

მ.ტატიშვილი, ნ.ბეგალიშვილი  
 ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
 უკვ 551.576

**ნალექწარმოქმნის ეფექტურობის გამოკვლევის ზოგიერთი შედეგი კონვექციური ღრუბლის ანალიზური მოდელის გამოყენებით**

წინამდებარე ნაშრომში განხილულია კონვექციური ღრუბლის გამარტივებული სივრცულად ერთგვაროვანი მოდელი, რომელიც წარმოადგენს თხევადი და მყარი ნალექების ჩანასახების –შედარებით მცირე ზომის წყლის წვეთებისა და ყინულის კრისტალების ერთობლიობას. ამ ნაწილაკთა შემდგომი გამსხვილება და ნალექების ფორმირება მათი კოაგულაციური ზრდით მიმდინარეობს. ორკომპონენტური დისპერსული გარემოსათვის, როგორცაა ღრუბლის წვეთების და ყინულის კრისტალების ერთობლიობა, კოაგულაციის კინეტიკის განტოლებათა სისტემას, თუ მათში დამატებით არსებობს ნაწილაკთა წყაროები, აქვს შემდეგი სახე [1]:

$$\frac{\partial n_1(V,t)}{\partial t} = -n_1(V,t) \int_0^\infty \sigma_{11}(V,U)n_1(U,t)dU - n_1(V,t) \int_0^\infty \sigma_{12}(V,U)n_2(U,t)dU + \frac{1}{2} \int_0^V \sigma_{11}(V-U,U)n_1(V-U,t)n_1(U,t)dU + \frac{M}{1-LN_2(0)t} n_1(V,t), \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_2(V,t)}{\partial t} = -n_2(V,t) \int_0^\infty \sigma_{21}(V,U)n_1(U,t)dU + \int_0^V \sigma_{21}(V-U,U)n_2(V-U,t)n_1(U,t)dU + LN_2(t)n_2(V,t). \quad (2)$$

განტოლებათა სისტემა აკმაყოფილებს შემდეგ საწყის პირობებს:

$$n_1(V,t)=n_1(V,0), \quad n_2(V,t)=n_2(V,0), \quad \text{როცა } t=0, \quad (3)$$

სადაც  $n_1(V,0)$ ,  $n_2(V,0)$  ცნობილი ფუნქციებია. ბოლო წევრები (1)-(2) განტოლებათა სისტემაში წარმოადგენენ ნაწილაკთა წყაროებს.  $LM, L$  მუდმივი სიდიდეებია, რომლებიც არეგულირებენ სისტემაში ნაწილაკების შესვლას ან გამოსვლას. აღნიშნული განტოლებათა სისტემის ანალიზური ამოხსნები მოყვანილია [1] შრომაში.

(1)-(2) განტოლებათა სისტემის ანალიზური ამოხსნების საშუალებით და ამოცანის საწყის პირობებზე დამოკიდებულებით, თხევადი და მყარი ნალექების წარმოქმნის ეფექტურობის გამოკვლევისთვის პირობითად შემოღებულია მსხვილი წვეთების და კრისტალების მინიმალური მოცულობები  $V_1$  და  $V_2$ . ხოლო მათი საშუალებით განისაზღვრება ნალექწარმოქმნის ეფექტურობის დამახასიათებელი კოეფიციენტები:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{W'(V_1,t)}{W_1(t)+W_2(t)}, & K_3 &= \frac{W_1'(V_1,t)+W_2'(V_2,t)}{W_1(t)+W_2(t)}, \\ K_2 &= \frac{W_2'(V_2,t)}{W_1(t)+W_2(t)}, & K_{32} &= \frac{W_1'(V_1,t)+W_2'(V_2,t)}{W_1(t)+W_2(t)}, \\ K_{22} &= \frac{W_{22}(V_2,t)}{W_1(t)+W_2(t)}, & K_4 &= K_1 + K_{22} - K_2. \end{aligned} \quad (4)$$

$K_1$ -აღწერს წვიმის წარმოქმნის ეფექტურობას;  $K_2$ -კრისტალების (სეტყვის ნაწილაკების) წარმოქმნის ეფექტურობას;  $K_{22}$ -კრისტალების (სეტყვის ნაწილაკების) და ხორხოშელას წარმოქმნის ეფექტურობას;  $K_3$ -წვიმის და სეტყვის წარმოქმნის ეფექტურობას;  $K_{32}$ -წვიმის, სეტყვის და ხორხოშელას წარმოქმნის ეფექტურობას;  $K_4$ -თხევადი ნალექის (წვიმა, ხორხოშელა) წარმოქმნის ეფექტურობას.  $W_{1,2}$  წარმოადგენს წყლიანობას და ყინულოვნობას შესაბამისად.

