

ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი

*ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის
დოქტორანტი ნანო გოგია*

კოლოქვიუმი 1

ამინდისა და კლიმატის ექსტრემალური მოვლენები საქართველოს ტერიტორიისათვის

სამეცნიერო ხელმძღვანელები:

*გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი
მარიამ ელიზბარაშვილი*

ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი, ნატო კუტალაძე

თბილისი, 2014

სარჩევი

1. Summary (eng)
2. რეზიუმე (ქართ)
3. ზოგადი მიმოხილვა
4. კვლევის მიზანი და ამოცანები
5. კვლევის მეთოდოლოგია
 - 5.1. ექსტრემალური კლიმატური ინდექსების გამოთვლის მეთოდოლოგია
 - 5.2. რუკების შედგენა და ანალიზი
6. მიღებული სამეცნიერო შედეგები
 - 6.1. ექსტრემალური კლიმატურ ინდექსთა კატალოგი
 - 6.2. დატენიანების კლიმატური ინდექსების დინამიკა და სივრცითი განაწილება
1960-90 წწ.
 - 6.3. ტემპერატურის კლიმატური ინდექსი - ექსპერიმენტი გის-ების გამოყენებით
7. დასკვნა
8. გამოყენებული ლიტერატურა

Summary

Scientists generally agree that intensification of the global warming will cause increase in number of the weather and climate extreme events.

These extreme events can seriously harm the society, agriculture, economy, health and even the safety of the country. That is why studying extreme events is crucial for the stability of the region.

To gain a uniform perspective on observed changes in climate extremes under the global warming conditions the World Meteorological Organization and Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices of the intergovernmental commission on climate change has defined a core set of climate change indices. The indices describe particular characteristics of extremes, including frequency, amplitude and persistence. The [core set includes 27 extremes indices](#) for temperature and precipitation.

In this study according to observations materials of 81 meteorological stations over the period from 1960 to 1990 in Georgia, four climatic change indices have been examined. For data homogenization and indices calculation a powerful and freely available statistical package R was used. Geoinformational maps of spatial structure have been drawn up by using soft ArcGis 10.1. and for interpolation of indices, different algorithms: spline and spline with barriers have been used. The possibilities of these two different algorithms for the mountainous territory have been compared and analyzed.

რეზიუმე

ზოგადი შეთანხმება არსებობს იმაზე, რომ გლობალური დათბობის ინტენსიფიკაცია გამოიწვევს ამინდისა და კლიმატის ექსტრემალური მოვლენების სიხშირის გაზრდას. ექსტრემალურმა მოვლენებმა შეიძლება სერიოზული გავლენა იქონიოს საზოგადოებაზე, სოფლის მეურნეობაზე, ეკონომიკაზე, ადამიანის ჯანმრთელობაზე და ქვეყნის უსაფრთხოებაზეც კი. ამიტომ ექსტრემალური მოვლენების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რეგიონის სტაბილურობისათვის.

ამინდსა და კლიმატის ექსტრემალურ მოვლენებზე დაკვირვებითი მონაცემების უნიფიკაციის მიზნით მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის და მონიტორინგისა და ინდექსების სამთავრობათშორისო კომისიის ექსპერტებმა კლიმატის ცვლილებაში შემუშავა 27 ძირითადი ინდექსი. მათ რეკომენდაცია გაუწიეს სხვადასხვა ქვეყნებს შეისწავლონ ეს ინდექსები, რათა მოხერხდეს მათი განზოგადოება რეგიონებისა და მთლიანად დედამიწისათვის და ჩატარდეს შესაბამისი შედარებითი ანალიზი. ამ ინდექსებს მიეკუთვნება კლიმატური ექსტრემუმები, ცივი, ყინვიანი და ცხელი დღეები, ნალექიანი და უნალექო პერიოდები და აშ. სტატიაში განხილულია რამოდენიმე ინდექსის სივრცითი სტრუქტურა საქართველოს ტერიტორიისათვის. კვლევებისათვის გამოყენებული იქნა საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტის 81 მეტეოსადგურის დღიური მონაცემები 1960-1990 წლებისათვის.

კლიმატის ცვლილების ინდექსები დათვილი იქნა ყოველდღიური მონაცემების საფუძველზე, ასევე მონაცემები შემოწმდა ჰომოგენიზაციაზე. ამისთვის გამოყენებული იქნა ძალზე მძლავრი და თავისუფლად ხელმისაწვდომი სტატისტიკური პაკეტი R. რუკები აგებული იქნა ArcGis 10.1 -ით რისთვისაც გამოვიყენეთ ორი სხვადასხვა ალგორითმი: : spline და spline with barriers. ამ ორი ალგორითმის შესაძლებლობები მთიანი ტერიტორიისათვის შედარებული და გაანალიზებულია.

ზოგადი მიმოხილვა

ამინდი ადამიანების ინტერესის სფეროს დიდი ხანია წარმოადგენს. ოდესღაც ვარსკვლავებზე და ცხოველებზე დაკვირვებით ცდილობდნენ მომავალი ამინდის პროგნოზირებას, ახლა კი რიგითი ადამიანები ამინდის პროგნოზს ტელევიზიის ან სხვა მედიის საშუალებით იგებენ. ამინდზე ყველაზე ხშირად საუბრობენ. ხშირად ის უცხო ადამიანებს შორის საუბრის წამოწყების საუკეთესო საშუალებაა, ხშირად წუწუნის ან კარგი განწყობის მიზეზია. ამინდის მიხედვით ვაწყობთ მომდევნო დღის გეგმებს - პიკნიკზე წავიდეთ თუ სახლში მოვიწვიოთ მეგობრები, ღია ფეხსაცმელი ჩავიცვათ თუ ქოლგა წავიღოთ თან და ა.შ. მოკლედ, ამინდი ადამიანების ყოველდღიურ ცხოვრებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს, თუმცა განსაკუთრებით აქტუალურია წყალდიდობები, ქარიშხლები, ტემპერატურის განსაკუთრებულად მაღალი ან დაბალი მნიშვნელობები, რომლებიც არა მხოლოდ განწყობაზე მოქმედებენ უარყოფითად, არამედ განსაკუთრებულ ზიანს აყენებენ ეკონომიკას და ხშირად საფრთხეს უქმნიან ადამიანის ფიზიკურ არსებობასაც კი. შესაბამისად მათი პროგნოზირება და ანალიზი უაღრესად აქტუალური და მნიშვნელოვანია.

მრავალი კვლევების შედეგად გამოვლენილი ტრენდების საფუძველზე ექსტრემალური და ანომალური მოვლენების რიცხვი საუკუნის დასაწყისთან შედარებით უკანასკნელი ათწლეულის მანძილზე 2-2,5-ჯერ გაიზარდა, რამაც ამ თემისადმი ინტერესი შესაბამისად ერთი ორად გაზარდა.

კლიმატის ცვლილება მე-20 საუკუნის მეორე ნახევრიდან კაცობრიობის უმნიშვნელოვანეს პრობლემად იქცა, ხოლო პროცესის გამომწვევი მიზეზების, განვითარების მიმართულებისა და სიჩქარის, კლიმატის ცვლილების სტრუქტურის შესწავლა მეცნიერების უმთავრესი ამოცანა გახდა. მიუხედავად მთელი რიგი კვლევებისა და ლიტერატურისა ჯერ კიდევ არასაკმარისად არის შესწავლილი ისეთი კლიმატური ასპექტი, როგორცაა ექსტრემალური მეტეომოვლენების სიხშირის განაწილების ბუნება დროსა და სივრცეში.

კლიმატის ცვლილების მეცნიერული შესწავლისათვის სამი ძირითადი მიდგომა არსებობს:

1. პროცესის ფიზიკური ასპექტების მოდელირება და კლიმატის ცვლილების დინამიკური მოდელების შექმნა;
2. პროცესის განხილვა, როგორც სრულიად შემთხვევითი მოვლენისა და მრავალჯერადი განმეორების (დაკვირვების) შედეგად, სტატისტიკური მეთოდებით, გარკვეული დასკვნების გაკეთება;
3. სტატისტიკურის საპირისპიროდ, რთული, ერთი შეხედვით სრულიად სტოქასტური პროცესების შესწავლა არაწრფივი დინამიკის ანალიზის მეთოდებით, ამ პროცესებში

გარკვეული შინაგანი კანონზომიერებისა და მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენის მიზნით.

