



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

საქართველოში “მზის ბუნებრივი მაცვივრის”
სტრუქტურის
შესწავლა და მისი ხელოვნურად შექმნის
დასკვნითი სამეცნიერო ანგარიში

თბილისი
2012

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის
ინსტიტუტი

შოშრო № IHM-12-05-GTU-2422

გამტკიცებ

დირექტორი, მეცნიერებათა აკადემიური
დოქტორი

თ. ცინცაძე
25 დეკემბერი 2012წ.

საქართველოში “მზის ბუნებრივი მაცვივრის” სტრუქტურის
შესწავლა და მისი ხელფონურად შექმნის
შესაძლებლობის დადგენა

(დასკვნითი ანგარიში)

ჰმი-ს სამეცნიერო საბჭოს
თავმჯდომარე, ფიზ.-მათ. მეცნ.
დოქტორი

ნ. ბეგალიშვილი

პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი,
ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი

კ.თავართქილაძე

თბილისი
2012

შემსრულებლები

სამეცნიერო ხელმძღვანელი
მთავარი მეცნ. თანამშრომელი
ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი

კ. თავართქილაძე

პასუხისმგებელი შემსრულებლები

წყლის რესურსებისა და ჰიდროლოგიური
პროგნოზირების განყოფილების გამგე,
ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი

ნ.ბეგალიშვილი

მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი,
ტექნიკის მეცნიერებათა აკადემიური
დოქტორი

თ.ცინცაძე

შემსრულებლები

დირექტორის მოადგილე

გ.ფიფია

მეცნიერი თანამშრომელი

ნ.კობახიძე

ინჟინერი

ნ.გოგიბერიძე

რ ე ფ ე რ ა ტ ი

ანგარიში 20 გვ., ნახაზი 2, ცხრილი 1.

საკვანძო სიტყვები:

ბუნების ფენომენი, “მზის ბუნებრივი მაცივარი”, ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები, მათემატიკური მოდელი, “წყალი – ატმოსფეროს” საზღვარი, ტურბულენტური სითბოგაცვლა და ტენზუნვა, ატმოსფერული პარამეტრები, ყინულის გაჩენის დრო, ყინულის ფენის სისქე, დამოკიდებულების ანალიზური გამოსახულება.

დიდი ქართველი მეცნიერი ვახუშტი ბატონიშვილი ჯერ კიდევ 300 წლის წინად წერდა ბუნების საოცარ მოვლენაზე – ზაფხულის ცხელი დღეების პირობებში, ქსნის ხეობაში, წარმოიქმნება ყინულის ზოდები, რომლებსაც ლაშქრობის დროს ქართული ჯარი საკვები პროდუქტების შესანახად იყენებდა. შემდგომში მსგავსი ადგილები საქართველოს სხვა რეგიონებშიც აღმოჩნდა და ისინი აღწერილია გამოქვეყნებულ ლიტერატურულ წყაროებში. ერთ-ერთ სამეცნიერო ნაშრომში მოცემულია საქართველოს რუკა, რომელზედაც ყველა ნაპოვნი ასეთი ადგილებია ნაჩვენები (კ.ხარაძე, 2001).

მიუხედავად რიგი მცდელობებისა ეს მოვლენა სრულიად შეუსწავლელია. მისი მეცნიერული ახსნა და თეორიის ჩამოყალიბება მოვლენის ხელოვნური შექმნის საშუალებას შექმნიდა, რაც უდიდეს სარგებლობას მოუტანდა საქართველოს მოსახლეობას.

რადგან აღნიშნულ მოვლენას ქმნიან მთიან პირობებში მიმდინარე პროცესები, დაკავშირებული მზესთან, მზის რადიაციასთან, აორთქლების შედეგად წყლის ტემპერატურის შემცირებასთან მთა-ხეობის ქარის მოქმედების ფონზე, ამ მოვლენას “მზის ბუნებრივი მაცივარი” (მბმ) ვუწოდეთ.

დადგენილია ის ფიზიკურ-გეოგრაფიული და ატმოსფერული პირობები, რომლებიც მაქსიმალურად შეუწყობენ ხელს ზაფხულის ცხელ, მზიან, უდრუბლო და ქარიან ამინდში ზოგიერთი ხეობის ძირში ყინულის ფენის წარმოქმნას და ზრდას.

