

უკ 551.513.511.509

**ჰაერის მიკროცირკულაციური პროცესები და კლიმატური თავისებურებანი თბილისის ტერიტორიაზე**

ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., ზოტიკიშვილი ნ., სამხარაძე ი.  
 საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი,

კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების ჩასახვა-განვითარება ბუნებრივია მიმდინარეობს კონკრეტულ, ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში. ამიტომ არსებითი და ზოგჯერ გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს რეგიონალურ-ლოკალური კლიმატის თავისებურებებს. პირველ რიგში, მიკროცირკულაციურ პროცესებს [1-6], ვინაიდან ლოკალური პირობები მოქმედებს ჰაერის ნაკადის არა მარტო დინამიკურ მახასიათებლებზე, არამედ მიდამოს ტემპერატურასა, ტენიანობასა, ამინდის პირობებსა და ეკოლოგიურ სიტუაციაზე. კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების ჩასახვა-განვითარება ბუნებრივია მიმდინარეობს კონკრეტულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში. ამიტომ არსებითი და ზოგჯერ გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს რეგიონალურ-ლოკალური კლიმატის თავისებურებებს. პირველ რიგში მიკროცირკულაციურ პროცესებს [1-9], ვინაიდან ლოკალური პირობები მოქმედებს ჰაერის ნაკადის არა მარტო დინამიკურ მახასიათებლებზე, არამედ მიდამოს ტემპერატურასა, ტენიანობასა, ამინდის პირობებსა და ეკოლოგიურ სიტუაციაზე. ყოველივე ეს მკაფიოდ მიუთითებს ლოკალური პროცესების თეორიული და მოდელური შესწავლის აუცილებლობაზე.

ცალკეული რეგიონის გეოლოგიურ-გეოგრაფიული პირობები, განაპირობებს კლიმატის იმ ლოკალურ „ფენომენურ“ თავისებურებებს, რომლითაც გამოირჩევა საქართველოს ტერიტორიის რამდენიმე ქალაქი თუ მხარე, განსაკუთრებით კი ქვაბურები.

შრომის მიზანია ატმოსფეროს მიწისპირა-სასაზღვრო ფენის გამოკვლევა და მათში მიმდინარე ცირკულაციური პროცესების შესწავლა, საქართველოს ცალკეულ ლოკალურ ადგილზე, კერძოდ თბილისის ტერიტორიაზე. თეორიულად ახსნილი და სტატისტიკურად დასაბუთებული იქნება მითითებულ რეგიონებში შემჩნეული მკვეთრი კლიმატური თავისებურებანი.

საკითხის თეორიული მხარის გაშუქებისათვის ვსარგებლობთ ჰიდროდინამიკაში აღიარებული ა. ფრიდმანის გამარტივებული განტოლებით, ქარის  $\Omega$  სიჩქარის გრიგალის ვერტიკალური მდგენელისათვის, შემდეგი სახით [1.2.3.4.5.6]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + u \frac{\partial (\Omega + l)}{\partial x} + v \frac{\partial (\Omega + l)}{\partial y} = -lD \quad (1),$$

სადაც მთა-გორიან ტერიტორიისათვის გეოსტროფიულ მიახლოებაში  $\Omega$  ასე წარმოდგება

$$\Omega = \frac{1}{\eta} [\Delta \Psi - (a \Psi_x + b \Psi_y)] \quad (2).$$

აქ  $\Psi$  - დენის ფუნქციაა,  $u$  და  $v$  არის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელები.  $\eta = \frac{p_z}{p_0}$  - აგ-

ეოსტროფიულობის პარამეტრი,  $p_z$  - წნევა მთის სიმაღლეზე,  $p_0$  - წნევის სტანდარტული მნიშვნელობა,  $\Delta$

ლაპლასის ბრტყელი ოპერატორი,  $a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}$ ;  $b = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial y}$  - მთის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრები

შესაბამისად, პარალელის და მერიდიანის მიმართულებით,  $\Psi_x$  და  $\Psi_y$  დენის ფუნქციის წარმოებული, შესაბამისად  $ox$  და  $oy$  ღერძების მიმართ,  $D$  - ნაკადის სიჩქარის ბრტყელი დივერგენცია,  $l$  კორიოლისის პარამეტრი. (2)-ის (1)-ში ჩასმით, მეტეოროლოგიური სიდიდეების და მათი წარმოებულების რიგის შეფასების გათვალისწინებით [2.3.5.6] მიიღება ძირითადი სამუშაო განტოლება:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}\right)(\Delta \Psi + a \Psi_x + b \Psi_y) = l\eta(b \Psi_x - a \Psi_y) \quad (3)$$