კლიმატის ცვლილებამ გლობალურად და განსაკუთრებით რეგიონალური მასშტაბით კლიმატური ანომალიების სივრცით-დროით სტრუქტურის ცვლილება გამოიწვია და ზოგიერთ რეგიონში განსაკუთრებით თვალსაჩინო გახდა ტემპერატურისა და ნალექების რეჟიმში ანომალური ექსტრემუმების სიმრავლე. იგულისხმება წლის, თვის და ყოველდღიური ნალექთა ჯამის და ტემპერატურის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობების განმეორადობის სიხშირის, ხანგრძლივობის (რამოდენიმე დღე თანმიმდევრობით), აბსოლუტური მნიშვნელობის, ინტენსივობის შეცვლა.

ზოგადი შეთანხმება არსებობს იმაზე, რომ გლობალური დათბობის ინტენსიფიკაცია გამოიწვევს ამინდისა და კლიმატის ექსტრემალური მოვლენების სიხშირის გაზრდას (Meehl et al., 2006; Easterling et al., 2000). ექსტრემალურმა მოვლენებმა შეიძლება სერიოზული გავლენა იქონიოს საზოგადოებაზე, სოფლის მეურნეობაზე, ეკონომიკაზე, ადამიანის ჯანმრთელობაზე და ქვეყნის უსაფრთხოებაზეც კი. ამიტომ ექსტრემალური მოვლენების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რეგიონის სტაბილურობისათვის.

კლიმატური ექსტრემუმების შესწავლა კომპლექსურად მიმდინარეობს, ამ მიდგომათაგან თითქმის ყველა თანამედროვე მეთოდის გამოყენებით, რადგან თითოეულ მათგანს აქვს თავისი მეთოდური თუ ტექნიკური ნაკლი, რომელიც ურთიერთშედარებისა და შერწყმის დროს იხვეწება. ამას გარდა კლიმატური ექსტრემუმები კლიმატური პარამეტრების შესაბამისად მეტად მრავალგვარია, მათი ხანგრძლივობა სინოპტიკური დროითი მასშტაბიდან რამდენიმე წლამდეც კი გრძელდება. ცხადია ასეთი მრავალფეროვნების გამო ძნელია რაიმე ზოგადი მახასიათებლის – ინდექსის შემოღება, რომელიც თვისობრივად ან რაოდენობრივად დაახასიათებს ასეთ მოვლენებს, ამიტომ მათი სტატისტიკური თუ დინამიკური მოდელირებისას სხვადასხვაგვარი სტრატეგიისა და მეთოდოლოგიის არჩევას საჭირო. კლიმატური ვარიაციისა და ექსტრემალური კლიმატის ბუნების თავისებურებების შესწავლას ამნელებს ურთიერთქმედება საშუალოსა და რყევას შორის. რადგანაც ვარიაცია (რყევა) თავისთავად დამოკიდებულია ალბათობების სტატისტიკურ განაწილებაზე და სურათი სხვადასხვაგვარია იმისდა მიხედვით, საშუალოს ცვლილებასთან გვაქვს საქმე, ვარიაციასთან თუ ორივესთან ერთად. ამგვარად "ექსტრემალური მოვლენები" კლიმატის ცვლილების ახსნის ერთგვარი გასაღებია.

MMO-ს კლიმატოლოგიის კომისიისა და IPCC /CLIVAR (კლიმატის ბუნებრივი ცვალებადობა) - პროგრამის გაერთიანებული ძალისხმევით შეიქმნა სპეციალური საექსპერტო ჯგუფი კლიმატური ექსტრემუმების სამეცნიერო კვლევის კოორდინაციისათვის, რომელმაც მიზნად დაისახა სამეცნიერო მეთოდოლოგიური სრულყოფა და აუცილებელ მონაცემთა ბაზის შევსება. მისი რეკომენდაციით მონაცემთა ბაზა, რომელიც მსგავსი კვლევებისათვის არის საჭირო ყოველდღიური ნალექების, მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურის გრძელ რიგიანი მონაცემებისაგან შედგება, რადგან ყოველდღიური ან

ვადებზე დაკვირვებული მონაცემები უკეთ იძლევიან ექსტრემუმების სიდიდისა თუ სიხშირის ცვლილებების დადგენის საშუალებას. ასეთი ცვლილებების გამოვლენისა და შეფასების მიზნით შემუშავებული იქნა ექსტრემალური კლიმატური მახასიათებლების ანუ ინდექსების ნუსხა, რომელიც ჯერ კიდევ დახვეწის ფაზაშია. მათი გამოთვლისა და შეფასების მეთოდოლოგიაც არ არის მთლად იდენტური და გარდა ცალკეული მკვლევარების შეხედულებისა, ხშირად რეგიონის კლიმატური თავისებურების გათვალისწინების გამოც ხდება.

1963 წელს ატმოსფერული პროცესების დინამიკისა და პროგნოზირების საკითხისადმი მიძღვნილმა ედვარდ ლორენცის შრომამ დაუდო სათავე რთული დინამიკური პროცესების შემსწავლელ მეცნიერებას-არაწრფივ დინამიკას. უკანასკნელი 20 წლის განმავლობაში მისდამი ინტერესი განსაკუთრებით გაიზარდა. ამას პრაქტიკული მოსაზრებებიც განაპირობებს, ზუსტი მათემატიკური მოდელის არარსებობის პირობებში საშუალებას იძლევა ემპირიული ანათვლების მიმდევრობის საშუალებით რაოდენობრივად შევაფასოთ პროცესის მიმდინარეობის დინამიკა.

საქართველოში, სადაც კლიმატის კვლევასა და დაკვირვებას დიდი ტრადიცია აქვს საქართველოს კლიმატური დახასიათების შესახებ შექმნილ ყველა ნაშრომში ექსტრემალური მოვლენების რეჟიმიც არის განხილული.

გლობალური კლიმატური სურათი რეგიონების კლიმატური თავისებურებების გათვალისწინებით ფორმირდება, ამდენად თითოეული რეგიონის კლიმატის კვლევა საერთაშორისო მნიშვნელობას იძენს. საქართველო ისეთი რთული კლიმატური რეგიონის ნაწილია, როგორც კავკასია. იმის გათვალისწინებით, რომ კლიმატის კვლევას საქართველოში ღრმა ისტორიული ფესვები, მეტეოროლოგიურ დაკვირვებებს კი საუკუნუნახევრიანი ისტორია აქვს, საკითხის ამგვარ დაყენებამდეც, კლიმატის შესწავლისადმი მიძღვნილი მთელი რიგი მონოგრაფიები, სამეცნიერო სატატიები, რუკები და ატლასებია გამოქვეყნებულია.

საკითხის აქტუალურობიდან გამომდინარე კლიმატის ცვლილების თემას საქართველოში ბევრი საინტერესო კვლევა მიეძღვნა. მართალია, უშუალოდ ექსტრემალური კლიმატის ცვლილების პრობლემას ეს ნაშრომები არ ეხება, მაგრამ მათში შეფასებულია მეტეოროლოგიური ელემენტების გასაშუალოებული სიდიდეების ცვლილების ძირითადი ტენდენციები.

თ. დავითაიას გამოკვლევებში არა მარტო საქართველოს, არამედ გლობალური კლიმატური სისტემის ცვლილების შესწავლის ორიგინალური კონცეფციაა ჩამოყალიბებული. მისი ჰიპოტეზის თანახმად ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების თანდათანობითი ზრდა იწვევს ატმოსფერული აეროზოლების ინტენსიურ დალექვას დედამიწის ზედაპირზე. აეროზოლების მნიშვნელოვანი ნაწილი ნახშირბადის შენაერთებისაგან შედგება, რომელთაც სხივური ენერჯის შთანთქმის დიდი უნარი გააჩნიათ, რაც იწვევს მზიდან მოსული ენერჯის შთანთქმის გაძლიერებასა და შესაბამისად დედამიწის ზედაპირის დათბობას. ეს

პროცესი გარკვეულ კრიტიკულ დონემდე გაგრძელდება და შემდეგ საპირისპირო პროცესით შეიცვლება. სამწუხაროდ მისი გამოყენება დღემდე ვერ მოხერხდა ატმოსფერული აეროზოლების ოპტიკური თვისებების შეუსწავლელობის გამო.

