

В. Г. ХОРГУАНИ, М. И. ТЛИСОВ

О ПРИРОДЕ ЗАРОДЫШЕЙ И КОНЦЕНТРАЦИИ ГРАДИН В ОБЛАКАХ

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 1 IX 1975)

Основным источником информации о зародышах являются срезы градин, выпавших на поверхность земли, при этом структура срезов исследуется в поляризованном, проходящем и отраженном свете (зародышами мы называем однородное образование в центральной части градин, размером несколько миллиметров). Поскольку воздействие на градообразование основывается на создании искусственных конкурирующих зародышей града, изучение природы их имеет принципиальное значение. Дело в том, что если зародышами являются крупные переохлажденные капли в зоне аккумуляции, то достаточно их закристаллизовать, чтобы создать дополнительные искусственные конкурирующие зародыши ⁽¹⁾. Если же град зарождается на крупе, то образование конкурирующих зародышей града связано с возникновением искусственной крупы на частицах льдообразующих реагентов. А это достаточно длительный процесс.

Природа зародышей по сей день исследована плохо. Имеющиеся в литературе сведения в большинстве случаев носят описательный характер, статистически не обеспечены и в целом крайне противоречивы. Одни авторы зародышами градин считают крупные (миллиметровых размеров) капли, другие — крупу, выросшую на ледяных дендритах ⁽¹⁾. Вообще говоря, физически возможны оба пути образования зародыша, при этом зародыш-капля может образоваться в результате ее спонтанной кристаллизации или же контакта с отдельными кристаллами. Образование зародыша-крупы может происходить на крупных кристаллах в результате сублимации водяного пара и коагуляции с переохлажденными облачными каплями.

Проведенные нами в вертикальной аэродинамической трубе эксперименты ⁽²⁾ по выращиванию всевозможных искусственных зародышей с последующим образованием на них градин позволили выявить характерные черты зародышей разного типа. Зародыш замерзания крупная капля представляет собой прозрачный лед, в центре которого скапливается значительное количество пузырьков воздуха. При асимметричном замерзании капли имеет место и асимметричное расположение пузырьков относительно ее центра; размер и ориентация кристаллов при этом определяются температурой среды. Такой зародыш в срезе градин всегда легко выделить. Если же замерзание крупной капли происходит в результате столкновения с облачными кристаллами льда при концентрациях последних более 5 см^{-3} (при температуре выше -16°C), то кристаллы и пузырьки воздуха в зародыше расположены хаотически. Зародыш имеет более мелкозернистую структуру (зародыш назван смешанным). Такой зародыш в градине практически невозможно выделить. Нетрудно заметить, что вероятность образования таких зародышей в облаках при естественном развитии весьма мала. Зародыш-крупка, выращенный на кристаллах льда размером 100–200 мкм в трубе во взвешенном состоянии в потоке переохлажденного водного аэрозоля представляет собою матовый лед с низкой плотностью. Срезы зародышей в основном не прозрачны. Такой

зародыш легко выделяется в градинах. Если же на поверхности крупы образуется пленка воды, ею пропитывается и происходит вторичное замерзание, то кристаллическая структура похожа на структуру замерзшей капли, однако здесь пузырьки воздуха расположены хаотически по всему сечению зародыша. Такой зародыш также в срезах градин всегда можно выделить.

1. В 1972—1974 гг. на Северном Кавказе нами специально были собраны пробы 15 градобитий и на основе лабораторных экспериментов проанализированы срезы около $2 \cdot 10^4$ градин. Результаты приводятся в табл. 1.

Таблица 1

№№ п.п.	Дата и район выпадения града	Среднекубиче- ский диаметр града D_3 , см	N, %		
			зародыш-крупa	зародыш- крупная капля	
1	11 VI 1972 г.,	Краснодар- ский край КБАССР » » » » » Краснодар- ский край	0,7	67	33
2	30 V		1,2	63	37
3	13 VI		1,4	57	43
4	22 VI		1,6	81	19
5	29 VI		1,8	86	14
6	1 VII		3,2	45	55
7	28 VIII		2,0	68	32
8	29 VI		1,5	86	14
9	13 VI 1973 г.	»	1,0	74	26
10	26 VI	»	0,9	61	39
11	13 VI 1974 г.	»	1,3	64	36
12	15 VI	»	3,8	80	20
13	23 VI	»	0,95	47	53
14	9 VII	»	2,2	68	32
15	19 VI	КБАССР	1,1	33	67

Таблица показывает, что во всех пробах рассматриваемых градобитий зародышами градин являются как крупa, так и крупная капля. При этом зародыш-крупa в 12 градобитиях преобладает над зародышем-крупная капля. В среднем же зародыш-крупa составляет 65%, зародыш-крупная капля 35%. По-видимому, аналогичная картина имеет место при всех градовых явлениях ⁽³⁾. Смешанные зародыши наблюдаются чрезвычайно редко, в пробах некоторых градобитий их вообще не обнаруживается.