ამ განტოლების ამოხსნა ვეძებთ შემდეგი ბრტყელი ტალღის სახით [6. 7].

$$\Psi = \Psi_0 e^{i(mx+ny-\sigma t)} \quad (4),$$

სადაც  $m$  და  $n$  შესაბამისი ტალღური რიცხვებია,  $\sigma$  კი ფაზური სიხშირე,  $\Psi_0$  დენის ფუნქციის ამპლიტუდური მნიშვნელობა. (3) -ში (4)-ის ჩასმით ფაზური სიხშირისათვის მიიღება დამოკიდებულება:

$$\sigma = \frac{\rho^2 [l_1(am + bn) - \beta_1 m]}{m[\rho^2 + (am + bn)^2]} + i \frac{(am + bn)[l_1(am + bn) - \beta_1 m]}{m[\rho^2 + (am + bn)^2]} \quad (5).$$

ლოკალური ცირკულაციური პროცესები, როგორც წესი მიისწრაფიან სტაციონალური მდგომარეობისაკენ, რომელსაც შეესაბამება  $\sigma = 0$  პირობა. ატმოსფერული მოვლენების რეალობიდან გამომდინარე, ფაზური სიხშირისათვის აღებული უნდა იქნას მხოლოდ ნამდვილი ნაწილი. ამ მოთხოვნას უზრუნველყოფს პირობა [4-6]:

$$am + bn = 0 \quad (6).$$

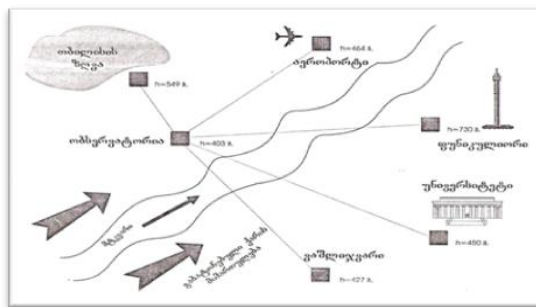
ეს დამოკიდებულება თეორიულად ადასტურებს სინოპტიკურ პრაქტიკაში შემჩნეულ და აღიარებულ რეგიონალურ პრობლემას, კერძოდ იმას, რომ ატმოსფერული პროცესები ამიერკავკასიაზე, ძირითადად ვრცელდება პარალელის მიმართულებით, მთაგრეხილების გასწვრივ [4].

ეს შედეგი სამართლიანია ადგილობრივი ლოკალური ტერიტორიისათვისაც, სადაც მთის მასივი შეიძლება აპროკსირებული იქნას გეომეტრიული ფიგურის სახით და გათვლილი იქნას სათანადო მახასიათებელი პარამეტრები ამრიგად, ნებისმიერ შერჩეულ ლოკალურ პოლიგონზე ჰაერის ნაკადზე მოქმედებს, რელიეფის გავლენით წარმოქმნილი აღმავალ-დაღმავალი დინებები, რომელთა გათვალისწინებაც აუცილებელია. სწორედ ეს დინებები არსებითად განსაზღვრავს ადგილობრივი ცირკულაციის ბუნებას და მთელ რიგ თავისებურებებს ლოკალურ ქვაბურებში. ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარის  $W_0$  განსაზღვრისათვის კი გამოვიყენოთ [5.9] შრომაში, ჩვენს მიერ მიღებული გამოსახულება:

$$W_0 = \frac{1}{l\rho\eta} (p, \ln \eta) H \quad (7),$$

სადაც  $H$  არის ატმოსფერული ფენის სიმაღლე.  $W_0$  გამოხატავს სწორედ, ოროგრაფიული ფაქტორის გავლენით წარმოქმნილ აღმავალი დინების სიჩქარეს.

მოყვანილი თეორიის საფუძველზე ახსნილი იქნება ქ.თბილისის ქვაბურში დაკვირვებული „ფენომენური“ მოვლენები. თბილისი მდებარეობს მდინარე მტკვრის ხეობაში, სამხრეთ-აღმოსავლეთით მთაწმინდის (760 მ) და ჩრდილო-დასავლეთით მახათის (520 მ) მთას შორის. მტკვრის მიმართულებით ქალაქის სიგრძე 30 კმ-ია, სიგანე 10-15კმ. თბილისის ქვაბურში შერჩეულ იქნა ექვს სხვადასხვა ადგილზე განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგური (ნახ.1). აქ მოპოვებული მრავალწლიური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით, მოხდა თბილისის კლიმატური თავისებურებების გამოაშკარავება.