აგებულია მბმ-ის მათემატიკური მოდელი, რომელსაც საფუძვლად დაედო “წყალი-ატმოსფეროს” საზღვარზე მიმდინარე ტურბულენტური სითბოგაცვლისა და ტენზუნვის პროცესები მუდმივი მთა-ხეობის ქარის ფონზე. მიღებულია ანალიზური გამოსახულება, რომელიც აკავშირებს ყინულის ფენის გაჩენის დროს და მის სისქეს ატმოსფერულ პარამეტრებთან. ტიპური მთა-ხეობის პირობებისათვის შეფასებულია ყინულის ფორმირების და ზრდის დრო, რომელიც იცვლება რამდენიმე დღეამიდან თვენახევრამდე. ანალიზური გამოსახულების სიზუსტის დასადგენად შესაძლებელია მისი ექსპერიმენტული გამოცდა ბუნებრივ პირობებში მბმ-ის არსებობის ადგილებში, ასევე ლაბორატორიული ცდების ჩატარების საფუძველზე. მომავალში ასეთი ექსპერიმენტული კვლევა მბმ-ის ხელოვნურად შექმნის საშუალებას მოგვცემს.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

	ბმ.
1. შესავალი. ამოცანის დასმა	5
2. “მზის ბუნებრივი მაცვივრის” (მბმ) ფიზიკურ-გეოგრაფიული მოდელი (მოვლენის ფორმირების პირობები)	7
3. “მზის ბუნებრივი მაცვივრის” მათემატიკური მოდელი	9
4. გამოთვლის შედეგები	12
5. დასკვნა	15
დ ი ტ ე რ ა ტ უ რ ა	16

საქართველოში “მზის ბუნებრივი მაცივრის” სტრუქტურის შესწავლა და მისი ხელოვნურად შექმნის შესაძლებლობის დადგენა

1. შესავალი. ამოცანის დასმა.

დიდი ქართველი მკვლევარი ვახუშტი ბატონიშვილი ჯერ კიდევ 300 წლის წინად წერდა ბუნების საოცარ მოვლენაზე – ზაფხულის ცხელი დღეების დროს, ქსნის სეობაში, წარმოიქმნება ყინულის ზოდები, რომლებსაც ლაშქრობის დროს ქართული ჯარი საკვები პროდუქტების შესანახად იყენებდა [1]. შემდგომში მსგავსი ადგილები საქართველოს სხვა რეგიონებშიც აღმოჩნდა და ისინი აღწერილია გამოქვეყნებულ ლიტერატურულ წყაროებში [2-4]. ხოლო ნაშრომში [5] მოცემულია საქართველოს რუკა, რომელზედაც ყველა ნაპოვნი ასეთი ადგილებია ნაჩვენები (იხ.ნახ.1).

მიუხედავად რიგი მცდელობებისა ამ საოცარი ბუნებრივი მოვლენის პროცესი სრულიად შეუსწავლელია. ამ პროცესის მეცნიერული ახსნა და თეორიის ჩამოყალიბება მისი ხელოვნური შექმნის საშუალებას შექმნიდა, რაც უდიდეს სარგებლობას მოუტანდა, ყოველ შემთხვევაში საქართველოს მოსახლეობას. შესაძლებელი გახდებოდა ზაფხულის ცხელი დღეების პირობებში დიდი მოცულობის იაფი ბუნებრივი მაცივრების შექმნა.

რადგან პროცესის ძირითადი წყარო მზეა, მას ჩვენ “მზის ბუნებრივი მაცივარი” (მზმ) ვუწოდეთ [6] და შემდგომში მას ასეთი სახელწოდებით მოვიხსენიებთ.

წინამდებარე (პროექტის) ანგარიშის მიზანს შეადგენს მზმ-ის ფიზიკურ-გეოგრაფიული და მათემატიკური მოდელების შექმნა და მათი დასაბუთების ექსპერიმენტული გზების დადგენა.



ნახ.1. ბუნებრივი საყინულეების ადგილები საქართველოში ([5]-ის მიხედვით).

2. “მზის ბუნებრივი მაცივრის” (მზმ) ფიზიკურ-გეოგრაფიული მოდელი (მოვლენის ფორმირების პირობები).

ცნობილია, რომ დუდილის წერტილამდე მიყვანილი წყლის მასა რომ იმავე ტემპერატურის მქონე წყლის ორთქლად ვაქციოთ, მას გარკვეული რაოდენობის ენერგია უყნდა მივაწოდოთ. ეს ენერგია წყლის მოლეკულების ურთიერთ კავშირის შესასუსტებლად იხარჯება და ფიზიკაში იგი “ფარული სითბოს” სახელწოდებითაა ცნობილი. იგივე რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა შებრუნებული პროცესის დროს, ანუ როცა წყლის ორთქლის კონდენსაცია ხდება. ეს პროცესი უდევს საფუძვლად მზის მაცივრის არსებობას.

