

გელაძე გ., რობიტაშვილი გ.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
 სხირტლაძე ნ.

თსუ გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტი
 უკ 551.51

ღრუბელ- და ნისლწარმოქმნის მოდელირება ატმოსფეროს მეზომასშტაბურ სასაზღვრო ფენაში

განვიხილოთ ატმოსფეროს მეზომასშტაბური სასაზღვრო ფენაში (ამსფ) ღრუბელ და ნისლწარმოქმნის პროცესი სითბური "კუნძულის" პერიოდული გათბობის დროს (ასეთია დაახლოებით ტემპერატურის დღე-ღამური სვლა). საბაზო განტოლებები, საწყისი და სასაზღვრო პირობები იგივეა, რაც (გელაძე გ. შ. და სხვ., 2008)-ში.

განვიხილოთ ასეთი შემთხვევა (ვარიანტი # 1):

ფარდობითი ტენიანობა $f = 0.95$, ატმოსფეროს სტრატოფიკაცია $S=0.005$ გრად/მ, ხოლო ქვეფენილის ტემპერატურა A

$$F(x,t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 32km, \quad 48km < x \leq 80km, \\ 5 \sin \omega t & 32km \leq x \leq 48km, \end{cases} \quad \text{სადაც } \omega \text{ დედამიწის დღე-ღამური}$$

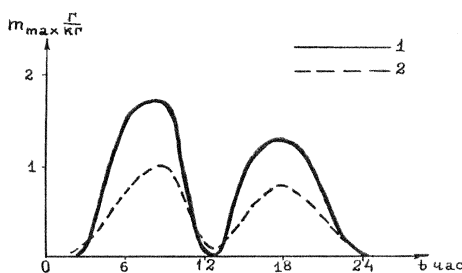
ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა.

კონტროლის სახით მოვიყვანოთ (გელაძე გ. შ. და სხვ., 2008)-ში განხილული "ნოტიო" მოდელი, ვარიანტი # 2, რომელიც #1 ვარიანტისაგან განსხვავდება მხოლოდ ქვეფენილის ტემპერატურით (თერმული "კუნძულის" მუდმივი გათბობა):

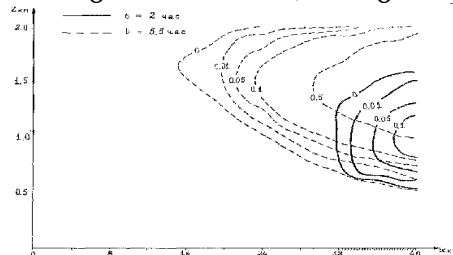
$$F(x,t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 28km, \quad 52km \leq x \leq 80km, \\ 5 & 28km \leq x \leq 32km, \quad 48km \leq x \leq 52km \\ 10 & 32km \leq x \leq 48km, \end{cases}$$

ვარიანტი #1, #2-ისაგან განსხვავებით გვაძლევს საშუალებას, ერთის მხრივ, განვიხილოთ უფრო მეტად რეალური მეტეოპროცესი (მხედველობაში გვაქვს ტემპერატურის დღე-ღამური სვლა) და, მეორეს მხრივ, ჩავატაროთ ნისლისა და ფენა ღრუბლის ევოლუციის სრული ციკლის (ჩასახვა, განვითარება და დაშლა) მოდელირება.

ნახ.1 და 2 მოცემულია მაქსიმალური წყლიანობის (v_{max}), მაქსიმალური წყლიანობის დონის ($z(v_{max})$), ღრუბლისა და ნისლის ზედა და ქვედა საზღვრების დროზე ფუნქციონალური დამოკიდებულება. ღრუბელი წარმოიქმნება ჰაერის მასების აღმავალი დენების შედეგად, რომელსაც ადგილი აქვს ქვეფენილის გათბობისას (დღის საათები), ნისლი კი - მისი გაციების შედეგად (ღამის საათები). ბუნებრივია, მოდელირებული ნისლი მიეკუთვნება რადიაციულს.