ნახ.1. თბილისის ქვაბურში განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურები ძირითადი მეტეოროლოგიური სიდიდეების მრავალწლიური მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 1.

**ცხრ. 1. მეტეოროლოგიური სიდიდეების მრავალწლიური მნიშვნელობები**

სადგურები მეტეოროლო- გიური ელემენტები	ფუნიკულიორი 1946-1955 წწ	აეროპორტი 1946-1955 წწ	დილომი // ვაშლიჯვარი 1966-1975 წწ	სასოფლო ინსტიტუტი 1960-1967წწ
ატმოსფერული წნევა (მმ)	955,5	920	966,7	841,7
ჰაერის ტემპერატურა °C	12,6	10,8	12,9	13,5
ფარდობითი სინოტივე (%)	65	68	66	64
ქარის სიჩქარე (მ/წმ)	5,9	3,4	-	2,5

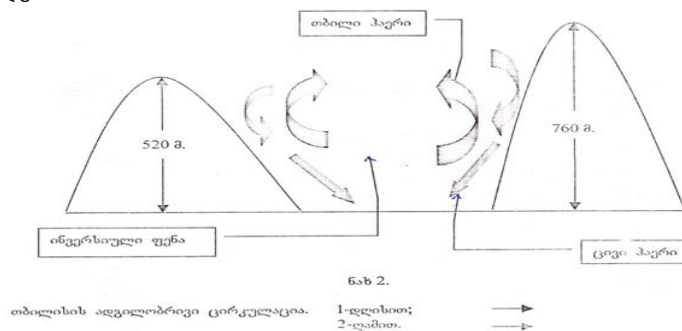
თბილისის ქვაბურში აღიარებული „ფენომენური“ თავისებურება შემდეგია: ზამთარში მზიან წყნარ ანტიციკლონურ ამინდში, ხშირად არის დღეები, როცა მთაწმინდის ფერდობზე ტემპერატურა 6-9°C-ით აღემატება ობსერვატორიის (459 მ) ტემპერატურას. მთიდან ჩამონახები ჰაერი მდ. მტკვრის ხეობაში გამოსხივების გამო, კიდევ უფრო ცივდება და ცუდი გამტარიანობის გამო ტაფობში „დაგუბებას“ განიცდის. ეს არის

ერთ-ერთი მიზეზი იმისა, რომ თბილისში ღამის ტემპერატურა საგრძნობლად დაბალია და დღეღამური ამპლიტუდა იზრდება. თითქმის პარადოქსი - ფენომენია, მაგრამ ფაქტია, რომ მთაწმინდაზე ზამთარში მთელი დღის განმავლობაში უფრო თბილა, ვიდრე ქალაქის ცენტრში.

