

ნ.ბეგალიშვილი,
 ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
 ვ.მალბახოვი,
 დასავლეთ ციმბირის რეგიონალური
 ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
 გ.რობიტაშვილი, თ.რობიტაშვილი
 ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

ატმოსფეროში ფართომასშტაბიანი კონვერგენციის გავლენა კონვექციურ ღრუბელთა გაერთიანებაზე

დღეისათვის მრავალი გამოკვლევაა ცნობილი, რომელიც ეძღვნება კონვექციური ღრუბლების წარმოქმნა – განვითარების და სინოპტიკური პროცესების ურთიერთკავშირს [6]. მაგალითად, შესწავლილია ციკლონების გავლენა ღრუბელთა სისტემის ევოლუციაზე. დადგენილია, რომ დიდმასშტაბიანი მოძრაობები მიმდინარეობს იმ ენერჯის ხარჯზე, რომელიც გამოიყოფა ღრუბელთა სისტემებში ნალექწარმოქმნის პროცესში. მრავალრიცხოვანი დაკვირვებების მასალები გვიჩვენებენ, რომ ციკლონებში წარმოქმნილი გროვა ღრუბლის საშუალო ზომები ბევრად აღემატება შიდამასიური ღრუბლის ზომებს, ხოლო მათგან მოსული ნალექების საერთო რაოდენობა კი დაახლოებით ერთი რიგით მეტია, ვიდრე შიდამასიურიდან [3]. ვფიქრობთ, რომ კონვექციური უჯრედების ზომებზე ძირითად გავლენას ახდენს პროცესი, რომელიც დაკავშირებულია საშუალო და მაღალ დონეებზე იმ წყლის ორთქლის კონდენსაცია – სუბლიმაციასთან, რომლის მიმწოდებელია ციკლონებისათვის დამახასიათებელი კონვერგენციული ნაკადები [5]. ექსპერიმენტული დაკვირვების მასალებიდან ცნობილია, რომ ღრუბელთა სისტემების განვითარება ციკლონებში მიმდინარეობს უფრო ინტენსიურად, ვიდრე შიდამასიური პროცესების დროს. ამასთან ერთად ციკლონებში აქტიურად წარმოებს ღრუბელთა ურთიერთშერწყმის პროცესი. როდესაც ხდება ღრუბელთა შეერთება, მაშინ ადგილი აქვს გაერთიანებული ღრუბლის სიმძლავრის მკვეთრ ზრდას და ნალექწარმოქმნელი პროცესების ინტენსიფიკაციას. ღრუბელთა გაერთიანებისას, როგორც წესი, კონვექციური უჯრედების სრული შერწყმა არ წარმოებს, ამიტომ ღრუბელი ინარჩუნებს მრავალუჯრედოვან სტრუქტურას, რომელიც დამახასიათებელია ციკლონებისა და ფრონტალური პროცესებისთვის. ცნობილი ფაქტია, რომ ტროპიკულ ციკლონებში და ატმოსფერული ფრონტების არსებობისას აღინიშნება გროვა ღრუბლის გუმბათის მეტად სწრაფი-ფეთქებადი ზრდა, როცა 2-3 წუთში ღრუბლის სიმაღლე იზრდება რამდენიმე კილომეტრით. ამგვარად დიდმასშტაბიანი ცირკულაცია გავლენას ახდენს არა მარტო ღრუბელთა სისტემის ევოლუციაზე, არამედ მის სტრუქტურაზე, ზომებზე და ამ სისტემაში შემავალი ცალკეული ღრუბლის განვითარების სიჩქარეზე.

ზემოთ ხსენებული მოვლენები თეორიულად ნაკლებადაა შესწავლილი. აქედან გამომდინარე, მოცემული ნაშრომის მიზანს შეადგენს მათემატიკური მოდელირების საშუალებით განვსაზღვროთ გროვა ღრუბლის გაერთიანებაზე დიდმასშტაბიანი კონვერგენციის გავლენის თავისებურებანი. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყენებულია კონვექციურ ღრუბელთა სისტემის ორგანოზომილებიანი თერმოჰიდროდინამიკური მოდელი პარამეტრიზებული მიკროფიზიკით [1,2,4]. ამიტომ ამოსავალი განტოლებები, საწყისი და სასაზღვრო პირობები ისეთივეა, როგორც [1,2,4] შრომებში განხილულ ამოცანაში, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ სიჩქარის ჰორიზონტალურ u და ვერტიკალურ w მდგენელებში შემოგვავსეს შესაკრებები bx და bz , რომლებიც პირველ მიახლოებაში ითვალისწინებენ სინოპტიკური მასშტაბის კონვერგენციის გავლენას ჰაერის ნაკადების სიჩქარის მდგენელებზე. მათსადაამე სიჩქარის U და W მდგენელები შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} u &= -bx + v(z) + u_k, \\ w &= bz + w_k, \end{aligned} \tag{1}$$

