

**გლობალური დათბობის პირობებში თბილისის ზამთრის რეჟიმის განსაზღვრელი  
პარამეტრები და მათი განსაზღვრის სიზუსტე**

თავართქილაძე კ., ბოლაშვილი ნ.

ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო  
nana.bolashvili@gmail.com

*ანოტაცია. განხილულია ზამთრის სეზონის დამახასიათებელი ცხრა პარამეტრის: დღე-ღამის საშუალო ტემპერატურის, ყინვიანი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურის, ყინვიანი დღე-ღამეების რაოდენობის, ყინვიანი დღე-ღამეების ტემპერატურათა ჯამის, ყინვიანი დღე-ღამეების მინიმალური ტემპერატურის, გადაბმული ყინვიანი დღეების მაქსიმალური რაოდენობის, გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურების ჯამის, ყინვიანი დღეებიდან მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღის და გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღის ცვლილება გლობალური დათბობის პერიოდში და მათი განსაზღვრის სიზუსტე.*

*საკვანძო სიტყვები: ჰავა, ჰავის ცვლილება, რეჟიმული სტრუქტურა*

დედამიწის გლობალური ჰავის თანამედროვე ცვლილების განსაზღვრა ჯერჯერობით შესაძლებელია მხოლოდ თეორიულად, კერძოდ, ენერგო-ბალანსური მოდელის აგებით. ამის ძირითადი მიზეზია ჰავის განსაზღვრელ ძირითად პარამეტრებზე ხანგრძლივი (რამოდენიმე ათწლეულის) ემპირიული მონაცემები, რომელთა საშუალებით დედამიწის გლობალური ჰავის სტაბილურობა ან ცვლილება შეიძლება დადგინდეს, დედამიწის ზედაპირის მხოლოდ ერთ მეათედზე ნაკლები ტერიტორიისთვისაა ცნობილი. თუ გავითვალისწინებთ, რომ რეგიონების მიხედვით ტემპერატურის ცვლილება საოცრად არათანაბარია (ზოგან აცივებასაც აქვს ადგილი) გასაგებია, რომ ასეთ პირობებში დედამიწის ერთი მეათედის ტემპერატურა ვერ დაახასიათებს ჰავის გლობალურ ცვლილებას. რაც შეეხება დედამიწის (ატმოსფეროსთან ერთად) ენერგო-ბალანსური მოდელის აგების შესაძლებლობას იძლევა ის გარემოება, რომ ვაკუუმში მოთავსებული დედამიწის ენერგეტიკული სისტემა მხოლოდ მზის სხივური ენერგიის ხარჯზე ყალიბდება და ჰავის პარამეტრებს ძირითადად ეს ენერგია განაპირობებს.

ამრიგად, ენერგო-ბალანსური მოდელი განსაზღვრავს რა დედამიწის ენერგეტიკულ პოტენციალს, ანუ მიღებული და გაცემული ენერგიების თანაფარდობას, აყალიბებს გლობალურ ჰავას.

ენერგეტიკული პოტენციალი გარდა მზის სხივური ენერგიის ინტენსიურობისა, დამოკიდებულია ატმოსფეროს გაზურ შემადგენლობაზე და ქვეფენილი ზედაპირის მიერ სხივური ენერგიის შთანთქმის უნარზე. ენერგეტიკული პოტენციალის მდგრადი წონასწორობის დროს გლობალური ჰავა უცვლელია. არამდგრადი წონასწორობის პირობებში გლობალური ჰავა განიცდის აცივებას ან დათბობას.