ნახ.1. ღრუბლისა და ნისლის m_{max} -ის ფუნქციონალური დამოკიდებულება სხვადასხვა ფონური ტემპერატურებისათვის (ვარიანტი #1). 1 - როცა $z=0$, $T=300K^{\circ}$; 2- როცა $z=0$, $T=290K^{\circ}$.



ნახ.2. $z(m_{max})$ -ის, ღრუბლისა და ნისლის ზედა და ქვედა საზღვრების ფუნქციონალური დამოკიდებულება დროზე (ვარიანტი #1). 1 - ნისლის $z(m_{max})$; 2 - ნისლის ზედა საზღვარი, 3 - ღრუბლის ზედა საზღვარი, 4 - ღრუბლის ქვედა საზღვარი, 5 - ღრუბლის $z(m_{max})$.

დრუბელი ჩაისახება $t=3$ სთ-ზე (ფიზიკური დრო იგულისხმება და არა ასტრონომიული), თავის მაქსიმალურ სიმძლავრეს ($m_{max}=1,7$ გ/კგ) აღწევს $t=9$ სთ-ზე (მრუდი 1), ხოლო $t=12$ სთ-ზე ის იშლება. ნისლი ჩაისახება $t=14$ სთ-ზე, თავის მაქსიმალურ სიმძლავრეს ($m_{max}=1,3$ გ/კგ) აღწევს $t=18$ სთ-ზე, ხოლო $t=24$ სთ-ზე განიბნევა. ამრიგად, დრუბელი არსებობს 9 სთ-ის, ხოლო ნისლი 10 სთ-ის განმავლობაში.

დრუბლის ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრები, როგორცაა m_{max} , $z(m_{max})$, დრუბლის ქვედა და ზედა საზღვრები დროის მიხედვით სინქრონულად იცვლებიან. რაც შეეხება ნისლის $z(m_{max})$ და ნისლის ზედა საზღვარს, ისინი დროის მიხედვით არ იცვლებიან. დრუბლის m_{max} , $z(m_{max})$ დროზე დამოკიდებულების გრაფიკებიდან ჩანს, რომ ისინი (მათი მრუდები) "ჩამორჩებიან" დროში იმ დროს, როდესაც ნისლის m_{max} გრაფიკს ასეთი ჩამორჩენა არა აქვს. ბუნებრივია, ეს გამოწვეულია იმით, რომ ნისლი ახლოა ქვეფენილთან. აღსანიშნავია, რომ ამ ჩამორჩენის დროისა და დრუბლის სიმაღლის საშუალებით შეიძლება მიახლოებით შევა-ფასოთ ჰაერის აღმავალი დენების სიჩქარე.

ნისლის ზედა საზღვარი არის 400 მ-ზე, ხოლო მაქსიმალური წყლიანობა $m_{max}=1,3$ გ/კგ, რაც კარგ თანხვედრაშია მეტეომონაცემებთან (Воронцов П. А., 1960, Матвеев Л.Т., 1976). რადიაციულ ნისლში, განსხვავებით ადვექციურისაგან, $z(m_{max})$ თავისი განვითარების საწყის სტადიაზე არის ქვეფენილის ზედაპირზე, მაგრამ უკვე განვითარებულ ნისლში მისი დონე იწევს მაღლა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ჩამოყალიბებულ ნისლში ცივდება არა ქვეფენილის ტემპერატურა, არამედ თვით ნისლის ზედა ნაწილი, რაც აძლიერებს ნისლწარმოქმნას სწორედ ამ ნაწილში. ჩვენი მოდელი ამ ფაქტს ვერ აღწერს, რაც გამოწვეულია ამოცანის დასმაში რიგი ისეთი ფიზიკური პროცესების უგულვებელყოფით ან არასრულყოფილი გათვალისწინებით, როგორცაა კვაზისტაციონარული ქვეშრე, ქვეფენილის რადიაციული რეჟიმი, რიცხვითი სქემის დიდი ვერტიკალური ბიჯი.

