

UDC.551.513.511.509

## მთა-ხეობიანი რელიეფის როლი ჰაერის ნაკადის ლოკალური ცირკულიაციის შესწავლაში

ზ. ხვედელიძე, მ. ტატიშვილი, ნ. ზოტიკიშვილი, ი. სამხარაძე.

ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ფიზ-მათ. მეცნიერების დოქტორი, პროფესორი, ტ. 260 65 24; E-mail: zurab.khvedelidze@tsu.ge;  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, აღმაშენებლის 150<sup>ბ</sup>, განყოფილების უფროსი, ტ. 555 592 934 E-mail: marikatatishvili@hotmail.com;  
უფ.ინჟინერი, ტ. 232 59 95; E-mail: nanu.zoti19@gmail.com;  
მეცნიერ თანამშრომელი, ტ. 595 519 236 E-mail: Inga-tam@mail.ru

### ანოტაცია

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 მიკროციკულიაციური 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.

### შესავალი

ადამიანს აზროვნებასთან ერთად, საარსებო პირობების გაუმჯობესებასთან დაკავშირებით, გაუჩნდა სურვილი მომავალი ამინდის ცვლილება ზუსტად განსაზღვროს. თანამედროვე პირობებში, მრავალმხრივი კოლოსალური წარმატებების მიუხედავად, ეს სურვილი კვლავ ძალაშია. თუმცა ამის განხორციელებას ათასობით მიზეზი და სირთულე ახლავს. მთავარი მათ შორის არის ის, რომ ატმოსფერული პროცესები მკაცრად არაერთგვაროვანი და ანიზოტროპიულია სივრცესა და დროში. ამის მთავარი მიზეზი არის მზიდან მოსული ენერჯის არათანაბარი გადანაწილება დედამიწის ზედაპირზე. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ატმოსფეროს ქვედა ფენებში სითბურ რეჟიმს, დედამიწის ზედაპირიდან არეკვლილი გრძელტალღოვანი რადიაცია უზრუნველყოფს. ეს ზედაპირი კი არაერთგვაროვანია - არათანაბრად

გადანაწილებული ხმელეთი და წყალი დედამიწის ნახევარსფეროებს შორის, მთა-გორიანობა, მდინარეთა ხეობები, ტბები და მყინვარები. ეს უსწორმასწორობა სხვადასხვა მოსილობითაა დაფარული და იწვევს სინათლის სხივების სხვადასხვა კუთხით არეკვლას, რაც თავის მხრივ იწვევს სითბური ველის არათანაბრად განაწილებას. სითბური ველის არათანაბრობა კი განაპირობებს ატმოსფერული წნევის არათანაბრად გადანაწილებას, ე.წ. მუდმივმოქმედი „ბარიული ცენტრების“ ჩამოყალიბებას. სწორედ ეს ცენტრები უზრუნველყოფენ ჰაერის მოძრაობას უმთავრესად დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ („წამყვანი“ ნაკადი) (8-12)მ/წმ სიჩქარით და სხვა ზონალურ ნაკადებს. დედამიწის ატმოსფეროს ქვედა ფენებში ტემპერატურის არა თანაბარი გადანაწილება, სხვადასხვა სიძლიერის ლოკალური ცირკულიაციების წარმოშობა და ადგილობრივი ქარებიც განპირობებულია მოყვანილი მიზეზით. ეს პროცესები ყველგან თავისებურია, განსაკუთრებით კი ისეთი რთული ფიზიკური რელიეფის მქონე ტერიტორიაზე, როგორცაა ამიერკავკასია და კერძოდ, საქართველო. ამ თვალსაზრისით ამიერკავკასია-საქართველო მსოფლიოში გამორჩეული, განსაკუთრებული ეკოლოგიური პოლიგონია.

აქედან გამომდინარე ყოველი ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელი, რომელიც შეძლებს აღწეროს ცალკეულ რეგიონებში განვითარებული პროცესები, არის მნიშვნელოვანი თეორიული და პრაქტიკული ღირებულების. ნაშრომის მიზანია ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მიმდინარე თერმოდინამიკური მოვლენებისათვის შემუშავდეს მათემატიკური მოდელი; შეფასდეს ლოკალურ ტერიტორიაზე ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარეები და დახასიათდეს შესაბამისი ჰაერის ნაკადის დინამიკა.

### ამოცანის თეორიული დასმა

დასაბუთებულია, რომ დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებს ახასიათებს, უწყვეტ რეჟიმში ცვლილებები სივრცესა და დროში. ეს გარემოება პრინციპში მიუთითებს, რომ ეს ცვლილებები შესაძლებელია პროგნოზირებადი იყოს. ამინდის ელემენტების ცვლილების თეორიული საფუძველი ეყრდნობა ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შესაძლებლობას [1.2.3.4.5.6]. ასეთი ამოცანები ზოგადად მეტად რთულია და ბევრ შემთხვევაში ამოხსნის ცხადი სახით მიღება ვერ ხერხდება. აღნიშნულ განტოლებათა ამოხსნა ყოველთვის ხორციელდება გარკვეულ მიახლოებებში. პროგნოზირების სიზუსტის გაზრდის მიზნით, ხდება დასმულ ამოცანაში სხვადასხვა ფიზიკური ფაქტორის გავლენის გათვალისწინება და ასე აიგება სათანადო მოდელური სქემები ოპერატიული პრაქტიკისათვის. ერთ-ერთი ასეთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია დედამიწის რელიეფის გავლენის გათვალისწინება [3.4.].

