

ნ.ბეგალიშვილი, გ.რობიტაშვილი,  
 ნ. კაპანაძე, მ.ტატიშვილი  
 ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
 უკ.551.576K

**კონვექციური ღრუბლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის შეფასება თერმოდინამიკური მოდელის გამოყენებით**

კონვექციური ღრუბლის ჩასახვა-განვითარება და მასში ნალექების წარმოქმნა სხვადასხვა მასშტაბების მქონე მიკრო - და მაკროფიზიკური ფაქტორებით განპირობებულ რთულ პროცესს წარმოადგენს, რაც ამწელებს ღრუბლის მათემატიკურ მოდელებში მათ ერთდროულ გათვალისწინებას. ამიტომ, მოცემულ ნაშრომში დასმული ამოცანის გამარტივებისათვის კონვექციური ღრუბლის ფორმირებაში მონაწილე მხოლოდ მაკროფიზიკურ პროცესებს განვიხილავთ. კერძოდ, შიდამასიური წარმოშობის გროვა ღრუბლის განვითარებისათვის წყლის ორთქლის მარაგთან ერთად საჭიროა ატმოსფეროს არამდგრადი სტრატეფიკაციის შედეგად აღმრული აღმავალი ნაკადების გათვალისწინებაც.

ცნობილია, რომ გროვა ღრუბელში აღმავალი დენების სიჩქარე სიმაღლის მიხედვით იზრდება, აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო შემდეგ მცირდება ნულამდე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ღრუბლის ქვედა ნაწილში ადგილი აქვს ჰაერის ნაკადების კონვერგენციას, ხოლო ზედა ნაწილში - დივერგენციას. ღრუბლის კონვერგენციის არეში, კერძოდ, ფუმიდან და გვერდითი ზედაპირიდან შესული წყლის ორთქლი ძირითადად იხარჯება ატმოსფეროს გაჯერებაზე, კონდენსაციის დონეზე წვეთების წარმოქმნაზე და მათ შემდგომ ზრდაზე. პირიქით დივერგენციის არის გაუჯერებელ ატმოსფეროში გადასვლისას წყლის წვეთები და ყინულის კრისტალები ორთქლდებიან, რაც ზრდის ტენიანობას ამ არეში. საღრუბლო ჰაერის ყოველი შემდგომი ნაკადის შემოსვლისას შედარებით მცირე ზომის წვეთები ორთქლდება, რაც ღრუბლის განვითარების იმპულსურ ხასიათს განაპირობებს.

დივერგენციის ზონაში ხდება წვრილი წვეთების გატანა გარემომცველ სივრცეში, სადაც წვეთების ნაწილი ორთქლდება, ნაწილი რჩება და კრისტალიზაციის შემდეგ წარმოქმნის ე.წ. გრდემლს, რომელიც ზრდის ღრუბლის ზედაპირის ფართობს და შესაბამისად ღრუბლის ზედაპირიდან აორთქლებული წყლის მასას. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ აორთქლების სიჩქარე ნალექის ნაწილაკების რადიუსის უკუპროპორციულია და ნალექების გამოყოფის პროცესში იგი მცირე სიდიდეა, რადგან ძირითადად წვრილი წვეთები ორთქლდება.

ღრუბლის ნალექწარმოქმნელი ეფექტურობის, ანუ მისი მქკ-ს განსაზღვრა ღრუბელთა ფიზიკაში ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს. ამ სიდიდის თეორიული მეთოდებით შეფასება მოითხოვს ღრუბელში მიმდინარე რთული მეზო - და მაკროფიზიკური პროცესების ერთდროულ განხილვას, ხოლო მისი ექსპერიმენტული დადგენა დაკავშირებულია ჰაერის ნაკადებისა და ტენშემცველობის გაზომვებთან კონვექციით მოცული თავისუფალი ატმოსფეროს საკმაოდ დიდ არეში, აგრეთვე ნალექების გაზომვასთან დედამიწის ზედაპირზე. ასეთი კომპლექსური გამოკვლევების ჩატარების დიდი სიმძნელებების გამო აღნიშნული საკითხი ჯერ კიდევ შორსაა საბოლოო გადაჭრისაგან, თუმცა გარკვეული შეფასებები ამ მიმართულებით უკვე შესრულებულია. კერძოდ, სხვადასხვა ავტორების [1,2,5] მიერ მიღებული შედეგების მიხედვით ღრუბლის ნალექწარმოქმნელი ეფექტურობა სხვადასხვა სინოპტიკური პროცესების დროს 10 - 50%-ის ფარგლებში იცვლება.