გამოთვლები ჩატარდა წვეთების და კრისტალების სხვადასხვა საწყისი სპექტრებისა და სიმძლავრის წყაროებისთვის

წყაროების დასახასიათებლად შემოტანილია ორი მარეგულირებელი პარამეტრი:

$$n = \frac{N_2(t_0)}{N_2(0)} = \frac{1}{1-LN_2(0)t_0}, \quad (5)$$

$$n' = \frac{W_1(t_0)}{W_1(0)} = \frac{(1-LN_2(0)t_0)^K}{\exp(-\sigma_{12}N_2(0)t_0)}, \quad (6)$$

სადაც  $t_0$  შეესაბამება ღრუბელში სეტყვის წარმოქმნის დროს-15წთ-ს.  $N_2(0), W_1(0)$  წარმოადგენენ კრისტალების კონცენტრაციას და წყლიანობას დროის საწყის მომენტში, როცა წყაროების მოქმედება ჯერ კიდევ არ ვლინდება.  $n, n'$  უჩვენებენ დროის ფიქსირებული მომენტისთვის როგორ შეიცვალა (გაიზარდა ან შემცირდა) წყლიანობა და კრისტალების კონცენტრაცია საწყის მომენტთან შედარებით, ანუ იმ მნიშვნელობებთან შედარებით, რომელიც მათ ექნებოდათ წყაროების არარსებობის შემთხვევაში.

ამოცანის საწყისი მონაცემებისათვის, რომლებიც მოცემულია ცხრილ 1-ში, განხილული იყო ორი შემთხვევა სხვადასხვა სიმძლავრის წყაროსათვის: 1)  $n=2, n'=10$ ; 2)  $n=10, n'=2$ ;

ცხრილი 1. ამოცანის საწყისი მონაცემები

$N_1(0) \text{ მ}^{-3}$	$W_1(0) \text{ გ/სმ}^3$	$N_2(0) \text{ სმ}^{-3}$	$W_2(0) \text{ გ/სმ}^3$
$2.9 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2.1 \cdot 10^{-12}$
$3.0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$2.0 \cdot 10^{-12}$
$3.4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2.6 \cdot 10^{-11}$
$1.2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2.8 \cdot 10^{-10}$

გამოთვლებიდან დადგინდა, რომ ამოცანის საწყის პირობებზე დამოკიდებულებით სისტემაში არსებული წყლიანობა გარკვეული თანაფარდობით გადანაწილება კრისტალებზე და წვეთებზე. წვეთების წყაროს მოქმედებით იზრდება როგორც თხევადი ნალექების რაოდენობა, ასევე სეტყვისაც. ხოლო კრისტალების წყაროს მოქმედება ზრდის უპირატესად სეტყვის კონცენტრაციასა და ყინულოვნობას.

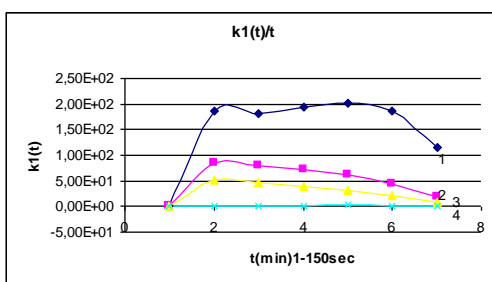
ყოველი სიმძლავრის წყაროსათვის არსებობს კრისტალების საწყისი კონცენტრაციის ისეთი მნიშვნელობა, როცა სეტყვის რაოდენობა მაქსიმალურია და შესაბამისად წვიმის-მინიმალური. ზოგიერთი საწყისი პირობისთვის ევოლუციის შედეგად ჩამოყალიბებული წვეთების და კრისტალების სპექტრები ორმოდალურია.

პირველი შემთხვევისთვის, როცა საწყისი წყლიანობა იყო  $1 \cdot 10^{-6}$  და  $1 \cdot 10^{-5} \text{ გ/სმ}^3$ , კრისტალებისთვის კრიტიკული აღმოჩნდა საწყისი კონცენტრაციების შემდეგი მნიშვნელობები:  $5 \cdot 10^{-4}$  და  $6 \cdot 10^{-5} \text{ სმ}^{-3}$ ; ხორხომელასთვის -  $5 \cdot 10^{-4} \text{ სმ}^{-3}$ . როცა საწყისი წყლიანობა იყო  $5 \cdot 10^{-5} \text{ სმ}^{-3}$  და კრისტალების საწყისი კონცენტრაცია შეადგენდა  $2 \cdot 10^{-5} \text{ სმ}^{-3}$ -ს, წვეთების კონცენტრაცია ყოველთვის მცირდება.

