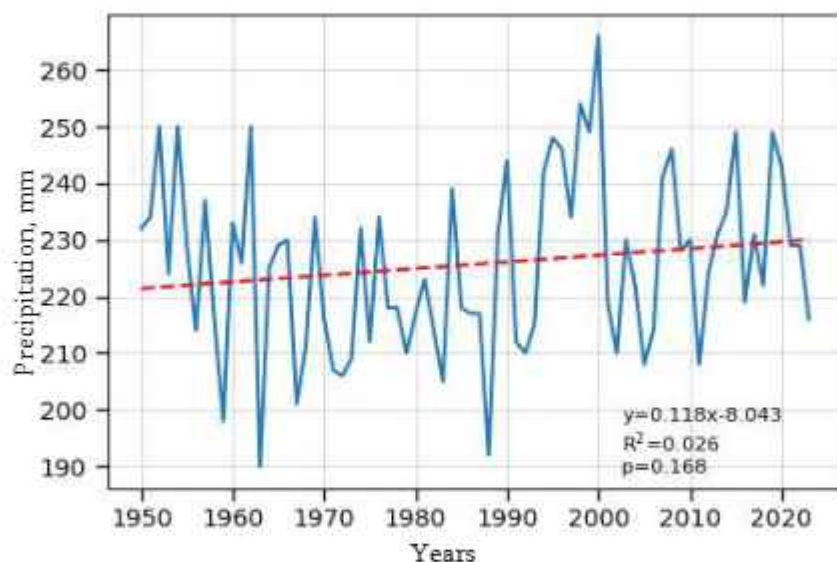


Figure 86. Dry days from 1950 to 2023 (Grid point 74)

The spatial distribution of atmospheric precipitation changes is clearly depicted in the maps (Figs. 87–89). The decrease in precipitation is most notable in the northern, high-mountainous areas.