წინამდებარე ნაშრომში დასმული ამოცანის მიზანს შეადგენს თერმოდინამიკური მოდელის გამოყენებით განვსაზღვროთ კონვექციური ღრუბლის მქკ, ანუ რაც იგივეა, შევაფასოთ თუ ღრუბელში შესული აწყლის რა ნაწილი გამოიყოფა ნალექის სახით.

ღრუბელში შესული წყლის ორთქლის რაოდენობის გამოსათვლელად საჭიროა აეროლოგიური ზონდირების საშუალებით განვსაზღვროთ აღმავალი დენის სიჩქარე, როგორც კოორდინატებისა და დროის ფუნქცია და ასევე მოცემულ არეში ტენიანობის განაწილება სიმაღლის მიხედვით.

ცნობილია, რომ კონვექციური ღრუბლის გამარტივებული, ღერძულად სიმეტრიული მოდელისათვის, როდესაც  $\alpha = \gamma - \gamma_e > 0$ , ვერტიკალური ტურბულენტობის უგულუბელები შემთხვევაში აღმავალი ნაკადის სიჩქარის წარმოდგენა შესაძლებელია შემდეგი სახით [4]:

$$w = \frac{W_m}{Z_m} z \exp(-\alpha_1 r^2), \quad (1)$$

სადაც  $W_m$ -ვერტიკალური სიჩქარის მაქსიმალური სიდიდეა  $Z=Z_m$  დონეზე,  $\alpha_1$ -ემპირული კოეფიციენტი,  $r$  და  $z$  - შესაბამისად რადიალური და ვერტიკალური კოორდინატებია.

მაშინ უწყვეტობის განტოლება

$$\frac{\partial w p}{\partial r} + \frac{\partial w p r}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ რადიალური სიჩქარე. რადგან წყლის ორთქლის უმეტესი ნაწილი თავმოყრილია ატმოსფეროს ქვედა ფენაში ( $Z_m \leq z$ ), შეგვიძლია დავუშვათ, რომ ჰაერის სიმკვრივე  $\rho = \text{const}$ , რის შემდეგადაც ვღებულობთ:

$$u = -\frac{W_m}{2rz_m \alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 r^2}). \quad (3)$$

როცა  $r \rightarrow \infty$ ,  $e^{-\alpha r^2} \rightarrow 0$  და პირობითად ღრუბლის საზღვრად ვიღებთ იმ იზოზედაპირს, სადაც აღმავალი დენის სიჩქარე  $w=1\text{მმ/წმ}$ .

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, გროვა ღრუბლის კვება წარმოებს როგორც ფუძიდან, ისე გვერდითი ზედაპირიდან  $z_k \leq z \leq z_m$  არეში, სადაც  $z_k$ -კონდენსაციის დონის სიმაღლეა. R რადიუსიან წრიული ცილინდრის ფორმის ღრუბელში შესული წყლის ორთქლის რაოდენობა შეიძლება გამოთვლილ იქნას შემდეგი ფორმულით;

$$Q = 2\pi \int_0^R \int_0^{z_k} \rho(z)q(z)w(r, z, t)dz + \int_{z_k}^{z_m} \rho(z)q(z)u(r, z, t)dz \cdot r dr dt, \quad (4)$$