რეგიონული ჰავის ცვლილების განსაზღვრა ისეთივე გზით, როგორც გლობალური ჰავის განსაზღვრა ხდება, შეუძლებელია. რადგან იგი იზოლირებულ სისტემას არ წარმოადგენს და მასზე გავლენას მეზობელი რეგიონები ახდენენ. მათი გავლენის დადგენა კი ურთულესი ამოცანაა. რეგიონული ჰავის დადგენა მხოლოდ ემპირიული გზითაა შესაძლებელი. ამჟამად, გამოიყენება რა ხანგრძლივი პერიოდის, კერძოდ რამოდენიმე ათწლეულის მიწისპირული ტემპერატურის ემპირიული მონაცემები, რამდენადაც ძვენთვის ცნობილია, რეგიონული ჰავის ცვლილების განსაზღვრა ოთხი განსხვავებული გზით წარმოებს:

1. ხანგრძლივი (რამდენიმე ათწლეულის) ემპირიული მონაცემების საშუალო გეოგრაფიული პერიოდიდან მესამე და პირველი პერიოდების საშუალო ტემპერატურათა სხვაობით (ე.წ. „სხვაობის“ მეთოდი);
2. წრფივი მიახლოებით, რომელიც დაფუძნებულია დინამიური ნორმის [1] განსაზღვრაზე;

3. ციკლური მიახლოებით, სადაც გათვალისწინებულია მზის სხივური ენერჯის პერიოდული ცვალებადობა;

4. არაწრფივი მიახლოებით, როცა ტემპერატურის დროში ცვლილების მოდელირება ხდება მაღალი რიგის პოლინომით.

რეგიონალური, მიწისპირული ტემპერატურული ველის ცვლილების თუ სტაბილურობის შესაფასებლად ვიღებთ ტემპერატურული ველის დამახასიათებელ ცხრა პარამეტრს (იხ. ქვემოთ), განვსაზღვრავთ მათი ალბათობების სიმკვრივეებს (რითაც ცალსახად ხასიათდება მათი რეჟიმული სტრუქტურა) და აღნიშნული ოთხი მეთოდით ვადგენთ მათი გამოთვლის სიზუსტეს. ეს პარამეტრებია:

1. დღე-ღამის საშუალო ტემპერატურა ( $T_v$  °C);
2. ყინვიანი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურა ( $T_u$  °C);
3. ყინვიანი დღე-ღამეების რაოდენობა ( $T_{un}$  დღე);
4. ყინვიანი დღე-ღამეების ტემპერატურათა ჯამი ( $T_{us}$  °C);
5. ყინვიანი დღე-ღამეების მინიმალური ტემპერატურა ( $T_{um}$  °C);
6. გადაბმული ყინვიანი დღეების მაქსიმალური რაოდენობა ( $T_{ugn}$  დღე);
7. გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურების ჯამი ( $T_{ugs}$  °C);
8. ყინვიანი დღეებიდან მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღი ( $T_{umd}$  რიცხვი, თვე);
9. გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღი ( $T_{ugd}$  რიცხვი, თვე).

წინამდებარე ნაშრომში შედარებულია აღნიშნული ოთხი მეთოდით მიღებული ტემპერატურული ველის ცვლილებების შედეგები საქართველოს პირობებში. კერძოდ, შედარება ჩატარებულია თბილისის 1881-2018 წლების ზამთრის სეზონის (დეკემბერი-იანვარი-თებერვალი) დღე-ღამის საშუალო მიწისპირული ტემპერატურის ემპირიული მონაცემების მაგალითზე. ასოცდათვრამეტი წლის ყოველ-დღიური მონაცემების კრიტიკული ანალიზი და შემთხვევით გამოტოვებული დაკვირვებების შევსება ჩატარებულია შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ-ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდით [2,3,4]. ზამთრის სეზონი აღებულია იმიტომ, რომ საქართველოში ჰავის ცვლილების შედეგები ზამთრის პერიოდში უფრო მკვეთრად გამოხატული ვიდრე წლის განმავლობაში და, რაც მთავარია, ზამთრის სეზონს აქვს ყინვიანი პერიოდი, რომლითაც ექსტრემალური გადახრები შეიძლება დახასიათდეს და იგი უკეთ ახასიათებს ჰავის ცვლილებას ვიდრე წლის საშუალო ტემპერატურა.