**ქვემოთ მოყვანილია სადგურების მონაცემები წლების მიხედვით:**

წლები	პერატურა (°C)	პარდობითი უნიაზობა (%)	წნევა (მმ)	ქარის უჩქარე (მ/წმ)	წლები	პერატურა (°C)	პარდობითი უნიაზობა (%)	წნევა (მმ)	ქარის უჩქარე (მ/წმ)
ფუნიკულიორი (1938-1957 წწ.)					დილომი (ვაშლიჯვარი)* (1966-1985 წწ.)				
1938	13.4	64	-	3.1	1966	14.8	66	966.1	14.3
1939	11.1	70	-	3.2	1967	12.5	67	965.6	16
1940	11.5	70	695	3.5	1968	13	66	966.2	15.3
1941	11.4	62	805	5.2	1969	12	67	967.1	16.2
1942	10.4	70	-	4.7	1970	13.4	65	966.4	19.8
1943	10.4	72	920	4.2	1971	13,3	63	966,3	19,7
1944	11.1	69	920	3.7	1972	12,2	66	968	23,1
1945	10.9	65	920	3.5	1973	12,2	64	966,8	დღ. 2
1946	10.6	66	920	3	1974	12,3	69	967,6	დღ. 1,3
1947	11.6	68	920	5	1975	12,9	65	966,8	დღ. 1,3
1948	10.7	67	920	3.5	1976	11,8	69	966,8	დღ. 1,6
1949	9.2	69	920	3.2	1977	12,6	67	966,8	დღ. 1,4
1950	10.8	66	920	3.8	1978	12,8	66	1017,1	დღ. 1,3
1951	10.2	66	920	3.2	1979	13,7	66	1017,6	დღ. 1,0
1952	11.4	67	920	3.1	1980	13,1	66	1016,8	დღ. 1,1
1953	10.6	67	920	3.4	1981	13,5	69	1016,0	დღ. 0,9
1954	11.2	69	920	2.6	1982	12,2	70	1017,6	დღ. 0,7
1955	10.9	72	920	3.1	1983	12,8	70	1016,8	დღ. 0,7
1956	9.8	68	920	3.3	1984	11,4	71	1018	დღ. 0,6
1957	12.0	66	-	2.9	1985	13	65	1016,3	დღ. 0,8
აეროპორტი (1945-1964 წწ.)					ს/ს ინსტიტუტი (1960-1967 წწ.)				
1945	11.7	66	959.1	5.9	1960	13	66	722	2,7
1946	12	66	959.5	5.4	1961	13,5	61	721,6	2,6
1947	13.1	66	959.0	5.5	1962	14,3	60	721,8	2,5
1948	12.4	67	958.8	6.3	1963	13	69	821	2,1
1949	11.8	68	918.3	5.6	1964	12,4	63	962,2	2,7
1950	12.3	62	959.3	6.8	1965	12,8	61	961,7	2,6
1951	12.9	61	959.7	5.0	1966	15	63	962	2,2
1952	12.8	63	959.5	6	1967	13,6	66	961,1	2,3
1953	12.4	63	960	6.9					
1954	12.8	65	959.4	5.2					
1955	13.2	69	958.6	5.5					
1956	11.3	66	959.4	6.8					
1957	13.7	63	959.9	5.7					
1958	12.6	64	959.1	7,3					
1959	11.5	68	959.1	6.4					
1960	12.6	69	959.5	5.4					
1961	13.1	65	958.5	6.8					
1962	13.9	63	960	5.2					
1963	12.3	73	960.5	5.2					
1964	11.6	71	961.4	6.0					

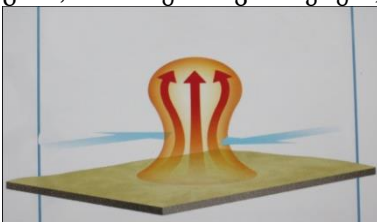
ზაფხულში კი უფრო გრილა, ცენტრში ჰაერის ტენიანობაც იზრდება, ბურუსია, (ხილვადობა 500-700 მეტრზე ნაკლები), თითქმის მუდმივად არის აეროზოლური სმოგ-ღრუბელი [10]; მიკროცირკულაცია ხელს უწყობს ქალაქის ცენტრში ტემპერატურის მატებას, გარე უბნებთან შედარებით. იანვრის და ივლისის ტემპერატურა თბილისის ცენტრში (0,6-2) გრადუსით აღემატება დიღმისა და სამგორის ტემპერატურას. ქალაქის ცენტრში ქარის სიჩქარეც სუსტია (იანვარში 2,2 მ/წმ, ივლისში - 2,1 მ/წმ), გარე უბნებთან შედარებით (შესაბამის თვეებში დიღომში 3.7 მ/წმ და 5.2 მ/წმ., აეროპორტში კი 5.4 მ/წმ და 7.2 მ/წმ.). ჰაერის უშუალოდ ვერტიკალური შერევა მცირეა [5,8,9], ქრის მხოლოდ ფერდობების ქარი (ნახ. 2), რის გამოც ადგილი აქვს ჰაერის ინვერსიული ფენის წარმოშობას, მტვრისა დასხვა მინარევების დაგროვებას, რაც ზრდის ჰაერის გაჭუჭყიანებას. შესაბამისად იზრდება მზის გრძელტალღოვანი გამოსხივების ინტენსივობა, ხოლო ულტრაიისფერისა მცირდება. მიწისპირა ფენაში ხდება ულტრაიისფერი სხივების დაგროვება, რაც ზრდის მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას. ეს უკანასკნელი კი იწვევს სიცოცხლეზე არასასურველ ზემოქმედებას. ასევე კლიმატური თავისებურებაა თბილისში აეროზოლური ღრუბლის ხანგრძლივი არსებობა დილის საათებში (რაც კარგად დაიკვირვება მაღალი შენობების სართულებიდან). ეს ღრუბელი მთელ ქალაქს „აწევს“ ზემოდან და არ ნიავდება.