განვიხილოთ რელიეფის გავლენის ბაროტროპული ატმოსფეროს გამარტივებული მოდელი გეოპოტენციალის  $\phi = gH$  ველის ცვლილებაზე. აქ  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარებაა,  $H$  გეოპოტენციალის იზოგისბური სიმაღლე. დაუშვათ, რომ მთის ზედაპირი აღიწერება ფუნქციით:

$$z = Z(x, y)$$

მაშინ ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარე  $w$ , დედამიწის ზედაპირზე არ იქნება ნულის ტოლი, როგორც ეს მიღებულია ბრტყელი ზედაპირის შემთხვევაში, არამედ როცა  $z = Z(x, y)$  აკმაყოფილებს შემდეგ დამოკიდებულებას [3.4.5.]

$$w(x, y, Z, t) = u(x, y, Z, t) \frac{\partial Z}{\partial x} + v(x, y, Z, t) \frac{\partial Z}{\partial y} \quad (1),$$

სადაც  $u$  და  $v$  ქარის სიჩქარის კომპონენტებია  $0x$  და  $0y$  საკოორდინატო ღერძების მიმართ. თუ მოვახდენთ უწყვეტობის განტოლების ინტეგრირებას  $z = Z(x, y)$  ზედაპირიდან  $\infty$ -მდე, იმ პირობით, რომ  $(\rho w)_{z=\infty} = 0$  [3.4]. (აქ  $\rho$  ჰაერის სიმკვრივეა), მაშინ მივიღებთ [4-8]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\eta^2}(\eta, \phi) \quad (2),$$

სადაც  $\eta = \frac{P_z}{p_0}$  არის დროზე დამოუკიდებელი, რელიეფის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრი;  $p_z$  წნევის მნიშვნელობაა მთის წვერზე;  $p_0$  სტანდარტული წნევა ზღვის დონეზე. ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელებისათვის გვექნება [3.4.5]:

$$u = -\frac{1}{l\eta} \frac{\partial \phi}{\partial y}; v = \frac{1}{l\eta} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (3),$$

სადაც  $l$  - კორიოლისის პარამეტრია. (2) და (3) დამოკიდებულებაზე დაყრდნობით, ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებების გამოყენებით, სტანდარტული მიდგომით მიიღება შემდეგი სახის ძირითადი პროგნოზურ-მოდელური თანაფარდობა [1-6]:

$$L\phi + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{l}{\eta}(\phi, \eta) - \left( \phi, \frac{1}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\eta} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\eta} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + l \right) \quad (4)$$

(4)-ში  $L = \Delta + a \frac{\partial}{\partial x} + b \frac{\partial}{\partial y}$  სახის ოპერატორია,  $\beta$  როსბის პარამეტრია,  $\Delta$  - ლაპლასის ბრტყელი ოპერატორი, ფრჩხილი  $(A, B)$  ცნობილი იაკობიანია;

$$a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}; b = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial y} \quad (5)$$

მთის გავლენის პარამეტრებია, შესაბამისად დედამიწის პარალელსა და მერიდიანის გასწვრივ, (4) განტოლება ცნობილი შესაბამისი განტოლებისგან [3.6] განსხვავდება რელიეფის გავლენის  $a$  და  $b$  პარამეტრების შემცველი წევრებისა და ე.წ. ოროგრაფიული  $(\phi, \ln \eta)$  იაკობიანის დამატებით.

$$(A, B) = \frac{1}{\eta}(\phi, Lm\eta) \quad (6)$$

ამ სიდიდეების განსაზღვრა-შეფასება კონკრეტული ლოკალური რეგიონისათვის, წარმოადგენს ჩვენი კვლევის ძირითად მიზანს. ასევე მთავარია, ცალკეულ მთა-გორიან ტერიტორიაზე და მთლიანად ამიერკავკასიისათვის  $a$  და  $b$  პარამეტრების რიცხვითი სიდიდის შეფასება და შესაბამისად, ჰაერის ნაკადის დინამიკის დახასიათება.

**ოროგრაფიული ეფექტის გავლენა ატმოსფეროს ფართომასშტაბიანი ტალღური მოძრაობის დინამიკაზე ამიერკავკასიის რეგიონზე**

ვისარგებლოთ (4) განტოლებით და შესაბამის მიახლოებაში ვიპოვოთ მისი ამოხსნა შემდეგი ბრტყელი ტალღის სახით [3.5.6.7.]:

$$\phi = D e^{i(mx+ny-\sigma t)} \quad (7),$$

სადაც  $D$  ტალღის ამპლიტუდაა,  $m$  და  $n$  ტალღური რიცხვები საკოორდინატო ღერძების მიმართ,  $i$  კომპლექსური,  $\sigma$  ფაზური სიხშირე. რეალური სიტუაციების