დ. მუმლაძის ნაშრომში “საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება”, განხილულია კლიმატის ცვლილების ძირითადი ინდიკატორები და მათი შესწავლის შედეგების მიმოხილვა. კლიმატის ცვლილების შესწავლის მეთოდები, კლიმატის ცვლილების ძირითადი ფაქტორები, ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექების საუკონობრივი ცვლილება. ნაშრომში განხილულია საქართველოს სხვადასხვა ვერტიკალური ზონებისათვის კლიმატური მაჩვენებლები – იანვრის საშუალო ტემპერატურა, ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები, ატმოსფეროს წლიური ნალექები, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი (Σt_0). განსაზღვრულია ჰაერის საშუალო თვიური და წლიური ტემპერატურის საუკუნებრივი მსვლელობა ათწლიანი მცოცავებით. დადგენილი იქნა, რომ მთელ საქართველოში შეინიშნება, როგორც მატების, ასევე კლების პერიოდები, რომელთა გადახრები ნორმიდან და ამპლიტუდები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია, უკანასკნელი 60 წლის მანძილზე ასეთი კლებით აღინიშნა 1958/67-1969/78 წწ პერიოდი. ცალკეული თვეების მომავალი ტემპერატურის დასადგენად გამოთვლილი იქნა ავტოკორელაციის ფუნქციებით. მიღებული შედეგების ანალიზმა უჩვენა, რომ ტემპერატურის ზრდამ საქარველოში თავის მაქსიმუმს 1966-1975 წლებში მიაღწია და მრავალწლიან ნორმას 20C-ით გადააჭარბა. მატება ძირითადად ზამთრის ტემპერატურის ხარჯზე მიმდინარეობდა, რაც უკანასკნელი 150 წლის მანძილზე შეადგენს 1,3 0C-ს. განსაკუთრებით დიდია იანვრის თვის ხვედრითი წილი. იანვრის ტემპერატურის ნაზარდი 2,10C-ს შეადგენს.

საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება უკანასკნელი 140 წლის მანძილზე შეადგენს 0,5-0,6C-ს, თუმცა გარკვეულ პერიოდებში აშკარად ვლინდება ტემპერატურის დაცემა.

კლიმატის კვლევისა და ცვლილების ისტორია, თანამედროვე მდგომარეობა და ძირითადი ტენდენციები წარსულსა და თანამედროვე პირობებში თბილისის მაგალითზე არის განხილული მონოგრაფიაში “თბილისის კლიმატის მრავალწლიური ცვლილება და ციკლური რყევადობა”. პალეოკლიმატური მონაცემების საშუალებით შესწავლილია თბილისის კლიმატი გეოლოგიურ წარსულში და შეფასებულია მისი ცვლილება უკანასკნელ ათასწლეულში. დადგენილია ტემპერატურის საუკუნოვანი სვლის ცვლილების სიჩქარეები სეზონებისათვის, შეფასებულია წრფივი ტრენდები და მისი ცდომილება. ინტეგრალურ-სხვაობითი მეთოდით დადგენილია ტემპერატურის მრავალწლიური რყევადობის ციკლური ხასიათი. ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიანი ცვლილების გამოსავლენად ნალექთა ჯამები შედარებულია დროის ორ პერიოდს შორის. დადგენილი იქნა ნალექთა ჯამის ცვლილების სიჩქარეები წლის თბილი და ცივი პერიოდებისათვის და მთელი წლისათვის, აგებული იქნა ტრენდები და შეფასებული იქნა მათი საიმედოობა. ციკლური რყევადობის დასადგენად გამოყენებული იქნა ინტეგრალურ სხვაობითი მეთოდი, გამოყოფილია

სხვადასხვა ხანგრძლივობის ციკლები, მათ შორის ხანმოკლე დიდწყლიანი და მცირეწყლიანი პერიოდები.

1996 წლიდან საქართველოში ამოქმედდა „კლიმატის კვლევის ეროვნული პროგრამა“, ამ მიმართულებით ჩატარებული სამეცნიერო კვლევები შეჯამდა და განივრცო. 1905-1995 წლების დაკვირვებათა მასალის საფუძველზე წლის საშუალო ტემპერატურის ანალიზმა გამოავლინა აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატური დათბობის, ხოლო დასავლეთში, კოლხეთის დაბლობზე, კლიმატური აცივების კანონზომიერება. შესწავლილია ცალკეული კლიმატური პარამეტრების ცვლილების მიმართულება და სიჩქარე, აგებულია ტრენდები სხვადასხვა დროით მასშტაბზე, დადგენილია ცირკულაციური რყევადობის მახასიათებლები.

მონოგრაფიის “საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელი” მიზანია საქართველოში ტემპერატურული ველის ცვლილების შესწავლა დროსა და სივრცეში. მასში აღწერილია ავტორთა ჯგუფის მიერ ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები. ნაშრომში განხილული მეთოდებითა და არსებული ემპირიული მასალის გამოყენებით დადგენილი იქნა ტემპერატურის წლიური, სეზონური და თვიური ცვლილების ტენდენციები უკანასკნელი 90 წლის განმავლობაში და აგებული იქნა საქართველოში ტემპერატურის ცვლილების რუკები. საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის განისაზღვრა ცვლილების ტენდენციები და სიჩქარეები საქართველოს მთელი ტერიტორიისათვის. დადებითი ტენდენციები და მაღალი სიჩქარეები სჭარბობს აღმოსავლეთ საქართველოში 0.5C/90წ და ტემპერატურის ანომალიაც უდიდესია 0.3C, თუმცა გამოიყო ტერიტორიაც აცივების ტენდენციით. დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე ცვლილება არ შეიმჩნევა. ცალკეულ რაიონებში გამოიკვეთა აციება, გამონაკლის შემთხვევაში კი - დათბობა. ნაშრომში თბილისის მაგალითზე ჩატარებულია კვლევა კლიმატის ცვლილებაში ციკლური პერიოდების გამოყოფისათვის, დადგენილია 22.4-წლიანი ციკლის არსებობა და განსაზღვრულია მისი პარამეტრები, შესწავლილია აღნიშნული ციკლის გავლენა სხვა მეტეოროლოგიურ ელემენტზე და დამუშავებულია ტემპერატურის პროგნოზირების სქემა ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდის გამოყენებით.

ისეთი პატარა მთა-გორიანი ქვეყანა, როგორც საქართველოა კლიმატის ცვლილების მიმართ მეტად მგრძობიარეა. ექსტრემალურმა მოვლენებმა საქართველოში შესაძლოა ძლიერი ზემოქმედება მოახდინონ სოფლის მეურნეობაზე, ეკონომიკაზე, ადამიანის ჯანმრთელობასა და ქვეყნის უსაფრთხოებაზეც კი. დღეისათვის სამხრეთ კავკასია-შავი ზღვის აუზის რეგიონში მნიშვნელოვანი კლიმატური ცვლილები უკვე შეინიშნება როგორცაა: ტემპერატურის მომატება, ნალექების გადანაწილების ცვლილება, მყინვარების შემცირება, ზღვის დონის მომატება, მდინარის ჩამონადენის ცვლილება. ქვეყანაში სადაც ამინდი და კლიმატი ყოველდღიურ ცხოვრებაში გადამწყვეტი ელემენტია და ხშირად პირდაპირი ზემოქმედება აქვს ადამიანის სიცოცხლეზე ექსტრემალური მოვლენების

პროგნოზირება უმნიშვნელოვანესი საკითხია. კლიმატის ექსტრემალური მოვლენების პროგნოზირებისათვის აუცილებელია საბაზისო პერიოდში ექსტრემალური მოვლენების განაწილებისა და დინამიკის შესწავლა. წარმოდგენილი ნაშრომი საფუძველია ამინდისა და კლიმატის ექსტრემალური მოვლენების (რამოდენიმე) სურათის შესაქმნელად საბაზისო პერიოდში რაც ეფუძვნება კლიმატის 27 ინდექსს. სწორედ ამ კვლევებს დაეფუძვნება კლიმატის მოდელირება. კლიმატური მოდელირებით პროგნოზირებული შედეგები, რომლებიც გვამდევნენ ალბათობათა დიაპაზონს ექსტრემალური მოვლენების ინტენსივობის, სიხშირის და ხანგრძლივობის სივრცული განაწილების შესახებ შერბილებისა და საადაპტაციო ღონისძიებებში რისკების შესაფასებლად აუცილებელია. ცხადია, რომ ექსტრემალური მოვლენების სცენარები საჭიროა მომავალი დაგეგმარების ყველა ასპექტისათვის (მაგ., წყლის რესურსები, სოფლის მეურნეობა, ირიგაცია და მიწის დრენაჟი, გზა, რკინიგზა და სამშენებლო დიზაინი, ტურიზმი და სხვა სექტორები), ამიტომ ნაშრომის ფარგლებში თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით შედგენილი ამინდის ექსტრემალური მოვლენების საბაზისო პერიოდის კატალოგი, რუკები, ანალიზი საქართველოს ტერიტორიისათვის არის ახალი, წინ გადადგმული ნაბიჯი საქართველოში მდგრადი განვითარების მხარდასაჭერად და მომავალი კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შესაფასებლად. ეს კვლევა ფასდაუდებელ სამსახურს გაუწევს გადაწყვეტილების მიმღებთ ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორების ადაპტაცია/შერბილების სტრატეგიის შემუშავებისას ქვეყნის რეგიონებში. აქედან გამომდინარე ჩვენი გამოკვლევის მოსალოდნელ და უკვე მიღებულ შედეგებს ძალზე დიდი მნიშვნელობა გააჩნია როგორც ფუნდამენტური, ასევე გამოყენებითი თვალსაზრისით. დამუშავებული მეთოდები და იდეები შეიძლება გავრცელდეს ქვეყნის, რეგიონის კლიმატურად და ეკოლოგიურად მოწყვლად ტერიტორიებზე (მთიანი, უდაბნოს, ნახევრად-უდაბნოს და სხვა).