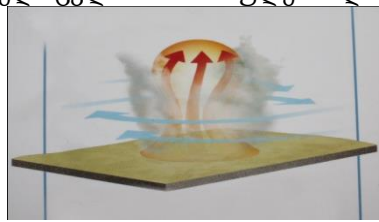
ნახ. 2. მიკროცირკულაცია თბილისის ქვაბურში

თბილისის ტაფობის აღნიშნული თავისებურებები აიხსნება მოყვანილი თეორიით. ამისათვის მოვახდინოთ რელიეფის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრების შეფასება. მთაწმინდისა და მახათის მთა წარმოვადგინოთ სამკუთხა პირამიდის სახით (ნახ. 2), რომელთა მწვერვალებზე ატმოსფერული წნევის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა და მათ შორის მანძილი ცნობილია და ქვაბურში ჰაერის ფენის სიმაღლე 1000 მეტრია, ქარის გაბატონებული მიმართულება კი არის ჩრდილო-დასავლეთი.

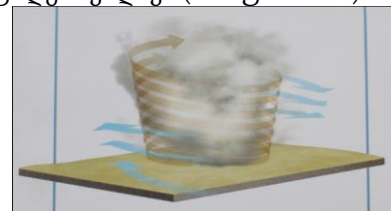
ამ რეალური მონაცემებით გათვლილი რელიეფის გავლენის  $a$  და  $b$  მახასიათებელი პარამეტრები უდრის  $a=5,52 \cdot 10^{-6} 1/მ$ ,  $b=23 \cdot 10^{-6} 1/მ$ , ვერტიკალური ოროგრაფიული სიჩქარე გათვლილი (7) ფორმულით კი არის  $W_0=12,64$  სმ/წმ [6[2.7.8.]]. ამ მნიშვნელობების გათვალისწინებით, ფორმულა (6)-ის საფუძველზე, მიიღება მეტად მნიშვნელოვანი შედეგი. ვინაიდან რელიეფის გავლენის პარამეტრი  $b$  ჩრდილო-სამხრეთ მიმართულებით ოთხჯერ აღემატება პარამეტრს დასავლეთ-აღმოსავლეთის გასწვრივ, ამიტომ ჰაერის მასები ძირითადად, მხოლოდ ერთი მიმართულებით მტკვრის ხეობის გასწვრივ მოძრაობს ( $n=4,12$  მ). ქვაბურში წარმოებს მთა-ხეობის ჩაკეტილი ცირკულაციის წარმოშობა (იხ.სურ.2), რომელსაც აძლიერებს ვერტიკალური სიჩქარის სიმცირე (მაქსიმუმ ორი ათეული სმ/წმ). ცხადია ჰაერის ნაკადის ასეთი დინამიკა ასაბუთებს, ქვაბურში ზემოთ მოყვანილ ყველა კლიმატურ „ფენომენურ“ თავისებურებებს. ვინაიდან ტაფობში მუდმივად არის რელიეფური წარმოშობის აღმავალი დინება, რომელიც ჩაკეტილი ცირკულაციის გამო, მთის ზემოთ კი არ ქრება, არამედ იცვლის მიმართულებას და უბრუნდება ქალაქს (იხ.სურ. 1.2.3.).



სურ. 1. ჰაერი სვეტად ადის ზოგჯერ 100-300) მ. სიმაღლეზე, შემდეგ ჰაერი გრილდება და წყვეტს ზესვლას.



სურ.2. მიწის ზედაპირთან ჰაერი დაბალი წნევის არეში მიემართება, შემდეგ გათბობასთან ერთად ბრუნავს და ზესვლას იწყებს.



სურ.3. აღმავალი მბრუნავი ჰაერის სვეტი მტვერსა და ნაგავს იტაცებს, მაგრამ რადგან მიწა სწრაფად გრილდება მტვრის გრივადი იშლება და თანდათანობით ილექება.