გათვალისწინებით აიღება ფაზური სიხშირის მხოლოდ ნამდვილი ნაწილი [1.4.8]. (6)-ის (4)-ში ჩასმით, გარკვეული გარდაქმნების მოხდენის შემდეგ, ტალღურ რიცხვებსა და  $a$  და  $b$  პარამეტრებს შორის მიიღება დამოკიდებულება [1.9.10]:

$$am + bn = 0 \quad (8)$$

(7) შეიძლება ასე გადაიწეროს:

$$\frac{a}{b} = -\frac{L_x}{I_y} \quad (9).$$

ამრიგად აღმოჩნდა, რომ ტალღის სიგრძეები დედამიწის პარალელსა და მერიდიანის გასწვრივ აღმოჩნდა უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაში, ამავე მიმართულებით რელიეფის გავლენის მახასიათებელ პარამეტრებთან. ეს დამოკიდებულება თეორიულად ადასტურებს სინოპტიკურ პრაქტიკაში შემჩნეულ და აღიარებულ რეგიონალურ პრობლემას, კერძოდ იმას, რომ ატმოსფერული პროცესები ამიერკავკასიაზე, ძირითადად ვრცელდება პარალელის მიმართულებით, მთაგრეხილების გასწვრივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით და პირიქით, ჩრდილოეთიდან ჰაერის მასების შემოჭრა პრაქტიკულად არ ხორციელდება [1.4.9.10]. განვსაზღვროთ  $a$  და  $b$  პარამეტრების რიცხვითი სიდიდე ამიერკავკასიის რეგიონისათვის. წარმოვადგინოთ დიდი კავკასიონის მთაგრეხილი მართკუთხა პირამიდის სახით, მივიღოთ მისი სიმაღლე 4000მ ( $p_z=600$ მმ.), სიგრძე პარალელის გასწვრივ 1500 კმ, მერიდიანისადმი 160 კმ, მაშინ მიიღება [4.10].

$$a = 0,68 \cdot 10^{-6}; b = 6,4 \cdot 10^{-6} \quad (10).$$

ამ პარამეტრების განზომილებაა 1/მ. და ურთიერთკავშირია  $a=0,1b$ . მოყვანილი მსჯელობიდან ნათელი ხდება ოროგრაფიის ფაქტორის როლი კავკასიის რეგიონზე ჰაერის ნაკადის დინამიკაზე. კერძოდ ის, რომ პირველად იქნა თეორიულად დასაბუთებული ოპერატიულ პრაქტიკაში ყოველდღიურად დაკვირვებული ატმოსფერული პროცესების უკვე აღნიშნული ბუნება.

### ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარის შეფასება, რელიეფის პარამეტრების საშუალებით

ცნობილია, რომ ქარის სიჩქარე სამგანზომილებიანი ვექტორია. ვერტიკალური მდგენელი, ჰორიზონტალურ მოძრაობასთან შედარებით მცირეა და მხოლოდ ინტენსიური კონვექციური მოძრაობისას შეიძლება იყოს (10-20) სმ/წმ და მეტიც. ასეთი კონვექციური მოძრაობები კი ხშირად შეიმჩნევა უსწორმასწორო, მთაგორიან ტერიტორიაზე. აქედან გამომდინარე მიწისპირა ფენაში მთაგორიან მიდამოში არ არის მისაღები ქარის დივერგენციის ნულთან ტოლობა, როგორც ეს დაშვებულია სწორი ზედაპირისათვის. ქარის ვერტიკალური სიჩქარის ექსპერიმენტული გაზომვა პრინციპულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული და ამიტომ აუცილებელი ხდება მისი შეფასება თეორიული მეთოდების გამოყენებით.

მიღებულია, რომ მიწისპირა ფენაში  $w$ -ს წარმოქმნას განაპირობებს, მხოლოდ ზედაპირის ხახუნი და რელიეფი, კერძოდ  $w$  განისაზღვრება უწყვეტობის განტოლების ინტეგრირებით [8.9.10.11.12] 0-დან ფენის  $H$  სიმაღლემდე, ე.ი.

$$W = -\int_0^H \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz \quad (11)$$

ჰიდროდინამიკის განტოლებათა სისტემიდან ქარის  $u$  და  $v$  ჰორიზონტალური მდგენელებისათვის გვექნება:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial u_g}{\partial x}; \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{l} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial v_g}{\partial y} \quad (12)$$

სადაც  $u_g$  და  $v_g$  არის რელიეფის გავლენით წარმოშობილი აგეოსტროფიული ქარის მდგენელები, რომელიც მოიცემა (3) ფორმულებით. შევიტანთ რა (12) და (3)-ს (11)-ში, მოვახდენთ ინტეგრირებას, გავითვალისწინებთ, რომ ხახუნის დაძაბულობა ფენის ზედა საზღვარზე ნულის ტოლია, მივიღებთ:

$$W = \frac{1}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z \rightarrow 0} - \frac{1}{l} \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z \rightarrow 0} - \left( \frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} \right) H \quad (13)$$

ლიტერატურიდან ცნობილია შემდეგი დამოკიდებულება [11.12]

$$\left( k \frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z \rightarrow 0} = v_*^2 \cos \delta; \left( k \frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z \rightarrow 0} = v_*^2 \sin \delta \quad (14),$$

სადაც  $V_*$  დინამიკური სიჩქარეა,  $\delta$  - არის კუთხე ტურბულენტური ხახუნის დაძაბულობის ვექტორსა და  $ox$  ღერძს შორის. რელიეფის გავლენით სიჩქარის ბრტყელი დივერგენცია წარმოდგება  $\eta$  და  $p$ -ს იაკობიანით, იმის გათვალისწინებით, რომ ქარის აგეოსტროფიულობა წარმოქმნილია სწორედ მიწისპირა ფენიდან, ამრიგად:

$$\frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} = \frac{1}{l\rho\eta^2} (\eta, p) \quad (15)$$