კვლევის მიზანი და ამოცანები

ამინდისა და კლიმატის ექსტრემალურ მოვლენებზე დაკვირვებითი მონაცემების უნიფიკაციის მიზნით მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის და მონიტორინგისა და ინდექსების სამთავრობათშორისო კომისიის ექსპერტებმა კლიმატის ცვლილებაში შეიმუშავა 27 ძირითადი ინდექსი. მათ რეკომენდაცია გაუწიეს სხვადასხვა ქვეყნებს შეისწავლონ ეს ინდექსები, რათა მოხერხდეს მათი განზოგადოება რეგიონებისა და მთლიანად დედამიწისათვის და ჩატარდეს შესაბამისი შედარებითი ანალიზი [Zhang and all, 2005. Peterson, 2005]. ამ ინდექსებს მიეკუთვნება კლიმატური ექსტრემუმები, ცივი, ყინვიანი და ცხელი დღეები, ნალექიანი და უნალექო პერიოდები და აშ.

ჩვენი კვლევის მიზანი გახლავთ სწორედ ამ მნიშვნელოვან პროცესში ჩართვა, რაც გულისხმობს ამინდისა და კლიმატის ექსტრემალურ მოვლენებზე დაკვირვებითი მონაცემების

უნიფიკაციას, კერძოდ (ზოგიერთი) კლიმატური ინდექსების გეოგრაფიული განაწილებისა და დინამიკის დადგენას საქართველოს ტერიტორიისათვის.

მიზნის მისაღწევად გაწერილ იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის და მონიტორინგისა და ინდექსების სამთავრობათაშორისო კომისიის ექსპერტთა მიერ შემუშავებული კლიმატის ცვლილების 27 ძირითადი ინდექსის კატალოგის შექმნა 1936-2011 წლებისათვის საქართველოსათვის.

2. ზოგიერთი ინდექსის ა- ნალექების წლიური ჯამი(მმ), ბ- ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმების საშუალო(მმ), გ- წვიმიანი პერიოდის ხანგრძლივობა (დღე-ღამე), დ-უნალექო პერიოდის ხანგრძლივობა(დღე-ღამე). ე- დღეთა რაოდენობა, როდესაც ჰაერის ტემპერატურული მაქსიმუმი $>30^{\circ}\text{C}$. გეოინფორმაციული რუკების შედგენა 1960-1990 წლებისთვის, როგორც საბაზისო პერიოდისთვის. ინდექსების სივრცულ განაწილებაში გეოგრაფიული კანონზომიერებების გამოვლენა, ინდექსების დინამიკის შესწავლა, ასევე მათი ცვლილების სიჩქარის შეფასება გლობალური დათბობის პირობებში საქართველოს ტერიტორიაზე.

3. ტემპერატურული ინდექსის: დღეთა რაოდენობა, როცა ჰაერის ტემპერატურული მაქსიმუმი $>30^{\circ}\text{C}$ ინტერპოლაცია სხვადასხვა ალგორითმის მეშვეობით და ამ ინტერპოლაციის მეთოდების შედარება საქართველოს ტერიტორიისათვის.

კვლევის მეთოდოლოგია

1. ექსტრემალური კლიმატური ინდექსების გამოთვლის მეთოდოლოგია

ჩვენ გამოვიყენებთ კლიმატის ცვლილების 27 ძირითად ინდექსს, რომლებიც შეიმუშავა მსოფლიო მეტეოროლოგიურმა ორგანიზაციამ და კლიმატის ცვლილებაზე მთავრობათაშორისი კომისიის კლიმატის ცვლილების დადგენის, მონიტორინგის და ინდექსების საექსპერტო ჯგუფმა (ETCCDMI)/. ეს ინდექსები გამოანგარიშდა მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურებისა და ნალექების ჯამის ყოველდღიური მონაცემების ბაზის საფუძველზე. მათ შორის არის: FD – ყინვიანი დღეების წლიური რაოდენობა სადაც TN (დღიური მინიმუმი) $< 0^{\circ}\text{C}$, დღეები; SU25 – ზაფხულის დღეების წლიური რაოდენობა სადაც TX (დღიური მაქსიმუმი) $> 25^{\circ}\text{C}$, დღეები; ID0 – ყინვიანი დღეების წლიური რაოდენობა სადაც TX (დღიური მაქსიმუმი) $< 0^{\circ}\text{C}$, დღეები; TR20 – ტროპიკული ღამეების წლიური რაოდენობა სადაც TN(დღიური მინიმუმი) $> 20^{\circ}\text{C}$, დღეები; GSL მზარდი სეზონის სიგრძე წლიური (1 იანვარი– 31 დეკემბერი NH- ში, 1 ივლისი – 20 ივნისი SH-ში) რაოდენობა მინიმუმ 6-დღიან პირველ პერიოდსა დღიური საშუალო ტემპერატურით (TG) $> 5^{\circ}\text{C}$ და 6-დღიან პირველ პერიოდს შორის 1 ივლისის შემდეგ (1 იანვარი SH- ში) ტემპერატურით TG $< 5^{\circ}\text{C}$, დღეები; TXx - max Tmax დღიური მაქსიმალური ტემპერატურის წლიური მაქსიმალური

სიდიდე, $^{\circ}\text{C}$; TN_x - $\max T_{\min}$ მინიმალური ტემპერატურის წლიური მაქსიმალური სიდიდე, $^{\circ}\text{C}$; TX_n - $\min T_{\max}$ დღიური მაქსიმალური ტემპერატურის წლიური მინიმალური სიდიდე, $^{\circ}\text{C}$; TN_n - $\min T_{\min}$ დღიური მინიმალური ტემპერატურის წლიური მინიმალური სიდიდე, $^{\circ}\text{C}$; TN_{10p} – დღეებში გრილი დამეების პროცენტული წილი როდესაც $\text{TN} < \text{მეათედი პროცენტის, \%}$.