სხვადასხვა ეკოლოგიური სიტუაციების ჩასახვა-განვითარებისათვის განსაკუთრებულია ჰაერში მრავალი ზომის მტვრის ნაწილაკების არსებობაც. ძირითადად მასზე ილექება სამრეწველო და სამეურნეო ნარჩენები, რომლებიც იწვევენ ჰაერის დაჭუჭყიანებას, რითაც ზრდიან ეკოლოგიურ რისკს. მტვრის ნაწილაკების ზომაა მკ-დან 10 მმ-მდე ( $1\text{მკ}=10^{-3}\text{მმ}$ ). ამ ნაწილაკებზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა და ხახუნით გამოწვეული სტოქსის ძალა  $f = 6\pi\eta vr$ , სადაც  $v$  სიჩქარე,  $\eta$  კი სიბლანტის კოეფიციენტი. ამ ძალების გატოლებით ნაწილაკის დალექვის სიჩქარისათვის მიღებულია ფორმულა:  $v = 1,26 \cdot 10^6 \rho r^2$ , თუ რადიუსი 0,4 მკ-ია, მაგალითად წყლის ორთქლის წვეთები, მაშინ უქარო ამინდში ეს წვეთები 100 მ. სიმაღლიდან დაილექება 16 დღე-ღამის განმავლობაში, 7 დღე-ღამეში წყნარ ამინდში; როცა რადიუსი დიდია, მაგ. 2,2 მკ, მაშინ ნაწილაკის ვარდნის დრო 90 სთ-ია. აქედან ჩანს მტვრის და სხვა აეროზოლური ნაწილაკების მნიშვნელობა გარემოს დაბინძურებაში, შესაბამისად ეკოლოგიური სიტუაციების გართულებაში. საყურადღებოა, რომ ჩვენს ბინაში  $1\text{სმ}^2$  ფართზე დაახლოებით 20 ათასი მტვრის ნაწილაკია; ოთახში ადამიანი ყოველდღიურად შეისუნთქავს 500 მილიონ მტვრის ნაწილაკს. ჯერ კიდევ მენდელეევა აჩვენა, რომ 2 გრამ ჰაერში იმყოფება 500 ტკიპა და 700 მილიონი მტვრის ნაწილაკი. სამწუხაროდ ეს რიცხვი იზრდება და იზრდება. რა გვეშველება? ალბათ, ორგანიზმის შეგუების უნარიანობა.

ქალაქ თბილისის ქვაბურის ყოველი კლიმატური თავისებურების ახსნა მოხერხდა და ფიზიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჰიდროთერმოდინამიკური მიდგომით დასაბუთდა. ასეთი მიდგომა განხორციელებულია პირველად. შედეგი გათვალისწინებული უნდა იქნას ქალაქის ახალი უბნების ურბანიზაციის პერსპექტივაში.

საქართველოს მდებარეობა, მისი ფიზიკური და გეოგრაფიული პირობები იძლევა იმის ფართო საშუალებას, რომ ამ ტერიტორიაზე ჩაისახოს და განვითარება ჰპოვოს თვისობრივად განსხვავებულმა მეტეოროლოგიურმა პროცესებმა შესაბამისი თერმულ-ბარიული ველით. ამრიგად, ყოველი ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელი, რომელიც შეძლებს აღწეროს ცალკეულ რეგიონებში განვითარებული პროცესები, თეორიული და პრაქტიკული ღირებულებით არის მნიშვნელოვანი.

#### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ხვედელიძე ზ. „დინამიკური მეტეოროლოგია“ თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 2002წ. გვ. 535
2. ხელაშვილი ა. „კლასიკური თეორიული მექანიკა“ თსუ. გამომცემლობა, 2005 წ. გვ. 223
3. Khvedelidze Z, Davitashvili T. , Samkharadze I.”Propagation of High Power Perturbation in the Atmosphere over the Mountainous Territory.“Proceedings of the 7th International Conference on Climate Changes, Global Warming, Biological Problems.Series | 40. Recent Advances on Environmental and Life Science. Published by WSEAS Press.www.wseas.org. 2015, Malta, p.95.
4. Holton R. ”Dynamic Meteorology“ Fourth edition-university of Washington, 2004 p. 533.76
5. Modelling of atmospheric fields world scientific-Theoretical physic, 1996,p.755.
6. Khvedelidze Z., Samkhatagze I., Davitashvili T.”On Pressure Drop Distribution at High Power Perturbation Per Over the Mountainous Territory“ . Ebullition the Georgian Academy of sciences,155№1, 2015 p.62-67.
7. Матеев Л., „Основы общей метеорологии физика атмосферы“ гидрометеиздатель. Ленинград, 1965г. с. 875.
8. Динамическая метеорология - под редакции Лайхтман Д , Л. Гидрометиздатель 1976г , с. 607.
9. ხვედელიძე ზ., ზოტიკიშვილი ნ. „კლიმატის ლოკალური „ფენომენური“ თავისებურებების დინამიკური ბუნების შესწავლა, ქალაქ თბილისის ქვაბურისათვის“. ქესჟ „ფიზიკა“, 7 (17),2017 წ. გვ. 29-37.
10. Лайхтман Д. „Физика пограничного слоя атмосферы“ гидрометиздатель, Л. 1970 г. ст. 341.