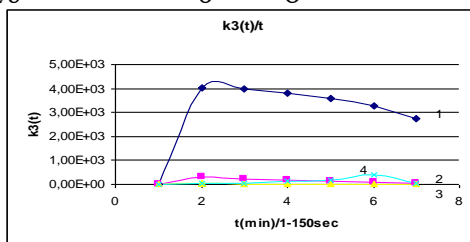
მეორე შემთხვევისთვის, კრისტალების კრიტიკული კონცენტრაციაა  $6 \cdot 10^{-5} \text{ სმ}^{-3}$ , ხორხომელასთვის კი  $2 \cdot 10^{-5} \text{ სმ}^{-3}$ . წვეთებისათვის, როცა საწყისი წყლიანობის მნიშვნელობა შეადგენდა  $10^{-6} \text{ გ/სმ}^3$ , კრიტიკული აღმოჩნდა კრისტალების კონცენტრაციის  $5 \cdot 10^{-4} \text{ სმ}^{-3}$  მნიშვნელობა.

საწყის პირობებზე დამოკიდებულებით ნალექწარმოქმნის ეფექტურობის კოეფიციენტები დროში სხვადასხვანაირად იცვლებიან. ნახაზებზე მოცემულია მათი დროზე დამოკიდებულება ოთხი საწყისი პირობისათვის ზემოთ მითითებულ ორ შემთხვევაში.

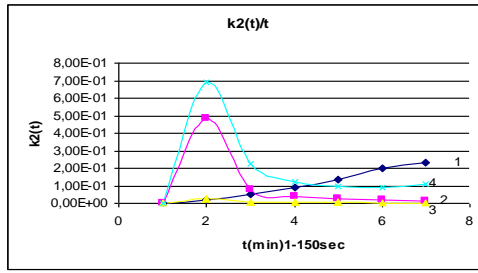
გამოთვლის შედეგების გათვალისწინებით შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები: არსებობს კრისტალების საწყისი კონცენტრაციის  $N_2(0)$ -ის ისეთი კრიტიკული მნიშვნელობა, რომ მასზე ნაკლები კონცენტრაციებისათვის ყინულის კრისტალები იზრდებიან სეტყვის საშიშ ზომებამდე, ხოლო მასზე უფრო დიდი კონცენტრაციების შემთხვევაში, ხდება სეტყვის ზომების შემცირება. წვეთების სხვადასხვა სიმძლავრის წყაროს მოქმედება იწვევს ამ კრიტიკული მნიშვნელობის გაზრდას, ხოლო კრისტალების წყარო-მის შემცირებას. სხვადასხვა საწყის პირობებზე დამოკიდებულებით კრისტალების სპექტრი ორმოდალურია, რაც შეიძლება აიხსნას გადაცივებულ დიდ წვეთებთან მათი კოაგულაციური ზრდით. წვეთების წყაროს სიძლიერის გაზრდა ხელს უწყობს წვიმის მატებას, ასევე დიდი ზომის კრისტალების და ხორხომელას წარმოქმნას და მათი კონცენტრაციების ზრდას. წვეთების სპექტრიც ზოგიერთი საწყისი პირობის შემთხვევაში, ასევე ორმოდალურია.



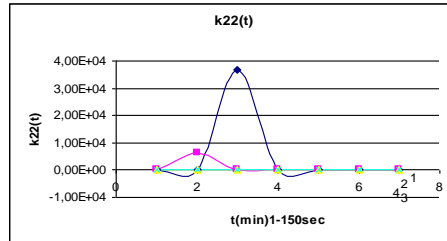
k1-ს დროზე დამოკიდებულება 4 საწყისი პირობისთვის როცა  $n=2$ ,  $n'=10$ .



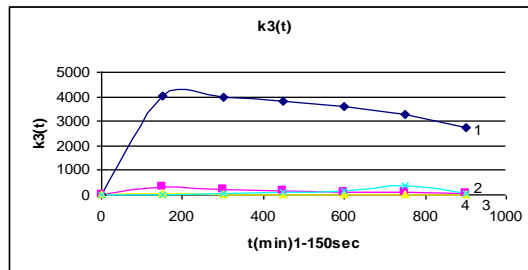
k3-ს დროზე დამოკიდებულება 4 საწყისი პირობისთვის როცა  $n=2$ ,  $n'=10$ .