ნებისმიერი ტემპერატურის დროს წყლის მასაში ყოველთვის არის მოლეკულები, რომლებიც რიგი პროცესების გამო იძენენ იმდენ ენერგიას, რომ თუ ისინი ზედაპირულ აფსკთან ახლოს იმყოფებიან შეუძლიათ გადალახონ აფსკის წინააღმდეგობა და სითხის მასის გარეთ აღმოჩნდნენ. ე.ი. შეიცვალონ აგრეგატიული მდგომარეობა და წყლის ორთქლად იქცნენ. ეს პროცესი გარკვეულ ენერგიას ართმევს წყლის მასას და ამცირებს მის ტემპერატურას. ამიტომ წყლის მასის ზედაპირულ აფსკთან ყოველთვის არის წყლის ორთქლის მოლეკულების ჭარბი რაოდენობა. ეს კი იწვევს წყლის ორთქლის მოლეკულების საკმაოდ ინტენსიურ უკან დაბრუნებას წყლის მასაში და ტემპერატურის დაცემის პროცესს საგრძნობლად ამცირებს. თუ წყლის აფსკთან დაგროვილ წყლის ორთქლის მოლეკულებს სისტემატურად მოვაშორებთ (ამას აკეთებს ქარი), წყლის მასის ტემპერატურის დაცემა ინტენსიური გახდება. იმდენად ინტენსიური, რომ თუ წყლის მასას გარედან სითბო არ მიეწოდება მისი ტემპერატურა 0°C-ზე დაბლა დაეცემა.

შევეცადოთ შევქმნათ თეორიულად ისეთი გეოგრაფიული გარემო, რომელიც ბუნებრივ პირობებში მაქსიმალურად შეუწყობს ხელს აღწერილ პროცესს.

უპირველეს ყოვლისა გეოგრაფიული გარემო უნდა უზრუნველყოფდეს საკმაოდ ძლიერ მიწისპირულ ქარს ისე, რომ წყლის ორთქლით გაუდენთილი ატმოსფერული მასების შემოტანა გარედან არ ხდებოდეს. ამას როგორც წესი ცხელ ამინდში აკეთებს ე.წ. მთა-ბარის ცირკულაცია. აღვწეროთ ეს პროცესი დაწვრილებით.

ქარის წარმომქმნელი წნევათა სხვაობა, შედარებით მცირე ტერიტორიაზე, მხოლოდ ხეობის პირობებში შეიძლება შეიქმნას. ხეობის ოპტიმალური მიმართულება მზის წარმოსახვითი მოძრაობის პარალელური ანუ აღმოსავლეთისა და დასავლეთის მიმართულებას უნდა ემთხვეოდეს. ხეობის სამხრეთი ფერდობის დახრილობა 30°-ის ფარგლებში უნდა იყოს. ასეთ დახრილობაზე ზაფხულში მზის

მაქსიმალური ენერგია ეცემა. ამ ენერგიის შთანთქმის სიდიდე ქვეფენილი ზედაპირის ალბედოზეა დამოკიდებული. რამდენადაც ალბედო მცირეა მით მეტ ენერგიას შთანთქავს ზედაპირი (ასეთი ზედაპირია მაგალითად შავმიწა ნიადაგის ხნული), მისი ტემპერატურა იზრდება და აძლიერებს შემხები ატმოსფერული მასების გაფართოებას და აღმავალ დინებას. ჩრდილოეთი ფერდობი პირიქით, მინიმალურ ენერგიას უნდა ღებულობდეს, რომ მისი ტემპერატურა დაბალი იყოს (მაგალითად ვერტიკალურ მიმართულებას მიახლოებული ქვა-ღორღიანი ზედაპირი). ზაფხულის პირობებში ასეთ სეობაში მოწმენდილი ცის დროს ინტენსიური ადგილობრივი ცირკულაციური პროცესი იარსებებს და ძლიერი მიწისპირული ქარი მთელი დღის განმავლობაში იქროლებს.

თუ ჩრდილოეთის ფერდობი ნაყარ ლოდებს შეადგენს და ღამით ცა მოწმენდილი იქნება, ამ ქვაფენილის მკვეთრი გაცივება მოხდება. ეს კი ინტენსიურს გახდის დღისით ცხელი ჰაერის ცივ ქვებთან შეხების შედეგად წყლის წვეთების წარმოქმნას და ნაყარი ლოდების ძირში წყლის დაგროვებას. შემდეგ, დღის განმავლობაში ქარის გამო, აორთქლების შედეგად, წყლის ტემპერატურა შეიძლება 0-ს ქვევით დაეცეს. ამ მოვლენის ფორმირებას ხელს შეუწყობს ხეობაში გამდინარე წყლის არსებობა – დღეუ, მდინარე, რომელთა ქვებს შორის ყურეებში წყალი დგება დიდი ხნის განმავლობაში და ატმოსფეროსთან მისი სითბოს გაცვლის პროცესის ინტენსივობა მეტად სუსტია.