ჰაერის მიკროციკლაციური პროცესები და კლიმატური თავისებურებანი თბილისის ტერიტორიაზე/ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., ზოტიკიშვილი ნ., სამხარაძე ი./სტუ-ს ჰმი-ის სამეცნ. რეფ. შრ. კრებ. . - 2018. - ტ.125. - გვ.99-104. - ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს. თანამედროვე გლობალური დათბობის ფონზე განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ლოკალური რეგიონების კლიმატური თავისებურებების შესწავლას. ამ უბნების ჰავა მკვეთრად განსხვავდება გარემომცველი რეგიონების კლიმატისაგან. განსაკუთრებულობა ძირითადად რელიეფს უკავშირდება. აქედან გამომდინარე, ამ კლიმატური თავისებურებების შესწავლა მეტად აქტუალურია და დიდი პრაქტიკული ღირებულება გააჩნია. საქართველოს ტერიტორიაზე არსებულ ქვაბურებში განვითარებული მიკროციკლაციური პროცესების ახსნა-დასაბუთებისათვის გამოყენებული იქნა ჰიდროდინამიკური მიდგომა. შეფასებულია შესაბამისი რელიეფის მახასიათებელი პარამეტრები და გათვლილია ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარე. დადგენილია ქვაბურების კლიმატური თავისებურებები და ჰაერის ნაკადის დინამიკის ბუნება. შესწავლილ რეგიონებზე მოდელურად შეფასებული პროცესები, რეალურად დაკვირვებული მოვლენების მიმართ 5-7 პროცენტის მიახლოებაშია ახსნილი და დასაბუთებული.



ასეთი კვლევა შესრულებულია პირველად და მიღებულ შედეგებს მნიშვნელოვანი თეორიული და პრაქტიკული პერსპექტივა გააჩნია.

**Air micro-circular processes and climate peculiarities over Tbilisi territory.**/Z.Khvedelidze, M.Tatishvili, N.Zotikishvili, I. Samkharadze/Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.103-109. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

On the background of modern global warming, it is especially important to study the climatic features of local regions. The climate of these sites is significantly different from the climate of the surrounding regions. The specialty of feature is mainly related to the relief. Therefore the study of these climatic features is more relevant and of great practical value. A hydrodynamic approach was used to explain and substantiate the development of microcirculation processes in the existing pits on the territory of Georgia. The characteristic parameters of the relevant relief are estimated and the orographic vertical velocity is calculated. The climatic features of foundation pits and the nature of airflow dynamics are defined. Processes that are modally evaluated in the investigated areas in relation to actual observed events (5-7%) are explained and justified in the approximation to the percentage. Such a study was carried out for the first time, and the results obtained have an important theoretical and practical perspective.

**Микроциркуляционных процессы воздуха и климатические особенности города Тбилиси** / З.Хведелидзе, М. Татишвили, Н.Зотикишвили, И. Самхарадзе/Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.103-109. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На фоне современного глобального потепления особенно важное значение имеет изучение климатических особенностей локальных регионов. Климат этих участков значительно отличается от климата окружающих регионов. Особенность в основном связана с рельефом. Следовательно, изучение этих климатических особенностей более актуально и имеет большую практическую ценность. Для объяснения и обоснования развивающихся микроциркуляционных процессов в существующих на территории Грузии котлованах был использован гидродинамический подход. Оценены характерные параметры соответствующего рельефа и рассчитана орографическая вертикальная скорость. Установлены климатические особенности котлованов и характер динамики воздушного потока. Процессы, модально оцениваемые в исследуемых областях по отношению к фактическим наблюдаемым событиям объясняются и обосновываются в приближении (5-7%) к проценту. Такое исследование было проведено впервые, и полученные результаты имеют важную теоретическую и практическую перспективу.