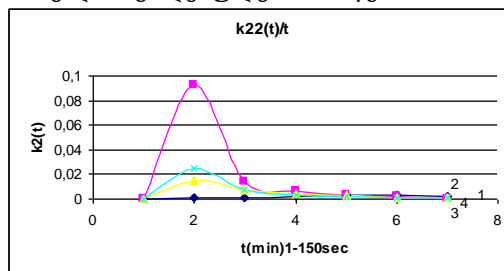
k2-ს დროზე დამოკიდებულება 4 საწყისი პირობისთვის, როცა  $n=2, n'=10$



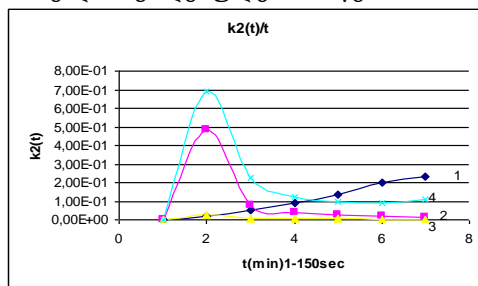
k22-ს დროზე დამოკიდებულება 4 საწყისი პირობისთვის, როცა  $n=2, n'=10$



k3-ს წარმოქმნის ეფექტურობის დროზე დამოკიდებულება, 4 საწყისი პირობისთვის, როცა  $n=10, n'=2$



k22-ს წარმოქმნის ეფექტურობის დროზე დამოკიდებულება 4 საწყისი პირობისთვის, როცა  $n=10, n'=2$



კრისტალების წარმოქმნის ეფექტურობის დროზე დამოკიდებულება 4 საწყისი პირობისთვის, როცა  $n=10, n'=2$

### ლიტერატურა- REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ნ.ბეგალიშვილი, მ.ტატიშვილი. ორკომპონენტური დისპერსული გარემოსთვის კოაგულაციის კინეტიკის გამოკვლევა ნაწილაკთა წყაროების გათვალისწინებით. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის 150 წლისთავისადმი მიძღვნილი შრომათა კრებული. თბილისი, „მეცნიერება“, 1997.

უკ 551.576

**ნალექწარმოქმნის ეფექტურობის გამოკვლევის ზოგიერთი შედეგი კონვექციური ღრუბლის ანალიზური მოდელის გამოყენებით.**/მ.ტატიშვილი, ნ.ბეგალიშვილი /. ჰმი-ს შრომათა კრებული. -2009.-ტ.114 -გვ.39-45. ქართ.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ნაშრომში განხილულია კონვექციურ ღრუბელში თხევადი და მყარი ნალექების ფორმირება კოაგულაციის კინეტიკური მოდელის ანალიზური ამოხსნების საშუალებით სხვადასხვა საწყისი პირობების შემთხვევაში საღრუბლო ნაწილაკთა წყაროების გათვალისწინებით. გამოთვლების შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკულად. დადგენილია ყინულის კრისტალების საწყისი კონცენტრაციის კრიტიკული მნიშვნელობები საღრუბლო ნაწილაკთა სხვადასხვა სპექტრისათვის. კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ნაკლები საწყისი კონცენტრაციების შემთხვევაში აღინიშნება “საშიში” ზომების სეტყვის ნაწილაკების წარმოქმნა და ზრდა, თხევადი ნალექების შემცირება. კრიტიკულზე მეტი კონცენტრაციების შემთხვევაში- “საშიში” ზომების სეტყვის ნაწილაკები მცირდება, შესაბამისად წვიმის რაოდენობა მატულობს.

UDC 551.576

**On the some investigation results of precipitapion efficiency using analytical model of convective cloud.**/M.Tatishvili, N.Begalishvili/ Transactions of the Institute of Hydrometeorology. 2009. -v.114,-p.39-45.-Georg.-Summ. Georg., Ing., Russ. In the report there has been discussed the formation of liquid and solid precipitations growth processes in convective cloud using analytical solutions of kinetic model of coagulation considering cloud particle sources for different initial conditions. The calculation results were presented graphically. The initial critical values of ice crystals have been identified for a range of spectra of cloud particles. In case of initial concentrations less than critical ones the formation and growth of “dangerous” size hail particles and decreasing of liquid precipitations have been detected. When concentrations were above critical values the “dangerous” size hail particles have been reduced and rain amount increased accordingly.

УДК 551. 576.

**Некоторые результаты исследования эффективности осадкообразования с использованием аналитической модели конвективного облака.**/М.Татишвили, Н.Бегалишвили/ сб. Трудов Института гидрометеорологии АН Грузии -2009.-т.114- с-39-45, -Груз. рез. Груз., Анг., Русск.,

В работе исследован процесс формирования жидких и твердых осадков в кучевом облаке с помощью аналитических решений кинетической модели коагуляции для различных начальных условий, с учётом источников облачных частиц. Результаты вычислений представлены графически. Установлены начальные критические значения концентрации ледяных кристаллов для различных спектров облачных частиц. При начальных концентрациях ниже критического значения отмечается формирование и рост градовых частиц «опасных» размеров, уменьшение количества жидких осадков. При концентрациях выше критического-концентрация града «опасных» размеров уменьшается, соответственно увеличивается количество дождя.