ქვეფენილის როგორც პერიოდული, ისე მუდმივი გათბობისას (ვარიანტები #1,2), დრუბლის $z(m_{max})$ არის მის ზედა ნაწილში, ხოლო იმავე დონის მახლობლობაში ხვედრითი ტენიანობა მცირდება წყლის ორთქლის კონდენსაციის გამო. ორივე ეს ფაქტი კარგ თანხვედრაშია ე. წ. "საშუალო" დრუბლის მონაცემებთან (Гоцца Н. И., Шошин В. М., 1969).

ორივე ვარიანტის ბაზაზე შესწავლილ იქნა ზოგიერთი მნიშვნელოვანი ფიზიკური პარამეტრის გავლენა დრუბელ- და ნისლწარმოქმნაზე.

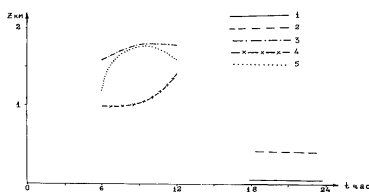
ფარდობითი ტენიანობის ზრდა იწვევს დრუბელ- და ნისლწარმოქმნის ინტენსიურ განვითარებას. კერძოდ, დრუბლის წარმოქმნის მომენტი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მასზე: #2 ვარიანტში იმ მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის, (რომლის დროსაც იწყება წყლის ფაზური გარდაქმნა), გაზრდა 0.90-დან 0.98-მდე 3 სთ-ით აჩქარებს ამ პროცესს.

გამოკვლეულ იქნა ატმოსფეროს სტრატეფიკაციის გავლენა განსახილველ პროცესზე. დრუბლის განვითარება, ისევე როგორც ამსფ-ის "მშრალი" თერმოჰიდროდინამიკა მასზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული. #2 ვარიანტის საფუძველზე ჩატარებულ იქნა რიცხვითი ექსპერიმენტების სერია დრუბლის წარმოქმნის მომენტის სტრატეფიკაციაზე ფუნქციონალური დამოკიდებულების დასადგენად. აღმოჩნდა, რომ მას აქვს დაახლოებით წრფივი ხასიათი (როცა $S_{min}=0.003$ გრად/მ დრუბლის წარმოშობა ხდება ≈ 60 წთ, ხოლო როცა $S_{max}=0.008$ გრად/მ - ≈ 100 წთ.).

ნახ.3 მოცემულია ხვედრითი წყლიანობის, m , იზოხაზები ინვერსიის შემთხვევაში (ვარიანტი #2):

$$S = \begin{cases} 0.005 & 0 \leq z < 1600m, \\ 0.015 & 1600m \leq z \leq 2000m, \end{cases}$$

$t=2$ სთ და $t=5.5$ სთ-თვის. ნახ.3 და ნახ.1 (გელაძე გ. შ. და სხვ., 2008) შედარებიდან ჩანს, რომ დრუბლის ქვედა საზღვარი, მისი ჰორიზონტალური ზომა და მაქსიმალური წყლიანობის დონე $z(m_{max})$ ერთნაირია, მაგრამ მისი ვერტიკალური ზომა შემცირდა 400მ-ით და იზოხაზები მკვეთრად შემჭიდროვდნენ. როცა $S=0.005$ გრად/მ, $m_{max}=0.21$ გ/კგ, ხოლო ინვერსიის დროს $m_{max}=0.17$ გ/კგ. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ ინვერსიის დროს ამსფ-ის ზედა საზღვრის გავლენა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ ის არ იწვევს თვლის არამდგრადობას. $t=5.5$ სთ-ზე მაქსიმალური წყლიანობა გვაქვს 1600 მ-ზე და $m_{max}=1.42$ გ/კგ.

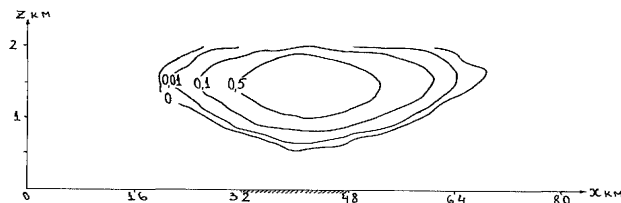


ნახ.3. m (გ/კგ)-ის იზოხაზები ინვერსიის დროს (ვარიანტი #2).

