

С.Б. Хучунаева

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт», г.Нальчик

УДК 551.578

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ГРАДА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОБЛАЧНЫХ ЧАСТИЦ

Введение

На возникновение и протекание большинства метеорологических явлений и процессов влияет большое количество факторов, взаимодействующих между собой в различных сочетаниях и условиях. Справедливо это и для такого сложного процесса, как зарождение и рост града. Необходимо отметить, что в настоящее время мы еще не располагаем достаточной информацией о микроструктурных характеристиках градовых облаков, полученных прямыми методами. Поэтому возникает необходимость изыскания связей между состоянием атмосферы, доступными характеристиками градовых облаков и структурой (природой) выпавших градин.

Важную информацию о микропроцессах в конвективных облаках несут в себе естественные градины, поэтому интерпретация структуры градин является одной из основных методов исследования механизма образования града. Из-за трудностей установления однозначной связи между строением и условиями образования града как в теоретическом, так и экспериментальном плане, результаты работ, проводимых в этом направлении, носят в основном качественный характер. Поэтому исследования направленные на установление количественной связи между характеристиками града и облака являются актуальными. Такую связь можно получить на основе интерпретации данных о содержании изотопов водорода в слоях града и их распределении в облачной среде.

Для интерпретации инструментальных измерений изотопного состава градин необходимо знать распределение изотопов в облаке. Распределение изотопов водорода в облаке определялось с помощью численной модели.

Результаты численной модели распределения изотопного состава облачных частиц

С использованием модели облака были выполнены расчеты распределения изотопов водорода в градовом облаке по полям температуры и влажности.

Моделирование эволюции полей облачных параметров проводилось в прямоугольной области, которая представляет собой вертикальное сечение некоторой части атмосферы. Область простирается по горизонтали на 30 км, а по вертикали на 15 км. Шаг сетки по оси x составлял 200 м, по оси z - 100 м.

Облако инициировалось заданием теплового импульса у поверхности земли с перегревом $\Delta T=1$ оС.

Расчеты выполнены для 10 зондов в дни с градовыми процессами [47].

В эти дни в районе репрезентативности зонда проходили процессы с выпадением крупного града, при этом отдельные градины с дорожек были проанализированы на содержание изотопов водорода.

На основе расчетов с применением уравнений модели, были получены оценочные значения относительных концентраций изотопов водорода и кислорода (без учета кристаллизационных процессов) в различных точках вертикального разреза облака. Момент времени, за который представлены данные, соответствует стадии развития облака.

Результаты расчетов влажности, температурного поля, концентрации изотопов водорода в узлах пространственной сетки представлены в таблице 1.

Изотопный состав для каждого градового процесса разный. Это обуславливается разными движениями воздушных масс.

Разработанная модель с детальным учетом термодинамических и микрофизических процессов позволяет более детально исследовать распределение изотопов в облаке, что в свою очередь дает возможность более адекватно интерпретировать результаты наземных измерений состава и структуры градин.

Результаты изотопного состава градин, полученные при моделировании, в сопоставлении с данными натурных измерений позволят также улучшить описание в моделях формирования изотопного состава облачных частиц различных типов.

Таблица 1. Поля влажности, температуры и концентрации изотопов водорода на 35-й минуте развития облака

z, км	x, км									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Влажность, г/кг										
8	0.03	0.12	0.15	0.14	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
7.5	0.26	0.51	0.55	0.53	0.48	0.36	0.23	0.13	0.07	0.03
7	0.41	0.75	0.69	0.66	0.55	0.44	0.36	0.26	0.15	0.07
6.5	0.34	0.70	0.62	0.57	0.44	0.34	0.29	0.23	0.15	0.08
6	0.28	0.61	0.50	0.40	0.38	0.21	0.17	0.15	0.11	0.06
5.5	0.20	0.47	0.40	0.23	0.11	0.08	0.08	0.08	0.07	0.04
5	0.05	0.29	0.28	0.43	0.04	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02
4.5	0.02	0.15	0.16	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Температура, 0С										
8	-38.6	-38.7	-38.4	-38.1	-38.0	-38.0	-38.1	-38.2	-38.4	-38.5

