

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ВОДНОСТИ В КУЧЕВО-ДОЖДЕВОМ ОБЛАКЕ ПРИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Крюкова С.В.<sup>1</sup>, Восканян К.Л.<sup>1</sup>, Симакина Т.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, tatiana.simakina@gmail.com*

**Аннотация.** Выполнено моделирование водности по сечению кучево-дождевого облака при изменении высоты уровня интенсивной кристаллизации, вызванным активным воздействием.

Ключевые слова: моделирование водности, уровень интенсивной кристаллизации, активные воздействия на облака.

Целенаправленное экологически безопасное управление атмосферными процессами требует понимания и прогнозирования динамики термодинамических параметров этих процессов. Численные эксперименты позволяют изучить особенности конкретных методов воздействия [1-4].

Определяющим для понимания физики явлений в облаке является распределение по вертикали и горизонтали жидкокапельной водности, от которой зависят размеры и концентрация градин в кучево-дождевом облаке. Для ее расчетов данной работе использовалась струйная модель облачной конвекции [5]. Распределение водности по горизонтали от центра струи и по высоте облака аппроксимировано выражениями [6]:

$$q_r = \frac{3}{2} \cdot q_z \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^{1/2}$$

$$q_z = \beta \cdot \rho_{\text{вх}} \cdot z^{1/2} \exp \left[ - \left( \frac{z - h_0}{h_{\text{ик}} - h_0} \right)^\varepsilon \right],$$

где  $R$  – радиус струи,  $r$  – расстояние от оси,  $h_0$  – высота нулевой изотермы в облаке,  $h_{\text{ик}}$  – высота уровня интенсивной кристаллизации;  $\beta$  и  $\varepsilon$  – параметры, индивидуальные для каждого облака,  $\rho_{\text{вх}}$  – плотность воздуха,  $z$  – высота в метрах.

Радиус струи на каждой высоте вычислялся по формуле:

$$R_i = R_{i-1} \sqrt{\frac{w_{i-1}}{w_i} \exp \left( C \frac{h_i}{R_{i-1}} \right) \exp(10^{-4} h_i)}$$

где  $w$  – вертикальная скорость в облаке,  $C$  – постоянная вовлечения ( $C = 0,22$ ).

Воздействие на облако кристаллизующим реагентом промоделировано изменением высоты интенсивной кристаллизации  $h_{\text{ик}}$ . Параметр  $h_{\text{ик}}$  отражает естественный процесс замерзания капель, он зависит от скорости вертикальных токов и распределения капель по размерам [6].

Моделирование проводилось при следующих исходных данных:  $h_0 = 2000$  м,  $R = 4000$  м,  $\beta = 0,0001$ ,  $\varepsilon = 2$ ,  $h_i = 500$  м, высота верхней границы облака – 10 км, высота нижней границы облака – 500 м.

В результате проведенных расчетов получены двумерные массивы распределения водности по сечению облака для высоты  $h_{\text{ик}}$  в интервале 5500 – 8000 м с шагом 500 м. В табл. 1 представлены высота расположения максимума водности в каждом массиве, значение максимальной водности и объем области с водностью больше 8 г/м<sup>3</sup>.

При уменьшении высоты уровня интенсивной кристаллизации, вызванным активным воздействием, наблюдается уменьшение значений водности, понижение высоты и уплотнение области в центре облака с наибольшей водностью.

Для наглядности влияния активного воздействия на эволюцию водности на базе массивов сформированы изображения, на которых область наибольшей водности при понижении высоты интенсивной кристаллизации опускается, меняя форму и цвет.

**Таблица 1** – Результаты моделирования водности при изменении высоты уровня интенсивной кристаллизации

$h_{нк}$ , км	$q_{max}$ , г/м <sup>3</sup>	$h_{qmax}$ , км	$V_{q>8}$ , км <sup>3</sup>
8	10,1	4,5	27,1
7,5	9,9	4	25,4
7	9,6	3,5	24,0
6,5	9,4	3,5	21,9
6	9,1	3,5	20,1
5,5	8,8	3	18,3

Распределения вертикальной скорости и водности облака с высотой могут быть далее использованы при численном моделировании процессов осадкообразования.

#### Литература

1. Кузнецов А.Д., Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Анализ хладореагентов при искусственных воздействиях на облака // Труды ГГО им. А.И. Воейкова, 2015. - вып. 578. - С. 47-58.
2. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. К вопросу о фазе гомогенно образующихся зародышей при активных воздействиях на облака. // Общество. Среда. Развитие. – 2018. - №2. – С. 113-116.
3. Крюкова С.В. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Учебное пособие. – СПб.: Астерион, 2018. – 60 с.
4. Бекряев В.И., Крюкова С.В. К вопросу о гомогенной нуклеации при фазовых превращениях воды в атмосфере. // Современные проблемы науки, образования и производства. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, специалистов, преподавателей и молодых ученых: 29 мая 2009г. - Нижний Новгород: НФ УРАО. – 2009. - том. 2. - С. 418-419.
5. Бекряев В.И. Некоторые вопросы физики облаков и активных воздействий на них. – СПб: РГГМУ, 2007. – 337 с.
6. Бекряев В. И. Практикум по курсу "Физические основы воздействия на атмосферные процессы" Л.: Гидрометиздат, 1991. – 144 с.

## SIMULATION OF THE WATER CONTENT EVOLUTION IN A CUMULONIMBUS AT ARTIFICIAL CLOUD MODIFICATION

**Kryukova S.V.<sup>1</sup>, Voskanyan K.L.<sup>1</sup>, Simakina T.E.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia,  
tatiانا.simakina@gmail.com

**Abstract:** The water content over the cross section of a cumulonimbus cloud with a change of the intense crystallization level height caused by the artificial cloud modification was simulated.

**Key words:** water content simulation, intensive crystallization level, artificial cloud modification.