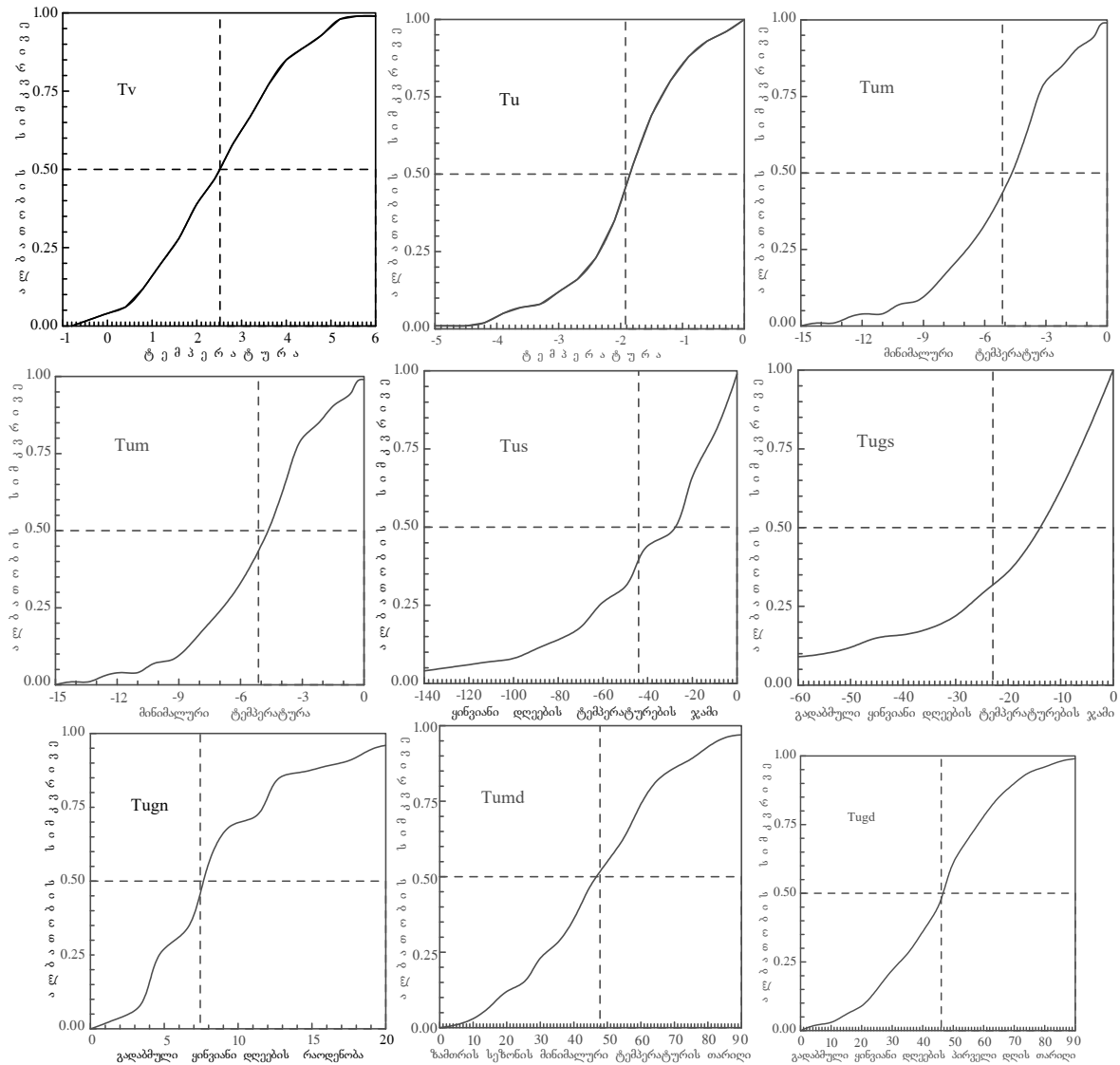
იმის დასადგენად, რომ ყოველი პარამეტრი ჰავის ცვლილების თუნდაც მცირე, მაგრამ სხვებისგან განსხვავებით რაიმე შედეგს აღრიცხავს, აგებულია აღნიშნული პარამეტრების ავტოკორელაციური მატრიცა.