7.5	-33.8	-33.7	-33.3	-33.1	-33.0	-33.0	-33.1	-33.2	-33.3	-33.5
7	-28.9	-28.7	-28.4	-28.1	-28.0	-28.1	-28.2	-28.3	-28.4	-28.5
6.5	-24.1	-23.7	-23.5	-23.1	-23.1	-23.2	-23.3	-23.4	-23.5	-23.6
6	-19.2	-18.9	-18.6	-18.2	-18.3	-18.4	-18.6	-18.6	-18.7	-18.8
5.5	-14.3	-14.1	-13.8	-13.4	-13.4	-13.6	-13.8	-13.9	-13.9	-14.0
5	-9.4	-9.2	-9.0	-8.6	-8.6	-8.8	-9.0	-9.1	-9.1	-9.1
4.5	-4.4	-4.3	-4.1	-3.8	-3.7	-4.0	-4.1	-4.2	-4.2	-4.3
Концентрация изотопов водорода, ‰										
8	-156,6	-178,6	-175,6	-171,6	-162,7	-156,3	-152,9	-150	-147,1	-144,5
7.5	-146,4	-167,2	-164,2	-161,2	-152,6	-146,2	-142,8	-139,9	-136,9	-134,5
7	-136,1	-154,4	-151,5	-147,3	-142,3	-136	-132,6	-129,6	-126,7	-124,3
6.5	-124,4	-139,6	-137,6	-135,1	-131,3	-125,4	-121,9	-118,9	-116,2	-114,1
6	-111,9	-123,3	-122,5	-121,2	-117,7	-113,5	-110,5	-107,7	-105,3	-103,6
5.5	-98,7	-106	-106,1	-105,4	-103,4	-100,3	-97,8	-95,7	-93,9	-92,9
5	-89,8	-93,3	-94	-93,7	-92,9	-91,1	-89,5	-88,3	-87,6	-87,3
4.5	-82,3	-83,2	-83,5	-83,4	-83,2	-82,6	-82,3	-82,1	-82,0	-82,0

Интерпретация результатов модели

Прежде чем перейти к интерпретации изотопного состава градин, более подробно остановимся на изменении изотопного состава облака по высоте в разные периоды времени развития облака.

В облаке одинаковое содержание изотопов может соответствовать разным уровням образования слоев града. Поэтому при использовании изотопных данных для интерпретации условий роста града необходимо знать, какое распределение изотопов в облаке ответственно за формирование изотопного состава того или иного слоя или зародыша градин. Для этих целей можно воспользоваться данными скорости восходящего потока и данными распределения изотопов в облаке. Практическая реализация предложенного способа заключается в том, что сначала определяют, при каких восходящих потоках мог образовываться тот или иной слой градины. Для этого, зная диаметр слоя от центра градины и ее плотность, определяют скорость установившегося падения градины V_g из равенства сил тяжести и аэродинамического сопротивления:

$$m_g g = S C_{\psi} \times \rho_B \frac{V_g^2}{2}, \quad (1)$$

где m_g – масса градины; g – ускорение силы тяжести; S – миделево сечение градины; C_{ψ} – коэффициент лобового сопротивления градины; ρ_B – плотность воздуха.

Для сферических градин:

$$m_g = \frac{1}{6} \pi D^3 \rho_g, \quad (2)$$

подставляя (2) в (1), получим:

$$V_g = \left(\frac{4}{3} \times \frac{\rho_g}{\rho_B} \times \frac{g}{C_{\psi}} \right)^{0.5} \times D^{0.5}, \quad (3)$$

где ρ_g – плотность градины; D_g – диаметр градины.

Прямые измерения скорости устанавливающегося падения градин с стробоскопическим фотографированием проводились в [13]. Было найдено, что скорость падения градины у поверхности земли (V'_g) определяется формулой:

$$V'_g = 11,45 \times D^{0.5}, \quad (4)$$

где D в см, V'_g в м/с.