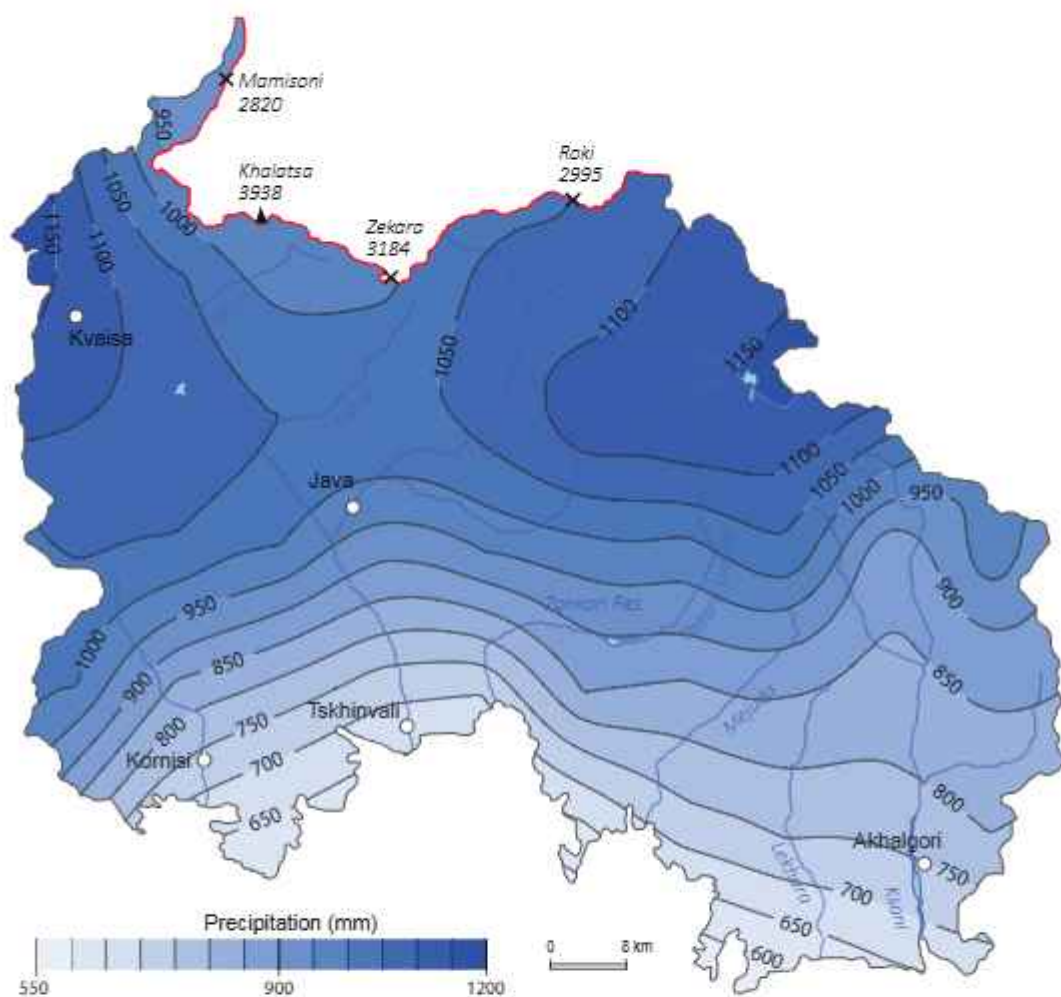


Figure 87. The amount of atmospheric precipitation from 1961 to 1980

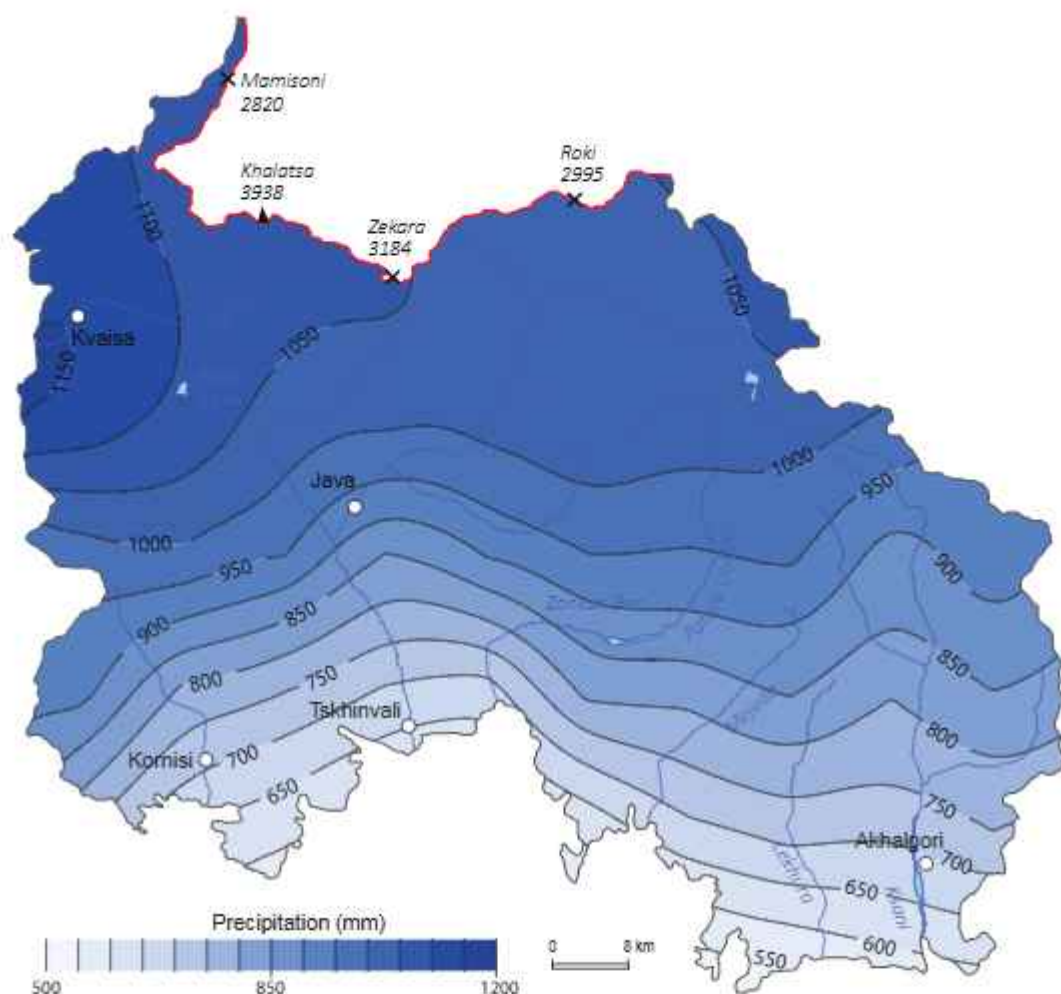


Figure 88. The amount of atmospheric precipitation from 1981 to 2001

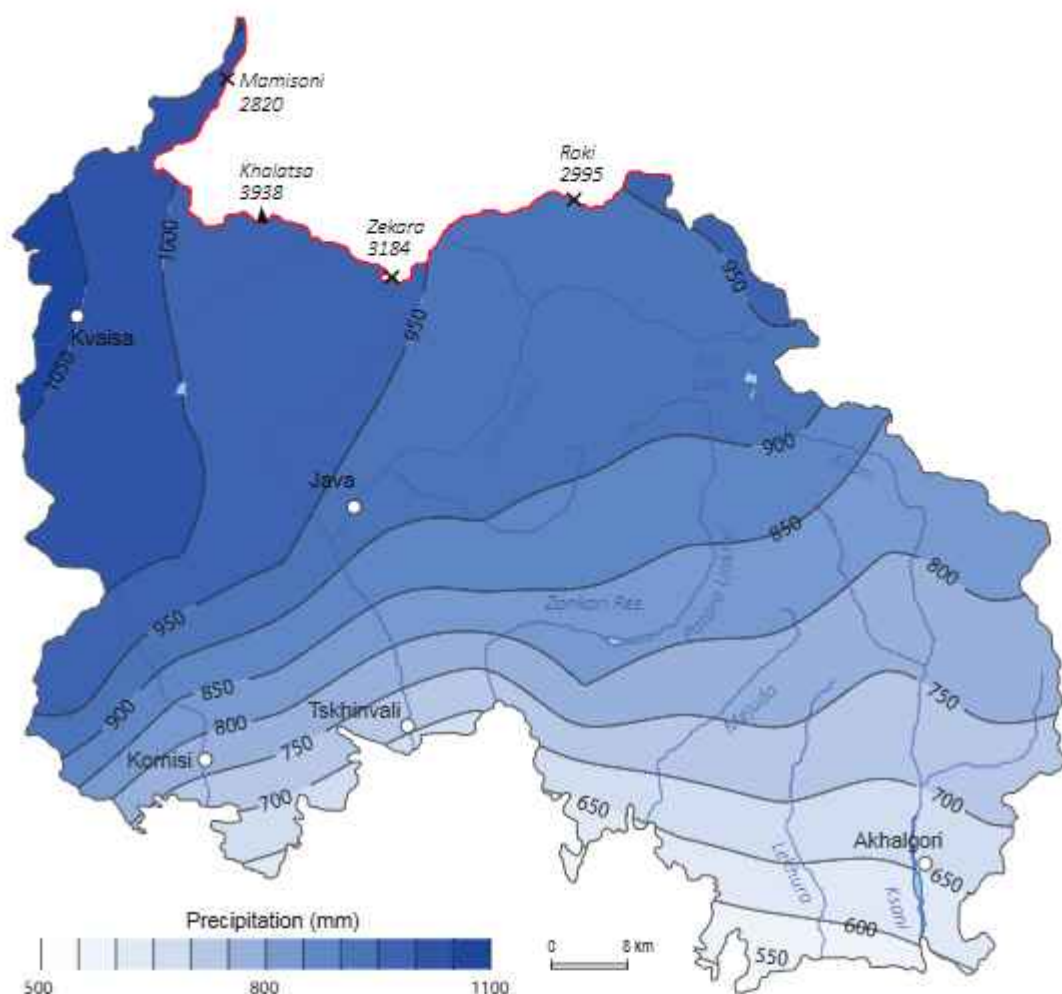


Figure 89. The amount of atmospheric precipitation from 2001 to 2023

To analyze precipitation trends in the region, the Simple Daily Intensity Index (SDII) was also used. This index is calculated by dividing the total precipitation on wet days (days with precipitation ≥ 1.0 mm) in a year by the number of such days. Its unit of measurement is millimeters per day (mm/day). The maps presented (Figs. 90–92) clearly show a decreasing trend in the SDII of precipitation. This decline may be due to both a reduction in total precipitation and an increase in the number of dry days. Our research indicates that both patterns are occurring in the Tskhinvali region – precipitation is decreasing, and dry days are increasing. Figures 93–95 show a slight increase in the number of consecutive 5-day dry periods.