ამრიგად, მზის მაცივრის ოპტიმალური ფიზიკურ-გეოგრაფიული მოდელი შემდეგი სახით შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ:

1. საქართველოში მზის მაცივარი შეიძლება შეიქმნას ზაფხულის პერიოდში;
2. მზის მაცივრის შესაქმნელად საჭიროა რამდენიმე დღისა და ღამის განმავლობაში ცის თალი ძირითადად იყოს მიწმენდილი;
3. მზის მაცივარი შეიძლება შეიქმნას ხეობაში, რომლის მიმართულებაც დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ;
4. ხეობის სამხრეთი ფერდობის დახრილობა ახლოს უნდა იყოს 30°-თან;
5. ხეობის სამხრეთი ფერდობის ქვეფენილი ზედაპირის ალბედო უნდა იყოს მინიმალური;
6. ხეობის ჩრდილოეთი ფერდობის დახრილობა ახლოს უნდა იყოს ვერტიკალურ მიმართულებასთან;
7. ხეობის ჩრდილოეთი ფერდობის ზედაპირი ქვა-ღორღითა და ლოდებით უნდა იყოს დაფარული;

8. ქვა-ღორღებისა და ლოდების ძირი ანუ ზედაპირი, სადაც არსებობს ბუნებრივი წყალი ან ხდება წყლის კონდენსაცია და ყინული წარმოიქმნება, უნდა იყოს ცუდი სითბოგამტარი.

ნახ.2-ზე მოცემულია მზმ-ის ფორმირების ხელშემწყობი პროცესების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მოდელის სქემა.

3. “მზის ბუნებრივი მაცივრის” მათემატიკური მოდელი

დავუშვათ, სითბოგაუმტარ ჭურჭელში მოთავსებულია რაიმე რაოდენობის წყლის მასა, რომლის ზედაპირის ფართობია S და სიღრმე h . აღნიშნული წყლის რაოდენობა ჭურჭლითურთ მოთავსებულია ზემოთ აღწერილი ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების მქონე გარემოში (ქვა-ღორღებით და ლოდებით დაფარული ხეობის ჩრდილოეთი ფერდობის ძირში). განვიხილოთ ამ წყლის მასის მიერ მიღებული და გაცემული ენერგიების თანაფარდობა. წყლის ზედაპირის მიერ ატმოსფეროდან მიღებული და გაცემული სითბოს თანაფარდობა ასე შეიძლება გამოვსახოთ:

$$Q = -k p \left[L \frac{dq}{dz} + c_p \frac{dt}{dz} \right], \quad (1)$$

სადაც dq/dz და dt/dz შესაბამისად ხვედრითი სინოტივის და ტემპერატურის გრადიენტებია; L – ორთქლად წარმოქმნის სითბო; c_p , p და k - მიწისპირული ჰაერის სითბოტევადობა, სიმკვრივე და ტურბულენტური გაცვლის კოეფიციენტი.

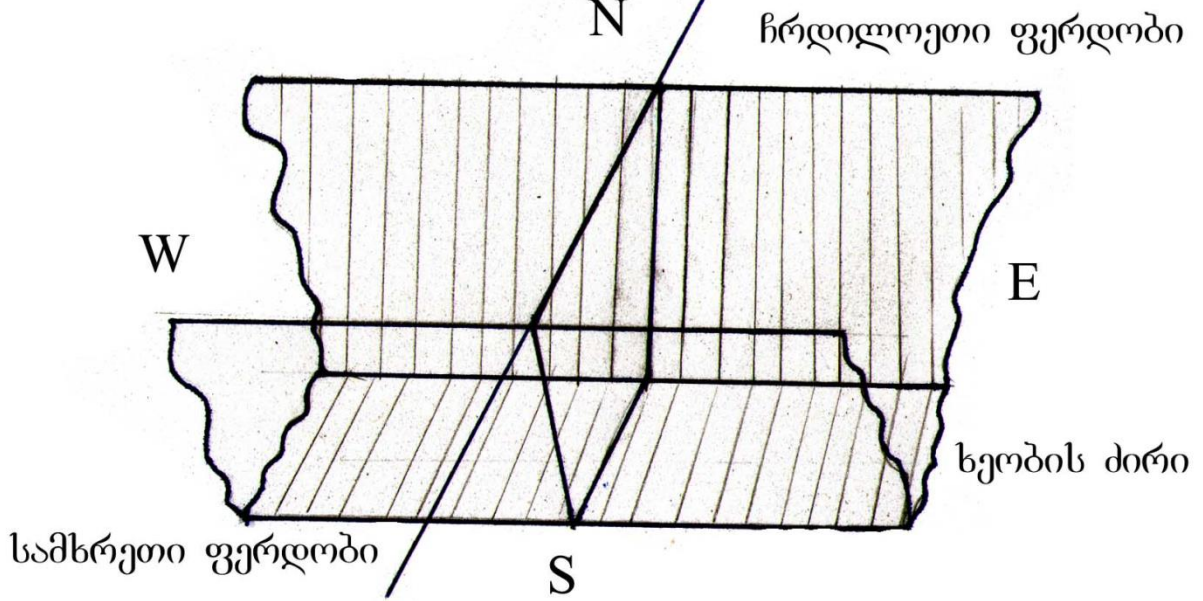
ფორმულის (1) პირველი წევრი ახასიათებს აორთქლების დროს წყლის გაცივების ინტენსიურობას, ხოლო მეორე წევრი ატმოსფეროდან მიღებულ ტურბულენტურ სითბოს ნაკადს.