შესწავლილ იქნა ამსფ-ის ფონური ტემპერატურის გავლენა დრუბელ ნისლწარმოქმნაზე. ეს პროცესი გარდა ატმოსფეროს სტრატეფიკაციისა (ფაქტიურად, ფონური ტემპერატურის ვერტიკალური

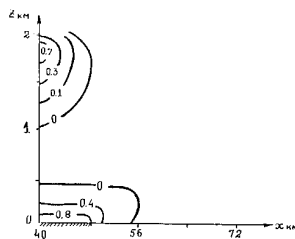
გრადიენტისა $\gamma = -\partial T / \partial z$), დამოკიდებულია თვით ფონურ ტემპერატურაზე, T . ნახ.1 მოყვანილია მაქსიმალური წყლიანობის ფუნქციონალური დამოკიდებულება დროზე სხვადასხვა T -თვის (უწყვეტი გრაფიკი - როცა $z=0$ $T=300K^{\circ}$, წყვეტილი - როცა $z=0$ $T=290K^{\circ}$). ორივე შემთხვევაში $S=0.004$ გრად/მ (ვარიანტი #1). ნახაზიდან ჩანს, რომ ფონური ტემპერატურის $10 K^{\circ}$ -ით შემცირებისას ღრუბლის მაქსიმალური წყლიანობა შემცირდა 0.6 გ/კგ-ით, ხოლო ნისლისა - 0.4 გ/კგ-ით, ოღონდ როგორც ღრუბლის, ასევე ნისლის არსებობის ციკლი იზრდება 1 სთ-ით. ეს კარგ თანხვედრაშია ცნობილ მეტეომონაცემებთან (Матвеев Л.Т., 1976). ეს თანხვედრა უკეთესია ტემპერატურული "კუნძულის" სინუსოიდალური გათბობისას, ვიდრე მისი მუდმივი გათბობისას, რადგან უნდა ვიფიქროთ, რომ ქვეფენილის ზედაპირის გათბობა ტემპერატურის "დღე-ღამური" სვლით უფრო ბუნებრივია. რაც შეეხება ღრუბლის სიმძლავრეს, მის ქვედა და ზედა საზღვრებს, ისინი თერმული "კუნძულის" როგორც მუდმივი, ისე პერიოდული გათბობისას უმნიშვნელოდ არიან დამოკიდებული ფონური ტემპერატურაზე.

გამოკვლევული გვაქვს გეოსტროფული ქარის (u_g) როლი ღრუბლის ფორმირებაზე. განვიხილოთ ვარიანტი #2, ოღონდ ზემოთმოყვანილი ინვერსიისა და ამსფ-ის ასეთი ზედა სასაზღვრო პირობის შემთხვევაში: როცა $z=0$ $u = u_g = 2$ მ/წმ. ნახ.4 მოცემულია ხვედრითი წყლიანობის იზოხაზები, როცა $t=5.5$ სთ. თუ შევადარებთ ნახ.3 და 4, შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი: გეოსტროფული ქარი არღვევს პროცესის სიმეტრიას; იზოხაზები შემჭიდროვდნენ; ფენა ღრუბელმა "წაინაცვლა" 4 კმ-ით ქარის მიმართულებით; მაქსიმალური ხვედრითი წყლიანობა შემცირდა 0.3 გ/კგ-ით, რადგან ღრუბელი დაიძრა სითბური "კუნძულიდან", საიდანაც იგი "იკვებებოდა".



ნახ.4. m (გ/კგ)-ის იზოხაზები გეოსტროფული ქარის დროს

რიცხვითი ექსპერიმენტების საშუალებით იმიტირებულ იქნა ჰაერის ლოკალური ცირკულაციის მეტად საინტერესო რეჟიმი, რომლის დროსაც გვაქვს ერთდროულად ღრუბელიცა და ნისლიც, ნახ.5. ეს შესაძლებელია იგივე პარამეტრებისათვის, რომლებიც გვაქვს #1 ვარიანტში, ოღონდ როცა $f=0.98$. როცა $t=15$ სთ, ღრუბლის დაშლისა და ნისლის გაძლიერების დროს, ღრუბლის მაქსიმალური წყლიანობა არის 0.7 გ/კგ, ხოლო ნისლისა - 0.9 გ/კგ.