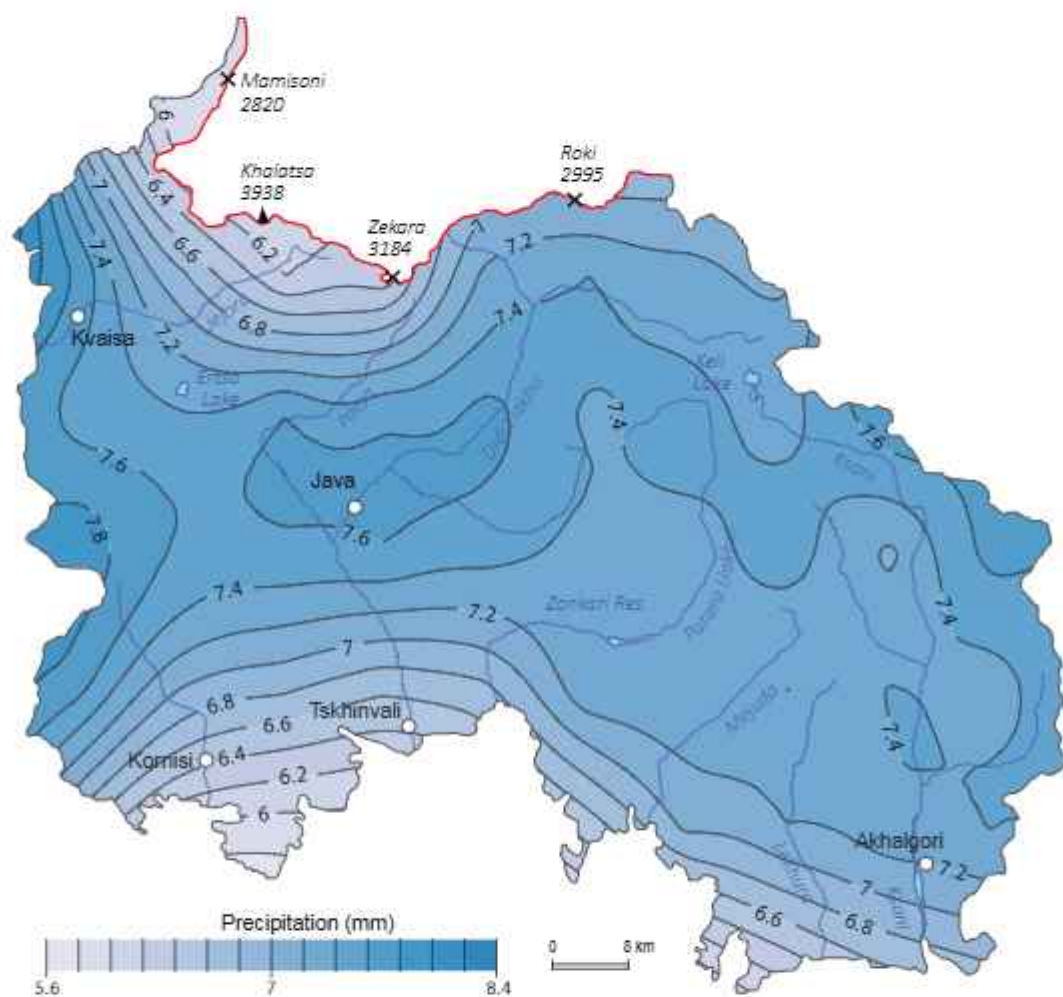


Figure 90. Simple precipitation intensity index (SDII) from 1961 to 1980

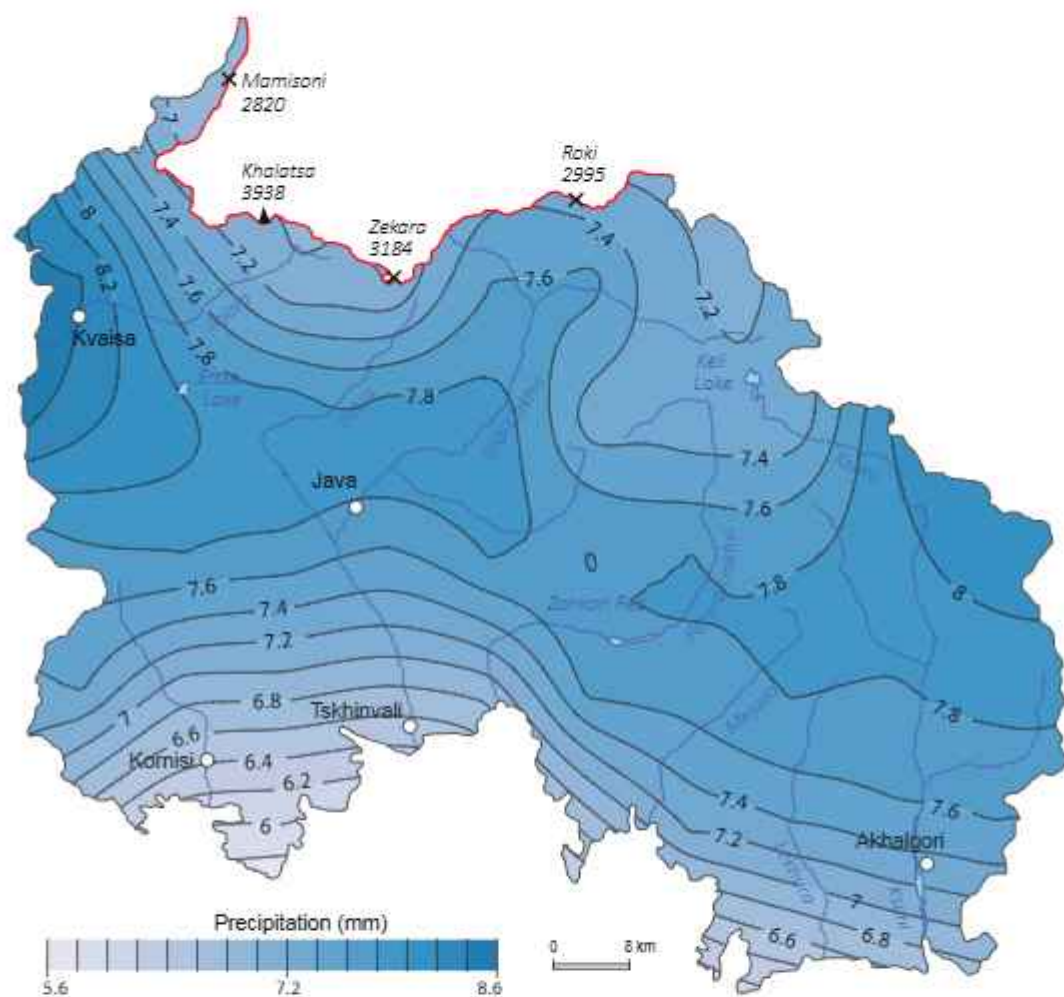


Figure 91. Simple precipitation intensity index (SDII) from 1981 to 2000

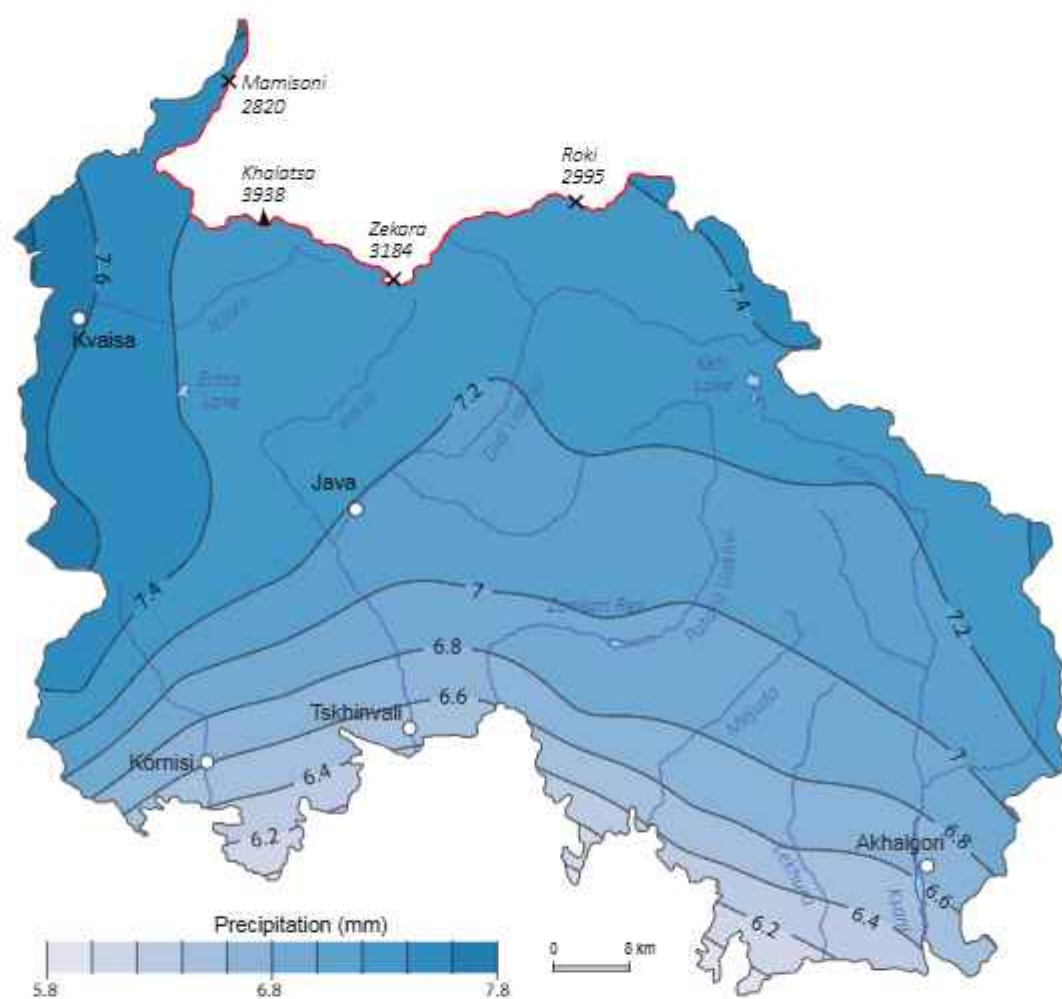


Figure 92. Simple precipitation intensity index (SDII) from 2001 to 2023.

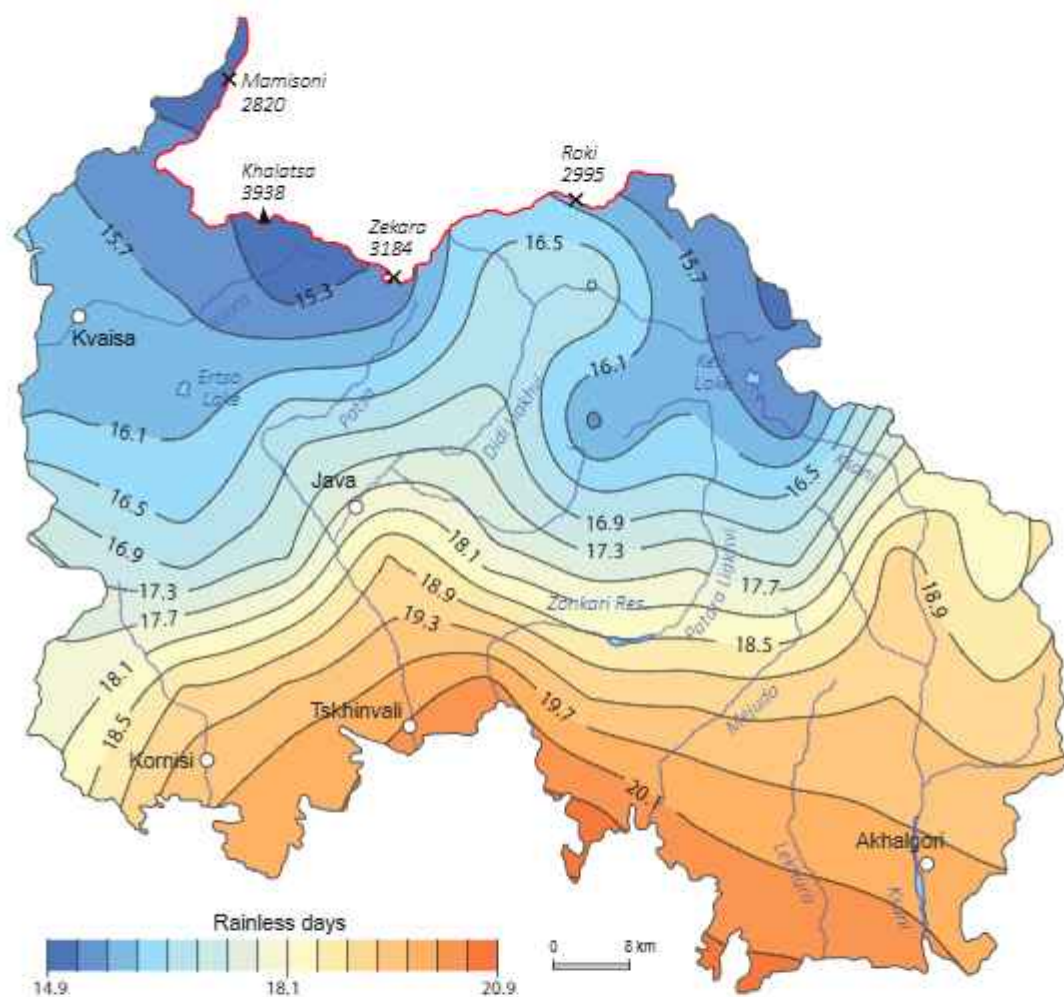


Figure 93. Number of consecutive 5-day dry periods from 1961 to 1980.