ცხრილი 1. ზამთრის სეზონის ტემპერატურული რეჟიმის განმსაზღვრელი პარამეტრების ავტოკორელაციური მატრიცა თბილისის 1881-2018 წლების მიწისპირული ტემპერატურის ემპირიული მონაცემების მიხედვით

	$T_v$	$T_u$	$T_{un}$	$T_{us}$	$T_{um}$	$T_{ugn}$	$T_{ugs}$	$T_{umd}$	$T_{ugd}$
$T_v$	1	0.72	-0.91	0.83	0.77	-0.72	0.68	-0.13	0.05
$T_u$		1	-0.72	0.87	0.91	-0.73	0.82	0.05	-0.09
$T_{un}$			1	-0.89	-0.76	0.82	-0.72	0.05	-0.09
$T_{us}$				1	0.84	-0.85	0.90	-0.01	0.16
$T_{um}$					1	-0.68	0.77	-0.05	0.09
$T_{ugn}$						1	-0.89	-0.01	-0.18
$T_{ugs}$							1	0.02	0.19
$T_{umd}$								1	0.54
$T_{ugd}$									1

როგორც მატრიცა გვიჩვენებს, ყოველ პარამეტრს შეიძლება მცირე, მაგრამ სხვებისაგან განსხვავებული ინფორმაციის მოცემა შეუძლია.

ყოველი პარამეტრის გამოთვლილი ალბათობის სიმკვრივე მოცემულია ნახ.1-ზე. ვერტიკალური ღერძები განსაზღვრავენ ალბათობის სიმკვრივეს. ხოლო, ჰორიზონტალური ღერძები იძლევიან ყოველი პარამეტრის შესაძლო დიაპაზონებს მოსალოდნელი ალბათობებით.

