

უაკ 551.524.525
კ.თავართქილამე

ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურული რეჟიმი საქართველოში

მეტეოროლოგიური ქსელის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას გარემოს თერმული მდგომარეობის განსაზღვრა შეადგენს. ამ მიზნით, დაკვირვების სპეციალურ პუნქტებში სისტემატურად იზომება ნიადაგის სიღრმეების, ზედაპირის და მიწისპირა ჰერის ტემპერატურები. აღსანიშნავია, რომ მსოფლიოს მეტეოროლოგიურ ქსელში აღნიშნული ტემპერატურებიდან ყველაზე უხეშად ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა იზომება. ამის მიზეზია ჯერ ერთი ის, რომ მეტეოროლოგიურ სადგურებზე ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა იზომება მომიშვლებულ ზედაპირებზე, ასეთი ზედაპირები კი ბუნებაში ძალიან მცირეა. ხოლო შემდეგ, ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა, ძირითადად, მსოფლიოს მეტეოროლოგიურ ქსელში, საქართველოში კი დაკვირვების ყველა პუნქტში, იზომებოდა და იზომება ვერცხლისწყლიანი ან სპირტიანი თერმომეტრებით. რამოდენიმე მიკრონის თერმული სიმქისის ზედაპირული ფენის ტემპერატურის განსაზღვრა საკმაოდ დიდი ზომების მქონე რეზერვუარიანი თერმომეტრებით, რა თქმა უნდა, უხეშ შედეგებს მოგვცემს.

პრაქტიკული საჭიროების მიხედვით ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცოდნა საჭიროა იმ ბუნებრივ პირობებში, რომელშიც ზედაპირი ფაქტიურად იმყოფება. საქართველოს ტერიტორიაზე ლანდშაფტის მრავალფეროვნება თითქმის გამორიცხავს მთელი წლის განმავლობაში მომიშვლებულ ზედაპირებს. ატმოსფერული ოკეანის ფსკერის ანუ ქვეფენილი ზედაპირების თერმულ მდგომარეობას ნიადაგის სტრუქტურასთან ერთად განსაზღვრავს ის მცენარეული საფარი თუ საგნები, რომლებიც ამა თუ იმ ზედაპირის განუყოფელ ნაწილს შეადგენენ [1]. ასეთი ზედაპირების ტემპერატურების სრულყოფილი განსაზღვრა მხოლოდ რადიაციული მეთოდებითაა შესაძლებელი და მას, ჯერჯერობით, მეტეოროლოგიური თანამგზავრებიდან ქვეფენილი ზედაპირების საკმაოდ დიდი ფართობის გასაშუალებელი ტემპერატურის განსაზღვრავად იყენებენ.

რაც შეეხება ვერცხლისწყლიანი ან სპირტიანი თერმომეტრებით ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის სიზუსტეს, არსებული ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, გაზომვის ცდომილება $\pm 1^{\circ}\text{K}$ -ის ფარგლებშია. საქართველოში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ თერმომეტრები შედარებით სწორად განსაზღვრავენ ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურას ღამით. დღისით კი, განსაკუთრებით მოწმენდილი ცის პირობებში, ცდომილებამ შეიძლება რამდენიმე გრადუსს მიაღწიოს [2].

მიუხედავად იმისა, რომ ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა მეტეოროლოგიურ ქსელში საკმაოდ უხეშად იზომებოდა, ინტერესი არსებული დაკვირვების მასალების გამოყენებით რეჟიმული მდგომარეობის შესწავლისადმი დიდი იყო. რიგ სამეცნიერო შრომებში გადმოცემული გამოკვლევებით მიღებული შედეგები [3-7 და სხვ.], ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის ცდომილების ფარგლებში ქვეფენილი ზედაპირების თერმული რეჟიმის შესწავლის საშუალებას იძლეოდა. მიღებული შედეგები კი გამოყენებას პოულობდა სოფლის მეურნეობისა და მრეწველობის სხვადასხვა სფეროებში.

ამრიგად, არსებული ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, საქართველოს ტერიტორიაზე ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ფაქტიური მონაცემებით განსაზღვრულია ქვეფენილი ზედაპირების თერმული რეჟიმის დამახასიათებელი ზოგიერთი პარამეტრი. რადგან გაზომვის სიზუსტეზე სისტემატური, სტანდარტული ცდომილებების გავლენა არაა შემჩნეული, მიღებული პარამეტრების ჭეშმარიტება ბევრადაა დამოკიდებული სტატისტიკური რიგების სწორად დამუშავების შედეგებზე.

ფაქტიურად, ეს პარამეტრები ცალკეული რეგიონებისთვის მიღებულია დაკვირვების სხვადასხვა ხანგრძლივობის მქონე მონაცემებით, მაგრამ, მათი ერთნაირ პერიოდზე მიყვანა, მეთოდებითაა შესრულებული. მაშასადამე, არსებული ლიტერატურული წყაროები ამა თუ იმ რეგიონის ქვეფენილი ზედაპირების თერმულ რეჟიმზე მიახლოებით წარმოდგენებს იძლევიან, მაგრამ ისინი თერმული ველის ასაგებად ნაკლებად საიმედო არიან.

გავითვალისწინეთ რა აღნიშნული მდგომარეობა, ამ ნაშრომის ავტორმა და დ.მუმლაძემ მათემატიკური სტატისტიკის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით შევეცადეთ შეგვეჩინა დაკვირვების პუნქტები დაკვირვების ერთნაირი პერიოდებით, ჩაგვეტარებია მათი ობიექტური ანალიზი, მოგვეზადებია ფაქტიურ მონაცემთა ერთგვაროვანი ბაზა. ამ ბაზის გამოყენებით აგვეგო ქვეფენილი ზედაპირის ტემპერატურული ველი საქართველოს ტერიტორიაზე და დაგვედგინა მისი ცვლილების კანონზომიერება კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის პირობებში. შერჩეული იქნა დაკვირვების სამოცამდე პუნქტი 1948-1990 წლების მონაცემებით. ობიექტური ანალიზი, ერთგვაროვნების შემოწმება და გამოტოვებული პერიოდების აღდგენა განხორციელდა მრავალგანზომილებიან სივრცეში შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ, ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდით [8], აგებული იქნა ქვეფენილი ზედაპირის თერმული ველის და მისი ცვლილების რუკები. წინამდებარე ნაშრომში მოცემულია ზოგიერთი

შედეგი და კანონზომიერება. მიგვაჩნია, რომ ზემოხსენებული ნაშრომის შევსებასთან ერთად მათ დამოუკიდებელი მნიშვნელობაც შეიძლება გააჩნდეთ.

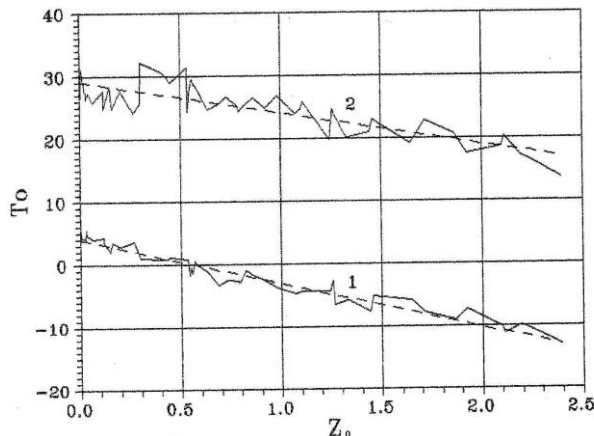
ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილება ზღვის დონიდან სიმაღლის მიხედვით. როგორც ცნობილია, ქვეფენილი ზედაპირის ტემპერატურული ველი ზღვის დონიდან ადგილმდებარეობის ზრდასთან ერთად შემცირებას განიცდის, მაგრამ საქართველოს ტერიტორიაზე თითქმის დაუდგენელია ამ ცვლილების ანალიზური სახე და მისი ვარიაციები ტერიტორიისა და დროის მიხედვით. შევცადეთ რა დაგვედგინა აღნიშნული კანონზომიერების ანალიზური სახე და მისი სეზონური ცვალებადობა, გამოვიყენეთ 1948-1990 წლების სრული მონაცემების საშუალო თვიური მნიშვნელობები. კონკრეტული მაგალითი ნიადაგის ზედაპირის საშუალო თვიური ტემპერატურის ცვლილებისა დაკვირვების პუნქტის სიმაღლის მიხედვით, იანვრისა და ივლისისათვის, მოცემულია ნახ. 1-ზე. მიუხედავად იმისა, რომ აქ გაერთიანებულია ერთი და იგივე სიმაღლის სრულიად

სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში მყოფი დაკვირვების პუნქტები, საკმაოდ მკვეთრად გამოკვეთილი სიმაღლის მიხედვით შემცირების წრფივი სახე და შესაბამისი მცირე ვარიაციები. ეს საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე, მიუხედავად სხვადასხვა კლიმატური პირობებისა, ქვეფენილი ზედაპირების ტემპერატურული ველის ცვლილება სიმაღლის მიხედვით ერთნაირად ხდება და შედარებით მნიშვნელოვან ცვალებადობას იგი მხოლოდ სეზონების მიხედვით განიცდის.