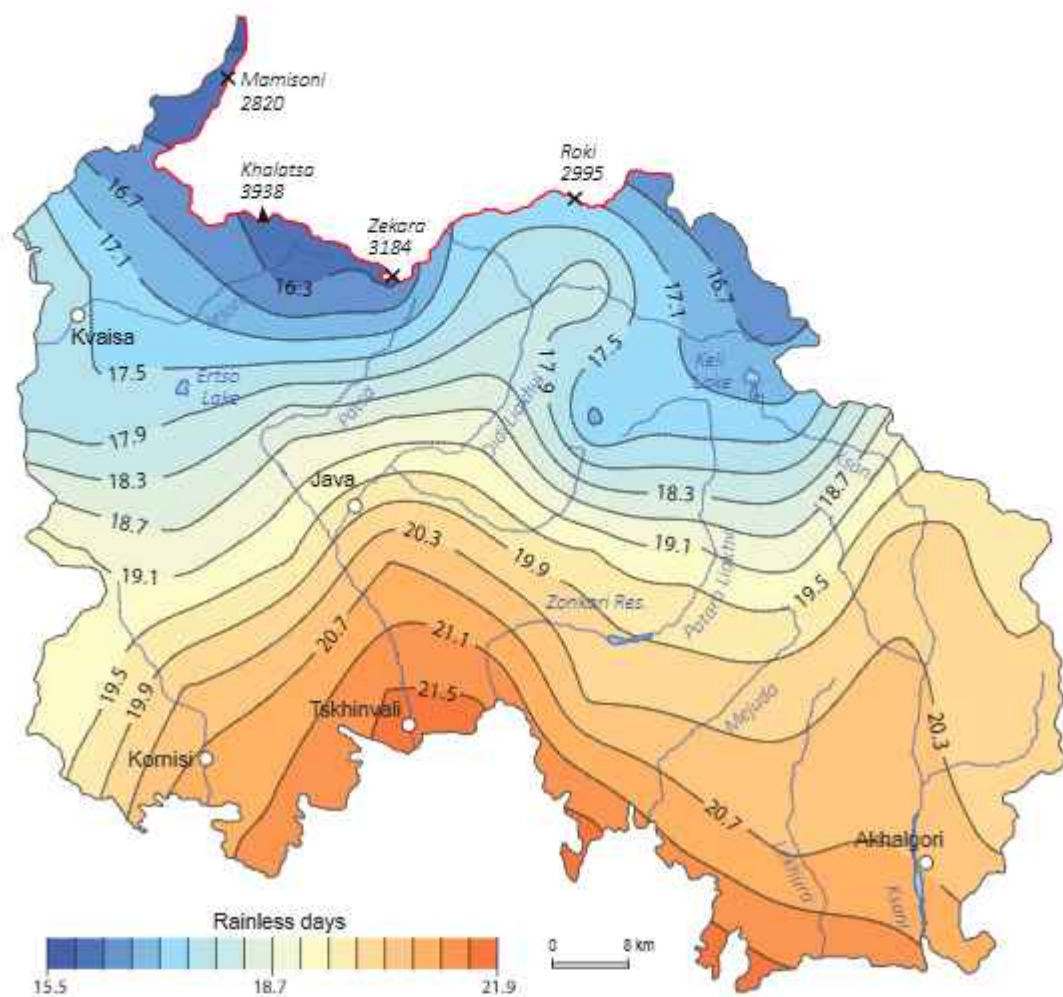


Figure 94. Number of consecutive 5-day dry periods from 1981 to 2000

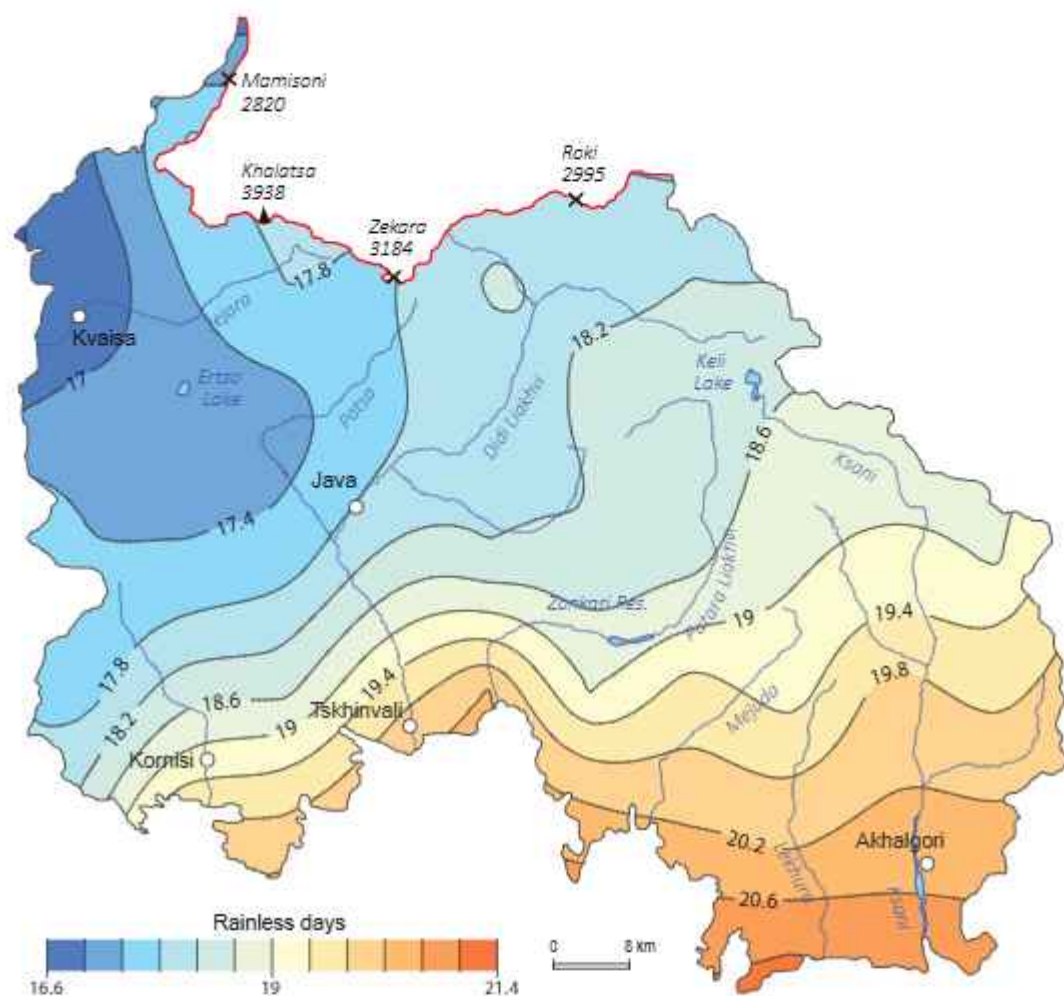


Figure 95. Number of consecutive 5-day dry periods from 2001 to 2023

5.2. Climate Indices of Precipitation

The calculated precipitation climate indices are presented in the Annex 2. Based on the distribution of atmospheric precipitation, the region is relatively dry. As a result, it was necessary to modify the intensity indices to better reflect regional conditions. The number of days with daily precipitation equal to or greater than 0–2 mm, 2–5 mm, 5–10 mm, 10–15 mm, 15–20 mm, and >20 mm was calculated (Fig. 96). As shown in the graph, precipitation in the 2–5 mm and 5–10 mm ranges dominates the region, while heavy precipitation days (>15 mm) are rare.