ნახ.5. m (გ/კგ)-ის (ვარიანტი #1), როცა $f=0.98$, $t=15$ სთ.

წინამდებარე მოდელის საფუძველზე ამჟამად ვმუშაობთ ნისლზე ხელოვნური ზემოქმედების რიცხვით მოდელირებაზე. მიღებული გვაქვს გარკვეული შედეგები.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов П. А., 1960: Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. Гидрометеоиздат, Ленинград, 451 стр.
2. გელაძე გ., რობიტაშვილი გ., მდინარაძე ჯ., სხირტლაძე ნ. 2008: ფენა ღრუბლის მოდელირება თერმული "კუნძულის" მუდმივი გათბობისას., ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები (წინამდებარე კრებული).
3. Гойса Н. И., Шошин В. М., 1969: Экспериментальная модель радиационного режима "среднего" слоистообразного облака. Тр. Укр.н/илин-та, вып. 82, с. 28-41.
4. Матвеев Л. Т., 1976: Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеоиздат, Ленинград, 640 стр.

უაკ 551.51

ღრუბელ- და ნისლწარმოქმნის მოდელირება ატმოსფეროს მეზომასშტაბურ სასაზღვრო ფენაში /გ.გელაძე, გ.რობიტაშვილი, ნ.სხირტლაძე/. ჰმი-ს შრომათა კრებული. –2009.-ტ.114 –გვ.46-51. ქართ.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

რიცხვითი მეთოდების საშუალებით მოდელირებულია ლოკალური ცირკულაცია სითბური “კუნძულის” თავზე პერიოდული გათბობის პირობებში, ფენა ღრუბლისა და რადიაციული ნისლის განვითარების სრული ციკლი; გამოკვლეულია ცალკეული მეტეოროლოგიური პარამეტრების (ფარდობითი ტენიანობა, გეოსტროფული ქარი, ატმოსფეროს სტრატოფიკაცია და ფონური ტემპერატურა) გავლენა საკვლევი პროცესის ფორმირებაზე. გამოვლენილია და რაოდენობრივად შეფასებული პირდაპირი და უკუკავშირი მეზოსასა-ზღვრო ფენის თერმოდინამიკისა და ღრუბელ- და ნისლწარმოქმნას შორის.

UDC 551.51

The simulation of fog- and cloudformation in the mesoscale boundary layer of atmosphere. / Geladze G., Robitashvili G., Skhirtladze N./ Transactions of the Institute of Hydrometeorology. 2009. –v.114,-p.46-51-Georg.-.Summ. Georg., Ing., Russ.

The local circulation of an air over heat “island” at its periodical warming and a complete cycle of development of a stratus cloud and radiational fog was simulated numerically. The influence of different meteorological parameters (relative humidity, stratification and background temperature of atmosphere, geostrophical wind) on the formation of the considered process was investigated. The direct and inverse connections between thermohydrodynamics and fog- and cloudformation were determined and quantitatively estimated.

УДК 551.51

Тумано- и облакообразование в мезомасштабном пограничном слое атмосферы. . /Геладзе Г. Ш., Робиташвили Г. А., Схиртладзе Н. М. / Сб. Трудов Института гидрометеорологии АН Грузии. – 2009.-т.114- с-46-51, -Груз. рез. Груз., Анг., Русск.

Численно смоделирована локальная циркуляция над тепловым “островом“ при ее периодическом нагреве, полный цикл развития слоистого облака и радиационного тумана; исследовано влияние отдельных метеорологических параметров (относительная влажность, стратификация и фоновая температура атмосферы, геострофический ветер) на формирование рассматриваемого процесса. Выявлены и количественно оценены прямая и обратная связи между термогидродинамикой мезопогранслоя и тумано- и облакообразованием.