ამრიგად ვერტიკალური სიჩქარისათვის მივიღებთ, რომ იგი გამოისახება ხახუნის დაძაბულობის ვერტიკალური მდგენელით და ოროგრაფიული იაკობიანის ჯამით:  $W = \frac{1}{l} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (v_*^2 \sin \delta) - \frac{\partial}{\partial y} (v_*^2 \cos \delta) \right] - \frac{1}{l\rho\eta^2} (\eta, p) H = \frac{1}{l\rho} \left[ rot_z \tau + \frac{1}{\eta} (p, \ln \eta) H \right] \quad (16)$

მიღებული (16) ფორმულა არის ახალი და განსხვავდება ყველა ცნობილი დამოკიდებულებიდან მარჯვენა მხარეში იაკობიანის დამატებით, რომელიც ოროგრაფიული ფაქტორის გავლენას გამოხატავს. მოვახდინოთ ამ წევრის შეფასება კონკრეტული ოროგრაფიული ტერიტორიისათვის. სანიმუშოდ შევარჩიოთ საჩხერის რაიონი-ჯვრის უღელტეხილის მიდამო.  $ox$  ღერძი იყოს მიმართული პარალელის გასწვრივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ;  $oy$  ღერძი მერიდიანის მიმართულებით სამხრეთიდან ჩრდილოეთით.  $\Delta x = 4 \cdot 10^4$  მ,  $\Delta y = 3 \cdot 10^4$  მ. სიმაღლე პარალელის გასწვრივ იცვლებოდა 600 მეტრიდან 200 მეტრამდე, ხოლო მერიდიანის გასწვრივ 10005 მეტრიდან 990 მეტრამდე (უღელტეხილის სიმაღლე); შესაბამისად  $p_{z1x} = 940$  მბ;  $p_{z2x} = 980$  მბ;  $p_{z1y} = 999,5$  მბ;  $p_{z2y} = 990$  მბ. ამასთანავე  $l = 1,4 \cdot 10^{-4}$  1/წმ;  $\rho = 1,3$  კგ/მ;  $H = 10^3$  მ. ამ მონაცემებით გამოვთვალოთ ოროგრაფიული ეფექტის სიდიდე:

$$\frac{1}{l\rho\eta} (P, \ln \eta) = \frac{1}{l\rho\eta} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial \ln \eta}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial \ln \eta}{\partial x} \right),$$

ცხადია:

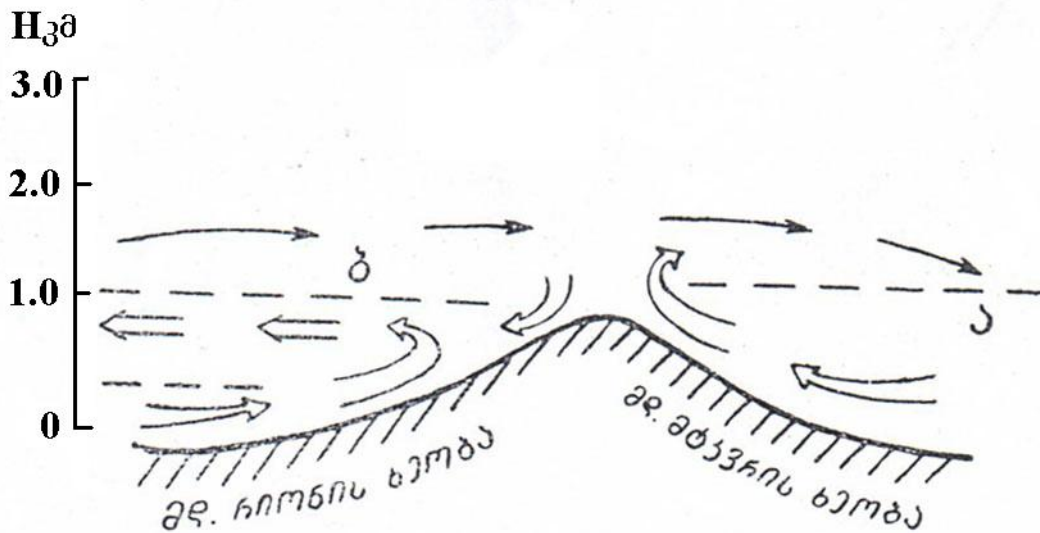
$$\frac{\partial p}{\partial x} = 1,10^{-3} \text{ მბ/მ}, \frac{\partial \ln \eta}{\partial x} = \frac{\ln p_{z2x} - \ln p_{z1x}}{\Delta x} = \frac{6,88 - 6,87}{4 \cdot 10^4} = 1,10^{-6} \text{ 1/მ}$$

$$\frac{\partial \ln \eta}{\partial y} = \frac{\ln p_{z2y} - \ln p_{z1y}}{\Delta y} = \frac{6,90 - 6,91}{3 \cdot 10^4} = -0,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/მ. 1/მ; } \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{10,5}{3 \cdot 10^4} = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ მზ/მ.}$$

ამრიგად ოროგრაფიული ეფექტი იქნება:

$$\frac{1}{l\rho\eta} (P, \ln \eta) = \frac{10^4}{1,4 \cdot 1,3 \cdot 0,7} (10^{-3} \cdot 10^{-6} + 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^3 = 8,7 \text{ სმ/წმ.}$$

მივიღეთ  $w$ -ს ის მნიშვნელობა, რომელიც უტოლდება მიწისპირა ფენაში მნიშვნელობას, რაც მიუთითებს, რომ ოროგრაფიული ეფექტი მნიშვნელოვანია და აუცილებლად გასათვალისწინებელია. საქართველოს ტერიტორიაზე სურამის ქედი არაერთნაირ გავლენას ახდენს ჰაერის დინამიკაზე, მისგან დასავლეთ და აღმოსავლეთ მხარეს. ეს ფაქტი სხვა მოვლენებთან ერთად, გამოვლინდება რიონის და მტკვრის ხეობებში წარმოქმნილ ადგილობრივი ქარის ბუნებაზე.