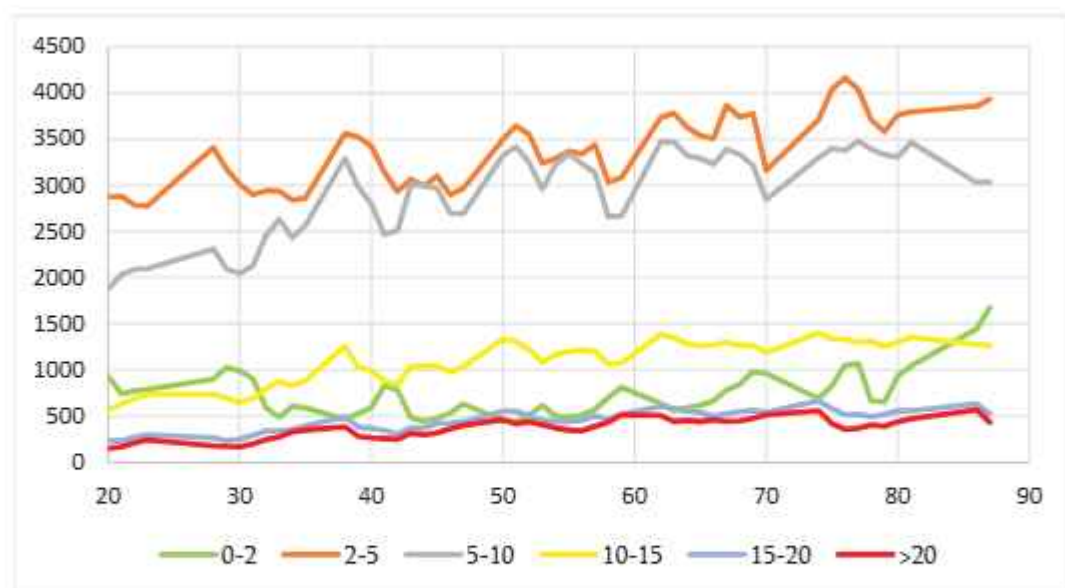


Figure 96. Precipitation various intensity (mm) for the region's grid points

The distribution of rainy days across the grid points shows that the entire region experiences low precipitation, with a decreasing number of days with relatively high precipitation. There are no significant changes in the distribution of consecutive 3-day and 5-day dry periods, which aligns with the region's climatic and topographical characteristics.

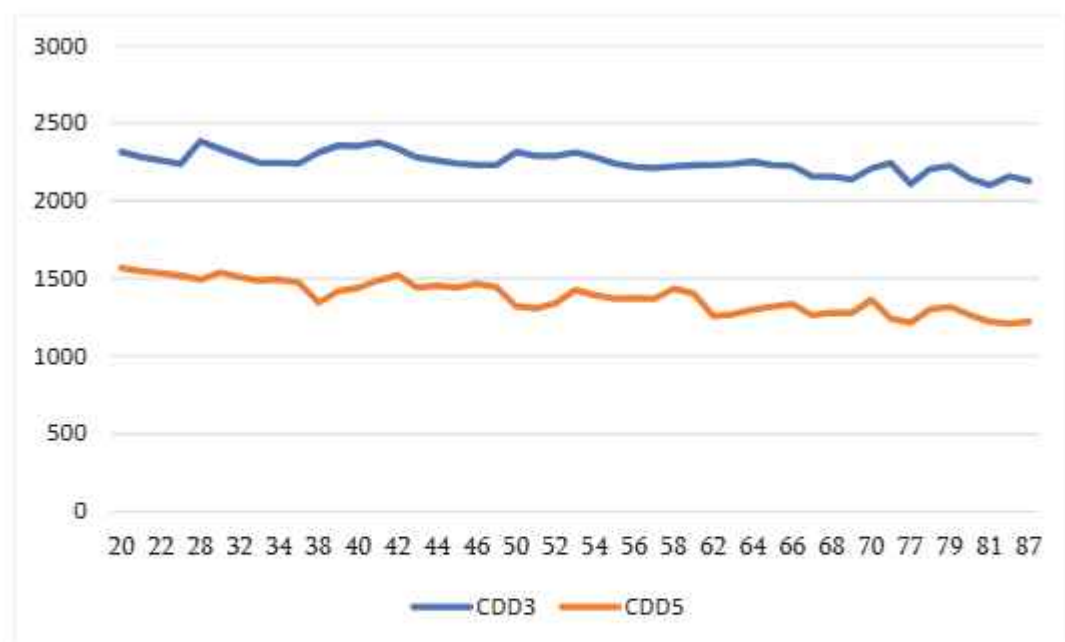


Figure 97. Number of consecutive 3(CDD 3) and 5(CDD 5) dry days

According to the periods divided into three equal intervals, the percentiles of total atmospheric precipitation for the region's grid points shift, reflecting the zonal variation in precipitation amounts.

The distribution is non-uniform according to the 75th, 95th, and 99th percentiles of total precipitation over the period. These indices represent the annual total precipitation when daily precipitation exceeds the 99th, 95th, and 75th percentiles of the historical distribution. They follow the zonal pattern of precipitation distribution.

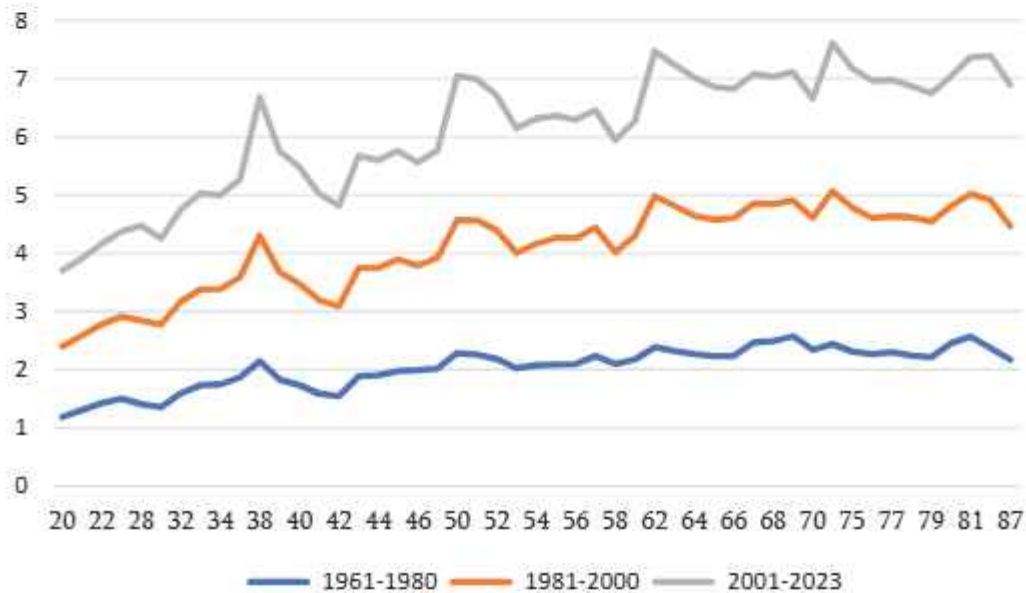


Figure 98. Percentages of atmospheric precipitation for three periods

The r_{95p} and r_{99p} indices are used to identify trends in extreme daily precipitation. However, other indices, such as r_{10mm} , r_{20mm} , r_{25mm} , and rx_{1day} , also reveal trends in relatively high and extreme daily precipitation events. The r_{95p} and r_{99p} indices measure the total annual precipitation from days when daily precipitation exceeds the 95th and 99th percentiles, respectively. It is estimated that the R_{99p} index is less than 1500 mm in regions with arid climates, but significantly higher in humid climates.

The precipitation indices R_{95pTOT} and R_{99pTOT} represent the annual sum of precipitation on days when daily precipitation exceeded the 95th and 99th percentiles of the base period, respectively.

The frequency of precipitation events is influenced by synoptic-scale circulation processes, while the intensity of these events is determined by the amount of precipitation. Extreme precipitation events tend to be less frequent and less intense. This periodicity is closely linked to the region's low annual total precipitation and short wet season. The distribution of precipitation is heterogeneous. Local centers of increased extreme precipitation intensity are identified in the central part of the region, even though the region is not generally

characterized by a high frequency of extreme precipitation. This trend is particularly noticeable in the northern part (66, 79, 81). Meanwhile, the number of days with minimal precipitation is expected to decrease. This redistribution of precipitation patterns will make the region more vulnerable to extreme weather events.