სადაც $v(z)$ -ფონური ნაკადის სიჩქარეა, რომელიც იცვლება მხოლოდ სიმაღლის მიხედვით. u_k და w_k კონვექციური მოძრაობის სიჩქარის შესაბამისი მდგენელებია. ამოცანის გამარტივების მიზნით ვუშვებთ, რომ $b = const$. ცხადია (1) გამოსახულება აკმაყოფილებს უწყვეტობის განტოლებას

$$\frac{\partial u \rho}{\partial x} + \frac{\partial w \rho}{\partial z} = 0. \tag{2}$$

ჩატარებული იქნა რიცხვითი ექსპერიმენტები b -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, როცა $v(z) = 0$. აქედან პირველი ჯგუფი იძლეოდა ცალკეული ღრუბლის განვითარებას, რომელიც წარმოიშვება დიდმასშტაბიანი კონვერგენციის ზონაში ($b = 2 \cdot 10^{-5} \text{წმ}^{-1}$ და $b = 10^{-4} \text{წმ}^{-1}$), ხოლო ექსპერიმენტების მეორე ჯგუფი აღწერდა იგივე პირობებში ორი ღრუბლის ურთიერთქმედებას. მოცემულ ნაშრომში დასმული ამოცანის შესაბამისად დაწვრილებით განვიხილავთ მეორე ჯგუფის ექსპერიმენტების შედეგებს. აღვნიშნავთ, მხოლოდ, რომ პირველი ჯგუფის ექსპერიმენტებში b -ს გათვალისწინებამ გამოიწვია ნალექწარმოქმნის პროცესების დაჩქარება, ღრუბლის სიმძლავრისა და მოსულ ნალექთა რაოდენობის გაზრდა. უნდა აღინიშნოს, რომ კონვერგენციის ზონაში წარმოქმნილი ღრუბლის წყალშემცველობა მისი მაქსიმალური განვითარების მომენტში 3-ჯერ და მეტად აღემატება იგივე მომენტისათვის შიდამასიური ღრუბლის წყალშემცველობას.

მეორე ჯგუფის რიცხვით ექსპერიმენტებში კონვექციურ ღრუბელთა წარმოშობის ინიცირებას ვაწარმოებთ $t = 0$ მომენტში არამდგრადად სტრატოფიცირებული ატმოსფეროს ფენის ორ სხვადასხვა წერტილში მძლავრი სითბური იმპულსის ჩართვით, რომელიც აღიწერება შემდეგი გამოსახულებით:

$$T' = T_0' \left[1 - \frac{(x - x_0)^2}{x_0^2} \right] \left[1 - \frac{(z - z_0)^2}{z_0^2} \right] \quad (3)$$

პირველი იმპულსისათვის $T_0' = 4^{\circ}K$, $x_0 = 3$ კმ და $z_0 = 1.5$ კმ, ხოლო მეორესათვის $T_0' = 5^{\circ}K$, $x_0 = 9$ კმ, $z_0 = 1.5$ კმ. სითბური იმპულსი (3) მოქმედებდა მხოლოდ იმ წრის შიგნით, რომლის ცენტრია (x_0, z_0) წერტილი, ხოლო რადიუსი ტოლია 3 კმ-ის. ამ წრის გარეთ ტემპერატურის შემფოთება ნულის ტოლია. რაც შეეხება ტემპერატურის, წნევის და ფარდობითი ტენიანობის სიმაღლის მიხედვით საწყის განაწილებას, იგი აღებული იყო 1977 წლის 18 სექტემბრის სოფელ რუისპირის (კახეთი) რადიოზონდის მონაცემების მიხედვით. აღნიშნული მეტეოლეიმენტების ვერტიკალური განაწილება მოცემულია ცხრ.1-ში. ამ დღეს განვითარდა ფრონტალური ტიპის კონვექციური ღრუბელი, რომლის სიმაღლემ მაქსიმალური განვითარების მომენტში მიაღწია 13 კმ-ს. ვინაიდან ხსენებული ზონდირება მოხდა ცივი ფრონტის გავლის მომენტში, ამიტომ (1) ფორმულაში მსხვილმასშტაბიანი კონვერგენციის ფონური ნაკადისათვის აღებული იქნა $b = 10^{-4}$ წმ⁻¹.