ნახ.1. ა - ქვედა დინება, ბ - ზედა დინება, ⇒ ადგილობრივი ქარი, → გრადიენტული ქარი.

ნახ.1 -დან ჩანს, რომ რიონის ხეობაში ქარი მიმართულია მთის თხემისაკენ. მისი ზედა საწინააღმდეგო დინება კარგად შესამჩნევია, მაშინ როცა მტკვრის ხეობაში გრადიენტული ქარის დინებაში გადადის და მათი მიმართულება ემთხვევა [13]. ნახაზიდან აგრეთვე ჩანს, რომ მტკვრის ხეობაში, ხეობის ქარის ქვედა დინების სიძლიერე გაცილებით აღემატება რიონის ხეობისას. ეს იმით არის გამოწვეული, რომ ხეობის ქარის ვერტიკალურ სტრუქტურაზე დიდ გავლენას ახდენს ადგილობრივი და გრადიენტული ქარის მიმართულებათა და სიჩქარეთა ურთიერთთანაფარდობა. თუ მიმართულებები ემთხვევა (რიონის ხეობა), მაშინ ვითარდება ადგილობრივი ქარის ორი საწინააღმდეგო დინება, ხოლო წინააღმდეგ შემთხვევაში (მტკვრის ხეობა) ადგილი აქვს მხოლოდ ერთ დინებას. ასეთი ეფექტი ყოველდღიურად დაიკვირვება და წმინდა ოროგრაფიული ბუნებისაა.

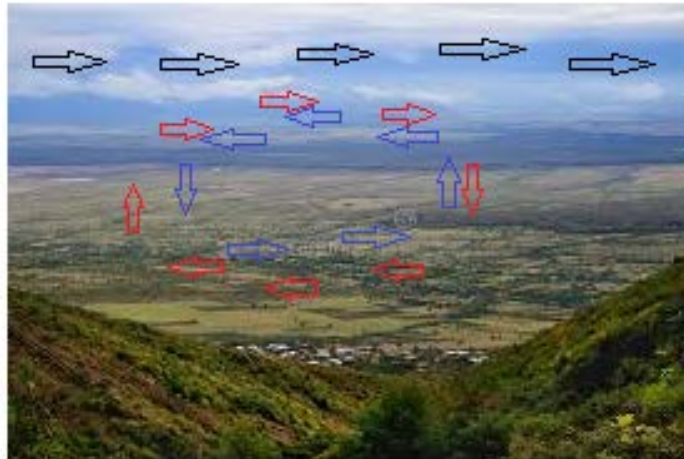
ახლა განვიხილოთ საქართველოს ტერიტორიაზე რამდენიმე ცალკეული რეგიონი, რომლებიც ხასიათდებიან ერთმანეთისგან საკმაოდ განსხვავებული



კლიმატური ნიშნებით და ამინდის თავისებურებებით. თითოეული მათგანისათვის შევაფასოთ ოროგრაფიული ეფექტი.

**ა) ალაზნის ველში (ქვაბურში) ჰაერის ნაკადის დინამიკის შესწავლა რელიეფის ფაქტორის გავლენის გათვალისწინებით**

საქართველოს ტერიტორიაზე ლოკალური ცირკულაციით გამოირჩევა ალაზნის ველის ქვაბური. ეს ველი განთავსებულია მდინარე ალაზნის ხეობასა და მთავარი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის გასწვრივ. იგი ჩრდილო-დასავლეთიდან, სამხრეთ-აღმოსავლეთით გადაჭიმულია 160 კმ-ზე, საშუალო სიგანით 22კმ. მაქსიმალური სიგანე 35კმ. სიმაღლე ზღვის დონიდან 200-500 მეტრი. კავკასიონის სიმაღლე, რომელიც დაბლობს ჩრდილო-აღმოსავლეთით ეკვრის, 3500 მეტრამდეა. გვერდითი ფერდობების დახრა იცვლება  $7^{\circ}$ – $15^{\circ}$  ფარგლებში. აეროლოგიური დაკვირვებების ანალიზით აღმოჩენილი იქნა ყოველდღიური, დიდი და მცირე ხანგრძლივობის ადგილობრივი ქარი. დღისით განიცდის აღმავალ დინებას კავკასიონის ფერდობის გასწვრივ 1000 მ. და მეტ სიმაღლემდე. ბარში დაბლობზე დაიკვირვება შებრუნებული ნაკადი. ნაკადების დინებები სურ. 1-ზე ნაჩვენებია მიმართულებების მსგავსია.



სურ.1. ალაზნის ველის ადგილობრივი ცირკულიაცია დღისით და ღამით.