Но, как видно из формулы (4), в общем случае скорость установившегося падения градины определенного размера зависит от ее плотности и коэффициента лобового сопротивления, которые различаются даже для градин одного и того же градового процесса.

Плотности градин для градобитий Северного Кавказа, где производились измерения [54], изменяются от $0,6 \times 103 \text{ кг/м}^3$ до $0,99 \times 103 \text{ кг/м}^3$.

Нами для расчетов бралось значение $\rho_g = 0,5 \times 103 \text{ кг/м}^3$ для крупяных зародышей, $\rho_g = 0,8 \times 103 \text{ кг/м}^3$ для градин, $\rho_g = 0,9 \times 103 \text{ кг/м}^3$ для капельных зародышей, которые соответствуют наиболее часто встречающимся значениям ρ_g .

Коэффициент лобового сопротивления C_{ψ} зависит от формы и шероховатости градин.

Более того, во время падения градин меняется их форма из-за неравномерного таяния. Коэффициент лобового сопротивления экспериментально определялся многими исследователями [34, 66, 67, 82, 106, 112]. Значения C_{ψ} находились в интервале от 0,45 для гладких сфер до 0,8 для эллипсоидальных градин с соотношением осей 1:0,5.

С целью корректного сравнения с известными данными и с учетом вышеописанных исследований для расчетов брались значения $C_{\psi} = 0,6$. Подставляя численные значения в (4), найдем выражение для определения установившейся скорости падения градин (V_t)

$$V_t = k \times \sqrt{D_G}, \quad (5)$$

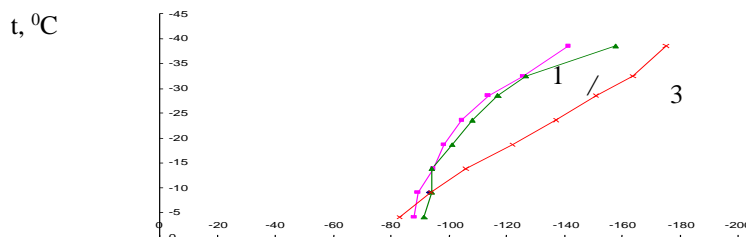
где $k = 96,06 \text{ м/2 с}^{-1}$ для крупяного зародыша; $k = 131,99 \text{ м/2 с}^{-1}$ для градин; $k = 140 \text{ м/2 с}^{-1}$ для капельных зародышей.

Сравнение определения скорости по (4) и (5) показывает, что разница между V_t и V_t' не превышает 4 - 5%, что находится в пределах ошибки измерения скорости падения градин.

Для рассматриваемых в работе градовых процессов установившаяся скорость падения градин находится в пределах от 6 м/с до 20 м/с.

На основе вычисленных скоростей, предполагая, что градина растет при скоростях восходящего потока равны скорости ее установившегося падения, выбираем для каждого слоя или зародыша распределение изотопов по высоте. По ним на основе данных об изотопном составе зародыша или слоя определяем температурный или высотный уровень их образования.

На рисунке приводится распределение изотопов водорода для стадии развития 15, 25 и 35 минут (1, 2, 3) определенные выше описанным методом.



В рассматриваемом градовом процессе 27.05.2006г. содержание изотопов изменялось от -81‰ до -102‰, по модели температурный диапазон образования градин составляет $-5 \div -24 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Анализ условий роста градин из градового процесса 27.05.2006г. приведены в таблице 2.

Таблица 2. Температурные уровни образования зародышей и слоев градин.

№ градины	Типы слоя или зародыша	Температурный уровень по предложенной модели, $^{\circ}\text{C}$
1	Крупяной зародыш	-24
	Матовый слой	-17
	Прозрачный слой	-10,5
2	Капля	-14
	Прозрачный слой	-17
	Матовый слой	-13

Выводы

На основе анализа изменения распределения изотопов с высотой на разных стадиях развития облака показано, что слои и зародыши градин, образованные на разных уровнях, могут иметь одни и те же значения. Для их различия необходимо использовать характеристики градин, в частности, установившуюся скорость падения градин.