S ფართის წყლის ზედაპირიდან τ დროის განმავლობაში გაცემული სითბოს რაოდენობა იქნება $Q S \tau$.

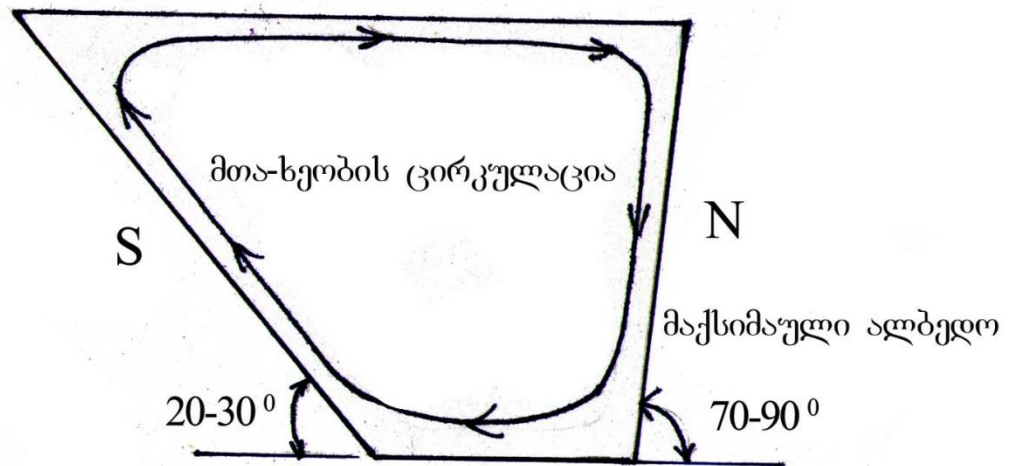
ენერგია, რომელსაც დაკარგავს წყალი, რომლის ზედაპირის ფართობია S და სიღრმე h , ტემპერატურის Δt გრადუსით შემცირებისას შეადგენს სიდიდეს $c_B (S h p_B) \Delta t$, სადაც c_B და p_B – წყლის სითბოტევადობა და სიმკვრივეა.

ყინულის ფენის გაჩენის შემდეგ ენერგიის დანაკარგმა უნდა შეადგინოს $B (S d_{II} p_{II})$, სადაც B – დნობის ყინულწარმოქმნის სითბო; d_{II} და p_{II} - ყინულის სისქე და სიმკვრივეა.

(ა) ხეობის საერთო ხედი



(ბ) ხეობის ვერტიკალური ჭრილი



მინიმალური ალბედო

ნახ.2. "მზის ბუნებრივი მაცივრის" ხელშემწყობი ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების სქემა

წყალი-ატმოსფეროს გამაცივებელი სისტემის დინამიკური წონასწორობა დამყარდება სითბური ბალანსის შემდეგ პირობებში:

$$Q S \tau = c_B (S h p_B) \Delta t + B (S d_{II} p_{II}), \quad (2)$$

რომელიც მარტივი გარდაქმნების შემდეგ და $p_B \approx p_{II}$ ტოლობის გათვალისწინებით შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$k \frac{p}{p_B} \frac{d t}{d z} [c_p \frac{d t}{d z} + L \frac{d q}{d z}] \frac{\tau}{B} + \frac{c_B}{B} h \Delta t + d_{II} = 0 \quad (3)$$

ამრიგად, მივიღეთ ყინულის სისქის d_{II} დამოკიდებულება მისი წარმოქმნის დროსთან τ , თუ ვიცით მიწისპირა ჰაერში ტემპერატურის და სინოტივის გრადიენტები, და ტურბულენტური გაცვლის კოეფიციენტი. ფორმულა (3)-ის სიზუსტე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად ახლოსაა გარემოს რელიეფი და სტრუქტურა ზემოაღნიშნულ ოპტიმალურ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებთან.

მე-(3)-ე ფორმულას გამოყენების თვალსაზრისით შეიძლება მივცეთ უფრო მარტივი სახე თუ გავითვალისწინებთ q და k კავშირს ფარდობით სინოტივესა f და ქარის სიჩქარეს u შორის, რომლებიც მეტეოროლოგიურ ქსელში ოპერატიულად იზომებიან. ემპირიულ მონაცემებზე დაყრდნობით [7] ტურბულენტური გაცვლის კოეფიციენტი (განზომილებით $m^2 / \text{წმ}$) ასე განისაზღვრება:

$$k = 5 \cdot 10^{-2} u z, \quad (4)$$

სადაც u ქარის სიჩქარეა ($m / \text{წმ}$) z (m) სიმაღლეზე ზედაპირიდან. რაც შეეხება ხვედრით სინოტივეს, თუ წყლის ორთქლის ნაჯერი დრეკადობაა E , იგი შეიძლება ასე განისაზღვროს [8]:

$$q = \frac{0.217e}{T} = \frac{217 \cdot 10^{-5} f E}{273 + t}. \quad (5)$$

მე-(4)-ე და მე-(5)-ე ფორმულებთან ერთად თუ გავითვალისწინებთ ნორმალურ პირობებში ფიზიკური პარამეტრების მნიშვნელობებს ($c_B = 4.2 \cdot 10^3 \text{ ჯ კგ}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $c_p = 10^3 \text{ ჯ კგ}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $L = 2260 \cdot 10^3 \text{ ჯ კგ}^{-1}$; $B = 336 \cdot 10^3 \text{ ჯ კგ}^{-1}$; $p = 1 \text{ კგ მ}^{-3}$; $p_B = 10^3 \text{ კგ მ}^{-3}$) მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$1.5 \cdot 10^{-7} u z \left[\frac{dt}{dz} + 2 \cdot 10^{-2} E \frac{df}{dz} \right] \tau + 1.25 \cdot 10^{-2} h \Delta t + d_{\text{II}} = 0. \quad (6)$$

4. გამოთვლის შედეგები.

მოდელის პირველი მიახლოება.

(6)-ში წარმოდგენილი წარმოებულების ნაცვლად გადავიდეთ მათ სასრულ სხვაობებზე, როცა ტემპერატურისა და სინოტივის მნიშვნელობები განისაზღვრება $Z=1$ მ სიმაღლეზე წყლის ზედაპირის მიმართ. გარდა ამისა ჩავთვალოთ, რომ წყლის ორთქლის და სითბოს ნაკადები არ იცვლებიან სიმაღლის მიხედვით. გავითვალისწინოდ, ასევე, სითბოს დანაკარგები, რისთვისაც შემოვიტანოდ ბუნებრივი მაცივრის მარგი ქმედების კოეფიციენტი η (ჩავთვალოთ, რომ $\eta = 0.1$). მაშინ (6) შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$1.5 \cdot 10^{-7} u [(t_1 - t_0) + 2E \left(\frac{f_1}{100} - \frac{f_0}{100} \right)] \eta \tau + 1.25 \cdot 10^{-2} h \Delta t + d_{\text{II}} = 0.$$

მიღებულ თანაფარდობაში შევიტანოთ პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობები: $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $t_1 = t$, $f_1 = f$, $f_0 = 100\%$ (რადგან უშუალოდ წყლის ზედაპირთან წყლის ორთქლი ნაჯერ მდგომარეობაშია), $\eta = 0.1$. მივიღებთ შემდეგ თანაფარდობას:

$$1.5 \cdot 10^{-7} u \left[t + 2E \left(\frac{f}{100} - 1 \right) \right] 0.1 \tau + 1.25 \cdot 10^{-2} h \Delta T + d_{\text{II}} = 0. \quad (7)$$

(7)-დან გამომდინარეობს ჰაერის ტემპერატურისათვის აუცილებელი პირობა:

$$t + 2E \left(\frac{f}{100} - 1 \right) < 0 \quad \text{ან}$$

$$t < 2E \left(1 - \frac{f}{100} \right). \quad (8)$$

თუ $f = 50\%$ და $E \approx 6$ მბ, მაშინ $t < 6^\circ\text{C}$. ამრიგად, წყლის გაცივებისათვის ჰაერის ნაკადის ტემპერატურა უნდა იყოს არაუმეტეს $5-6^\circ\text{C}$. ასეთი რეჟიმი ბუნებრივია მთახეობის ქარებისათვის. მათი სიჩქარის ამპლიტუდა აღწევს ათეულ მ/წმ. დღისით ხეობაში შემოდის მშრალი და ცივი ჰაერის ნაკადი მყინვარიდან. მისი სისქე იზომება მეტრობით. ჰაერის ტემპერატურა სიმაღლის მიხედვით იზრდება. მზიან ამინდში ასეთი პირობები აღიქმება როგორც თბილი ამინდი. წყალი ხეობის ძირში მყინვარული წარმოშობისაა. ნაკადი ხეობაში იშლება, კარგავს სიჩქარეს და წარმოქმნის მდგარი წყლის გუბეებს ქვებს და ლოდებს შორის. მთაში, გაიშვიათებული ატმოსფეროს პირობებში აორთქლების როლი წყლის გაცივებაში იზრდება. წარმოქმნილი ყინული ღამე არ დნება რადიაციული გაცივების გამო, რასაც ხელს უწყობს მისი ზედაპირის ეფექტური სითბური გამოსხივება. დღისით ჩრდილში ყინული დნება ძალიან სუსტად, რადგან მის ზედაპირს გააჩნია მაღალი ამრეკვლადი თვისება მზის გაბნეული სინათლის მიმართ.

ცხრ. 1-ში მოცემულია (7) თანაფარდობის გამოყენებით მიღებული ყინულის გაჩენის დროების შეფასებები, მეტეოროლოგიური პარამეტრებისა და ყინულის ფენის სისქის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის, დღის და ღამის პირობებში.