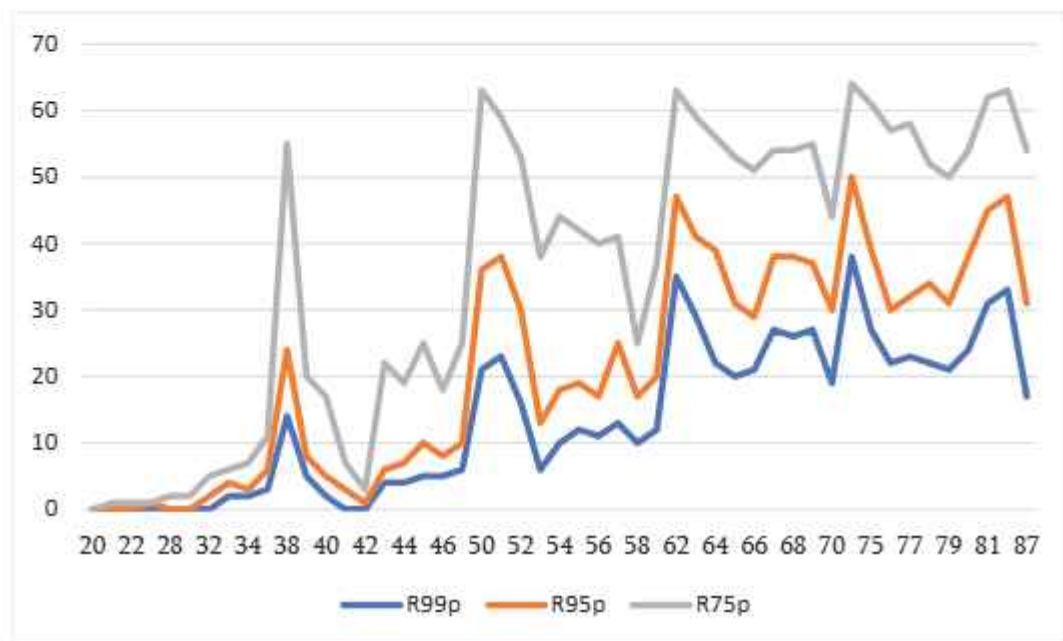


Figure 99. 75th, 95th, and 99th percentiles of atmospheric precipitation

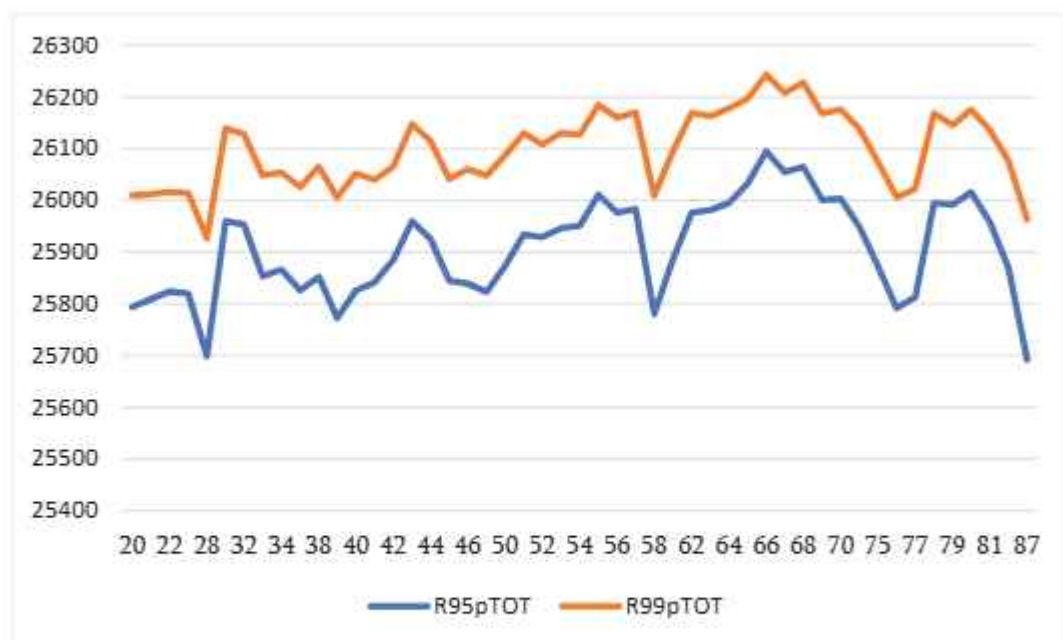


Figure 100. Precipitation R95pTOT, R99pTOT indices

Conclusion

As a result of conducted research, climate change is being observed in the Tskhinvali region, characterized by the rising air temperature and decreasing atmospheric precipitation trends. However, in a certain small part of the territory, an increase in precipitation has been fixed.

Extreme temperatures have risen more sharply than average temperatures, with warming most pronounced in the mountainous northern areas. In the city of Tskhinvali, the average air temperature increased by 0.5°C between 1957 and 2023. The number of heatwave days (extremely hot days) and tropical nights is increasing, while the number of icy days and nights with frost is decreasing.

Climatic zones have shifted northward, with an average of approximately 0.04°C.

Precipitation indices reveal a clear decline in rainfall, attributed to both reduced total precipitation and prolonged dry periods.

These climate changes are expected to have significant impacts on both the environment and society. We can anticipate more frequent and intense extreme hydrometeorological events. Rising temperatures will affect not only the availability but also the quality of water resources. Forests will suffer from worsening pest infestations and the emergence of new harmful insects and diseases. Additionally, forest fires are expected to become more frequent and widespread.

Droughts will intensify, contributing to the degradation of agricultural and forest lands, which in turn will negatively affect food production, livestock farming, and crop yields—especially for perennials and cereals.

Climate change also threatens local species of plants, insects, and vertebrates. Increased heatwaves pose serious health risks to the population. These developments underscore the urgent need for climate change mitigation measures to slow human-driven climate change and reduce associated environmental and societal risks.

References

1. M. Kordzakhia, Georgian Climate (in Georgian), Tb, 1961
2. L. Maruashvili, Geomorphology of Georgia (in Georgian), Tb., 1964
3. Georgian Soviet Encyclopedia, Georgian SSR, (in Georgian), Tb., 1981
4. National Atlas of Georgia (in Georgian), Tb., 2012
5. CSP (U.S. Climate Change Science Program). (2008). Synthesis and Assessment Product 3.3: Weather and climate extremes in a changing climate. www.globalchange.gov/browse/reports/sap-33-weather-and-climate-extremes-changing-climate
6. EUMETNET/ECSN optional program: 'European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)' Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI.2013
7. "Heat wave meteorology". Encyclopedia Britannica. Retrieved 1 April 2019.
8. Kunkel, K. (2022). Updated version of Figure 2.3 in: CCSP (U.S. Climate Change Science Program). (2008). Synthesis and Assessment Product 3.3: Weather and climate extremes in a changing climate. www.globalchange.gov/browse/reports/sap-33-weather-and-climate-extremes-changing-climate
9. Lu, J. Vecchi, G., & Reichler, T. Expansion of the Hadley cell under global warming. Geophysics. Res. Lett. 34, <https://doi.org/10.1029/2006GL028443> (2007).
10. Mann-Kendall Test, <https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>
11. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2024). Heat stress datasets and documentation (provided to EPA by NOAA in April 2024) [Data set].
12. Sarofim, M. C., Saha, S., Hawkins, M. D., Mills, D. M., Hess, J., Horton, R., Kinney, P., Schwartz, J., & St. Juliana, A. (2016). Chapter 2: Temperature-related death and illness. In USGCRP (U.S. Global Change Research Program), The impacts of climate change on human health in the United States: A scientific assessment (pp. 43–69). <http://dx.doi.org/10.7930/J0MG7MDX>
13. Stephens, g. L. & Hu, Y. Are climate-related changes to the character of global-mean precipitation predictable? Env. Res. Lett. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/025209> (2010).
14. Taylor, K.E.: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophysics. Res., 106, 7183-7192, 2001
15. The 5th assessment report of the IPCC (2013), <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

დანართი 1. / Annex 1.

ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 1957-2023 წწ. (აღდგენილი 1990-2023 წწ.)
Average air temperature, 1957-2023 (reconstructed 1990-2023 years)

წელი / Year	ცხინვალი / Tskhinvali, °C
1957	10.75315
1958	9.75863
1959	8.715068
1960	10.0991
1961	10.05507
1962	11.20658
1963	9.966219
1964	9.05
1965	9.670137
1966	12.04575
1967	9.55726
1968	10.21339
1969	9.318904
1970	10.53753
1971	10.50603
1972	9.890164
1973	9.393425
1974	9.869315
1975	10.27781
1976	9.104098
1977	9.895616
1978	9.741918
1979	10.9274
1980	10.21175
1981	10.83808
1982	9.375616
1983	9.977808
1984	9.58224
1985	9.920548
1986	10.57041
1987	9.672877
1988	9.693443
1989	10.56274
1990	10.11421

წელი / Year	ცხინვალი / Tskhinvali, °C
1991	10.88128
1992	8.59068
1993	8.18344
1994	9.588616
1995	10.02426
1996	9.477444
1997	9.07727
1998	10.46637
1999	10.2057
2000	9.699996
2001	10.0577
2002	9.432076
2003	9.460822
2004	9.653648
2005	9.734366
2006	10.04371
2007	9.841367
2008	9.638319
2009	9.874439
2010	11.52143
2011	8.903169
2012	10.32907
2013	9.848869
2014	10.48902
2015	10.55753
2016	9.841621
2017	10.30638
2018	11.16115
2019	11.28886
2020	10.98916
2021	11.0297
2022	10.30289
2023	11.66904

დანართი 2. / Annex 2.