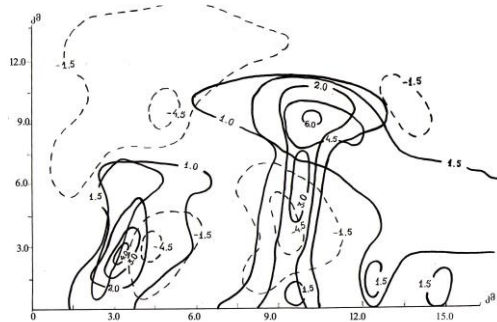
ნახ.1 და ნახ.2-ზე მოცემულია იმ ექსპერიმენტების შედეგები, რომელთათვის შესაბამისად $b = 0$ და $b = 10^{-4}$ წმ⁻¹. ორივე ნახაზი შეესაბამება ღრუბელთა მაქსიმალური განვითარების მომენტს. ნახაზებზე მსხვილი უწყვეტი წირი წარმოადგენს ჯამური წყლიანობის იზოხაზს, წვრილი უწყვეტი მრუდი აღნიშნავს $w > 0$ შესაბამის იზოხაზს, ხოლო წყვეტილი - $w < 0$ შესაბამის იზოხაზს. ღრუბლის პერიფერიულ ნაწილში არსებული სუსტი დადმავალი ნაკადები ნახაზებზე გამოსახული არ არის.

ცხრილი 1. სოფ. რუისპირის (კახეთი, სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახური) 1977 წლის 18 სექტემბრის 12 საათის რადიოზონდის მონაცემები

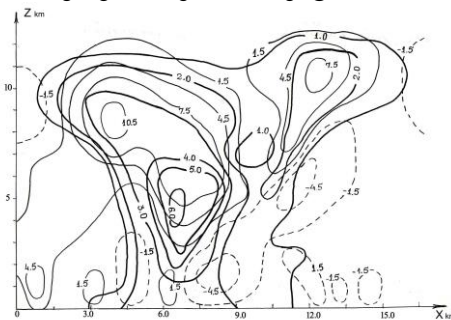
სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან H მ	წნევა P ჰპა	ტემპერატურა $T^{\circ}K$	ტემპერატურის გრადიენტი გრად/100მ	ფარდობითი ტენიანობა %
0	955	297,36		65
440	908	291,56	1,32	70
740	876	288,66	0,97	73
940	856	287,76	0,45	79
1000	850	287,36	0,67	80
1440	807	284,56	0,64	83
1940	760	281,76	0,56	85
2440	715	278,36	0,68	85
2610	700	277,16	0,71	85
3240	648	274,16	0,48	77
3440	632	272,16	1,00	73
4440	557	264,16	0,80	71
5260	500	257,96	0,77	57
5440	488	257,36	0,33	57
6440	427	250,36	0,70	53
6910	400	247,16	0,68	51
7440	372	242,96	0,79	47
8440	322	235,76	0,72	42
8930	300	231,96	0,78	41
9340	293	230,26	0,41	41
9440	278	230,16	0,10	41
10160	250	229,16	0,14	40
10440	240	228,56	0,21	40
11440	206	225,16	0,36	40
12440	177	220,16	0,50	40
14440	129	212,16	0,40	40

ნახ.1-დან ჩანს, რომ ყოველ სითბურ იმპულსს შეესაბამება თავისი ღრუბელი. ცხადია მძლავრი ღრუბელი წარმოიშვება ტემპერატურის საწყისი შემფოთების დიდი მნიშვნელობისათვის ($T_0' = 5^{\circ}K$). როგორც ხედავთ,

ამ ღრუბელთა გაერთიანება არ ხდება, ვინაიდან მძლავრი ღრუბლის კონვერგენციის არე არ ემთხვევა სუსტი ღრუბლის დივერგენციის არეს [1]. საწყისი იმპულსების კოორდინატების გათვალისწინებით ვღებულობთ, რომ ღრუბელთა ცენტრებს შორის მანძილი 6 კმ-ია. ამიტომ ისინი ურთიერთქმედებენ და განსხვავებულ წნევათა ძალების გავლენით იძენენ ასიმეტრიულ სახეს (ნახ.1).



ნახ.1 შიდამასიური პროცესების დროს წარმოქმნილი გროვა ღრუბლების სისტემა მაქსიმალური განვითარების მომენტში.



ნახ.2 კონვერგენციულ ნაკადში წარმოქმნილი გროვა ღრუბელი, მაქსიმალური განვითარების მომენტში.