ცხრილი 1.

მოდელის პირველ მიახლოებაში მიღებული გამოთვლის შედეგები

ვარი- ანტი №	პირო- ბები	ტემპერატურა °C			ფარდო- ბითი სი- ნოტივე f, %	წყლის ფენის სისქე d, სმ	ყინუ- ლის ფენის სისქე d _n , სმ	ქარის სიჩქა- რე u, მ/წმ	ყინუ- ლის გაჩე- ნის დრო τ, დღე- ღამე
		ჰაერის T ₁	წყლის t ₀	Δt=t ₁ -t ₀					
1	დღის	3	0	3	50	10	1	3	0.7
2	“---”	5	0	5	50	10	1	3	2
3	“---”	5	0	5	50	10	1	1.5	4
4	“---”	5	0	5	50	10	1	3	3.5
5	“---”	5	0	5	50	10	1	5	2.1
6	ღამის	-5	0	0	80	10	1	1	1
7	“---”	-5	0	0	80	10	3	1	2.7
8	“---”	-5	0	0	50	10	1	3	0.2

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ცხრ.1-ში განხილული მაგალითები ახლოს არიან ბუნებრივ პირობებთან, შეიძლება დავასკვნად: პირველ მიახლოებაში ყინულის გაჩენის დრო შეიძლება შეადგენდეს რამდენიმე დღე-ღამეს.

მოდელის მეორე მიახლოება

მე-(3) თანაფარდობიდან ვღებულობთ ყინულის გაჩენის დროსათვის:

$$\tau = \frac{C_B h \Delta t + B d_A}{-K \frac{\rho}{\rho_B} \left[C_p \frac{dt}{dz} + L \frac{d}{dz} \left(0.622 \frac{e}{p} \right) \right]}, \quad (9)$$

აქ გათვალისწინებულია ხვედრითი ტენიანობის შევცვლა შემდეგი გამოსახულებით

$$q = 0.622 \frac{e}{p}, \quad (10)$$

სადაც e - წყლის ორთქლის პარციალური წნევაა (მბ ან კპა), ხოლო p - ატმოსფერული წნევა (ასევე მბ ან კპა). ორივე ეს სტაბილური პარამეტრი კარგად განისაზღვრება სტანდარტული გაზომვების დროს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{e}{p} \right) = \frac{1}{p} \frac{de}{dz} - \frac{e}{p^2} \frac{dp}{dz}, \quad (11)$$

სადაც, [7,8] მიხედვით და [9]-ში მოცემული ფორმულის საფუძველზე პარციალური წნევის და ატმოსფერული წნევის გრადიენტებისათვის გვექნება:

$$\frac{de}{dz} = \frac{d}{dz} (13.9 - 4.7 \times z) = -4.7 \text{ მბ/კმ} \quad (12)$$

$$\frac{dp}{dz} = \frac{d}{dz} \left[P_0 \left(\frac{t_0 - \gamma z}{t_0} \right)^{\frac{g}{R_c \gamma}} \right] = \frac{P_0 (-\gamma)}{t_0^{\frac{g}{R_c \gamma}}} (t_0 - \gamma z)^{\frac{g}{R_c \gamma} - 1} \quad (13)$$

აქ ზღვის დონეზე $P_0 = 101.3 \times 10^3$ პა, $t_0 \approx 300^\circ \text{K} = 27^\circ \text{C}$;

$\gamma = 6.5^\circ \text{C/კმ}$, $g = 9.8 \text{ მ/წმ}^2$, $R_c = 287 \text{ მ}^2/\text{წმ}^2 \text{K}$, $Z = 1 \text{ კმ}$, $h = 10 \text{ სმ}$, $d_{\pi} = 1 \text{ სმ}$, $u = 5 \text{ მ/წმ}$; მაშინ (9)-(13) გამოსახულებებიდან ვღებულობთ - ყინულის გაჩენის დრო დღის პირობებში ტოლია

$$\tau \approx 45.5 \text{ დღე-ღამე} \approx 1.5 \text{ თვე, თუ } \Delta t = 20^\circ \quad \text{და}$$

$$\tau \approx 500 \approx 21 \text{ დღე-რამე, თუ } \Delta t = 5^\circ;$$

ღამის პირობებში $\tau \approx 11.5$ დღე-ღამე.

ამრიგად, მოდელის მეორე მიახლოებაში ხეობის ძირში ყინულის გაჩენის დრო ზღვის დონიდან 1კმ სიმაღლეზე იცვლება დაახლოებით 10-დან 45 დღე-ღამემდე.