Разработанный метод исследования механизма градообразования позволяет восстановить условия образования и роста града.

Результаты можно использовать для количественной оценки температурных уровней образования зародышей и слоев градин, для определения траектории движения градин в облаке.

ლიტერატურა – REFERENCES-ЛИТЕРАТУРА

1. Тлисов М.И., Шаповалов А.В., Хучунаева С.Б. Численная модель формирования изотопного состава облачных частиц. // Метеорология и гидрология, Москва 2010г. №5.
2. Тлисов М.И., Шаповалов А.В., Хучунаева С.Б. Некоторые результаты использования изотопной модели для исследования условий зарождения и роста града. // Вторая конференция молодых ученых национальных гидрометеослужб государств – участников СНГ, «Новые методы и технологии в гидрометеорологии», Москва 2006 г.
3. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1969.
4. Орджоникидзе А.А. К вопросу о скорости падения града. // Труды Эльбрусской экспедиции / АН СССР, 1961, - т.2 (5).

5. Экба Я.А., Хоргуани В.Г., Тлисов М.И. Некоторые вопросы термодинамики града.// Труды ВГИ. – 1973. - вып. 24.
6. Экба Я.А. Некоторые вопросы аэродинамики свободно падающих градин.//Труды ВГИ. -1972 - вып. 21.
7. Friedman I., Machta L., Soller R. Water vapour exchange between a water droplet and its environment, J. Geophys. Res., 67, pp. 2761 – 2770, 1962
8. Strinham C.H., Simons D.V., Guy H.R. The behaviour of large particles falling in quiescent liquids.- G. Col. Sur. Parf. Paper 524 pp., Washington D.C., government Print Press, 1969, pp.36
9. Young R.G. Browning K.A. Wind tunnel tests simulated sperical hailstones with variable roughness.// J.Atm.Sci., 1967. - vol.24,№1.

უაკ: 551.578

სეტყვის წარმოქმნის მექანიზმის გამოკვლევა საღრუბლო ნაწილაკების იზოტოპური შედგენილობის რიცხვითი მოდელის საფუძველზე/ხუჩუნაევა ს./საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული -2011.-ტ.117.-გვ. 155-158.- რუს.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

მოცემულ ნაშრომში მოყვანილია საღრუბლო ნაწილაკების იზოტოპური შედგენილობის ფორმირების რიცხვითი მოდელის შედეგები. შემოთავაზებულია მოდელის მიღებული შედეგების ინტერპრეტაციის მეთოდი.

კვლევებით მიღებულმა შედეგმა აჩვენა, რომ შემუშავებული მიდგომა გამოიყენება ღრუბლებში იზოტოპური ანალიზის საფუძველზე სეტყვის ჩასახვისა და ზრდის მექანიზმის გამოკვლევისათვის.

UDC: 551.578

Researches of the mechanism of formation of hailstones on the basis of numerical model of isotope structure of cloudy particles./S.B. Khuchunaeva/Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Tekhnical University. -2011. - т.117. – pp. 155-158. - Russ.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

In the given work results of numerical model of formation of isotope structure of cloudy particles are resulted. The method of interpretation of the received results of model is offered.

Results of researches have shown that the developed approach is applicable for research of the mechanism of origin and hailstones growth in clouds on the basis of the isotope analysis.

УДК: 551.578

Исследования механизма образования града на основе численной модели изотопного состава облачных частиц./С.Б. Хучунаева/Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии. – 2011. – т.117. – с. 155-158. – Груз.; Рез. Груз., Анг.,Рус.

В данной работе приведены результаты численной модели формирования изотопного состава облачных частиц. Предложен метод интерпретации полученных результатов модели.

Результаты исследований показали, что разработанный подход применим для исследования механизма зарождения и роста града в облаках на основе изотопного анализа.