სადაც  $q(z)$  ხვედრითი ტენიანობაა (გ/გ). თუ განვიხილავთ ღრუბლის ერთეულოვანი ფართობის სვეტს და ჩავთვლით, რომ მისთვის  $u \rightarrow 0$ , ხოლო აეროლოგიური დიაგრამიდან განვსაზღვრავთ  $w(z)$ , მაშინ (4) ფორმულით შესაძლებელია შევაფასოთ ღრუბლის ერთეულოვან ფართობში შესული წყლის ორთქლის რაოდენობა. იმავე მიზნებს ემსახურება [1-4]-ში მოცემული Q-ს გამოსათვლელი ფორმულა:

$$Q_1 = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{(p_k - p_m) \bar{q}(\gamma - \gamma_{gr})}{g(\gamma - \gamma_6)}, \quad (5)$$

სადაც  $\gamma$ - ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი,  $\gamma_6$ -ნოტიო ადიაბატური გრადიენტი,  $\bar{q}$  ხვედრითი ტენიანობის საშუალო მნიშვნელობა დონეთა  $0-z_m$ -ზე შუალედში,  $p_k - p_m$  კი  $z_k - z_m$  დონეებს შორის წნევათა სხვაობა ( $\text{ნ/მ}^2$ ), ხოლო [1,2,4] შრომების მიხედვით

$$\gamma_{gr} = \gamma_6 - 0.65(\gamma_{გრ} - \gamma_6) \left( 1 - \sqrt{\frac{\gamma_{გრ} - \gamma_1}{\gamma_{გრ} - \gamma_6}} \right). \quad (6)$$

(5) გამოსახულებით კარგად აღიწერება შიდამასიური პროცესების დროს კონვექციაში ჩართული წყლის ორთქლის რაოდენობა. თუ მოცემულ ფორმულაში გავითვალისწინებთ  $\gamma$  და  $p$ -ს დროში ცვლილებას, მაშინ მისი გამოყენება შესაძლებელი იქნება ფრონტალური პროცესების შემთხვევაშიც.

ღრუბლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოთვლისათვის საჭიროა განისაზღვროს ერთეულოვან ფართობზე მოსული ნალექების რაოდენობა. კონვექციური ნალექების ლოკალური ხასიათის გამო, მათი დადგენა მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემთა საფუძველზე თითქმის შეუძლებელია. აქედან გამომდინარე გროვა ღრუბლიდან მოსული ნალექების რაოდენობის განსაზღვრა უნდა მოხდეს გახშირებული ნალექზომი ქსელით დაფარულ სპეციალურად გამოყოფილ პოლიგონზე. მსგავსი ქსელით მიღებული ნალექების გაანალიზების საფუძველზე ნალჩიკის მაღალმთიან გეოფიზიკურ ინსტიტუტში ჩატარებულ სამუშაოთა შედეგად დადგინდა კავშირი ღრუბლის ერთეულოვან ფართობში შესული წყლის რაოდენობასა და ერთეულოვან ფართობზე მოსულ ნალექებს შორის [1, 2]. კერძოდ, მიღებული იქნა, რომ

$$Q_6 = 0.522 Q_1^{0.83}, \quad (7)$$

საიდანაც მარგი ქმედების კოეფიციენტისთვის ვღებულობთ:

$$\eta = 0.522 Q_1^{0.17} \cdot 100\%, \quad (8)$$

სადაც  $Q_1$  გამოითვლება (5) და (6) ფორმულებით.

გარდა ამისა, ღრუბლის მქკ-ს განსაზღვრა შესაძლებელია ნალექთა რაოდენობის საპროგნოზო მეთოდის გამოყენებით [6], რომელშიც განხილული სქემისაგან განსხვავებით გათვალისწინებულია როგორც სინოპტიკური პროცესების თავისებურება, ასევე დინამიკური და ტურბულენტური შერევა. ამ შემთხვევაში ღრუბელში კონდენსირებული წყლის რაოდენობის დასადგენად ისევ შეიძლება გამოვიყენოთ თერმოდინამიკური კანონები (5), ხოლო მოსულ ნალექთა რაოდენობის გამოსათვლელად – აეროლოგიური დიაგრამის დახმარებით შედგენილი მოკლევადიანი პროგნოზის მონაცემები.