მასშტაბები ნახაზზე: ჰორიზონტალურად 2 სმ – 1.5 კმ ვერტიკალურად 1.2 სმ – 1 კმ, $d = 1.5$ კმ

იმ შემთხვევაში, როცა $b > 0$ (ნახ.2) მაქსიმალური განვითარების მომენტისათვის ორი ღრუბლის ნაცვლად გვაქვს ერთი მძლავრი ღრუბელი. მართალია, ამ ღრუბლის შიგნით დაიკვირვება ცალკეული უჯრედები, მაგრამ დენის წირების განლაგებამ აჩვენა, რომ იგი სიმეტრიულია. თანახმად [1,2] შრომებისა, ეს მიგვიჩვენებს იმაზე, რომ გვაქვს ერთი მრავალუჯრედიანი ღრუბელი, რომელიც, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დამახასიათებელია ფრონტალური პროცესებისათვის. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ დიდმასშტაბიანი კონვერგენციის გათვალისწინებით მიღებული ღრუბლის მასშტაბები (ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ზომები, ნახ.2) ბევრად აღემატება შიდამასიური წარმოშობის ღრუბლის ზომებს (ნახ.1). როცა $b > 0$, ხვედრითი წყლიანობა რაიმე მომენტისათვის ერთი რიგით მეტია, ვიდრე $b = 0$ შემთხვევაში იგივე დროისათვის მიღებული ორივე ღრუბლის ხვედრით წყლიანობათა ჯამი. ამრიგად გაერთიანების შედეგად მიღებულ ღრუბელში კონვექციური მოძრაობის და ნალექწარმოქმნის პროცესის ინტენსივობა მკვეთრად იზრდება.

მსგავსი შედეგები მოგვცა იმ რიცხვითმა ექსპერიმენტებმა, რომლებისათვის $b > 0$ და ვითვალისწინებთ დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურის დღეღამურ სვლას. ამ შემთხვევაში მცირე სიმძლავრის ღრუბლები, რომლებიც წარმოიქმნებიან თერმიკების შეერთებით, სწრაფად ჯგუფდებიან ე.წ. კლასტერების (გროვა ღრუბელთა თავმოყრა) სახით, ერწყმიან ერთმანეთს და უკვე 2 სთ ფიზიკური დროის შემდეგ გვაძლევენ ორ მძლავრ გროვა-საწვიმარ ღრუბლებს. თითოეული მათგანი მსგავსია ნახ.2-ზე წარმოდგენილი ღრუბლის კონფიგურაციისა. აღსანიშნავია არსებითი განსხვავება მოდელირების შედეგებში შესაბამისად $b = 0$ და $b > 0$ შემთხვევებისათვის. [4] შრომაში მიღებულია, რომ როცა $b = 0$ დაიკვირვება ორიარუსიანი გროვა ღრუბელი. $b > 0$ შემთხვევაში კი ღრუბელი იკავებს თითქმის მთელ ტროფოსფეროს და ორიარუსიანი ღრუბლიანობა არ წარმოიქმნება. როცა $b > 0$ ღრუბლის მახასიათებელი სიდიდეები აღარაა დამოკიდებული დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურის დღეღამური სვლის პარამეტრებზე, რაც დამახასიათებელი იყო $b=0$ შემთხვევისათვის. ამასთან მნიშვნელოვნად (დაახლოებით 3-ჯერ) გაიზარდა ნალექთა ინტენსივობა.

ამგვარად, მათემატიკურმა მოდელირებამ დაადასტურა ის ძირითადი ფაქტები, რომლებიც ცნობილია სავალე-ექსპედიციური დაკვირვებებიდან. კერძოდ, დადგენილი იქნა, რომ დიდმასშტაბიანი კონვერგენციული ნაკადები, რომელიც დამახასიათებელია ციკლონებისა და ფრონტებისათვის, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ გროვა ღრუბლების სივრცითი ზომების გაზრდაზე. თუ შიდამასიური კონვექციური ღრუბლის დამახასიათებელ სივრცითი მასშტაბების ფორმირებაში მთავარი როლი ენიჭება იმ თერმიკების ურთიერთშერწყმას, რომლებიც განლაგებული არიან თითქმის ერთი ვერტიკალის სხვადასხვა სიმაღლეზე, ციკლონური

წარმოშობის ღრუბელთა ($b > 0$) მახასიათებელი მასშტაბის ფორმირებაში ძირითადი როლი ეკუთვნის ერთი და იგივე სიმაღლეზე გვერდი-გვერდ მდებარე ღრუბელთა შეერთების პროცესს. ამ შემთხვევაში ღრუბელთა დაახლოებას ხელს უწყობს დიდმასშტაბიანი კონვერგენციული ნაკადები. როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს (ნახ.2), ღრუბელთა სრულ შერწყმას ადგილი არა აქვს და ამიტომ შეერთების შემდეგ ღრუბელი ინარჩუნებს მრავალუჯრედოვან სტრუქტურას. მასხადამე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მრავალუჯრედოვანი კონვექციური ღრუბელი წარმოიშვება ცალკეული გროვა ღრუბლების გაერთიანებით.