თუ ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილებას წარმოვადგენთ წრფივი სახით, ე.ი.

$$T_0 = A + BZ_0 \quad (1)$$

სადაც T_0 და Z_0 შესაბამისად ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა და ადგილმდებარეობის სიმაღლეა ზღვის დონიდან, ხოლო A და B ემპირიული კოეფიციენტებია, მათში A და B -ს განსაზღვრა შეიძლება უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ცალკეული თვეების მიხედვით.



ნახ.1. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილება ზღვის დონიდან ადგილმდებარეობის სიმაღლის მიხედვით და ამ ცვლილების წრფივი აპროქსიმაცია (წყვეტილი ხაზი) საქართველოში იანვრის (1) და ივლისის (2) თვეებისთვის.

აღნიშნული გზით განსაზღვრული კოეფიციენტები, როცა m_0 აღებულია კმ-ში, მოცემულია ცხრილ 1-ში. თუ შიდაწლიურ ცვლილებას წარმოვადგენთ დღეების მიხედვით და საწყისად ავიღებთ 1 იანვარს, მაშინ ცხრილის სტრიქონი “დღეთა რიცხვი დაწყებული 1 იანვრიდან” მიუთითებს დღეების რაოდენობას 1 იანვრიდან, რომელსაც შეესაბამება გამოთვლით მიღებული მნიშვნელობა. ცხრილში მოცემულია აგრეთვე საშუალო კვადრატული გადახრები, რომლებითაც შეიძლება განისაზღვროს ცდომილებები ფაქტიურ მონაცემებთან შედარებით.

ცხრილი 1. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურასა და ზღვის დონიდან სიმაღლეს შორის წრფივი კავშირის ემპირიული კოეფიციენტები

თვე	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
დღეთა რიცხვი დაწყებული 1 იანვრიდან	15	45	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
A °C	4.0	5.4	9.8	16.7	22.6	26.8	29.2	28.3	23.1	16.2	10.2	5.6
B °C / კმ	7.0	7.1	7.1	6.7	6.3	5.8	4.9	5.0	5.2	5.4	6.0	6.5
σ °C	0.7	0.1	1.2	4.3	2.8	1.5	1.9	1.6	1.2	0.9	1.4	0.3
σ %	47	47	26	39	16	7	8	7	6	8	26	64
T_0 °C	-1.5	-0.2	4.2	11.4	17.6	22.2	25.3	24.4	19.1	11.9	5.4	0.5
$A - T_0$	5.5	5.6	5.6	5.3	5.0	4.6	3.8	3.9	4.0	4.3	4.8	5.1

ცდომილებები ცხრილში ნაჩვენებია როგორც აბსოლუტური მნიშვნელობებით, ისე პროცენტებში. მიუხედავად იმისა, რომ წლის ცივი პერიოდისთვის აბსოლუტური ცდომილებები საკმაოდ მცირე და სტაბილურია, ფარდობითი ცდომილებები შედარებით დიდ რიცხვებს გვაძლევს. ეს გამოწვეულია მხოლოდ იმით, რომ ტემპერატურის მნიშვნელობები ამ პერიოდში საკმაოდ მცირეა და ნულთან ახლოსაა. ეს კი ფარდობითი ცდომილების დიაპაზონს საგრძნობლად ზრდის.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს აპრილის თვის საოცრად მაღალი დისპერსია ანუ ე.წ. „აპრილის ფენომენი“, რომელიც პირველად შემჩნეული იქნა მიწისპირა აერის ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელის აგებისას [9]. კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის პერიოდში, საქართველოში ადგილი აქვს აცივებასაც (ძირითადად, დასავლეთ საქართველოში). მიწისპირა აერის ტემპერატურის საშუალო წლიური ცვლილების დიაპაზონი საქართველოში ასი წლის მანძილზე 0.5-0.7 °K-ის ფარგლებში მერყეობს. გამონაკლისს წარმოადგენს აპრილის თვე, როცა საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მხოლოდ მკვეთრი დათბობის პროცესი აღინიშნება და დათბობის ინტენსიურობა ასი წლის მანძილზე 1°K-ს აჭარბებს. ამ ფაქტის მიზეზი ჯერჯერობით აუხსნელია, მაგრამ ეჭვგარეშეა, რომ იგი დაკავშირებულია იმ კომპლექსური ფაქტორების ტენდენციურ ცვლილებასთან, რომლებიც ქვეყნილი ზედაპირების ეფემერულ გარდაქმნებს იწვევენ. ამის ნათელ დადასტურებას აპრილის თვის საშუალო კვადრატული გადახრის ანომალური გაზრდა იძლევა.

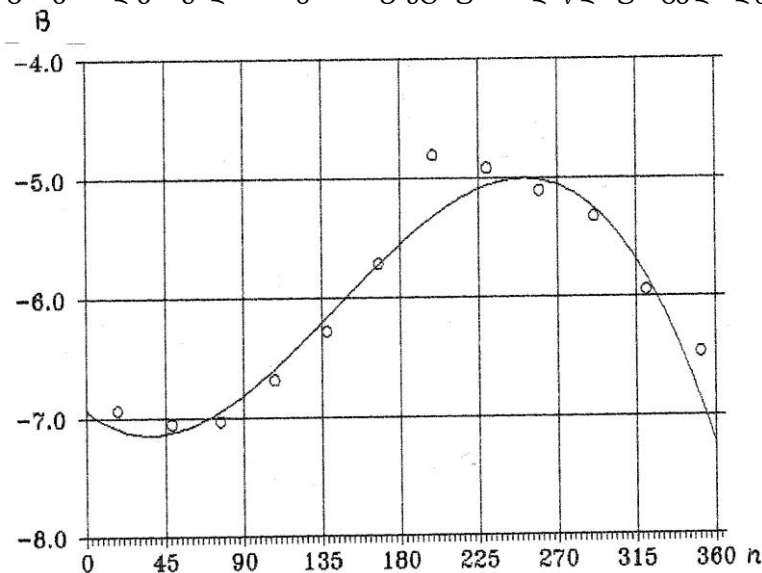
ემპირიული კოეფიციენტის A-ს ცვლილება თვეების მიხედვით, ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის შიდაწლიური ცვლილების მსგავსია. ცხრილის ბოლო ორ სტრიქონში მოცემულია ყველა გამოყენებული დაკვირვების პუნქტის მიხედვით განსაზღვრული ნიადაგის ზედაპირის საშუალო თვიური ტემპერატურა და სხვაობა ამ ტემპერატურასა და კოეფიციენტ A-ს მნიშვნელობებს შორის. როგორც ცხრილიდან ჩანს, სხვაობა დაახლოებით ხუთი გრადუსის ფარგლებშია და თვეების მიხედვით იგი მცირე ცვლილებას განიცდის.

პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კოეფიციენტი B და მისი შიდაწლიური ცვლილება. იგი განსაზღვრავს ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის შემცირების სიდიდეს სიმაღლის ერთი ერთეულით ზრდის შემთხვევაში (ჩვენს შემთხვევაში კმ-ბი).

B კოეფიციენტის შიდაწლიურ ცვლილებას ნახ.2-ზე წარმოდგენილი სახე აქვს (აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია დღეების რაოდენობა დაწყებული 1 იანვრიდან). მოვახდინეთ რა მოცემული დისკრეტული წერტილების აპროქსიმაცია, მესამე რიგის პოლინომით, მივიღეთ შემდეგი გამოსახულება:

$$B = 6.94 - 1.18 \cdot 10^{-2} n + 1.87 \cdot 10^{-4} n^2 - 4.33 \cdot 10^{-7} n^3, \quad (2)$$

სადაც n- დღეთა რიცხვია დაწყებული 1 იანვრიდან. მიღებული განტოლებით ნახ. 2-ზე დატანილია მრუდი, რომელიც საკმაოდ კარგად ასახავს B-ს ფაქტიურ შიდაწლიურ ცვლილებას.