დაბლობში ჰაერის ნაკადის მიმართულებების ცვლილება წარმოებს დილის (9-10) საათზე და საღამოს მზის ჩასვლის შემდეგ. ქარის სიჩქარე ბარში 4მ/წმ-ია დღისით და ( 2-3)მ/წმ საღამოს.

ძლიერი ქარი წარმოიქმნება მათათა ფერდობებსა და დაბლობებს შორის ტემპერატურული კონტრასტით. ეს კონტრასტი აჭარბებს ფერდობსა და თავისუფალ ატმოსფეროს შორის შესაბამის ტემპერატურათა განსხვავებას [1.4.13.14]. ცხადია, რომ ტემპერატურის ასეთი კონტრასტი წარმოიშობა რელიეფის, დაბლობისა და ფერდობის არაერთნაირი მოსილობით. საინტერესოა, რომ უშუალოდ დაბლობის თავზე 3000 მეტრზე ქარი იცვლის მიმართულებას და ემთხვევა „წამყვანი“ ნაკადის მიმართულებას. ქარის ასეთი ადგილობრივი ცირკულიაცია

თეორიულად აიხსნება ზემოთ მოყვანილი მიდგომით. ვერტიკალური სიჩქარისათვის მიღებული იყო ფორმულა (16), რომელშიც ოროგრაფიული წევრია შემდეგი იაკობიანი:

$$W_h = \frac{1}{\ln \rho} (p, \ln \eta) H = \frac{1}{\ln \rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} b - \frac{\partial p}{\partial y} a \right) H \quad (17).$$

გამოვთვალოთ ეს სიჩქარე ალაზნის ქვაბურისათვის. მივიღოთ პარალელის გასწვრივ სიგრძე  $\Delta x = 15 \cdot 10^4$  მ., მერიდიანის მიმართ  $\Delta y = 5 \cdot 10^4$  მ. ჰიფსომეტრული სიმაღლეებით კი გამოვთვალოთ შესაბამის წნევებს და შევაფასებთ ოროგრაფიულ ვერტიკალურ სიჩქარეს და უკვე ზემოთმოყვანილი გაანგარიშებების მიხედვით:  $W_{or} = 9,89 \cdot 10^{-6}$  მ/წმ ანუ  $W_{or} = 10^{-2}$  სმ/წმ. ასეთი მცირე ვერტიკალური სიჩქარე მიუთითებს მასზე, რომ ალაზნის ველზე უშუალო ვერტიკალური აღმასვლა ჰაერის ნაკადისა მიწისპირა ფენაში არ გვაქვს. აღმავალი და დაღმავალი მოძრაობა არის მხოლოდ რელიეფის ფერდობების გასწვრივ. ასევე შევაფასებთ რა რელიეფის მახასიათებელ პარამეტრებს მივიღებთ:  $a = 0,15 \cdot 10^{-6}$  1/მ და  $b = 4,1 \cdot 10^{-6}$  1/მ. ანუ  $a=0,4b$ ;  $b=27,3a$ . ეს შედეგი ცალსახად ამტკიცებს, რომ ჰაერის ნაკადი ალაზნის ველიდან ( მიწისპირა ფენის დაახლოებით 200 მ-ის ზონაში), პრაქტიკულად არ გაედინება. ჰაერის მოძრაობა ხორციელდება ტაფობის შიგნით, ფერდობების გასწვრივ ჩაკეტილი ცირკულიაციის სახით. მიღებული თეორიული დასკვნები დიდი ღირებულებისაა, ვინაიდან კარგად ხსნის ალაზნის ველზე ჩასახულ და განვითარებულ ატმოსფერულ სიტუაციებს [11.14]. ალაზნის ველზე განვითარებული, აქ მოყვანილი რეგიონალური ცირკულიაცია არის სწორედ, ერთ-ერთი მთავარი პირობა კახეთის ტერიტორიაზე ატმოსფერული ჰაერის აღმავალი კონვექციური მოძრაობის განვითარებისა. სწორედ ასეთი ნაკადები იწვევენ ელჭექური ბუნების ღრუბლების წარმოშობა-განვითარებას, რასაც ხშირად მოყვება სეტყვა და სხვა საშიში პროცესები, განსაკუთრებით გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში.

## ბ) თბილისის ქვაბურში განვითარებული ატმოსფერული პროცესების ახსნა ოროგრაფიული იაკობიანის გამოყენებით

მოყვანილი თეორიის საფუძველზე ახსნილი იქნება თბილისის ქვაბურში დაკვირვებული „ფენომენური“ მოვლენები. მოდელური გათვლებისათვის ყველა საჭირო რიცხვითი მონაცემი აღებულია შრომა [13]-დან. თბილისის ქვაბურში აღიარებული „ფენომენური“ თავისებურება შემდეგია: ზამთარში მზიან წყნარ ანტიციკლონურ ამინდში, ხშირად არის დღეები, როცა მთაწმინდის ფერდობზე ტემპერატურა (6-9) გრადუსით აღემატება ობსერვატორიის (459 მ) ტემპერატურას. მთიდან ჩამონაბერი 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 დღელამური ამპლიტუდა იზრდება. თბილისური პარადოქსი - ფენომენია, მაგრამ ფაქტია. კერძოდ ის, რომ მთაწმინდაზე ზამთარში მთელი დღის განმავლობაში უფრო თბილა, ვიდრე ქალაქის ცენტრში. ზაფხულში კი უფრო გრილა, ცენტრში ჰაერის ტენიანობაც იზრდება, ბურუსია, (ხილვადობა 500-700 მეტრზე ნაკლები), თითქმის მუდმივად არის აეროზოლური სმოგ-ღრუბელი [56.57.]; მიკროცირკულიაცია ხელს უწყობს ქალაქის ცენტრში ტემპერატურის მატებას, გარე უბნებთან შედარებით. იანვრის და ივლისის ტემპერატურა თბილისის ცენტრში (0,6-