ცხრილი 1. ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები ბადის წერტილებისთვის
Table 1. Climate indices of air temperature for grid points

N	T0	T2	T5	T10	T15	T20	T-1	T-2	T-5	T<0	T<-1	<-2	<-5	<-10	<-15	<-18
20	21	10	12	5	7	10	3	12	2	3317	2407	1690	512	35	2	0
21	22	9	12	5	13	7	3	7	5	3790	2818	2005	606	44	3	0
22	25	5	6	6	12	16	5	6	2	4099	3128	2297	708	56	3	1
23	17	8	7	8	13	10	13	4	4	4298	3316	2478	768	62	4	1
28	23	8	10	6	21	9	8	7	2	3789	2809	2017	644	50	5	0
31	29	14	5	9	12	11	9	5	5	3965	3022	2143	642	56	3	1
32	17	8	9	7	11	10	8	7	3	5063	4036	3095	1098	86	4	1
33	22	10	11	16	12	10	8	8	3	5673	4535	3595	1385	131	5	3
34	24	13	7	6	11	6	4	9	7	5253	4194	3286	1181	104	4	3
35	30	9	6	9	12	4	11	6	6	6030	4919	3912	1611	165	5	3
38	18	11	14	10	10	4	10	9	6	5878	4711	3710	1322	111	11	2
39	28	12	12	7	14	3	5	9	8	4959	3913	2927	946	74	5	1
40	22	9	14	8	8	9	14	9	3	5061	4014	3058	1004	82	5	1
41	27	15	7	10	11	5	12	5	3	4772	3711	2815	923	71	3	1
42	33	11	10	4	10	10	8	8	1	4722	3697	2803	924	70	4	1
43	27	5	6	7	12	5	17	10	7	6669	5552	4476	1930	203	9	3
44	10	9	6	10	10	5	6	8	6	6772	5663	4593	2034	224	12	4
45	16	10	7	11	12	3	6	8	6	7476	6336	5261	2549	374	25	4
46	30	4	9	8	12	4	7	12	9	6377	5289	4219	1866	211	9	4
47	17	5	9	10	10	2	10	8	3	7492	6388	5331	2671	425	28	5
50	23	6	10	7	12	6	17	3	1	6461	5313	4214	1639	161	11	3
51	21	9	10	12	7	2	16	10	6	7730	6607	5471	2542	321	21	5
52	16	6	7	4	8	0	5	8	6	7588	6436	5340	2446	301	18	4
53	22	15	7	10	11	4	14	8	5	6286	5157	4066	1618	156	7	3
54	18	13	6	13	12	0	10	14	11	7519	6429	5317	2499	331	22	5
55	21	6	7	14	10	1	11	11	8	8662	7636	6551	3518	684	56	8
56	23	8	5	16	9	1	12	11	10	8778	7801	6725	3744	788	75	9
57	12	4	11	7	6	0	7	11	5	9552	8543	7549	4453	1161	121	28
58	27	7	8	7	11	0	5	13	10	7589	6496	5427	2736	461	35	6
59	22	9	12	10	17	0	10	10	5	8473	7536	6492	3590	882	87	17
62	21	10	7	10	10	0	6	13	8	9629	8616	7505	4145	819	66	11
63	21	10	7	13	12	2	9	12	15	9479	8450	7346	4019	785	64	10
64	17	14	5	10	11	2	20	9	8	8615	7543	6432	3270	561	35	6
65	19	6	7	11	12	0	3	7	11	8916	7889	6784	3604	693	56	8
66	14	11	11	12	11	0	11	7	8	9344	8293	7272	4104	906	82	12

67	24	12	14	8	6	0	9	12	14	12835	11935	11029	8077	3188	665	173
68	18	13	12	10	3	0	6	11	13	12583	11673	10792	7805	3018	620	155
69	20	8	8	6	2	0	10	13	6	13674	12748	11833	9021	4077	1112	353
70	15	8	10	11	7	1	11	8	11	9501	8524	7567	4535	1264	149	33
74	33	12	9	13	8	0	16	15	10	9339	8262	7122	3812	708	52	8
75	21	10	5	14	7	1	7	10	11	11591	10654	9672	6351	1955	265	56
76	21	7	13	11	1	1	5	10	10	13474	12588	11663	8701	3610	821	232
77	28	10	16	7	1	0	12	10	4	14219	13254	12352	9497	4348	1190	392
78	17	11	8	21	8	0	8	12	5	10592	9625	8622	5403	1525	178	36
79	19	7	11	8	5	0	8	7	9	10209	9262	8209	5062	1394	157	34
80	16	8	11	14	2	0	14	12	10	13266	12357	11429	8558	3611	886	254
81	19	18	11	9	0	0	5	9	18	15474	14464	13497	10623	5589	1946	811
86	15	12	13	13	2	0	8	5	11	12194	11277	10302	6960	2343	398	85
87	23	9	15	9	0	0	11	13	12	13640	12711	11839	8781	3667	871	262

ცხრილი 2. მაქსიმალური ტემპერატურის p10, p90 პროცენტული საბაზისო პერიოდის (1961-1990წ.), TX10p, TX90p (მთელი პერიოდისთვის)

Table 2. Maximum temperature 10p and 90p percentiles of base period (1961-1990), TX10p, TX90p (for the entire period) and number of Icy Days (ID)

N	p10	p90	TX10p	TX90p	ID
20	3.02	27.69	2429	3172	699
21	2.82	26.97	2517	3258	818
22	2.714	26.386	2600	3363	916
23	2.654	26.15	2668	3372	993
28	2.7	27.21	2579	3110	868
31	2.394	27.1	2491	2975	947
32	1.75	25.47	2666	3075	1436
33	1.5	24.496	2771	3215	1680
34	1.82	24.91	2722	3336	1448
35	1.38	23.96	2863	3303	1867
38	0.84	24.32	2678	3329	2024
39	1.77	25.6	2669	3215	1443
40	1.79	25.52	2711	3171	1448
41	2.03	26.1	2663	3073	1259
42	2.05	26.13	2624	3060	1238
43	0.874	23.6	2948	3093	2247
44	0.824	23.41	2976	3098	2311
45	0.48	22.55	3233	3023	2821
46	1.174	23.71	2929	3193	2057
47	0.62	22.53	3402	2950	2874
50	0.75	24.08	2737	3324	2183

51	-0.02	22.6	2879	3382	2898
52	0.224	22.776	2971	3298	2783
53	1.19	24.28	2861	3196	1931
54	0.35	22.73	3067	3163	2783
55	-0.69	21.26	3280	3039	3860
56	-0.85	21.02	3356	2943	4122
57	-1.87	19.956	3270	3029	4949
58	0.59	22.48	3453	2920	2938
59	-0.23	21.7	3763	2570	3962
62	-2.026	20.36	2814	3594	4533
63	-1.68	20.5	2924	3493	4349
64	-0.632	21.67	3020	3337	3531
65	-0.956	21.12	3102	3265	3903
66	-1.5	20.412	3140	3200	4429
67	-7.096	14.676	2383	4277	9060
68	-6.826	14.95	2362	4283	8694
69	-8.51	13.296	2210	4498	9971
70	-1.766	20.09	3426	2845	4975
74	-1.38	21.09	2879	3564	4062
75	-4.77	17.3	2633	3928	7068
76	-7.87	14.29	2363	4264	9770
77	-8.95	13.14	2301	4374	10594
78	-3.216	18.516	2964	3514	5863
79	-2.616	19.05	3143	3277	5467
80	-7.61	13.936	2378	4343	9448
81	-10.026	11.12	2515	4485	11738
86	-5.73	16.746	2529	4014	7883
87	-8.02	14.43	2370	4239	9874

ცხრილი 3. მინიმალური ტემპერატურის საბაზისო პერიოდის (1961-1990წ.) p10 და p90 პროცენტელები, TN10p, TN90p და წაყინვების დღეთა რიცხვი (FD)

Table 3. Minimum temperature p10, p90 percentiles of the base period (1961-1990), TN10p, TN90p indices (for the entire period) and number of frost days (FD)

N	10p	90p	TN10p	TN90p	FD
20	-4.333	15.75	2918	2848	7528
21	-4.773	15.1	2914	2878	7959
22	-5.15	14.623	2920	2925	8289
23	-5.33	14.42	2918	2915	8476
28	-4.683	14.93	2807	3121	7880
31	-4.66	15.28	3081	2555	8001