ლიტერატურა REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. ნ.ბეგალიშვილი, გ.რობიტაშვილი, ნ.ჯაფარიძე, თ.რობიტაშვილი, ნ.ჩახვაშვილი. კონვექციურ ღრუბელთა ურთიერთქმედების გამოკვლევა. საქ. მეცნ აკადემიის ჰმი-ს შრომები, ტ.101, 1998.
2. ნ.ბეგალიშვილი, გ.რობიტაშვილი, ნ.ჯაფარიძე, თ.რობიტაშვილი. მრავალუჯრედოვანი გროვა ღრუბლის რიცხვითი მოდელი. საქ. მეცნ. აკადემიის ჰმი-ს შრომები, ტ.104, 2001.
3. Мазин И.П., Шметер С.М. Облака, строение и физика образования. Л., Гидрометеиздат, 1983.
4. Чахвашвили Н.К., Васкевич Л.А., Мальбахов В.М., Робиташвили Г.А. Численное моделирование ансамбля кучевых облаков с учетом процессов осадкообразования. Труды ЗапСибНИГМИ, вып. 89, 1989.
5. Kuo H.L., Further studies of the parameterization of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. J. Atm. Sci., V.22, N1,1965.
6. Ogura Y. Modeling studies of convection. Advances in Geophysics. V.28, 1985.

უაკ 551.576

ატმოსფეროში ფართომასშტაბიანი კონვერგენციის გავლენა კონვექციურ ღრუბელთა გაერთიანებაზე. /ნ.ბეგალიშვილი, ვ.მალბახოვი, გ.რობიტაშვილი, თ.რობიტაშვილი/ ჰმი-ს შრომათა A კრებული. -2009.-ტ.114.- გვ.11-18, ქართ.; რეზ. ქართ.; ინგლ.; რუს.

ატმოსფეროში ჰაერის ნაკადების ფართომასშტაბიანი კონვერგენციის ფონზე შესრულებულია კონვექციურ ღრუბელთა ურთიერთქმედების თავისებურებების გამოკვლევა. დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყენებულია კონვექციურ ღრუბელთა სისტემის ევოლუციის ორგანზომილებიანი თერმოჰიდროდინამიკური მოდელი, მიკროფიზიკური პროცესების პარამეტრიზებით. რიცხვითი ექსპერიმენტების საფუძველზე განსაზღვრულია კონვერგენციის არეში კონვექციური უჯრედების დაახლოების და გაერთიანების პირობები, რასაც მოჰყვება მძლავრი მრავალუჯრედიანი კონვექციური ღრუბლის წარმოშობა და ნალექწარმოქმნელი პროცესების ინტენსიფიკაცია.

UDC 551.576

The influence of largescaled convergence on the aggregation of convective clouds in the atmosphere. /N.Begalishvili, V.Malbachov, G.Robitashvili, T.Robitashvili /Transactions of the Georgian Institute of Hydrometeorology. -2007. - ტ.114. - p.11-18 - Georg.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

The interaction features of the convective clouds in the atmosphere against a background of the large-scale convergence of air flows have been investigated. To solve the assigned task two-dimensional thermohydrodynamical model of the evolution of the convective cloud system is used, considering parameterization of the microphysical processes. On basis of the numerical experiments the convergence and aggregation conditions of convective cells have been determined in the convergence area, resulted in the formation of powerful multicellular convective cloud and intensification of precipitation formatting processes.

УДК 551.576

Влияние широкомасштабной конвергенции в атмосфере на объединение конвективных облаков. /Н.А.Бегалишвили, В.М.Мальбахов, Г.А.Робиташвили, Т.Г.Робиташвили/ Сб.Трудов Института Гидрометеорологии Грузии-т.114;-с.11-18 - Груз. рез.Груз.; Англ.; Русск.

Выполнено исследование особенностей взаимодействия конвективных облаков на фоне широкомасштабной конвергенции воздушных потоков в атмосфере. Для решения поставленной задачи применена двухмерная термогидродинамическая модель эволюции системы конвективных облаков с параметризацией микрофизических процессов. На основе численных экспериментов определены условия сближения и объединения конвективных ячеек в области конвергенции, приводящие к образованию мощного многоячейкового конвективного облака и интенсификации осадкообразующих процессов.