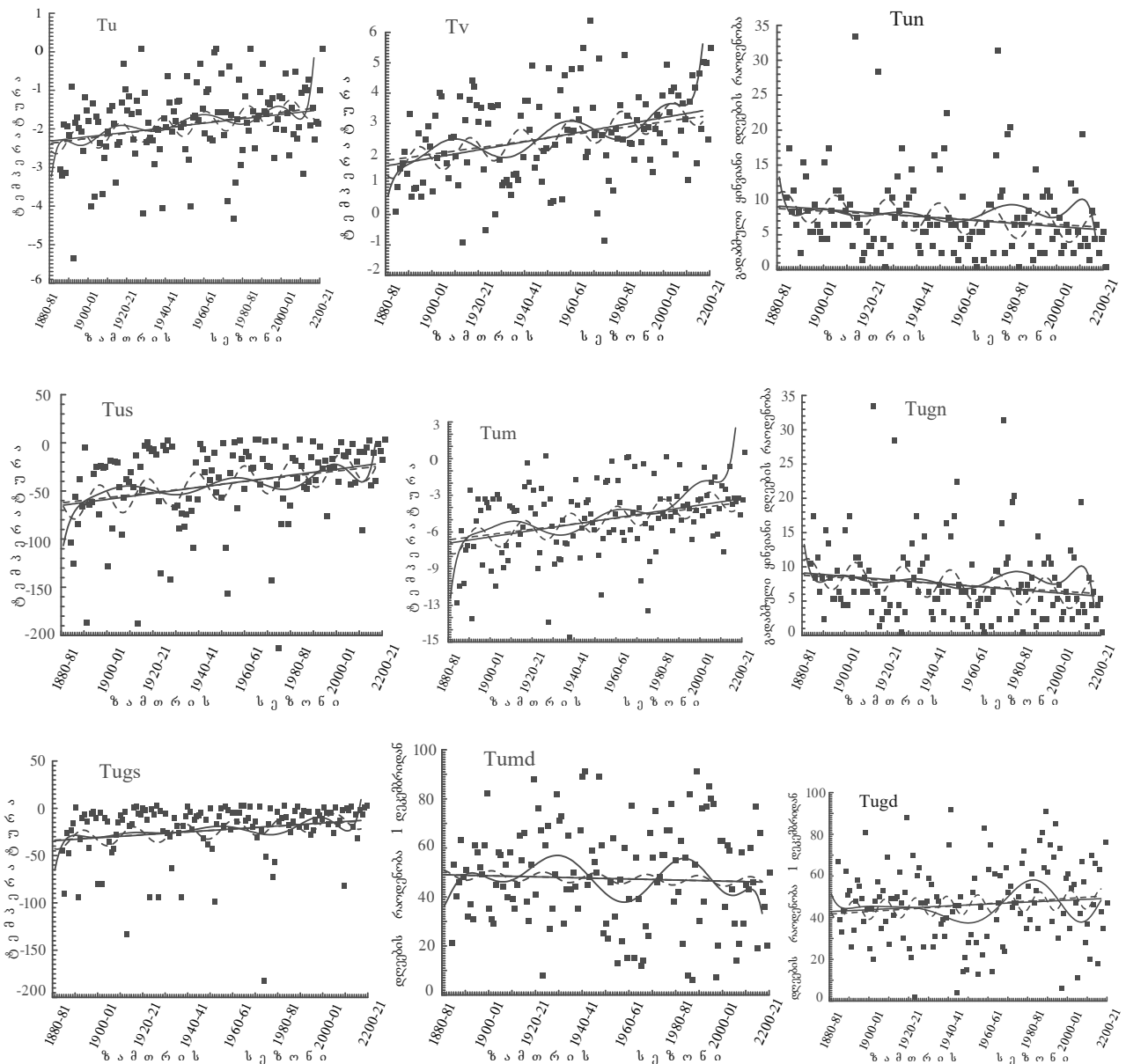


ნახ. 1. თბილისის ზამთრის სეზონის რეგიმული სტრუქტურის დამახასიათებელი პარამეტრების ალბათობის სიმკვრივეები

მაგალითად, თბილისის ზამთრის სეზონის საშუალო ტემპერატურა გლობალური დათბობის პერიოდში (უფრო ზუსტად 1881-2018 წლებში) მოიცავს დიაპაზონს -1-დან +5-მდე და საშუალო არითმეტიკული ტოლია მათემატიკური მოლოდინის. აღსანიშნავია, რომ ყინვიანი დღეების ტემპერატურათა ჯამის და გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურათა ჯამის შემთხვევაში საშუალო ტემპერატურა არ ემთხვევა მათემატიკურ მოლოდინს, ორივე პარამეტრისთვის ტემპერატურის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ნაკლებია მათემატიკურ მოლოდინზე.

ზამთრის სეზონის დღე-ღამის მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღის და გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღის ღერძებზე დატანილია დღეების რაოდენობა, დაწყებული 1 დეკემბრიდან. მაგალითად, ზამთრის სეზონის მინიმალური ტემპერატურა, როგორც ნახაზიდან ჩანს 1 დეკემბრიდან 48-ე დღესა ანუ 17 დეკემბერს.

ზამთრის სეზონის დამახასიათებელი პარამეტრების ცვლილება განხილულ პერიოდში, წრფივი, ციკლური და არაწრფივი მიხლოვებებით მოცემულია 2-ე ნახაზზე.



ნახ. 2. თბილისის ზამთრის სეზონის დამახასიათებელი პარამეტრების ცვლილება გლობალური დათბობის პერიოდში, წრფივი მიახლოებით (სწორი ხაზი), ციკლური მიახლოებით (წყვეტილი მრუდი) და არაწრფივი მიახლოებით (უწყვეტი მრუდი).