კვლევის დროს ექსტრემალურ მოვლენას განვსაზღვრავთ, როგორც ძალზე მაღალი (ან დაბალი) სიდიდის და დაბალი ალბათობის მქონე მოვლენას. იმისათვის, რომ მოხდეს ასეთი მოვლენების მონაცემთა კრებულის დიდ ბაზაში იდენტიფიცირება, ჩვენ გამოვიყენებთ ექსტრემალური სიდიდის თეორიას (EVT). ეს არის ალბათობისა და სტატისტიკის განყოფილება, რომელიც განკუთვნილია ექსტრემალური მოვლენების ქცევის დახასიათებისათვის. სტატისტიკის ტიპური მიზნისგან განსხვავებით, რომელიც მდგომარეობს განაწილების უმეტესობის აღწერაში, ექსტრემალური სიდიდის თეორიის ინტერესი მხოლოდ იმ ქცევის აღწერაა, რომელიც ჩანს ზედა (ან ქვედა) დიდი გადახრების რაიონში. ამიტომ, სწორედ მკაფიოდ გადახრილი სიდიდეებია საინტერესო და ჩვეულებრივ, ექსტრემალური სიდიდის ანალიზში ის მონაცემები, რომლებიც აღწერს შემთხვევითი ცვლადების ტიპურ ქცევას, უგულებელყოფილია. ექსტრემალური სიდიდის თეორიაში ბევრი ადრინდელი სამუშაო ჰიდროლოგიაში მიმდინარეობდა, საიდანაც ჩვენ ასევე ვიღებთ ექსტრემალური სიდიდის სტატისტიკის კანონიკურ მაგალითს, ეგრეთ წოდებულ “100-წლიან წყალდიდობას”. გამოყენების სხვა სფეროებს შორის არის ფინანსები, სადაც ექსტრემალური სიდიდეები მნიშვნელოვანია სადაზღვევო და ფინანსური რისკების ანალიზისათვის, და ასევე, საინჟინრო სფერო, სადაც ექსტრემალური სიდიდის თეორია გამოიყენება გამოფიტვის, კოროზიისა და სტრუქტურული ხარვეზების შესასწავლად. იმ თეორიის დიდი ნაწილი რომელის ექსტრემალური სიდიდის თეორიას უდევს საფუძვლად და ასევე, სტატისტიკური ტექნიკა აღწერილია შემდეგ ნაშრომებში: Embrechts et al . (1997), Beirlant et al . (2004), და coles(2001). მონაცემთა ჰომოგენიზაციისა და ინდექსების გამოანგარიშებისათვის, გამოვიყენებთ ძალზე მძლავრ და თავისუფლად ხელმისაწვდომ სტატისტიკურ R პაკეტს, რომელიც მუშაობს როგორც Microsoft windows-ში, ასევე unix Linux- ში (RHtestsV3 და Rclimindex, შესაბამისად). ეს პაკეტი შემუშავდა კლიმატის კვლევის განყოფილებაში (wang et al., 2010). სრული დოკუმენტაცია ამ კომპიუტერული პროგრამის პაკეტის შესახებ ხელმისაწვდომია ვებმისამართზე: <http://cccma.seos.ubic.ca/ETCCDMI/software.shtml>. RHtestsV3 კომპიუტერული პროგრამის პაკეტის გამოყენება შეიძლება მრავალი ცვლილების წერტილის დადგენის და შესწორებისთვის, რომლებიც მონაცემთა სერიებში შეიძლება არსებობდეს და ჰქონდეს პირველი რიგის ავტორეგრესული ცდომილებები. ის ეფუძნება კორექტირებულ მაქსიმალურ t-ტესტს (Wang et al ., 2007) და კორექტირებულ მაქსიმალურ F-ტესტს (Wang, 2008b), რომლებიც შეტანილია რეკურსიულ ტესტირების ალგორითმში (Wang, 2008a), დროითი სერიების 1-ბიჯიანი ჩამორჩენის ავტოკორელაციით (თუ ასეთი არის), რომელიც ემპირიულად გათვალისწინებულია. ცრუ განგაშის სიჩქარის და დადგენის ძალის არათანაბარი განაწილების პრობლემა ასევე მნიშვნელოვნად მცირდება ემპირიული

კორექციის ფუნქციის გამოყენებით (Wang et al ., 2007, Wang, 2008b). დროით სერიებს, რომლებიც გამოიცდება, შეიძლება ჰქონდეს ნულოვანი ტენდენცია ან სწორხაზოვანი ტენდენცია მთელი ჩანაწერის პერიოდის განმავლობაში. ჰომოგენური დროითი სერიები, რომლებიც კარგად კორელირდება საბაზისო სერიებთან შეიძლება გამოყენებული იქნეს საწყის სერიებად. თუმცა, როდესაც არ არის ჰომოგენური საწყისი სერიები, ცვლილების პუნქტების დადგენა ასევე შესაძლებელია RHtestV3-ის პაკეტით.

2. რუკების შედგენა და ანალიზი

კვლევებისათვის გამოყენებული იქნა საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტის 81 მეტეოსადგურის დღიური მონაცემები 1960-1990 წლებისათვის. დროის ეს პერიოდი შერჩეულ იქნა იმ მოსაზრებით, რომ სწორედ ეს დროითი მონაკვეთი ფარავს საბაზო სადგურების აბსოლუტურ უმრავლესობას და ამავდროულად, კლიმატის ცვლილების შესწავლისას ამ პერიოდს განიხილავენ, როგორც საკმარისად ხანგრძლივს მომავალი მოდელირებისათვის საჭირო საბაზისო პერიოდად.

სივრცითი სტრუქტურების განაწილების ვიზუალიზაცია შესრულდა AArcGis 10.1 პროგრამის საფუძველზე საბაზისო სადგურების ინტერპოლირების საშუალებით სხვადასხვა ინდექსების განაწილების რუკების აგების სახით, რაც საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ მათი სივრცითი სტრუქტურის შესახებ საქართველოს ტერიტორიაზე. ვიზუალიზაციის საფუძველად შერჩეული იქნა 81 სადგური და ამ სადგურების მონაცემთა ინტერპოლაცია განხორციელდა საქართველოს ტერიტორიისთვის.

თუმცა ინტერპოლაციის მეთოდების დახვეწისათვის გამოვიყენეთ ორი spline და spline with barriers ალგორითმი.

spline ალგორითმი უზრუნველყოფს მონაცემთა წრფივ განაწილებას სტანდარტული გადახრის სახით, მაშინ როდესაც spline with barriers ალგორითმი გვაძლევს საშუალებას კლიმატური პარამეტრების სივრცითი სტრუქტურის გადანაწილებაში ჩავრთოთ კლიმატური ბარიერები, გამოხატული ოროგრაფიული ღერძების სახით. მათი ხარისხობრივი დიფერენციაციის პროცესი გრძელდება, ამჯერად კი ვხელმძღვანელობთ შემდეგი მოსაზრებით: 1. კლიმატურ ბარიერად ჩაითვლება ქედები, (ხარისხობრივი დიფერენციაციის გარეშე) არანაკლებ 1000 მეტრის სიმაღლისა და 2. სიმაღლე შეიძლება იყოს 1000 მეტრზეც ნაკლები, მაგრამ წარმოადგენდეს წყალგამყოფს ა) დიდ აუზთა, ბ) ტერიტორიებს შორის, რელიეფის დანაწევრების სუსტი ხარისხით.

ქვეყნის ზედაპირად გამოყენებულ იქნა აერონავტიკის და კოსმოსური სივრცის კვლევის ეროვნული სამმართველოს (NNasa) თანამგზავრ Terra (EOEOS AMAM-1)-ზე მოქმედი იაპონური სენსორით ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) - ით მიღებული კავკასიის სიმაღლითი ციფრული მოდელი 30 მ. პიქსელის ზომის რეზოლუციით. (AAster Caucasus DEM).

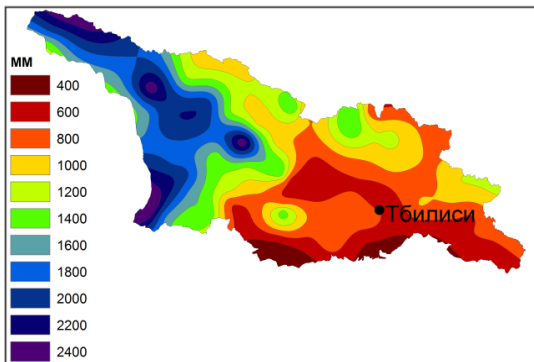
მიღებული სამეცნიერო შედეგები

1. ექსტრემალურ კლიმატურ ინდექსთა კატალოგი

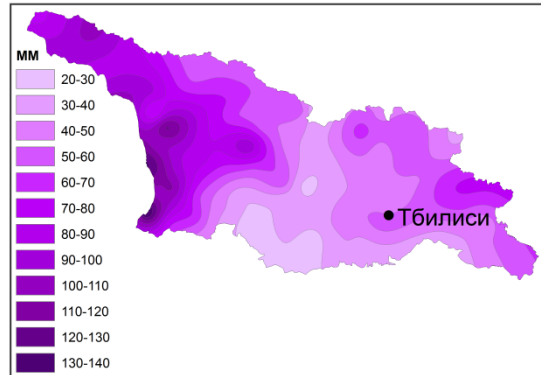
შედგენილია ინდექსის კატალოგი საქართველოს ტერიტორიისათვის, რომელიც შეიმუშავა მსოფლიო მეტეოროლოგიურმა ორგანიზაციამ და სამთავრობათაშორისი კომისიის კლიმატის ცვლილების დადგენის, მონიტორინგის და ინდექსების საექსპერტო ჯგუფმა (ETCCDMI). ეს ინდექსები გამოანგარიშდება მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურებისა და ნალექების ჯამის ყოველდღიური მონაცემების ბაზის საფუძველზე და R პროგრამის გამოყენებით.

2. დატენიანების კლიმატური ინდექსების დინამიკა და სივრცითი განაწილება 1960-90 წწ.