ნახ..2. B კოეფიციენტის შიდაწლიური ცვლილება

მიღებული (1) და (2) ფორმულების პრაქტიკული გამოყენების დიაპაზონი, მიგვაჩნია, რომ საკმაოდ დიდი შეიძლება იყოს, ამიტომ დიდი მნიშვნელობა აქვს მისი სიზუსტის შეფასებას. მოვიყვანოთ მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს მისი პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობას და წარმოდგენას მოგვცემს განსაზღვრის სიზუსტეზე. ძნელი არაა იმაში დარწმუნება, რომ ქვემოთ მოყვანილი მაგალითი უნდა იყოს

ერთ-ერთი ყველაზე უხეში მოსალოდნელი შედეგებით, რომელიც აღნიშნული ფორმულის გამოყენებით შეიძლება იქნას მიღებული.

ვთქვათ, დაკვირვების პუნქტისთვის ცნობილია მხოლოდ ერთი რომელიმე თვის ნიადაგის ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა. (1) და (2) ფორმულებით რა სიზუსტით შეიძლება დანარჩენი 11 თვის და, შესაბამისად, საშუალო წლიური ტემპერატურის განსაზღვრა? ე.ი. თუ მოცემულია რომელიმე ი-ური თვის, ანუ 1 იანვრიდან გარკვეული დღეთა რიცხვით დაშორებული პერიოდისთვის საშუალო თვიური ტემპერატურა, რა სიზუსტით შეიძლება განისაზღვროს ტემპერატურები დანარჩენი თვეებისათვის. (1) ფორმულა ამ შემთხვევაში მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} T_{oi} &= A_i - B_i Z_0 \\ T_{ok} &= A_k - B_k Z_0 \\ k &= 1, 2, \dots, 11 \end{aligned} \quad (3)$$

მე-(3)-ე ფორმულებიდან საძიებელი ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურისთვის მივიღებთ გამოსახულებას:

$$T_{ok} = T_{oi} + (A_k - A_i) - (B_k - B_i) \cdot Z_0 \quad (4)$$

თუ (4) ფორმულაში ჩავსვათ შესაბამისად B_i -ს და B_k -ს (2) ფორმულიდან და ვისარგებლებთ ცხრილი 1-ის მონაცემებით, T_{ok} -ს განსაზღვრა შესაძლებელი გახდება.

მიღებული ფორმულების გამოყენებით განვიხილოთ პრაქტიკული მაგალითები სხვადასხვა კლიატური პირობების მქონე დაკვირვების პუნქტების – ფოთის, ფასანაურის და რადიონოვკის 43 წლის (1948-90 წწ) მონაცემების გამოყენებით. პირველ მაგალითში დავუშვათ, რომ ცნობილია ყველა წლის მხოლოდ ივლისის თვის, ხოლო მეორეში – ოქტომბრის თვის მონაცემები. ამ მონაცემებით და (2) და (4) ფორმულებით გამოთვლილი ყველა წლის დარჩენილი 11 თვის ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურები და მათ მიხედვით განსაზღვრული საშუალო მრავალწლიური სიდიდეები შედარებულია ფაქტიურ მნიშვნელობებთან და შედეგები მოცემულია მე-2-ე ცხრილში.

ცხრილი 2. ნიადაგის ზედაპირის გამოთვლილი ტემპერატურების შედარება ფაქტიურთან, როცა გამოთვლებისას გამოყენებულია ერთი რომელიმე თვის მონაცემები

დაკვირვების პუნქტი	გამოყენებულია ივლისის თვის მონაცემები			გამოყენებულია ოქტომბრის თვის მონაცემები		
	σ °F	σ %	მაქსიმ. გადახრა %-ში	σ °F	σ %	მაქსიმ. გადახრა %-ში
ფოთი	1.26	6.6	18.0	1.43	6.8	24.3
ფასანაური	1.67	13.7	39.9	1.72	14.3	43.0
რადიონოვკა	1.96	41.4	105.0	2.49	52.2	150.0

აღსანიშნავია, რომ ფოთისა და ფასანაურის შემთხვევაში საშუალო კვადრატული გადახრა ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის გამოთვლილ და ფაქტიურ სიდიდეებს შორის 2 °F-ს არ აღწევს. მხოლოდ რადიონოვკის შემთხვევაში, იგი ოქტომბერში იზრდება 2.5 °F-მდე. იმ პირობებში, როცა ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის გაზომვის საშუალო ცდომილება ± 1 °F-ის ფარგლებშია, მიგვაჩნია, რომ გამოთვლილი მნიშვნელობები საკმაოდ ახლოსაა ფაქტიურთან.

ამრიგად, მიღებული ფორმულები (1) და (2) საქართველოს ნებისმიერ კლიმატურ ზონაში ნიადაგის ზედაპირის თერმული რეჟიმის მიახლოებითი შეფასების და უწყვეტი თერმული ველის აგების საშუალებას გვაძლევს.

უკანასკნელ წლებში, როგორც თერმული რეჟიმის შესწავლისას თუ პროგნოზირებისას, ასევე მეტეოროლოგიური მეცნიერების სრულიად განსხვავებულ დარგებში, დიდ გამოყენებას პოულობს მათემატიკური სტატისტიკის თანამედროვე მეთოდი, რომელიც მრავალგანზომილებიან სივრცეში შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლასთანაა დაკავშირებული. მეტეოროლოგიაში იგი პირველად ნ.ბაგროვმა გამოიყენა [10]. შემდეგში მისი საფუძვლები თეორიულად დაამუშავა ა.ობუხოვმა [8], რამაც შესაძლებელი გახადა მეტეოროლოგიაში მისი ფართო მასშტაბით გამოყენება.

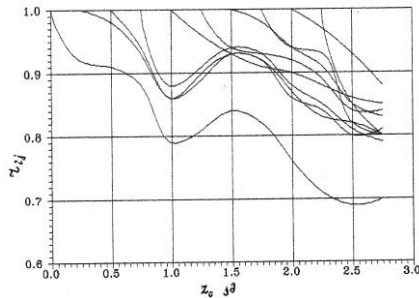
აღნიშნული მეთოდი განსაკუთრებით კარგ შედეგებს იძლევა მაშინ, როცა პარამეტრებსა თუ პროცესებს შორის მაღალი კორელაციური კავშირებია. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის მრავალწლიური

ვარიაციების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე, მიუხედავად კლიმატური პირობებისა, საშუალო თვიური ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურების ცვლილებებს შორის ძალიან მაღალი კორელაციური კავშირებია. ეს საშუალებას იძლევა, აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით, დავამყაროთ საკმაოდ ზუსტი ანალიზური კავშირები ცალკეული დაკვირვების პუნქტების ფაქტიურ მონაცემებს შორის.

შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლისათვის საჭიროა დაკვირვების პუნქტებს შორის კოვარიაციული და კორელაციური მატრიცების აგება. აგებული მატრიცების გამოყენება რომ შესაძლებელი იყოს საქართველოს ნებისმიერი ტერიტორიისთვის და არა მხოლოდ დისკრეტული დაკვირვების პუნქტისთვის, მატრიცები ავაგეთ ზღვის დონიდან ყოველი 250 მ სიმაღლისათვის.

ცხრილ 3-ში, ზღვის დონიდან ადგილმდებარეობის სიმაღლის ყოველი 250 მეტრისთვის, 0 – 2750 მ-ის დიაპაზონში, მოცემულია ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურების საშუალო თვიური მნიშვნელობათა კოვარიაციის და კორელაციის კოეფიციენტები საქართველოს ტერიტორიისთვის, ხოლო მე ნახაზზე ასახულია სიმაღლის მიხედვით კორელაციის კოეფიციენტების ცვლილება. როგორც სურათიდან ჩანს, ეს ცვლილება მკვეთრად განსხვავებული 0-დან 1000 მ-მდე, 1000-დან 2000 მ-მდე და 2000 მ ზემოთ განლაგებული ტერიტორიებისთვის. კერძოდ, 1000 მ-მდე ზედაპირის ტემპერატურების ცვლილების კორელაციური კავშირი ერთმანეთთან, ტერიტორიების სიმაღლეთა შორის სხვაობის გაზრდის შედეგად, მონოტონურ კლებას განიცდის. 1000-დან 1500 მ-მდე კლება ზრდაში გადადის, ხოლო 1500-2000 მ-ის დიაპაზონში კორელაციის კოეფიციენტების ცვლილება კვლავ მონოტონური კლებით ხასიათდება. ასეთივე კლებაა 2000 მ ზევით არსებული ტერიტორიებისთვის იმ განსხვავებით, რომ კორელაციის კოეფიციენტების შემცირება სიმაღლეთა შორის სხვაობის გაზრდით მკვეთრად ინტენსიური ხდება.

ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურებს შორის აღწერილი კავშირის თავისებურებებს მრავალი ფაქტორი განაპირობებს. ამ ფაქტორების ანალიზი ამჟამად ჩვენი ამოცანის ფარგლებს სცილდება. ვახდენთ რა მხოლოდ ფაქტის კონსტატირებას, მიგვაჩნია, რომ აღნიშნულ კანონზომიერებას ყველა მთაგორიანი რეგიონებისთვის უნდა, კონდეს ადგილი.



ნახ. 3. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურებს შორის კორელაციის კოეფიციენტების ცვლილება ზღვის დონიდან ადგილმდებარეობის სიმაღლის მიხედვით

მე-3 ცხრილში მოცემული მატრიცების პრაქტიკული გამოყენება საქართველოს ტერიტორიაზე ფართო მასშტაბითაა შესაძლებელი. მოვიყვანოთ მისი პრაქტიკული გამოყენების ერთი მაგალითი: განვსაზღვროთ ნიადაგის ზედაპირის საშუალო წლიური ტემპერატურები 1948-1990 წლებში, თუ ცნობილია შესაბამისი ტემპერატურები საქართველოს ტერიტორიის რომელიმე კლიმატურ ზონაში. განსაზღვრის დროს გამოვიყენებთ ყველაზე უხემ მიახლოებას, კერძოდ, როცა გამოთვლებისას გამოყენებულია მხოლოდ ერთი რომელიმე ზონის ტემპერატურის მონაცემები. რა თქმა უნდა, სიზუსტე მნიშვნელოვნად გაიზრდება, თუ ფაქტიური მონაცემების მქონე ზონების რაოდენობას გავზრდით.

თუ საძიებელი და მოცემული ნიადაგის ზედაპირის საშუალო წლიური ტემპერატურების მრავალწლიურ საშუალო სიდიდეებს შესაბამისად აღვნიშნავთ \bar{T}_{01} და \bar{T}_{02} -ით, მაშინ

$$T_{01} = \bar{T}_{01} + \frac{R_{12}}{R_{22}} (T_{02} - \bar{T}_{02}) \quad (5)$$

სადაც R_{12} კოვარიაციის კოეფიციენტია აღნიშნულ სიმაღლეებს შორის, ხოლო R_{22} აღნიშნული ზონის დისპერსიაა. \bar{T}_{01} და \bar{T}_{02} მნიშვნელობების განსაზღვრა ნებისმიერი სიმაღლისა და ნებისმიერი თვისთვის (3) და (4) ფორმულებით შეიძლება.

ცხრილი 3. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის კოვარიაციული (ა) და კორელაციური (ბ) მატრიცები ზღვის დონიდან ადგილმდებარეობის სიმაღლეების მიხედვით

(ა)

სიმაღლე ზ. დ. კმ-ში	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
0	0.52	0.48	0.42	0.46	0.49	0.54	0.58	0.58	0.56	0.40	0.37	0.37
0.25		0.52	0.52	0.49	0.53	0.59	0.65	0.65	0.58	0.47	0.44	0.42
0.50			0.55	0.51	0.55	0.62	0.67	0.67	0.59	0.49	0.44	0.44
0.75				0.53	0.55	0.61	0.66	0.66	0.59	0.49	0.44	0.42
1.00					0.74	0.76	0.77	0.76	0.71	0.60	0.55	0.53
1.25						0.85	0.84	0.84	0.78	0.65	0.58	0.56
1.50							0.93	0.92	0.84	0.69	0.61	0.58
1.75								0.95	0.85	0.71	0.50	0.57
2.00									0.85	0.70	0.64	0.59
2.25										0.62	0.50	0.46
2.50											0.56	0.47
2.75												0.53

(ბ)

სიმაღლე ზ. დ. კმ-ში	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
0	1	0.92	0.91	0.88	0.79	0.81	0.84	0.82	0.76	0.71	0.69	0.70
0.25		1	0.98	0.93	0.86	0.89	0.93	0.92	0.87	0.83	0.82	0.80
0.50			1	0.94	0.86	0.90	0.93	0.92	0.86	0.84	0.80	0.81
0.75				1	0.88	0.91	0.94	0.93	0.88	0.85	0.81	0.79
1.00					1	0.96	0.93	0.91	0.90	0.88	0.86	0.85
1.25						1	0.94	0.93	0.92	0.89	0.84	0.84
1.50							1	0.98	0.94	0.91	0.85	0.83
1.75								1	0.94	0.93	0.82	0.80
2.00									1	0.97	0.93	0.88
2.25										1	0.85	0.80
2.50											1	0.86
2.75												1

ნიადაგის ზედაპირის საშუალო წლიური ტემპერატურების მნიშვნელობები 1948-1990 წლებში გამოთვლილია იგივე დაკვირვების პუნქტებისთვის, რომლებიც მე-2-ე ცხრილშია მოცემული. წინა მაგალითში საძიებელი ტემპერატურის განსაზღვრას (აღდგენას) დაკვირვების პუნქტის ერთ-ერთი რომელიმე თვის მონაცემებით ვატარებდით. ამჯერად თითოეული დაკვირვების პუნქტის ფაქტიური მონაცემების გამოყენებით აღდგენილია სხვა, სრულიად განსხვავებულ პირობებში მყოფი დაკვირვების პუნქტის სავარაუდო ტემპერატურები. განხილულია იგივე სამი პუნქტი (იხ. ცხრილი 2), თითოეული მაგალითი ფაქტიურად სამი დამოუკიდებელი მაგალითისგან შედგება, განსხვავებულ კლიმატურ რეჟიმში მყოფი პუნქტების გამოყენებით. კერძოდ, ფოთისთვის აღებულია ჩაქვის, მთა-საბუეთის და გაგრის ქედის ფაქტიური მონაცემები. ფასანაურისთვის გამოთვლები ჩატარებულია სამტრედიის, აბსათუმნის და წალკის ფაქტიური მონაცემებით, ხოლო რადიონოვკისთვის აღებულია საქარის, ახალციხის და ეფრემოვკის ფაქტიური მონაცემები.

აღნიშნული სამი დაკვირვების პუნქტის (ფოთი, ფასანაური, რადიონოვკა) გამოთვლილ და ფაქტიურ მონაცემებს შორის განსაზღვრულია საშუალო კვადრატული გადახრები აბსოლუტურ ერთეულებში, ფარდობით ერთეულებში და 43 წლის მანძილზე მათ შორის მაქსიმალური ფარდობითი გადახრები. გამოთვლების შედეგები მოცემულია ცხრილ 4-ში. როგორც მე-4-ე ცხრილიდან ჩანს, მიუხედავად იმისა, რომ გამოთვლებისას უმეტესად გამოყენებულია სრულიად განსხვავებულ პირობებში მყოფი დაკვირვების პუნქტების ფაქტიური მონაცემები, აღდგენილი სიდიდეები საკმაოდ კარგად ასახავს ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ფაქტიურ ცვლილებას 1948-1990 წლებში.