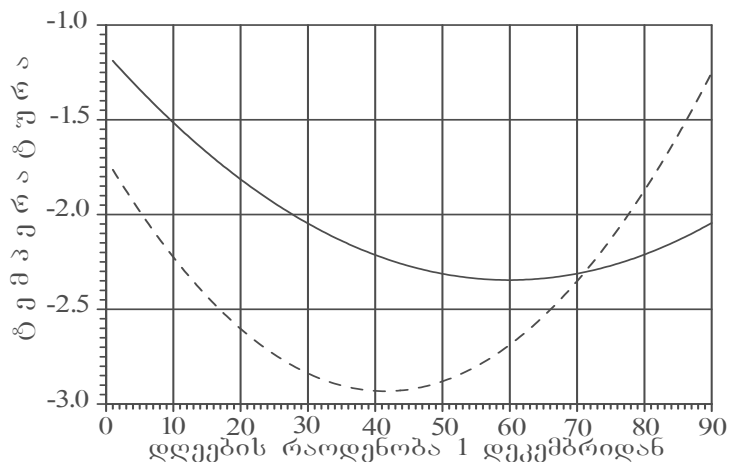
ნახაზზე დატანილი ზამთრის რეჟიმის განმსაზღვრელი პარამეტრები გვიჩვენებს, რომ გლობალური დათბობის პერიოდში ყინვიანი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურა, ყინვიანი დღე-ღამეების ტემპერატურათა ჯამი, ყინვიანი დღე-ღამეების მინიმალური ტემპერატურა და გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურების ჯამი, როგორც მოსალოდნელი იყო თანდათანობით ზრდას განიცდის. ყინვიანი დღე-ღამეების რაოდენობა და გადაბმული ყინვიანი დღეების მაქსიმალური რაოდენობა მცირდება. ხოლო, ყინვიანი დღეებიდან მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღი და გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღი ცვლილებას არ განიცდიან.

ცხრილი 2. ზამთრის სეზონის რეჟიმული სტრუქტურის განმსაზღვრელი პარამეტრებით მიღებული შედეგების ცდომილებათა შემცირება %-ში, საშუალო არითმეტიკულით მიღებულ ცდომილებებთან

ზამთრის სეზონის განმსაზღვრელი პარამეტრები	ზამთრის სეზონის სტანდარტული ცდომილების შემცირება %-ში სტატიკური ნორმის ცდომილებასთან შედარებით			
	სხვაობით	წრფივი მიახლოებით	წრფივი+ციკლური მიახლოებით	არაწრფივი (პოლინომური) მიახლოებით
Tv	6.69	6.96	9.82	9.82
Tu	3.82	3.89	6.41	5.86
Tun	4.09	4.39	8.35	7.56
Tus	4.48	4.42	8.31	6.54
Tum	6.07	6.22	9.10	4.73
Tugn	1.34	1.40	3.97	0.27
Tugs	3.31	3.31	4.95	4.28
Tumd	0.09	0.09	0.40	3.99
Tugd	0.41	0.46	1.93	4.42

სხვაობით და წრფივი მიახლოებით მიღებული შედეგები თითქმის ერთნაირად, დაახლოებით 4-დან 7 პროცენტამდე, აზუსტებენ Tv, Tu, Tun, Tus და Tum-ით მიღებულ შედეგებს. მხოლოდ, სხვაობით მიღებული შედეგები ოდნავ, ნაკლებად ზუსტია წრფივი მიახლოებით მიღებულ შედეგებთან. გადამბმულ ყინვიან დღეთა განმსაზღვრელი პარამეტრები ნაკლები სიზუსტით (დაახლოებით 1-დან 4-მდე) უახლოვდებიან ჭეშმარიტ განაწილებას. ხოლო, მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღები რაიმე ცვლილებას არ განიცდიან.