2) გრადუსით აღემატება დიდიმისა და სამგორის ტემპერატურას. ქალაქის ცენტრში ქარის სიჩქარეც სუსტია ( იანვარში 2,2 მ/წმ, ივლისში - 2,1 მ/მწ), გარე უბნებთან შედარებით ( შესაბამის თვეებში დილოში 3.7 მ/მწ და 5.2 მ/მწ., აეროპორტში კი 5.4 მ/მწ და 7.2 მ/მწ.). ჰაერის უშუალოდ ვერტიკალური შერევა მცირეა, ქრის მხოლოდ ფერდობების ქარი, იხილეთ ნახ. 2. შრომიდან [13]. რის გამოც ადგილი აქვს ჰაერის ინვერსიული ფენის წარმოშობას, მტვრისა და სხვა მინარევების დაგროვებას, რაც ზრდის ჰაერის დაჭუჭყიანებას. 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 ღრუბელის ხანგრძლივი არსებობა დილის საათებში (რაც კარგად დაიკვირვება მაღალი შენობების სართულებიდან). ეს ღრუბელი მთელ ქალაქს „აწევს“ ზემოდან და არ ნიავედება.

თბილისის ტაფობის მითითებული თავისებურებები აიხსნება ზემოთ მოყვანილი თეორიით. ამისათვის მოვახდინოთ რელიეფის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრების შეფასება. მთაწმინდისა და მახათის მთა წარმოვადგინოთ სამკუთხა პირამიდის სახით, რომელთა მწვერვალებზე ატმოსფერული წნევის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა და მათ შორის მანძილი ცნობილია და ქვაბურში ჰაერის ფენის სიმაღლედ მიღებულია 1000 მეტრი, ქარის გაბატონებული მიმართულება კი არის ჩრდილო-დასავლეთი [9.10.13].

მითითებული 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 (17) ფორმულით კი არის  $W_0=12,64$  სმ/წმ. ამ მნიშვნელობების გათვალისწინებით, 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 ( $n=4,12m$ ). ქვაბურში წარმოებს მთა-ხეობის ჩაკეტილი ცირკულაციის წარმოშობა, რომელსაც აძლიერებს ვერტიკალური სიჩქარის სიმცირე (მაქსიმუმ ორი ათეული სმ/წმ). ცხადია ჰაერის ნაკადის ასეთი დინამიკა ასაბუთებს, ქვაბურში ზემოთ მოყვანილ ყველა კლიმატურ „ფენომენურ“ თავისებურებებს.

### გ)მესტიის ქვაბურის კლიმატური განსაკუთრებულობის დინამიკური შეფასება

ზემო სვანეთის მნიშვნელოვანი ტერიტორია კლიმატური თვალსაზრისით შეიძლება დახასიათდეს მესტიის ქვაბურის თავისებურებით. მესტია მდებარეობს ზღვის დონიდან 1400 მეტრ სიმაღლეზე (მეტეოროლოგიური სადგური 1441მ). მესტიაში ჩამოყალიბებულია ნოტიო ჰავა ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი, გრილი ზაფხულით. მრავალწლიურ მეტეოროლოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით საშუალო წლიური ტემპერატურა  $+5,7^{\circ}C$ . ყველაზე ცივი თვე იანვარი, საშუალო  $t = -6^{\circ}C$ . ყველაზე ცხელი თვე ივლისი საშუალო  $t = +16,4^{\circ}C$ . აბსოლუტური მინიმუმი  $-35^{\circ}C$ , ხოლო აბსოლუტური მაქსიმუმი იგივე სიდიდე პლიუს ნიშნით. საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა 75%-ია, ნალექების წლიური ჯამი 918მმ. მაქსიმუმი ოქტომბრის თვეში 95 მმ., ხოლო მინიმუმი თებერვალში 61 მმ. ქარის საშუალო

წლიური სიჩქარე 1,1 მ/წმ. ძირითადად გაბატონებულია ჩრდილოეთ-დასავლეთის და სამხრეთ-დასავლეთის ქარები.