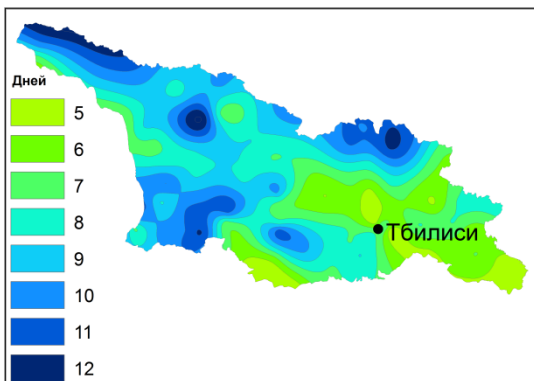
ინდექსების კატალოგის საფუძველზე შედგენილია დატენიანების ზოგიერთი კლიმატური ინდექსის გეოინფორმაციული რუკა 1960-1990 წლებისთვის, WMO -ს მიერ რეკომენდებული საბაზისო პერიოდისათვის.



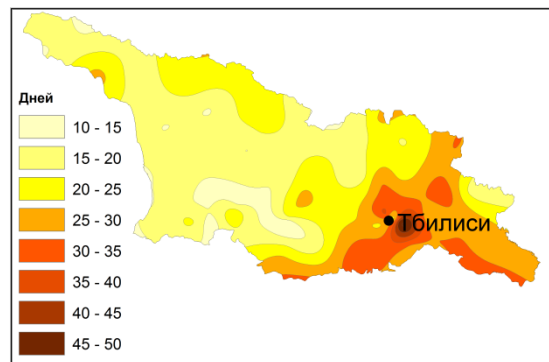
ა



ბ



გ



დ

ნახ.1 დატენიანების ზოგიერთი კლიმატური ინდექსის გეოინფორმაციული რუკები: ა- ნალექების წლიური ჯამი (მმ), ბ- ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმების საშუალო (მმ), გ- წვიმიანი პერიოდის ხანგრძლივობა (დღე-ღამური), დ- უნალექო პერიოდის ხანგრძლივობა (დღე-ღამური).

ნახ. 1-დან ჩანს, რომ საქართველოში ნალექების უმეტესი რაოდენობა (3000მმ-მდე) აღინიშნება შავი ზღვის აჭარის სანაპიროზე. აქ ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმების საშუალო აღმატება 120 მმ-ს, თანმიმდევრულ ნალექიან დღეთა რაოდენობა ნალექების დაახლოებით 10 დღე-ღამეს შეადგენს, ხოლო უნალექო პერიოდის უწყვეტი ხანგრძლივობა 18-მდე აღწევს. სანაპიროს დანარჩენ ტერიტორიაზე და კოლხეთის დაბლობზე ნალექების რაოდენობა 1500-2000 მმ- მდე მცირდება. შესაბამისად იკლებს დღე-ღამური მაქსიმუმების საშუალო მაჩვენებელიც და ჩამოდის 80-110 მმ-მდე, წვიმიანი პერიოდის ხანგრძლივობა 7-8 დღემდე, ხოლო უნალექო პერიოდი 25- მდე იზრდება. მთიან რეგიონებში ნალექების რაოდენობა საკმაოდ დიდ ინტერვალში მერყეობს, დასავლეთ კავკასიონზე ის 50-100 მმ-ს შეადგენს, წვიმიანი დღეების რაოდენობა 12-მდე იზრდება, ხოლო უნალექო პერიოდი 20-23 დღე-ღამემდე. აღმოსავლეთ კავკასიონზე ნალექების წლიური რაოდენობა მცირდება 800-1200მმ-მდე, 40-80მმ-მდე მცირდება ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმის საშუალო, შესაბამისად ოდნავ მცირდება წვიმიანი პერიოდის ხანგრძლივობა (7-12 დღე) და იზრდება უნალექო პერიოდი(30 დღე). აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკე ტერიტორიაზე ნალექები 400-700მმ-მდე მცირდება, საშუალო დღე-ღამური მაქსიმუმი 30-60მმ-ია, წვიმიანი პერიოდის ხანგრძლივობა 5 დღემდე მცირდება, ხოლო უნალექო პერიოდი 50 დღემდე იზრდება.

გლობალური დათბობის პირობებში ნალექების წლიური რაოდენობის ცვლილება არაერთგვაროვან ხასიათს ატარებს. როგორც იქნა ნაჩვენები კვლევებში [Elizbarashvili E.Sh., Tatishvili M.R., Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili Sh.E., Mesxia R.Sh., Gorgisheli V.E., Lashauri K.A. Creation of high-resolution climatic grid datasets for the territory Georgia. //Russian Meteorology and Hidrology, Vol.38, issue 9, 2013, p.633-637.], დასავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონში შეიმჩნევა ნალექების წლიური რაოდენობის ზრდა. ეს არის კოლხეთის დაბლობის ცენტრალური ნაწილი და აჭარის აღმოსავლეთ ნაწილი.

მთიან აჭარაში და შავი ზღვისპირეთის ზოგიერთ ნაწილში ნალექების ზრდამ 5%-ს მიაღწია ათ წელიწადში. დასვლეთ საქართველოს მთისპირა რაიონებში ნალექების წლიური ჯამი ათ წელიწადში 1-3 %-მდე გაიზარდა. სამაგიეროდ დასავლეთ საქართველოს მნიშვნელოვან ტერიტორიაზე ნალექები 1-3%-ით შემცირდა. ნალექების ყველაზე მნიშვნელოვანი კლება აღინიშნება ქვემო ქართლში, უფრო ჩრდილოეთით თბილისში და 5%-ს აღმატება ათი წლისათვის. აღმოსავლეთ საქართველოს უკიდურეს აღმოსავლეთით, რომელიც ხასიათდება სტეპური და ნახევრადსტეპური ლანდშაფტით, აგრეთვე სამხრეთ საქართველოს მთიანეთში ნალექების ცვლილება არ შეინიშნება.

დატენიანების რეჟიმის ასეთი ცვლილების ფონზე, ბუნებრივია, ცვლილებას განიცდიდნენ კლიმატური ინდექსებიც (იხ.ცხრილი). მუქი შრიფტით აღნიშნულია სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი სიჩქარეები.

ცხრილი. კლიმატური ინდექსების ცვლილების სიჩქარე ათი წლის განმავლობაში.

(CMM - ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმის საშუალო; Π(1)- ნალექიანი პერიოდის ხანგრძლივობა; Π(2)-უნალექო პერიოდის ხანგრძლივობა)

| რაიონი | სადგური | სიმძლვე ზღვის დონიდან | CMM | Π(1) დღე-ღამე | Π(2) დღე-ღამე |
|------------------------------------|---------------|-----------------------|-------------|---------------|---------------|
| შავიზღვისპირეთი კოლხეთის დაბლობი | ჩაქვა | 30 | -1.1 | 0.7 | -1.2 |
| | ანასეული | 158 | -6.7 | 1.2 | -2.3 |
| | ქუთაისი | 114 | -2.5 | 0.8 | -1.5 |
| დიდი კავკასიონის დასავლეთ ნაწილი | მესტია | 1441 | -0.7 | 1.0 | -1.4 |
| | შოვი | 1507 | 0.6 | -0.1 | -0.2 |
| | მამისონის უღ. | 2854 | -8.6 | 0.8 | -1.1 |
| დიდი კავკასიონის აღმოსავლეთ ნაწილი | დუშეთი | 922 | -7.0 | -0.4 | 0.6 |
| | ფასანაური | 1070 | -1.6 | 0 | 0.6 |
| | ომალო | 1880 | -0.3 | 0.1 | -0.4 |
| სამხრეთ საქართველოს მთიანეთი | ახალციხე | 982 | 0.6 | 0.1 | -1.0 |
| | აბასთუმანი | 1265 | 0.2 | -0.2 | -0.7 |
| | წალკა | 1457 | 0.3 | -0.2 | -1.1 |
| | ცხრაწყარო | 2466 | 0.6 | 0.9 | -0.4 |
| აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკე | გარდაბანი | 300 | -2.0 | -0.1 | 0.4 |
| | ბოლნისი | 514 | -1.0 | 0 | 0.4 |
| | თელავი | 568 | 0.3 | 0.8 | 0.1 |

ცხრილიდან ჩანს, რომ დატენანების კლიმატური ინდექსების ცვლილება ყველაზე თვალსაჩინოა შავი ზღვისპირეთსა და კოლხეთის დაბლობზე. ამ რაიონში ვლინდება ყველა კლიმატური ინდექსის ცვლილების ტენდენცია. გლობალური დათბობის პირობებშინალექიანი პერიოდის ხანგრძლივობა, ისევე, როგორც ნალექების წლიური ჯამი, გაიზარდა დაახლოებით ერთი დღის სიჩქარით, ხოლო უნალექო პერიოდის ხანგრძლივობა შემცირდა 1.2-1.5 დღე-ღამით ათ წელიწადში. მიუხედავად იმისა, რომ ნალექების საერთო დონე და ნალექიანი დღეების ხანგრძლივობა გაიზარდა, შავი ზღვისპირეთის ზოგიერთ რაიონსა და მთიან აჭარაში ნალექების საშუალო დღე-ღამური მაქსიმუმი 2-7 მმ სიჩქარით შემცირდა ათი წლის პერიოდში. კლიმატური ცვლილების მსგავსი ტენდენცია აღინიშნება დასავლეთ საქართველოს მთიან რაიონებშიც.