იმისათვის, რომ შევგემოწმებინა თერმოდინამიკური მოდელით და მოკლევადიანი პროგნოზით მიღებული მქკ-ის მნიშვნელობები მის შესაძლო მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით, გამოთვლილი იქნა ეს მაქსიმალური მნიშვნელობა, რისთვისაც ღრუბელი განხილული იქნა როგორც სითბური ძრავა, სადაც გამათბობლის როლს ასრულებს ღრუბელში მიმდინარე პროცესები. მაშინ ღრუბლის როგორც გამათბობლის ტემპერატურა ტოლია აღმავალი ნაკადის ტემპერატურის საწყისი მნიშვნელობისა, ხოლო მაცივრის ტემპერატურა კი განისაზღვრება დაღმავალი ჰაერის ტემპერატურით, ე.ი.

$$\eta = \frac{T - T_0}{T} \cdot 100\%. \quad (9)$$

სადაც  $T_0$  კონვექციური არამდგრადი ფენის ქვედა საზღვრის აბსოლუტური ტემპერატურაა, ხოლო  $T$  - ღრუბლის ზედა საზღვრის აბსოლუტური ტემპერატურა.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე განვითარებული მძლავრი კონვექციური ღრუბლებისათვის შერჩეული იქნა 10 აეროლოგიური ზონდის მონაცემები და განხილული სამივე მეთოდით განისაზღვრა მქკ-ის

მნიშვნელობები, რომლებიც მოცემულია ცხრ.1-ში. ცხრილიდან ჩანს, რომ ყველა განხილულ შემთხვევაში სრულდება პირობა  $\eta_{\text{მაქს.}} > \eta_{\text{თდ}}$  და  $\eta_{\text{მაქს.}} > \eta_{\text{პრ}}$ , ფარდობითი სხვაობა  $\eta_{\text{მაქს}}$  და  $\eta_{\text{თდ}}$ -ს შორის იცვლება 4-35%-ის ფარგლებში და საშუალოდ იგი 17 %-ს შეადგენს, ხოლო  $\eta_{\text{მაქს}}$  და  $\eta_{\text{პრ}}$ -ს შორის სხვაობისათვის შესაბამისი მნიშვნელობებია 10-50% და 21%.

მიღებული შედეგების გათვალისწინებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ნალექთა ხელოვნური რეგულირების (გაზრდის) თვალსაზრისით გროვა-საწვიმარ ღრუბელში მიკროფიზიკური პროცესების დაჩქარება მიზანშეწონილია მანამ, სანამ ღრუბელი გადავა სტაციონალურ მდგომარეობაში. ღრუბლის განვითარების პროცესში მასზე მაკრისტალიზებული ნივთიერებით აქტიური ზემოქმედების დროს გამოყოფილი სითბური ენერჯის ხარჯზე გაიზრდება ღრუბლის ვერტიკალური სიმძლავრე და მოცულობა და შესაბამისად მასში კონდენსირებული წყლის რაოდენობა, რაც ხელს შეუწყობს ღრუბლის მქკ-ის მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან მიახლოებას. ამასთან ერთად ნალექის გამოყოფის პროცესის დაჩქარება გამოიწვევს ღრუბლის პერიფერიული ნაწილიდან აორთქლებული წყლის რაოდენობის შემცირებას და შესაბამისად, ღრუბლის მქკ-ის დამატებით გაზრდას.

ცხრილი 1. შიდამასიური ღრუბლის მქკ-ის გამოთვლილი მნიშვნელობები

#	ზონდირების პუნქტი	ზონდირების თარიღი	Mმქკ %		
			$\eta$ თერმოდ.	$\eta$ პროგნ.	$\eta$ მაქს.
1.	თბილისი	25.07.1996	32.0	17.0	33.2
2.	თეთრიწყარო	14.06.1974	23.0	26.7	35.3
3.	თეთრიწყარო	6.06.1977	28.8	27.8	35.5
4.	თეთრიწყარო	2.06.1983	30.0	28.8	32.1
5.	თეთრიწყარო	19.06.1983	31.0	29.0	33.5
6.	თეთრიწყარო	20.06.1983	27.0	26.4	32.4
7.	რუისპირი	18.09.1977	24.0	28.2	31.1
8.	რუისპირი	23.05.1979	24.5	26.5	33.4
9.	რუისპირი	24.06.1979	25.0	28.8	35.5
10.	რუისპირი	5.09.1979	26.0	27.0	35.7

### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Сулаквелидзе Г.К., Сулаквелидзе Я. Г. Термодинамика тропосферы. Часть I. Изд. Тбилисского Государственного Университета. Тбилиси, 1980.
2. Сулаквелидзе Я. Г. Ливневые осадки в горных странах на примере Закавказья. Изд. Тбилисского Государственного Университета. Тбилиси, 1988.
3. Матвеев Л. Т. Общая метеорология. Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1984.
4. Шишкин Н.С. Облака, осадки и грозовое электричество. Л., Гидрометеиздат, 1964.
5. Шмелер С.М. Термодинамика и физика конвективных облаков. Л. Гидрометеиздат, 1987.
6. Руководство по краткосрочным прогнозом погоды. Часть I.Л. Гидрометеиздат, 1986.

უკვ.551.576

**კონვექციური ღრუბლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის შეფასება თერმოდინამიკური მოდელის გამოყენებით.** /ნ. ბეგალიშვილი, გ. რობიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, მ. ტატიშვილი/. ჰმი-ს შრომათა კრებული. –2009 .- ტ.114,-გვ.33-38. –ქართ.; რეზ. ქართ.; ინგ.; რუს.

ემპირიული თერმოდინამიკური მოდელის გამოყენებით განსაზღვრულია აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე განვითარებული კონვექციური ღრუბლების მქკ. მიღებული მნიშვნელობების დასაზუსტებლად იგივე კოეფიციენტი გამოთვლილია ნალექთა მოკლევადიანი პროგნოზის მეთოდის საფუძველზე. მქკ-ის ორივე მეთოდით მიღებულ მნიშვნელობათა შესადარებლად მის მაქსიმალურ სიდიდესთან რადიოზონდირების მასალების გამოყენებით გამოთვლილი იქნა მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობები. სხვადასხვა მეთოდით გამოთვლილი მქკ მნიშვნელობები იცვლება 17-დან 36%-მდე და საშუალოდ შეადგენს დაახლოებით 30%.

UDC 551.576

**Assessment of convective cloud efficiency using the thermodynamic model.** /N.Begalishvili, G.Robitashvili, N.Kapanadze, M.Tatishvili/. Transactions of the Georgian Institute of Hydrometeorology. 2009. –V.114.-p.33-38.- Georg.; Samm. Georg., Eng., Russ.

The efficiency of convective clouds developing over the territory of Eastern Georgia is determined using an empirical thermodynamic model. To verify the obtained results the same value is calculated on the basis of precipitation short-range

forecast method, and to compare both these results with maximum possible values the maximum efficiency has been defined applying air-sounding data. The values of efficiency calculated by different methods vary between 17 and 36% making about 30% on the average.

УДК 551. 576.

**Оценка коэффициента полезного действия конвективного облака с помощью термодинамической модели.**  
/Н.А.Бегалишвили, Г.А.Робиташвили, Н.И.Капанадзе, М.Р.Татишвили/. Сб. Трудов Института гидрометеорологии Грузии. –2009. –т.114.-с.33-38 .- Груз.; рез. Груз.; Англ.; Русск.

С помощью эмпирической термодинамической модели определен к.п.д конвективных облаков, развивающихся на территории Восточной Грузии. Для уточнения полученных значений к.п.д. те же величины рассчитаны на основе методики краткосрочного прогноза осадков. Для сравнения, полученных разными методами данных с максимально возможными значениями, максимальные к.п.д. были определены с помощью материалов радиозондирования. Значения к.п.д., рассчитанные по различным методам, изменяются от 17 до 36 %, составляя в среднем 30 %.