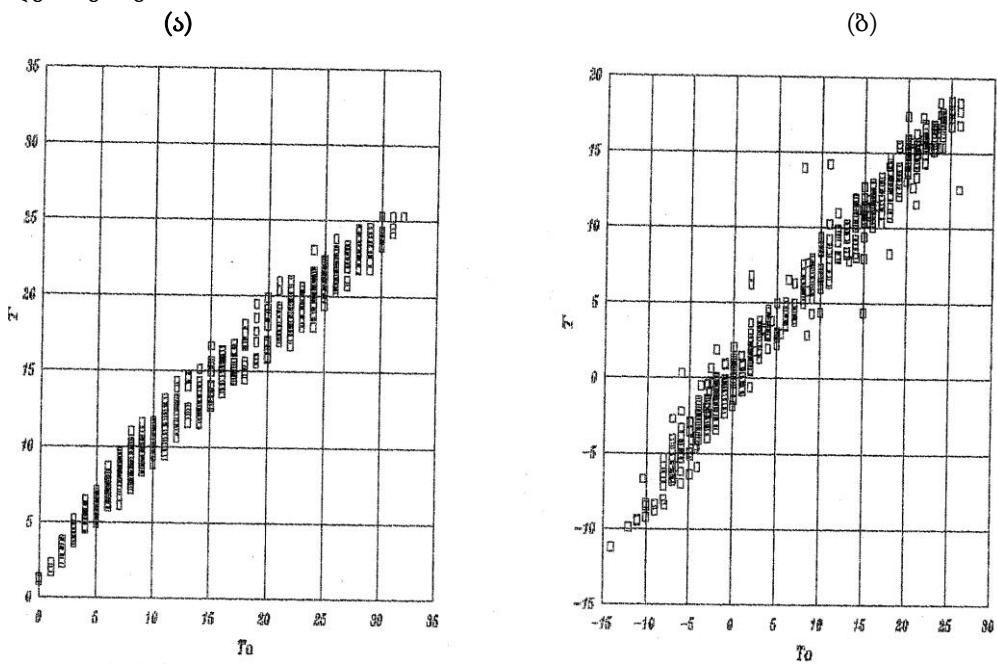
კავშირი ნიადაგის ზედაპირისა და ჰაერის ტემპერატურებს შორის. ნიადაგის ზედაპირისა და აერის ტემპერატურების ჩამოყალიბებაში ძირითადი როლი მზის სხივურ ენერგიას ეკუთვნის, მაგრამ პროცესი, რომელიც სხივური ენერგიის სითბურ ენერგიად გარდაქმნას განაპირობებს, ნიადაგის და აერის შემთხვევაში განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის სიდიდეს მოკლე და გრძელტალღიანი რადიაციული ნაკადების შთანთქმის (არეკვლის) უნარიანობა ანუ ზედაპირის ალბედო განსაზღვრავს, ხოლო

მიწისპირა, აერის ტემპერატურის ფორმირებაში ქვეფენილი ზედაპირის მიერ დიფუზიით გადაცემული სითბოს რაოდენობასთან ერთად დიდი მნიშვნელობა აერის ტენშემცველობას გააჩნია. ეს უკანასკნელი შთანთქმავს რა განსაკუთრებით ინტენსიურად გრძელტალღიან გამოსხივებას, აერის ტემპერატურის ჩამოყალიბებაში მას მნიშვნელოვანი როლი მიუძღვის. ამიტომ, კავშირი ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა, აერის ტემპერატურებს შორის უშუალოდ დაკვირვების მომენტში მდგრადი და ცალსახა არ შეიძლება იყოს. ამასი დარწმუნება ადვილია თუ შევადარებთ ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა, აერის ტემპერატურების ვარიაციებს დაკვირვების ვადების მიხედვით. მაგრამ, თუ განვიხილავთ კავშირს აღნიშნული ტემპერატურების საშუალო თვიურ მონაცემებს შორის, იგი მდგრადი და ცალსახაა. ამას ადასტურებს დაკვირვების ყველა პუნქტის მრავალწლიური მონაცემები, რომელთაგან საილუსტრაციოდ ნახ.4-ზე მოცემულია კავშირი სენაკისა და წალკის ნიადაგის ზედაპირისა და, აერის ტემპერატურებს შორის. აღნიშნული ნახაზი, რომელზედაც დატანილია 1948-1990 წლების ყოველთვიური მონაცემები, თვალნათლივ ადასტურებს ნიადაგის ზედაპირისა და, აერის ტემპერატურების საშუალო თვიურ მონაცემებს შორის მჭიდრო კავშირს და ამ კავშირის მდგრადობას.

ცხრილი 4. ნიადაგის ზედაპირის გამოთვლილი ტემპერატურების შედარება ფაქტიურთან, როცა გამოთვლები ჩატარებულია შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდით

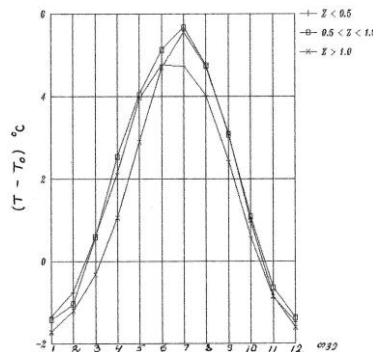
დაკვირვების პუნქტი		σ №	σ %	მაქსიმალური გადახრა %
გამოსათვლელი	გამოყენებული			
ფოთი	ჩაქვი	0.72	3.8	8.9
	მთა-საბუეთი	1.41	8.1	13.5
	გაგრის ქედი	0.81	4.1	9.6
ფასანაური	სამტრედია	0.61	5.0	9.6
	აბასთუმანი	0.70	6.2	13.3
	წალკა	0.92	8.2	24.3
რადიონოვკა	საქარა	1.09	20.8	49.9
	ახალციხე	0.63	12.4	40.7
	ეგრემოვკა	0.54	12.3	50.0

ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა, აერის ტემპერატურებს შორის რაოდენობრივი კავშირის დასადგენად მრავალწლიური მონაცემები დავყავით სამ ჯგუფად ზედაპირის ზღვის დონიდან სიმაღლის მიხედვით. პირველ ჯგუფში გავაერთიანეთ დაკვირვების იმ პუნქტთა მონაცემები, რომლებიც განლაგებული არიან ზღვის დონიდან 0-დან 500 მ-მდე. მეორე ჯგუფში გაერთიანდა 500-დან 1000 მ-მდე განლაგებული დაკვირვების პუნქტთა მონაცემები, ხოლო მესამე ჯგუფი შეადგინა იმ პუნქტების მონაცემებმა, რომლებიც 1000 მ-ზე მაღლა მდებარეობენ



ნახ.4 კავშირი ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურას შორის სენაკისა (ა) და წალკისთვის (ბ)

ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა, აერის ტემპერატურათა შორის სხვაობის შიდაწლიური ცვალებადობა საქართველოს ტერიტორიაზე ზღვის დონიდან 500 მ-მდე, 500-დან 1000 მ-მდე და 1000 მ-ის ზევით მოცემულია ნახ. 5-ზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს სხვაობა ნიადაგის ზედაპირისა და აერის ტემპერატურებს შორის საქართველოს ტერიტორიაზე დადებითა მარტიდან ოქტომბრის ჩათვლით. ზღვის დონიდან 1000 მ-მდე განლაგებული ზედაპირებისათვის ეს სხვაობა უარყოფითიდან დადებითში გადადის თებერვლის შუა რიცხვებში. 1000 მ-ზე ზევით განლაგებული ზედაპირებისთვის გადასვლის თარიღი გადაინაცვლებს მარტის პირველ დეკადაში. აღნიშნული სხვაობის ნიშნის შეცვლა ანუ დადებითიდან უარყოფითში გადასვლა სამივე ჯგუფისათვის ოქტომბრის შუა რიცხვებში ხდება. რაც შეეხება სხვაობის სიდიდეს, იგი ნაკლებადაა დამოკიდებული ზედაპირების სიმაღლეზე ზღვის დონიდან და მისი ძირითადი ცვლილება სეზონების მიხედვით ხდება. ზამთრის თვეებში ეს სხვაობა მერყეობს 0-დან -1.8 °მდე. ხოლო დანარჩენ სეზონებში ეს სხვაობა, იწყება რა 0°C-დან, მაქსიმუმს ივლისის თვეში აღწევს და იგი 5-დან 6°C-ის ფარგლებშია.



ნახ.5. ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა, აერის ტემპერატურათა შორის სხვაობის შიდაწლიური ცვალებადობა საქართველოს ტერიტორიაზე ზღვის დონიდან 500 მ-მდე, 500-დან 1000 მ-მდე და 1000 მ ზევით ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურები და მათი დადგომის თარიღის ალბათობები. მიწისპირა ჰაერის, ნიადაგის ზედაპირის და სიღრმეების ტემპერატურების ვარიაციებს, განსაკუთრებით იმ პერიოდებში, როცა აღნიშნული ტემპერატურები უარყოფით მნიშვნელობებს ღებულობენ, დიდი მნიშვნელობა აქვს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარებისა და პროდუქტიულობისთვის. დაკვირვების მასალები, რომლებიც წინამდებარე ნაშრომს უდევს საფუძვლად, ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურული რეჟიმის შესწავლის საშუალებას იძლევა.

ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურების განაწილების და მისი დროის მიხედვით ცვლილების შესასწავლად, მონაცემები სხვადასხვა სიმაღლეების მიხედვით დავაჯგუფეთ სამ პერიოდად (1948-1961, 1962-1975, 1976-1990 წწ). ცხრილ 5-ში სხვადასხვა სიმაღლეებისათვის მოცემულია აღნიშნული სამი პერიოდის მიხედვით გასაშუალებული დღეთა რიცხვი წელიწადში უარყოფითი ტემპერატურებით და შესაბამისი საშუალო კვადრატული გადახრები.

ცხრილი 5. დღეთა რიცხვი ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურებით წლის განმავლობაში და მისი ცვლილება 1948-1990 წლებში

		სიმაღლე ზღვის დონიდან						
		0-0.2	0.2-0.5	0.5-0.8	0.8-1.2	1.2-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4
დღეთა რიცხვი როცა $t < 0$ °მ	1948-1961	0.8	10.8	40.4	65.0	103.5	142.5	170.0
	1962-1975	0.9	11.0	42.9	68.1	101.5	143.5	171.7
	1976-1990	0.8	7.8	41.4	66.7	103.5	147.1	174.9
საშუალო კვადრატული გადახრა (დღე/წელი)	1948-1961	4.9	17.7	28.7	28.2	24.8	21.1	21.5
	1962-1975	16.1	15.9	23.2	24.2	27.5	20.3	22.0
	1976-1990	14.1	14.8	26.7	21.7	27.8	20.6	22.2

ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს, რომ დღეთა რაოდენობა ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურებით, ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდის მიხედვით, დაწყებული 0.2 კმ-დან, წრფივად იზრდება. პრაქტიკულად სამივე პერიოდისთვის ცვლილების კანონზომიერება ერთნაირია და იგი შემდეგი გამოსახულებით შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი:

$$N = 80 z^{-12}, \quad z > 0.2 \text{ km.}$$

(6)

სადაც N დღეთა რიცხვია ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი საშუალო დღელამური ტემპერატურებით, ხოლო z - სიმაღლეა ზღვის დონიდან კმ-ში.

როგორც აღვნიშნეთ, ფორმულა (6) საკმაოდ ზუსტად ასახავს საქართველოს ტერიტორიაზე დღეთა რაოდენობას ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი საშუალო დღელამური ტემპერატურებით 0.2 კმ-ს ზევით განლაგებული ზედაპირებისთვის.

ზღვის დონიდან 0-0.2 კმ განლაგებული ზედაპირებისთვის უარყოფითი ტემპერატურებიანი დღეთა რაოდენობა არაწრფივ სახეს ღებულობს. კერძოდ

$$N = 65 z^{1.16}. \quad (7)$$

საერთოდ, ფორმულა (7) (6)-თან შედარებით ნაკლებად ზუსტია, მაგრამ გამოხატავს N -ის ცვლილებას სიმაღლის მიხედვით ნებისმიერი სიმაღლისთვის.

ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურების ხანგრძლივობასთან ერთად დიდი მნიშვნელობა აქვს მისი დაწყებისა და დამთავრების თარიღების დადგენას.

არსებული მასალებით, დაკვირვების ყველა პუნქტისთვის, ათდღიანი პერიოდების (დეკადების) სიზუსტით განვსაზღვრეთ დადებითიდან უარყოფითში და პირიქით, უარყოფითიდან დადებითში გადასვლის ყოველწლიური თარიღები. ამან საშუალება მოგვცა ამა თუ იმ დაკვირვების პუნქტისთვის დაგვედგინა ნიადაგის ზედაპირის საშუალო დღელამური ტემპერატურის დადებითიდან უარყოფითში და პირიქით გადასვლის უაღბათესი თარიღები. ეს თარიღები ახლოს იყო ერთმანეთთან ზღვის დონიდან თანაბარ სიმაღლეებზე მდებარე პუნქტებისთვის, რის გამოც ისინი გავაერთიანეთ და მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 6-ში. ცხრილის ზოგიერთ სვეტში მოცემულია თარიღების ორი ჯგუფი. პირველი განსაზღვრავს დადებითიდან უარყოფითში, ხოლო მეორე უარყოფითიდან დადებითში გადასვლის ალბათობას.

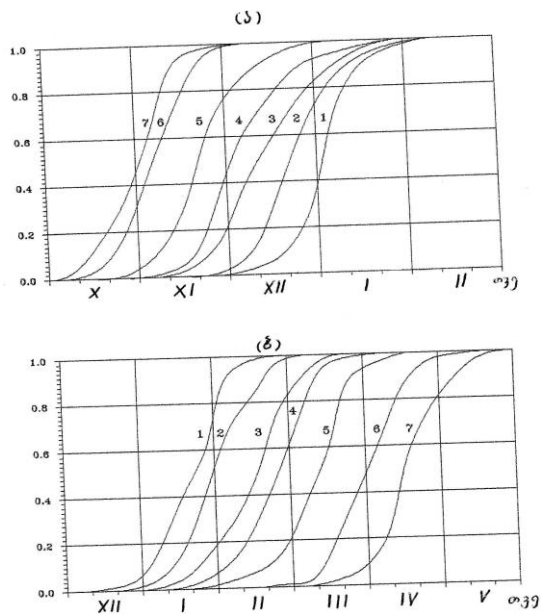
ცხრილი 6. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის 0°K-ზე გადასვლის თარიღების ალბათობები საქართველოს ტერიტორიის სხვადასხვა სიმაღლეებზე ზღვის დონიდან

თვე	დეკადა	სიმაღლე ზღვის დონიდან კმ-ში														
		0-0.2		0.2-0.5		0.5-0.8		0.8-1.2		1.2-1.8		1.8-2.1		2.1-2.4		
X	1														0.01	
X	2													0.03		0.11
X	3										0.01		0.14			0.19
XI	1								0.01		0.09		0.34			0.36
XI	2						0.03		0.05		0.21		0.29			0.28
XI	3				0.01		0.10		0.24		0.37		0.17			0.04
XII	1	0.02			0.07		0.25		0.31		0.17		0.03			0.01
XII	2	0.05	0.01		0.24		0.21		0.17		0.09					
XII	3	0.19	0.03		0.34	0.01	0.19		0.13		0.05					
I	1	0.46	0.13		0.19	0.02	0.08	0.01	0.04		0.01					
I	2	0.19	0.23		0.03	0.04	0.06	0.04	0.03	0.01						
I	3	0.09	0.21		0.05	0.36	0.05	0.13	0.02	0.04		0.01				
II	1		0.33		0.07	0.14	0.02	0.10		0.09		0.03				
II	2		0.05		0.23	0.01	0.24		0.18		0.04					
II	3		0.01		0.17		0.24		0.19		0.07		0.01			
III	1				0.03		0.15		0.27		0.21		0.01			
III	2						0.08		0.18		0.25		0.14			0.02
III	3						0.01		0.03		0.30		0.23			0.04
IV	1								0.01		0.06		0.26			0.13
IV	2										0.03		0.23			0.37
IV	3												0.09			0.21
V	1												0.02			0.10
V	2												0.01			0.11
V	3															0.02

ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ალბათობების განაწილება სხვადასხვა სიმაღლეებზე განსხვავდება ერთმანეთისაგან. გვხვდება როგორც ნორმალური, ასევე ასიმეტრიული და ხშირად ორმოდიანი განაწილებაც. ეს სრულიად ბუნებრივია, თუ გავითვალისწინებთ საქართველოს რთულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებს და ატმოსფერული პროცესების მრავალფეროვნებას.

ცხრილის მონაცემების მიხედვით ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის 0⁰ჩ-ზე გადასვლის თარიღების ფაქტიური ალბათობები, სხვადასხვა სიმაღლეებისთვის, ტემპერატურის დადებითი მნიშვნელობიდან უარყოფითში გადასვლის შემთხვევისთვის და პირიქით წარმოდგენილია სურათებზე 6(ა) და (ბ). აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია პერიოდი ოქტომბრიდან მაისის ჩათვლით ათდღიანი მონაკვეთით. ორდინატზე -0⁰ჩ-ზე გადასვლის ალბათობები. მრუდები აგებულია მე-6 ცხრილში მოცემული სიმაღლეების დიაპაზონთა შუა წერტილებისთვის. მაგალითად, ზღვის დონიდან 0-0.2 კმ-ზე მდებარე ზედაპირებისთვის დადებითიდან უარყოფითში გადასვლის ალბათობები დეკემბრის პირველი დეკადიდან იანვრის მესამე დეკადამდე გრძელდება. გადასვლის უალბათესი პერიოდია იანვრის 3-6 რიცხვში (შესაბამისი ალბათობა 0.5-ის ტოლია).