მიგვაჩნია, რომ გარკვეულ ინტერესს შეადგენს იმის თუნდაც მიახლოებითი დადგენა, თუ როგორ ცვლილებას განიცდის ზამთრის სეზონის აბსოლუტურად მინიმალური ტემპერატურა წლების მიხედვით. აბსოლუტურად მინიმალური ტემპერატურის დადგენა დიდ ცდომილებასთან უნდა იყოს დაკავშირებული, რადგან იგი დაკვირვებათა სიმრავლით არ დგინდება. იგი მხოლოდ წლის განმავლობაში ერთხელ გაზომილი მნიშვნელობით განისაზღვრება. იმისათვის რომ გამოგვერიცხა შემთხვევითი მნიშვნელობა, გამოვიყენეთ ყოველი დღის ტემპერატურა და უმცირეს კვადრატთა მეთოდით [5] პარაბოლის განტოლება, რომლის მინიმალური მნიშვნელობა ჩავთვალოთ მოცემული წლის აბსოლუტურ მინიმუმად.



ნახ.3. თბილისში ზამთრის სეზონის აბსოლუტურად მინიმალური ტემპერატურა

ნახ.3-ზე მოცემულია მიღებული ორი პარაბოლა, რომლებიც აგებულია სამად გაყოფილი მთელი განხილული დროის პირველი და მესამე პერიოდებისთვის.

სიდიდისა და დადგომის თარიღის განაწილების ალბათობის სიმკვრივე 1881-82 ÷ 1945-46 (წყვეტილი მრუდი) და 1946-47 ÷ 2017-18 (უწყვეტი მრუდი) წლების მიხედვით.

როგორც ნახაზიდან ჩანს აბსოლუტური მინიმუმი 1904 წელს შეადგენდა  $-2.9^{\circ}\text{C}$ , ხოლო 1991 წელს -  $2.4^{\circ}\text{C}$ . ე.ი. 87 წლის მანძილზე გაიზარდა  $0.5^{\circ}\text{C}$ -ით.

## ლიტერატურა

- [1] Tavartkiladze K., Kikawa A. Regime structure of temperature and precipitation contributing to droughts and desertification and the influence of climate change on it. Academy of Agriculture of Georgia. // Moambe, No. 28, 2010, pp. 309-317.
- [2] Obukhov A.M. On the statistical orthogonal expansion of empirical functions. // Herald of USSR Academy of Sciences, Geop., 3, 1960, pp. 432-439.
- [3] თავართქილაძე კ. დედამიწის ტემპერატურული ველის ვარიაციების უკიდურესი გადახრები და მათი კავშირი ამინდის ცვლილებებთან (თბილისის მაგალითზე) // გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომები, 3, 2011, გვ. 39-45.
- [4] Tavartkiladze K., Begalishvili N., Tsintsadze T., Kikava A. Influence of Global Warming on the Near-Surface Air Temperature Field in Georgia. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, v.6, N 3, 2012, pp. 55-60.
- [5] Mazmishvili A.I. Method of least squares. // Nedra, Moscow, 1968, 436 p.

## DETERMINING PARAMETERS OF TBILISI'S WINTER REGIME AGAINST THE BACKDROP OF CLIMATE CHANGE AND THE ACCURACY OF THEIR DETERMINATION

Tavartkiladze K., Bolashvili N.

*Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of Ivane Javakishvili Tbilisi State University*  
*nana.bolashvili@gmail.com*

*Abstract. The nine characteristic parameters of the winter season are considered: the average day-night temperature, the average temperature of frosty days, the number of frosty days, the sum of the temperatures of frosty days, the minimum temperature of frosty days, the maximum number of consecutive frosty days, the temperatures of consecutive frosty days and changes in the date of the minimum temperature from freezing days and the date of the first day from overlapping freezing days during the period of global warming and the accuracy of their determination.*

*Key words: Climate, climate change, regime structure*