32	-5.76	14	3091	2526	9167
33	-6.383	13.343	3072	2505	9728
34	-6.15	13.63	2971	2658	9332
35	-6.81	12.96	3051	2515	10035
38	-6.26	13.083	2663	3061	9552
39	-5.55	13.95	2761	2983	8831
40	-5.7	13.9	2851	2799	8987
41	-5.343	14.48	2976	2591	8693
42	-5.303	14.59	3029	2479	8722
43	-7.16	12.563	3125	2315	10534
44	-7.33	12.48	3134	2249	10660
45	-7.87	11.96	3272	2034	11283
46	-7.27	12.63	2991	2434	10352
47	-8.113	11.87	3226	2034	11319
50	-6.99	12.45	2649	3063	10093
51	-8.28	11.23	2749	2819	11318
52	-8.1	11.49	2868	2627	11258
53	-6.88	12.84	2881	2610	10110
54	-8.03	11.78	3049	2272	11250
55	-9.113	10.993	3231	1896	12302
56	-9.273	10.96	3330	1759	12462
57	-10.33	10.26	3193	1790	13148
58	-8.29	11.78	3205	1963	11407
59	-9.016	11.32	3473	1614	12271
62	-10.17	9.4	2785	2760	13006
63	-10.053	9.65	2824	2591	12927
64	-9.23	10.48	2839	2529	12191
65	-9.42	10.46	3030	2235	12500
66	-9.84	10.28	3153	1988	12857
67	-14.39	6.58	2643	2560	16248
68	-14.52	6.73	2510	2630	15998
69	-16.19	5.37	2354	2934	17415
70	-10.68	10.213	3111	1756	13111
74	-10.053	9.52	2688	2886	12806
75	-12.21	7.663	2844	2601	14811
76	-14.3	5.873	2844	2680	16942
77	-15.283	5.18	2778	2700	17796
78	-11.29	9.083	2992	2081	13957
79	-10.94	9.54	3086	1918	13666
80	-15.06	6	2584	2671	16815
81	-17.22	3.743	2674	2887	19484

86	-13.06	6.813	2726	2854	15499
87	-14.43	5.54	2822	2826	17105

ცხრილი 4. ნალექების კლიმატური ინდექსები

Table 4. Climate indices of precipitation

N	P0	P2	P5	P10	P15	P20	P>0	P>2	P>5	P>10	P>15	P>20	DRY3	dry5
20	20385	122	76	19	5	2	6643	5708	2836	961	389	154	2318	1569
21	20332	100	78	18	10	3	6696	5954	3073	1041	407	170	2285	1550
22	20198	100	77	26	9	2	6830	6055	3268	1178	482	215	2262	1537
23	20083	109	65	33	6	7	6945	6155	3377	1281	544	244	2239	1519
28	19225	127	81	18	9	2	7803	6900	3492	1182	446	180	2386	1494
29	19638	129	67	20	4	2	7390	6364	3192	1100	409	172	2373	1529
30	19902	100	72	18	6	1	7126	6133	3119	1074	421	169	2356	1545
31	19911	110	80	17	6	1	7117	6211	3311	1184	487	198	2336	1540
32	19652	70	78	32	6	6	7376	6784	3844	1385	588	245	2290	1508
33	19472	82	82	29	10	6	7556	7068	4131	1501	621	277	2246	1487
34	19631	81	75	23	14	2	7397	6789	3950	1518	686	330	2246	1496
35	19386	80	74	20	8	1	7642	7052	4191	1628	742	349	2242	1475
38	17576	75	105	49	15	8	9452	8986	5428	2140	881	387	2313	1346
39	18290	71	108	37	15	7	8738	8208	4686	1701	666	284	2358	1420
40	18597	111	94	22	15	3	8431	7839	4418	1623	631	264	2354	1440
41	19090	111	78	31	15	3	7938	7105	3961	1491	606	259	2378	1489
42	19401	104	70	19	15	6	7627	6845	3911	1400	557	251	2338	1523
43	18730	75	86	35	18	3	8298	7808	4742	1734	692	318	2281	1442
44	18874	56	93	31	18	8	8154	7707	4714	1714	671	300	2260	1454
45	18696	73	112	36	17	4	8332	7855	4752	1784	744	320	2242	1443
46	19132	74	86	31	11	8	7896	7362	4466	1768	790	365	2232	1468
47	18853	92	80	31	25	8	8175	7541	4573	1881	844	403	2232	1444
50	17404	76	113	31	17	6	9624	9170	5673	2349	1017	465	2316	1323
51	17250	62	117	47	16	4	9778	9340	5698	2281	970	419	2289	1308
52	17556	88	101	39	17	7	9472	8959	5410	2164	943	438	2290	1342
53	18264	95	102	45	17	5	8764	8145	4904	1944	859	408	2312	1428
54	18034	83	98	25	7	5	8994	8494	5206	1983	817	372	2284	1395
55	17839	72	119	43	13	5	9189	8704	5334	1996	793	351	2243	1370
56	17933	67	104	43	20	6	9095	8585	5248	2013	800	344	2220	1374
57	17781	85	104	31	12	8	9247	8672	5231	2097	894	391	2213	1369

58	18667	81	69	30	9	2	8361	7663	4631	1967	900	433	2221	1436
59	18362	95	83	42	17	7	8666	7851	4769	2102	1029	510	2231	1404
62	16678	96	116	45	22	15	10350	9712	5976	2504	1116	507	2234	1258
63	16835	87	124	33	21	8	10193	9629	5847	2377	1026	441	2240	1270
64	17195	88	107	38	11	4	9833	9242	5613	2292	1007	456	2253	1300
65	17337	93	108	35	14	8	9691	9072	5535	2246	982	440	2234	1319
66	17397	84	132	39	21	1	9631	8965	5458	2229	957	459	2227	1336
67	16718	114	116	46	17	8	10310	9525	5661	2272	973	446	2160	1265
68	16847	121	95	46	16	12	10181	9339	5602	2267	996	449	2157	1282
69	16747	102	110	34	18	9	10281	9300	5525	2309	1042	480	2139	1279
70	17812	104	84	36	14	6	9216	8250	5089	2245	1058	517	2210	1363
74	16701	111	91	37	17	5	10327	9634	5926	2627	1226	560	2244	1242
75	16424	105	92	43	14	9	10604	9776	5738	2343	1002	419	2184	1236
76	16229	121	122	50	21	8	10799	9748	5583	2204	873	358	2124	1209
77	16254	124	110	50	13	4	10774	9702	5665	2186	886	368	2110	1217
78	17053	98	106	42	18	3	9975	9310	5601	2213	902	410	2209	1304
79	17292	86	97	58	13	3	9736	9081	5502	2171	914	390	2226	1318
80	16732	127	97	44	14	7	10296	9365	5605	2302	998	441	2145	1266
81	16335	121	113	50	14	9	10693	9650	5856	2388	1033	472	2103	1221
86	16209	124	94	36	17	11	10819	9373	5515	2485	1203	570	2160	1209
87	16159	165	97	34	22	5	10869	9198	5264	2228	962	434	2130	1221

ცხრილი 5. ნალექების 95 და 99 პროცენტოილები და R95pTOT, R99pTOT ინდექსები
Table 5. Precipitation 95p and 99p percentiles and R95pTOT, R99pTOT indices

N	R99p	R95p	95p	99p	R95pTOT	R99pTOT
20	0	0	8.8	18.143	25794	216
21	0	0	9.3	19.1	25809	203
22	0	0	10	20.743	25824	192
23	0	1	10.4	21.8	25820	194
28	0	0	9.5	18.4	25699	228
29	0	0	9.3	18.443	25753	215
30	0	0	9.7	18.9	25861	204
31	0	0	10.615	20.7	25960	179
32	0	2	11.5	22.4	25953	176
33	2	4	11.4	22	25853	196
34	2	3	11.7	23.886	25866	188

35	3	6	12	23.843	25827	199
38	14	24	13.5	23.9	25852	213
39	5	8	11.7	21.086	25773	233
40	2	5	11.7	20.843	25826	226
41	0	3	11.3	21.843	25842	198
42	0	1	11.1	21.6	25885	181
43	4	6	12.6	23.1	25959	189
44	4	7	12.5	22.843	25926	190
45	5	10	12.4	23.2	25845	197
46	5	8	12.6	23.543	25839	221
47	6	10	12.8	23.9	25823	225
50	21	36	14.4	24.843	25874	214
51	23	38	14.3	24.743	25934	196
52	16	30	14.1	25.6	25929	179
53	6	13	13.6	25.3	25946	184
54	10	18	13.6	24.643	25951	176
55	12	19	13.8	24.2	26011	174
56	11	17	13.6	23.943	25976	184
57	13	25	14.2	24.9	25983	187
58	10	17	12.9	24.743	25780	229
59	12	20	14.4	26.543	25887	209
62	35	47	15.4	26.3	25976	193
63	29	41	15	25.7	25981	182
64	22	39	14.815	26.043	25995	183
65	20	31	15	26.429	26032	165
66	21	29	15.3	27.743	26095	148
67	27	38	15.015	26.943	26055	153
68	26	38	15.3	27.043	26065	163
69	27	37	15.2	27.986	26001	167
70	19	30	15.215	29	26003	173
74	38	50	15.9	27.4	25948	190
75	27	39	14.2	24.1	25873	202
76	22	30	13.2	22.8	25792	214
77	23	32	13.3	22.9	25813	210
78	22	34	14.4	24.9	25995	173
79	21	31	14.4	26.1	25992	154
80	24	38	15	26.986	26016	160
81	31	45	14.9	26.4	25958	178
86	33	47	15.4	26.8	25869	207
87	17	31	13.3	22.743	25692	271