ამრიგად, საქართველოს ტერიტორიაზე ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის 0⁰ჩ-ზე გადასვლის თარიღის დადგენა ზღვის დონიდან 2.4 კმ-მდე განლაგებული ზედაპირებისთვის საკმაოდ ზუსტად შეიძლება განისაზღვროს. (ა) და (ბ)-ზე წარმოდგენილი მრუდებით, რომელთაც 1948-1990 წლების ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურაზე ფაქტიური დაკვირვების სრული მონაცემები უდევს საფუძვლად.



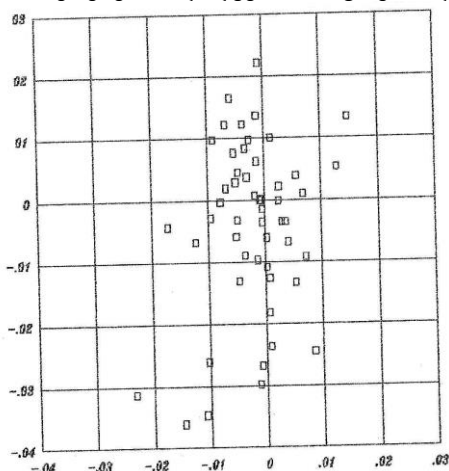
ნახ.6 ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის დადებითიდან უარყოფითში (ა) და უარყოფითიდან დადებითში (ბ) გადასვლის თარიღის ალბათობები საქართველოს ტერიტორიაზე ზღვის დონიდან ადგილმდებარეობის სხვადასხვა სიმაღლეებისთვის (1- 0.1 კმ, 2- 0.25 კმ, 3-0.65 კმ, 4-1 კმ, 5-1.5 კმ, 6-1.95კმ, 7-2.25 კმ).

ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილება ავის ცვლილების ფონზე, ავის გლობალური დათბობის ფონზე საქართველოს ავის ცვლილება გამორჩეული თავისებურებებით მიმდინარეობს. ძირითადად, აღმოსავლეთ საქართველოში დათბობის და დასავლეთ საქართველოში აცივების პირობებში გამოკვეთილია დათბობის ზონაში აცივების და აცივების ზონაში დათბობის მცირე ზოლები. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილების თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ყოველთვის არ შეესაბამება აერის ტემპერატურის ცვლილების საერთო ტენდენციას.

ჰაერისა და ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურების ცვლილებათა შორის კავშირზე გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა ნახ.7, სადაც წარმოდგენილია მათი საშუალო წლიური ცვლილებები 1948-1990 წლებში საქართველოს 50 დაკვირვების პუნქტის სრული მონაცემების მიხედვით. ცვლილება თითოეული დაკვირვების პუნქტისთვის დადგენილია 43-წლიანი პერიოდის ტემპერატურის ცვლილების წრფივი აპროქსიმაციით [9]. დაკვირვების 18 პუნქტზე, რაც საერთო შემთხვევის 36%-ს შეადგენს, აერის ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის შემცირებასაც აქვს ადგილი. დაკვირვების 6 პუნქტზე (12%) დათბობა ერთდროულად მიმდინარეობს. 14 პუნქტზე (28%) აერის ტემპერატურის შემცირების პროცესის პარალელურად ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ზრდა ხდება და

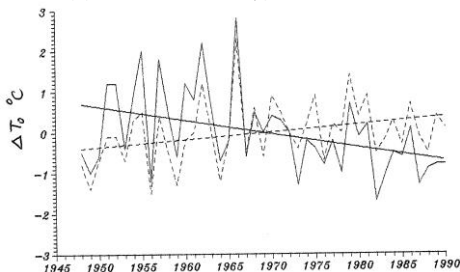
12 პუნქტზე (24%) პირიქით, ჰაერის ტემპერატურის ზრდას ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის შემცირება შეესაბამება.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, აღნიშნული ტემპერატურების ცვლილებებს შორის თითქმის არაა კავშირი, მაგრამ ეს ასე არ არის. ცვლილების მიმართულებას და სიდიდეს, მონაცემთა თანმიმდევრობის წრფივი აპროქსიმაციის შემთხვევაში, განტოლების საკუთხო კოეფიციენტი განსაზღვრავს, რომელიც, როგორც წესი, ნულთან ახლოსაა როგორც დადებითი ისე უარყოფითი მნიშვნელობის დროს. მართლაც, როგორც ნახ.7 გვიჩვენებს, 43 წლის ხანგრძლივობის მონაცემების მიხედვით, საქართველოს ტერიტორიაზე მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სიდიდე -0.02 °K/წელი-დან $+0.015$ °K/წელი-მდე შუალედში მერყეობს. ხოლო ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონი -0.036 °K/წელი-დან $+0.022$ °K/წელი-ს ფარგლებშია. ნულთან ახლოს მყოფი სიდიდის ნიშნის შეცვლა ვარიაციების მცირე ცვლილებითაც შეიძლება მოხდეს, ანუ, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, 43 წლის მონაცემები კლიმატის ცვლილების ან კლიმატის განმსაზღვრელი ცალკეული პარამეტრის ცვლილების დასადგენად ნაკლებად საიმედოა. ალბათ, ამისთვის დაახლოებით ასწლიანი მონაცემები მაინცაა აუცილებელი. მიუხედავად ამისა, თუ ცვლილებები გამოხატულია მკვეთრად, ანუ ცვლილებების მაქსიმალური მნიშვნელობების შემთხვევაში გარკვეული, ჭეშმარიტებასთან ახლოს მდგომი კანონზომიერებების დადგენა მაინც შესაძლებელია.



ნახ. 7. კავშირი ნიადაგის ზედაპირისა (თბ) და ჰაერის (თ) საშუალო წლიური ტემპერატურების ცვლილებებს შორის საქართველოს დაკვირვების პუნქტების 1948-1990 წლების მონაცემების მიხედვით

განხილული პერიოდისთვის შევარჩიეთ სამ-სამი პუნქტი, სადაც მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება სხვებთან შედარებით მკვეთრად იყო გამოხატული. ასეთი ძლიერი აცივების პუნქტები 1948-1990 წლებში აღმოჩნდა ონი, ბახმარო და ტყიბული, ხოლო დათბობის მიხედვით – სამტრედია, ბათუმი და შირაქი. აღნიშნული პუნქტების ნიადაგის ზედაპირების ტემპერატურათა ცვლილებები აცივებისა და დათბობის პროცესის მიხედვით გავაერთიანეთ და ნახ.8-ზე წარმოდგენილია მათი საშუალო წლიური მნიშვნელობების ცვლილებები და ამ ცვლილებათა წრფივი აპროქსიმაციები. როგორც სურათიდან ჩანს, მიწისპირა ტემპერატურის შედარებით მკვეთრი კლებისა და ზრდის პროცესი, ნიადაგის ზედაპირის შესაბამისად, მნიშვნელოვანი აცივებისა და დათბობის პროცესით ხასიათდება.



ნახ.8. ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილება 1948-1990 წლებში ყველაზე ძლიერი აცივების (ონი, ბახმარო, ტყიბული) და დათბობის (სამტრედია, ბათუმი, შირაქი) ზონაში

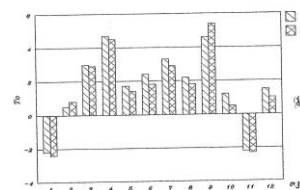
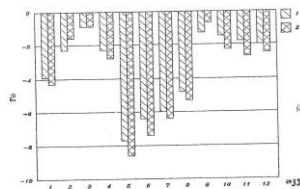
განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილების შიდაწლიური პროცესი. ნახ.9-ზე მოცემულია ზემოთ აღნიშნული სამ-სამი დაკვირვების პუნქტების მიხედვით გასაშუალებული მონაცემებით აგებული ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილებები თვეების მიხედვით. ცვლილება წარმოდგენილია როგორც მონაცემთა წრფივი აპროქსიმაციით, ასევე საბოლოო და საწყის პერიოდებს შორის ტემპერატურათა სხვაობით. საბოლოო პერიოდის ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა წარმოადგენს საშუალო თვიური მონაცემების გასაშუალებულ მნიშვნელობებს 1976-1990 წლებში. ხოლო,

საწყისი პერიოდი მოიცავს 1948-1962 წწ პერიოდს. როგორც ნახაზიდან ჩანს, წრფივი აპროქსიმაციათა და ტემპერატურათა სხვაობით მიღებული მნიშვნელობები თითქმის არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. აცივების ზონაში ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის თანდათანობითი შემცირება ყველაზე ინტენსიურად მაისში ხდება, ხოლო ყველაზე სუსტად მარტში და სექტემბერში. აღსანიშნავია, რომ დათბობის ზონაში იანვარსა და ნოემბერში ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა აცივების პროცესით ხასიათდება. დანარჩენ თვეებში ტემპერატურის ცვლილება ზრდის მიმართულებითაა, მაქსიმუმით აპრილსა და სექტემბერში.