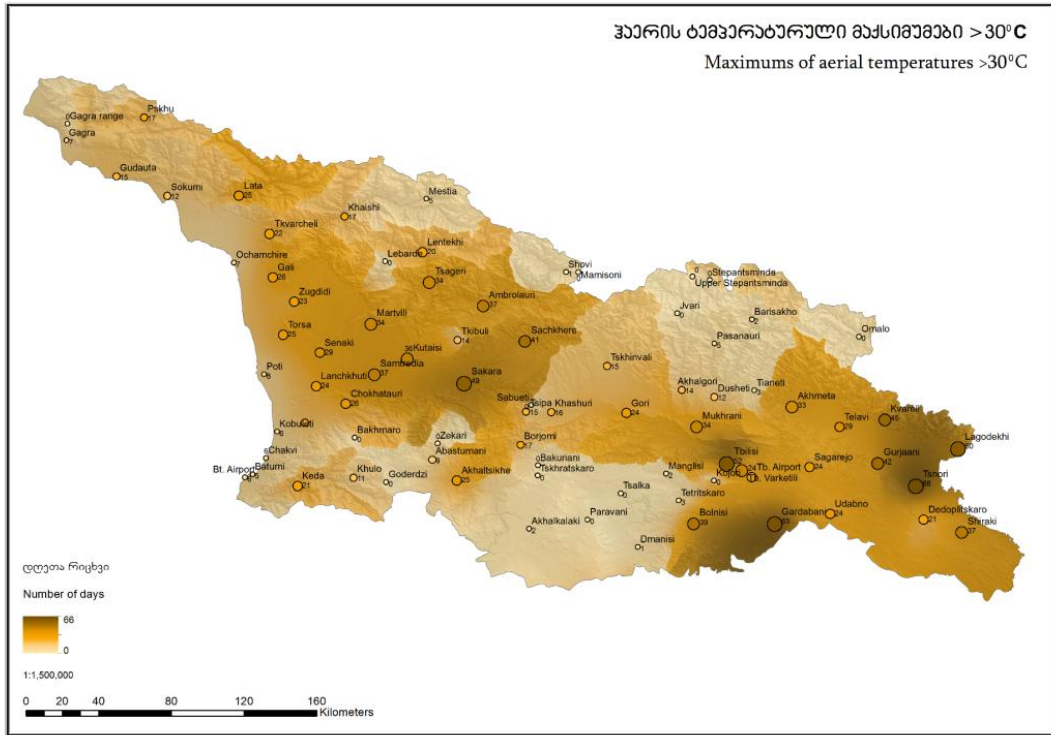
ასეთი ტენდენციის შენარჩუნების პირობებში ნალექების რაოდენობა შავი ზღვისპირეთსა და კოლხეთის დაბლობზე, ასევე დასავლეთ კავკასიონის ზოგიერთ რაიონში 50%-ით გაიზარდება და მიაღწევს 3000 და 6000 მმ-ს, რაც ამ რაიონების ჰუმიდურობას გააძლიერებს. აგრეთვე დალექიანი პერიოდის ხანგრძლივობის გაზრდა შექმნის წყალდიდობებისა და წყალმოვარდნების რისკს.

აღმოსავლეთ კავკასიონზე ნალექიანი და უნალექო პერიოდების ხანგრძლივობის მნიშვნელოვანი ცვლილება არ შეინიშნება, თუმცა ნალექების საშუალო დღე-ღამური მაქსიმუმი 1-7 მმ სიჩქარით შემცირდა 10 წელიწადში. ნალექების დღე-ღამური ჯამები შემცირდა აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკეშიც, განსაკუთრებით ქვემო ქართლში (გარდაბანი). უახლოეს ათწლეულში ასეთი ტენდენციის შენარჩუნების შემთხვევაში აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკეში, კერძოდ ქვემო ქართლში, ნალექების წლიური ჯამი 50%-ით ან მეტით შემცირდება და შეადგენს მხოლოდ 150-200მმ-ს, ხოლო დღე-ღამური მაქსიმუმები დაახლოებით 20 მმ-ით შემცირდება და 10-15 მმ იქნება მხოლოდ, რაც, ბუნებრივია, გააძლიერებს სტეპებისა და ნახევარსტეპური ლანდშაფტების გაუდაბნოების პროცესს. კლიმატური ინდექსების ნაკლებად ინტენსიური ცვლილება შეინიშნება სამხრეთ საქართველოს მთიანეთში. დღე-ღამური მაქსიმუმების ცვლილება აქ პრაქტიკულად არ შეინიშნება.

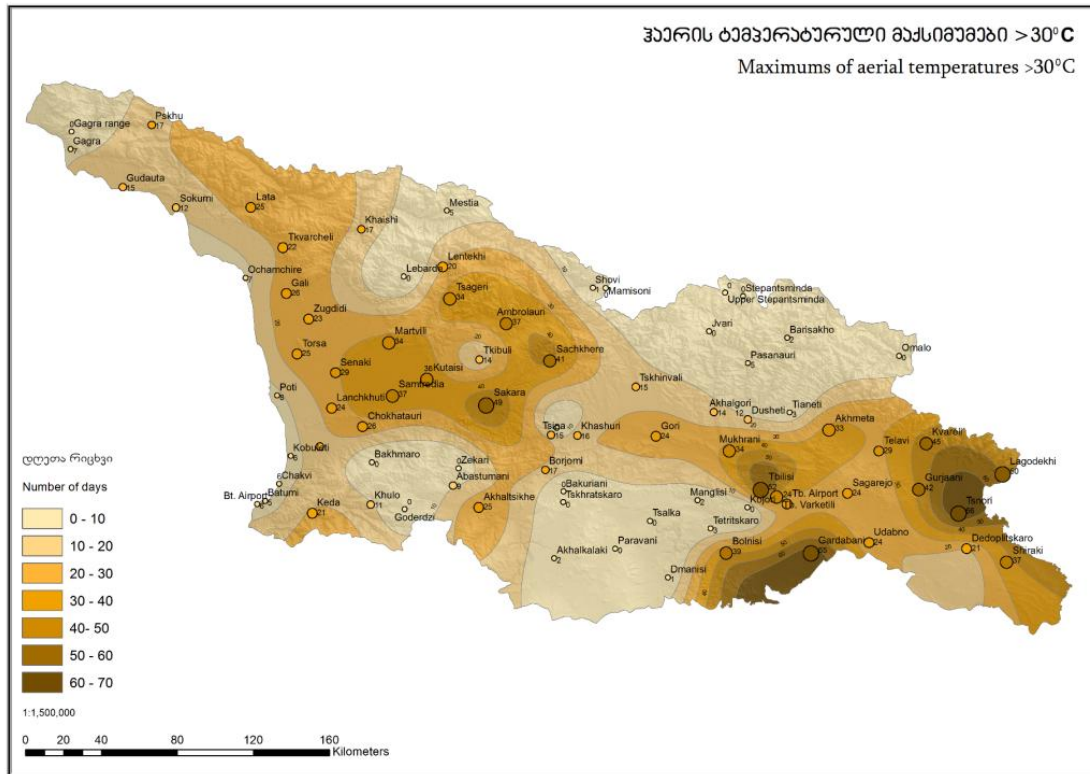
3. ტემპერატურის კლიმატური ინდექსი - ექსპერიმენტი გის-ების გამოყენებით

საქართველოს რთულ ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით აუცილებელია ოპტიმალური ინტერპოლაციის მეთოდის პოვნა, ამიტომ ჩავატარეთ რამდენიმე ექსპერიმენტი. წარმოგიდგინთ რუკებს ერთ ტემპერატურულ ინდექსის: SU-დღეთა რაოდენობა, როცა ჰაერის ტემპერატურული მაქსიმუმი $>30^{\circ}\text{C}$ აგებულს ინტერპოლაციის სხვადასხვა მეთოდის გამოყენებით. ნახ.2 და ნახ.3.-ზე წარმოდგენილია ტემპერატურის შერჩეული კლიმატური ინდექსის განაწილების გეოინფორმაციული რუკა 1960-1990 წლებისთვის, როგორც WMO -ს მიერ რეკომენდებული საბაზისო პერიოდი.