ყველაზე დაბალი ზონა ზემო სვანეთის ტერიტორიაზე მდებარეობს სიმაღლის (500-900)მ დიაპაზონში და ხასიათდება ხაიმის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით, ხოლო ყველაზე მაღალი, მუდმივი თოვლისა და მყინვარების ზონა განთავსებულია (3000-5000) მ. სიმაღლეზე (უმაღლესი მწვერვალი შხარა 5203 მეტრია). მნიშვნელოვანი ტერიტორია უჭირავს (1000-2000) მეტრის სიმაღლის ზონას, რომლის კლიმატური პირობები დახასიათდება მესტიის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების საფუძველზე. ქვაბურში დიდი პერიოდის ცივი ზამთარი ფიქსირდება, უკვე მითითებული პარამეტრებით. არსებული ჰიფსომეტრული და მეტეომეტრული მონაცემებით, გავთვლით რა რელიეფის მახასიათებელ  $a$  და  $b$  პარამეტრებს (დაუშვათ, რომ მესტიის ქვაბურის ზომაა  $(50 \times 50)$  კვადრატულ კილომეტრია) მივიღებთ:  $a = 7,2 \cdot 10^{-6} 1/მ$  და  $b = 1 \cdot 10^{-6} 1/მ$ . ე.ი.  $a = 7,2b$ . აქედან გამომდინარეობს, რომ ქარი 70%-80% შემთხვევაში ერთი მიმართულებით ქრის მიწისპირა ფენის მთელ სიმაღლეზე. ოროგრაფიული იაკობიანი ძალზე მცირეა. მოდელური გათვლით მიღებული პარამეტრების ეს მნიშვნელობები მიუთითებს მასზე, რომ ქვაბურში ქარი, უმეტეს შემთხვევაში, მიწისპირა ფენაში ქრის პარალელის მიმართულებით მთაგრეხილების გასწვრივ, რაც რეალურ პირობებში არსებული სიტუაციის თეორიულ ახსნა-დასაბუთებას წარმოადგენს. ვინაიდან ასეთი დინებების ხანგრძლივად არსებობა, უზრუნველყოფს მდგრადი ციკლონური ან ანტიციკლონური სიტუაციის შენარჩუნებას და მკაცრ კლიმატს.

მომავალში გეოგრაფიულად მსგავსი რეგიონებისათვის, ანუ ქვაბურებისათვის (საქართველოში 11 ასეთი ქვაბურია) მოყვანილი თეორიის საფუძველზე, ახსნილი იქნება ლოკალური ამინდის დინამიკა. ახალ შედეგებთან შედარებისათვის მოგვყავს უკვე შესწავლილი ოლქების ოროგრაფიული პარამეტრების მნიშვნელობათა ცხრილი.

ცხრილი: ოროგრაფიული პარამეტრები

პარამეტრები					
ლოკალური ტერიტორია	$a \left(\frac{1}{მ}\right)$	$b \left(\frac{1}{მ}\right)$	$\frac{a}{b}$	$w_R \left(\frac{სმ}{წმ}\right)$	შენიშვნა
ამიერკავკასია	$0,68 \times 10^{-6}$	$6,4 \times 10^{-6}$	0,11	34,5	
ალაზნის ველი	$0,15 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-4}$	0,036	$10^{-2}$	სუსტი ვერტიკალური დინება
თბილისის ქვაბური	$5,52 \times 10^{-5}$	$23 \times 10^{-5}$	0,24	12,6	
ზემო სვანეთის ქვაბური	$7,2 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	7,2	$10^{-2}$	სუსტი ვერტიკალური დინება
სურამის ზეგანი	$10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$	0,29	8,7	

## დასკვნა

სამწუხაროდ, თუ საბედნიეროდ 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 მიკროპროცესები, თეორიული და პრაქტიკული ღირებულებით არის მნიშვნელოვანი.

ჰიდროდინამიკური მიდგომით ახსნილი და თეორიულად დასაბუთებული იქნა მიკროციკულიაციური ატმოსფერული პროცესები, განვითარებული ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში, საქართველოს ტერიტორიის ცალკეული რეგიონებისათვის. ამ პროცესების ბუნება რეალურის მიმართ (5%-7%) პროცენტის მიახლოებაშია ახსნილი და დასაბუთებული. ასეთი კვლევა შესრულებულია პირველად და მნიშვნელოვანი პერსპექტივა აქვს.

## ლიტერატურა

1. ხვედელიძე ზ. „დინამიკური მეტეოროლოგია“ თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 2002წ. გვ. 535
2. ხელაშვილი ა. „კლასიკური თეორიული მექანიკა“ თსუ. გამომცემლობა, 2005 წ. ვ. 223.
3. Кибель И. „Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды“. Издатель. технико- теоретической литературы. М .1957г ст. 375 .
4. ხვედელიძე ზ. „ამინდის მოკლევადიანი პროგნოზის რიცხვითი მეთოდები ბაროტროპული ატმოსფეროსათვის“ თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1978 წ. გვ.125.
5. Юдин М. „Новые методы и проблемы краткосрочного прогноза погоды“ Гидромет. Издатель. Л. 1963г. Ст. 315.
6. 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](http://www.wseas.org). 2015, Malta, p.95.
7. Holton R. ”Dynamic Meteorology“ Fourth edition-university of Washington, 2004p. 533.76
8. Modelling of atmospheric fields world scientific;Theoretical physic, 1996,p.755.
9. Хведелидзе З. „Влияние орографии и бета эффекта на волновые движения в атмосфере“ метеорология и гидрология, 1982г. №10,ст.110-112.
10. 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,155N°1, 2015 p.62-67.

11. Матеев Л., „Основы общей метеорологии физика атмосферы“ гидрометеоиздатель. Ленинград, 1965г. с. 875.
12. Динамическая метеорология - под редакцией Лайхтман Д., Л. Гидрометиздатъ 1976г, с. 607.
13. ხვედელიძე ზ., ზოტიკიშვილი ნ. „კლიმატის ლოკალური „ფენომენური“ თავისებურებების დინამიკური ბუნების შესწავლა, ქალაქ თბილისის ქვაბურისათვის“. ქესჟ „ფიზიკა“, N 7 (17), 2017 წ. გვ. 29-37.
14. Лайхтман Д. „Физика пограничного слоя атмосферы“ гидрометиздатель, Л. 1970 г. ст. 341.