როგორც მოსალოდნელია, ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ვარიაციებზე გარკვეული გავლენა უნდა ქონდეს მოღრუბლულობას და ქარს. ამის შესამოწმებლად განვსაზღვრეთ კორელაციური კავშირები ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურას, ღრუბლიანობის განმსაზღვრელ ძირითად პარამეტრებსა და ქარის ვარიაციებს შორის.

ცხრილი 7. კორელაციური მატრიცა ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურას, ღრუბლიანობის პარამეტრებს და ქარის სიჩქარეს შორის აცივების (ონი, ბახმარო, ტყიბული) და დათბობის (სამტრედია, ბათუმი, შირაქი) ზონაში

		To, °C	Go, ბალ ო	Gn, ბალ ო	Go ₁ , %	Go ₂ , %	Gn ₁ , %	Gn ₂ , %	V, მ/წმ
საშუალო		11.4	5.99	4.75	21.1	51.1	45.4	40.9	1.27
საშ. კვად. გად.		1.25	0.36	0.72	12.3	3.82	9.14	6.42	0.85
აცივების ზონა	To	1	-0.27	-0.50	-0.50	-0.24	0.50	-0.46	0.48
	Go		1	0.39	-0.10	0.89	-0.30	0.45	-0.09
	Gn			1	0.54	0.26	-0.96	0.95	-0.63
	Go ₁				1	-0.30	-0.69	0.28	-0.85
	Go ₂					1	-0.10	0.43	0.11
	Gn ₁						1	-0.81	0.73
	Gn ₂							1	-0.43
	V								1
საშუალო		15.0	6.3	4.6	27.4	52.5	45.5	37.8	2.25
საშ. კვად. გად.		1.22	0.49	0.54	4.6	7.0	6.2	7.3	0.94
დათბობის ზონა	To	1	0.37	0.26	-0.06	0.46	-0.04	0.40	0.31
	Go		1	0.58	-0.73	0.93	-0.39	0.60	0.22
	Gn			1	-0.49	0.49	-0.83	0.82	0.27
	Go ₁				1	-0.44	0.63	-0.25	-0.13
	Go ₂					1	-0.17	0.66	0.19
	Gn ₁						1	-0.39	-0.32
	Gn ₂							1	0.10
	V								1



ნახ.9. ნიადაგის ზედაპირის საშუალო თვიური ტემპერატურების ცვლილება აცივების (ა) და დათბობის (ბ) ზონებში წრფივი აპროქსიმაციით (1) და საწყისი და ბოლო პერიოდების ტემპერატურათა სხვაობით (2)

ზემოთ აღნიშნული სამ-სამი დაკვირვების პუნქტების საშუალო წლიური მონაცემების მიხედვით ავაგეთ კორელაციური მატრიცები აცივებისა და დათბობის ზონებისათვის (შემთხვევათა რიცხვმა შეადგინა 129). ღრუბლიანობის დასახასიათებლად გამოვიყენეთ საერთო (Go) და ქვედა იარუსის (Gn)

მოდრულულობის საშუალო წლიური მონაცემები და მოწმენდილი და მოდრულული ცის ალბათობები საერთო (G_{01}, G_{02}) და ქვედა იარუსის (G_{n1}, G_{n2}) მოდრულულობის მიხედვით. მოწმენდილი ცის ალბათობაში ვგულისხმობთ ცის თაღის მდგომარეობას, როცა ათბალიან სისტემაში მოდრულულობა ორ ბალს არ აღემატება, ხოლო მოდრულული ცის ქვეშ იგულისხმება რვიდან ათ ბალამდე მოდრულულობა. ქარი დავახასიათეთ მხოლოდ საშუალო წლიური სიჩქარის მიხედვით (V მ/წმ). ცხრილ 7-ში მოცემულია კორელაციური კავშირები აღნიშნულ პარამეტრებს შორის, აგრეთვე მათი საშუალო მნიშვნელობები და საშუალო კვადრატული გადახრები აცივებისა და დათბობის მიხედვით.

ცხრილი 7-ის მონაცემები გამოხატავს რა ქარისა და ღრუბლიანობის კავშირს ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურასთან, ზოგიერთ საინტერესო ინფორმაციას იძლევა. მაგალითად, დათბობის ზონაში როგორც საერთო, ისე ქვედა იარუსის მოდრულულობის შემთხვევაში, კავშირი მოდრულულობასა და ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურას შორის დადებითია, ხოლო აცივების ზონაში პირიქით – უარყოფითი. ე.ი. ღრუბლიანობის გაზრდით დათბობის ზონაში ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურა იზრდება, აცივების ზონაში კი კლებულობს. რამდენად სტაბილურია ეს შედეგი და რა იწვევს მას, იგი სპეციალურ შესწავლას მოითხოვს. რაც შეეხება კავშირს ქარის სიჩქარესა და ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურას შორის აცივებისა და დათბობის ზონაში, იგი დადებითია და უფრო მკვეთრადაა გამოხატული ქარის დაბალი სიჩქარეების დროს.

ლიტერატურა-References-Литература

1. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. Санкт-Петербург, «Наука», 1992.
2. Таварткиладзе К.А. Термоэлектрический самописец температуры почвы. Тр. ТбилНИГМИ, вып.7, 1960.
3. მ.კორძაია. საქართველოს ავა. თბილისი, საქ.მეცნ.აკად.გამომც., 1961.
4. Гавашели Ш.Г. Температура почвы на Колхидской низменности. Тр. ЗакНИГМИ, вып.28(34), 1956.
5. Гавашели Ш.Г. Температурный режим почвы в Тбилиси. Сборн. трудов ТГМО, вып.1, 1960.
6. დ.მუმლაძე. საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება. თბილისი, “მეცნიერება”, 1991.
7. Климат Тбилиси. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1992.
8. Обухов А.М. О статистических ортогональных разложениях эмпирических функций. Изв. АН СССР, сер.Геофизика, №1, 1960.
9. კ.თავართქილაძე, ე.ელიზბარაშვილი, დ.მუმლაძე, ჯ.ვაჩანაძე. საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელი. თბილისი, ბაკურ სულაკაურის გამომცემლობა, 1999.
10. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. Тр. ЦИР, вып.74, 1959.

უკ551.524.525

კ.თავართქილაძე

ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურული რეჟიმი საქართველოში

დადგენილია ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის განაწილების კანონზომიერებანი ზღვის დონიდან დაკვირვების პუნქტის სიმაღლის ცვლილების მიხედვით, შესწავლილია კავშირი ნიადაგის ზედაპირისა და მიწისპირა ატმოსფეროს ტემპერატურებს შორის, განსაზღვრულია ნიადაგის ზედაპირის უარყოფითი ტემპერატურების დაწყებისა და დამთავრების უაღბათესი თარიღები და შესწავლილია ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილება კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე.

UDC551.524.525

Tavartkiladze K.A.

Temperature regime of the soil surface of Georgia

Regularities of soil surface temperature distribution according to the altitude above the sea level are determined, connection between soil surface temperature and the temperature of surface layer of the atmosphere is studied, probabilistic data of starting and ending of soil surface negative temperatures are specified and the change of soil surface temperature on the background of global climate change is investigated, as well.

УДК 551.524.525

Таварткиладзе К.А.

Температурный режим поверхности почвы в Грузии

С использованием среднемесячных данных около 60 пунктов наблюдения за 1948-1990 гг. изучен температурный режим поверхности почвы на территории Грузии. Установлены закономерности распределения температуры поверхности почвы с изменением высоты местности над ур.м., изучена связь между температурами поверхности почвы и приземного слоя атмосферы, определены вероятностные даты наступления и окончания отрицательных температур поверхности почвы и изучено изменение температуры поверхности почвы на фоне глобального изменения климат