დ ა ს კ ე ნ ა

ამრიგად, განხილულია ის ფიზიკურ-გეოგრაფიული და ატმოსფერული პირობები, რომლებიც მაქსიმალურად უწყობენ ხელს მთა-ხეობის პირობებში ზაფხულის ცხელ, მზიან და ქარიან ამინდში ხეობის ძირში ყინულის ფენის წარმოქმნას და ზრდას. აგებულია ამ ფენომენის – “მზის ბუნებრივი მაცივრის” (მბმ) მათემატიკური მოდელი. მიღებულია ანალიზური გამოსახულება, რომელიც აკავშირებს ყინულის ფენის გაჩენის დროს და მის სისქეს ატმოსფერულ პარამეტრებთან.

აღნიშნული მოვლენა ყალიბდება მთა-ხეობის ქარის ფონზე, როდესაც ხეობის ძირში მყინვარული წარმოშობის ნაკადის “წყალი-ატმოსფეროს” საზღვარზე სითბოს და ტენის ტურბულენტური გაცვლის შედეგად დაიკვირვება წყლის ტემპერატურის დაცემა 0°C –მდე. პროცესების შემდგომი მოქმედება იწვევს გაჩენილი ყინულის ფენის სისქის ზრდას.

მთა-ხეობის ტიპური პირობებისათვის შეფასებულია ყინულის ფორმირების და ზრდის დრო, რომელიც იცვლება რამდენიმე დღე-ღამიდან თვენახევრამდე.

ბუნებრივ პირობებში მბმ-ის არსებობის ადგილებში ეპიზოდურმა საექსპედიციო გასვლებმა არ მოგვცა მოდელის ექსპერიმენტული შემოწმების საშუალება. ამისათვის საჭიროა რეგულარული დაკვირვებების ჩატარება არანაკლებ ერთი თვის განმავლობაში.

მომავალში კვლევა უნდა გაგრძელდეს სამი მიმართულებით:

- შესაძლებელია აიგოს მბმ-ის უფრო ზუსტი მოდელი.
- თეორიული კვლევის შედეგები უნდა შემოწმდეს ბუნებრივ პირობებში მბმ-ის არსებობის ადგილებში რეგულარული გაზომვების საფუძველზე. ეს ითხოვს საკმაოდ ხანგრძლივი ექსპედიციური სამუშაოების ორგანიზებას 1-2 თვის განმავლობაში.
- მნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ღრუბელთა კამერების ექსპერიმენტული კომპლექსის ბაზაზე შესაძლებელია მბმ-ის ხელოვნურად შექმნის ერთობლივი ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარება თეორიული და საველე კვლევების შედეგების გათვალისწინებით.

შესრულებული პროექტის წინამდებარე ანგარიშში წარმოდგენილი კვლევის შედეგები შესულია სამეცნიერო სტატიაში, რომელიც გამოქვეყნდა ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომათა კრებულში “კონფერენციის მასალები, მიძღვნილი პროფესორ ლევან მარუაშვილის დაბადების 100 წლისთავისადმი” [10].

ლიტერატურა

- 1 ვახუშტი ბაგრატიონი. აღწერა სამეფოსა საქართველოსა. გამომცემლობა თსუ, თბილისი, 1941, 356 გვ.
2. უკლება დ. საბაწმინდის საყინულე. საქართველოს ბუნება, №6, 1963.
3. მარუაშვილი ლ. კავკასიის ფიზიკური გეოგრაფია. ნაწილი 3, მეცნიერება, თბილისი, 1986, 176 გვ.
4. წიქარიშვილი კ., ბოლაშვილი ნ., ჯანელიძე ზ., ყარაღაშვილი თ., ქუთათელაძე ლ. საქართველოს თოვლიან-ყინულიანი მღვიმეები და ბუნებრივი საყინულეები. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, 7-9, 2010, 28-34 გვ.
5. ხარაძე კ. ანთროპოგენური ზემოქმედება და ბუჭებრივი საყინულეების დაცვა. საქართველოს გეოგრაფიის აქტუალური პრობლემები. მცნიერება, თბილისი, 2001, 163-170 გვ.
6. Таварткиладзе К.А., Кузенков А.Ф. Феноменологическая модель образования льда и ущельях Кавказа летний период. Сообщения АН ГССР, 130, 3, 1988, с.545-548.
7. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Л., 1965, 876 с.
8. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Том 1, Л., 1978, 248 с.
9. ბეგალიშვილი ნ., ცინცაძე თ., ცომაია ვ., ბეგალიშვილი ნ.ნ., ცინცაძე ნ. ადგილობრივ კლიმატზე ჯვრის, ხუდონისა და ნენსკრას წყალსაცავთა კასკადის კუმულაციური ზემოქმედების შეფასება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დაარსებიდან 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო კონფერენციის “21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები” მასალები, თბილისი, 2012, გვ. 12-18.
10. თავართქილაძე კ., ბეგალიშვილი ნ., ცინცაძე თ., ფიფია გ. “მზის ბუნებრივი მაცივარი” და მისი ხელოვნურად შექმნის შესაძლებლობა. ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ახალი სერია, №4 (83), თბილისი, 2012, გვ.120-125.