ინტერპოლირება მოხდა ორი ალგორითმის გამოყენებით. ამ ალგორითმის შედარება გვაძლევს საშუალებას დავინახოთ, რომ მაშინ როცა spline ალგორითმი უფრო მოსახერხებელია თანაბარი გრადიენტული გადასვლის ილუსტრირებისთვის, spline with Barriers გვაძლევს საშუალებას ოროგრაფიის გათვალისწინებით უფრო დეტალურად დავინახოთ გადანაწილება, რაც განსაკუთრებით ეფექტურად ვლინდება ტერიტორიებზე რელიეფის დანაწევრების მაღალი ხარისხით-მთიან და მაღალმთიან რეგიონებში. თუმცა ამ ორივე მეთოდს აქვს თავისი ხარვეზიც. პირველ რიგში აღსანიშნავია ინტერპოლაციების საყრდენი წერტილების-სადგურების სიმცირე, რაც ქმნის გენერალიზების არასწორ სურათში გადაზრდის ალბათობას. ამასთან მხოლოდ spline ალგორითმის გამოყენება არ გვაძლევს საშუალებას გამოყენებული იქნას კლიმატური დერეფნები, მაშინ როდესაც spline with barriers ალგორითმი თავის მხრივ კი უზრუნველყოფს კლიმატური დერეფნების გამოყენებას, მაგრამ სამაგიეროდ იკარგება გრადიენტული გადასვლები. ამრიგად, ამ ორივე მეთოდს აქვს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები თუმცა აუცილებლად მიგვაჩნია ბარიერების შემოტანის უფრო დახვეწილი მეთოდის გამოყენება, რომელშიც ასახული ნალექების გავრცელების გეოგრაფიული კანონზომიერებები.



(max. 2), SU-dReTa raodenoba, rodesac haeris temperaturuli maqsimumebi 1960-1990 wlebSi >30°C algoriTmi Spline.



(ნახ. 3.), *SU-dReTa raodenoba, rodesac haeris temperaturuli maqsimumebi 1960-1990 wlebSi >30°C* algori Tmi Spline with Barriers.

დასკვნა

1. ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ძირითადი კლიმატური ინდექსების კატალოგის შექმნა საქართველოს ტერიტორიაზე 1936-2011 წლებისთვის.

2. შეიქმნა გეოინფორმაციული რუკები, რომლებშიც ასახულია საშუალო წლიური და ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმების საშუალო, თანმიმდევრულ ნალექიან და უნალექო დღეთა ხანგრძლივობა 1960-1990 წლებში, როგორც WMO-ს მიერ რეკომენდებული საბაზისო პერიოდი და გამოვლიდნა საქართველოში ამ ინდექსების სივრცითი განაწილების გეოგრაფიული კანონზომიერებები. კერძოდ გამოვლენილი იქნა დატენიანების კლიმატური ინდექსების დინამიკა - დღე-ღამური მაქსიმუმების საშუალო, ნალექიანი და უნალექო დღეების ხანგრძლივობა და გამოთვლილია ამ ინდექსების ცვლილების სიჩქარეები გლობალური დათბობის პირობებში ქვეყნის სხვადასხვა რეგიონისათვის. ამ ინდექსების ცვლილების თანამედროვე ტენდენციის გათვალისწინებით შეფასდა კლიმატური პირობების არასახარბიელოდ განვითარების რისკებიც. (წყალმოვარდნები, წყალდიდობები, გვალვები, გაუდაბნობა)

3. ინტერპოლაციის ალგორითმების შერჩევა ჩატარდა რამოდენიმე ინდექსის გამოყენებით და დადგინდა ბარიერების გამოყოფის აუცილებლობა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Beirlant, J., Y., Goegebeur, J. Segers, J. Teugels, D. D. Waal, and C. Ferro (2004), *Statistics of Extremes: Theory and Applications*, Wiley, New York.
2. Chen, C.-T. and T. Knutson (2008), On the Verification and Comparison of Extreme Rainfall Indices from Climate Models, *J. Climate*, 21, 1605–1621, doi: 10.1175/2007JCLI1494.1
3. Coles, S. G. (2001), *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer Series in Statistics. Springer-Verlag London Ltd., London.
4. Dickinson, R. E., A. Henderson-Sellers, and P. J. Kennedy (1993), Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model, Tech. rep., National Center for Atmospheric Research.
5. Dickinson, R. E., R. M. Errico, F. Giorgi, and G. T. Bates (1989), A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, 15, 383–422.
6. Easterling, D. R., G. A. Meehl, C. Parmesan, S. A. Changnon, T. R. Karl and L. O. Mearns, (2000), Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts, *Science*, 289, 2068-2074, doi:10.1126/science.289.5487.2068
7. E. Sh. Elizbarashvili, M. R. Tatishvili, M. E. Elizbarashvili, Sh. E. Elizbarashvili, R. Sh. Meskhia, V. E. Gorgisheli, K. A. Lashauri Creation of high-Resolution Climatic grid Datasets for the Territory of Georgia, *Russian Meteorology and Hydrology*, Volume 38, # 9, 2013pp. 633-637
9. E. Sh. Elizbarashvili, M. R. Tatishvili, M. E. Elizbarashvili, Sh. E. Elizbarashvili, R. Sh. Meskhiya Air Temperature Trends in Georgia under Global Warming Conditions *Russian Meteorology and Hydrology* 2013, Volume 38, # 4, pp. 234-238
10. E. Sh. Elizbarashvili O. Sh. Varazanashvili, M. E. Elizbarashvili, N. S. Tseretelic Light Frosts in the Freeze-free Period in Georgia *Russian Meteorology and Hydrology*, 2011, Volume 36, No. 6, pp. 399–402.
11. Embrechts, P., C. Klüppelberg, and T. Mikosch (1997), *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance*, volume 33 of *Applications of Mathematics*, Springer-Verlag, Berlin.
12. Leung, L. R., S. J. Ghan, J. Han, and J. O. Roads (2003), Intercomparison of global reanalyses and regional simulations of cold season water budgets in the western United States, *J. Hydrometeor.*, 4, 1067–1087.
13. Leung, L. R., Y. Qian, X. Bian, W. M. Washington, J. Han, and J. O. Roads (2004), Mid-century ensemble regional climate change scenarios for the western United States. *Climate Change*, 62, 75–113.
14. Wang, X. L., H. Chen, Y. Wu, Y. Feng, and Q. Pu (2010), New techniques for detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *J. Appl. Meteor. Climatol.* , 49, 2416 – 2436, Doi:10.1175/2010JAMC2376.1

15. Wang, X. L., Q. H. Wen, and Y. Wu (2007), Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *J. Appl. Meteor. Climatol.* , 46 , 916-931. DOI:10.1175/JAM2504.1
16. Laprise, H. von Storch, and W. Wergen. Zhang, X., E. Aguilar, S. Sensoy, H. Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N. Kutaladze et al. (2005), Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *J. Geophys. Res.* 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.
17. Берадზე ნ., კუტალაძე ნ., კარტველიშვილი ლ., კორძაქია გ. 2002; Экстремальные погодные и климатические явления в Грузии на фоне современных изменений климата. Всемирная конференция по изменению климата. Всемирная конференция по изменению климата.ю Тезисы докладов 174 ст.
18. Matchatashvili T., Kutaladze N., Kartvelishvili L. Japaridze P. 2004. Investigation of persistence of Linear Trends in Air Temperature Time Series of Georgia. *Bullit. of Georgian Academy of sciences* 170, N2, pp.280-283.
19. Kutaladze N., Kartvelishvili L., Kordzakhia G., Shavishvili N. Megrelidze L., 2005. Recurrence of extreme temperature events in Georgia on background of climate change. *Bullit. of Georgian Academy of sciences* 171, N3, pp.489-480.
20. X.Zhang, E.Aguilar, S.Sensoy, H.Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N.Kutaladze and all, 2005: Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 110, D22104, 12 PP., doi:10.1029/2005JD006181
21. Matchatashvili T., Kutaladze N., Japaridze P. Megrelidze L., Mikautadze D. 2006. Trends and long Range correlation in Daily Temperature Records in Georgia. *Bullit. of Georgian Academy of sciences* 173, N1, pp.95-98.
22. გ.კორძაქია, ლ.ქართველიშვილი, ნ.კუტალაძე. 2007: ექსტრემალური ტემპერატურების განმეორებადობის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტომი 111; გვ 132-137
23. დ. მუმლაძის “საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება”, თილისი
24. შ. ელიზბარაშვილი, ატმოსფერული ნალექების მოდელირება და გეოინფორმაციული კარტოგრაფირება მთიან პირობებში. თბილისი 2009, გვ.67