На рис. 1 приводится зависимость числа зародышей-крупa от размера градин D . Рисунок показывает, что с увеличением D увеличивается доля зародышей-крупa, как по осредненным данным (точки 1), так и для отдельных выборок градобития (кривые 2—4). Из этого следует, что, по-скольку при прочих равных условиях размер градин определяется временем нахождения их в облаке ⁽¹⁾, зародыш-крупa, по-видимому, образуется раньше, чем зародыш-крупная капля. Тем более, что, как показывают исследования последних лет (например, ⁽⁴⁾), в мощных конвективных облаках даже при $t = -10^\circ \text{C}$ содержится значительное количество крупных (200—300 мкм) кристаллов, которые в результате сублимации и гравитационной коагуляции с переохлажденными облачными каплями могут быстро превратиться в крупa-зародыш градины ⁽⁵⁾. Последующее образование на них градин в основном будет определяться структурой вертикальных потоков в облаке. Зародыши-крупные капли, по-видимому, возникают позже в процессе перехода облака в градовую стадию, по крайней мере, при скоростях вертикального потока более 8—10 м/сек.

2. Прямые измерения концентрации градин в облаках отсутствует из-за технических трудностей. Оценки показывают (например, ^(6, 7)), что концентрация градин в облаке лежит в пределах от доли единицы до нескольких десятков на 1 м^3 . Представляется, что при всем несовершенстве наиболее доступным путем определения концентрации градин является

восстановление ее в облаке по характеристикам слоя града, выпавшего на поверхность земли. Для этого необходимо принять, что слой града, выпавший на поверхность земли, был сосредоточен в столбе переохлажденной части облака и в процессе выпадения генерации града над этим местом не происходит. Возможность такого допущения вытекает из схемы образования града ⁽¹⁾ (выпадение града происходит в результате обрушения в облаке накопившихся градин). Об этом свидетельствует также известный факт, что выпадение града происходит за короткий промежуток времени, при котором быстро оседает радиолокационная вершина облака.

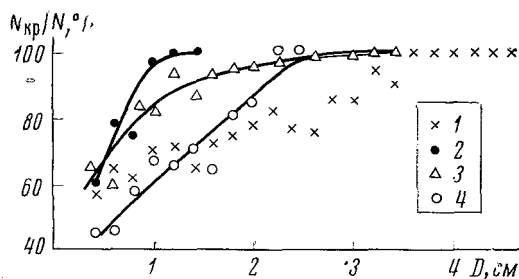


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость числа зародышей-круп от размера градин. 1 — осреднение значения по 8 пробам градобитий. Остальные точки соответствуют пробам градобитий: 11 VI 1972 г. (2); 29 VI 1972 г. (3); 13 VI 1974 г. (4)

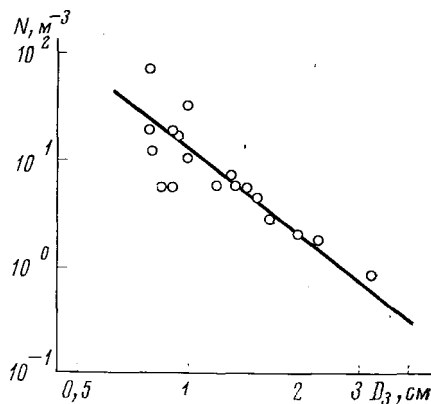


Рис. 2

Рис. 2. Изменение концентрации градин в облаке в зависимости от D_3 . Точки соответствуют экспериментальным данным, сплошная линия — формуле (2)

Помимо этого, продолжительность выпадения града сопоставима со временем, затрачиваемым градиной на падение из облака до поверхности земли. Вместе с тем это допущение в какой-то мере является спорным и затрагивает механизм образования града вообще.

Итак, если на поверхности земли образуется слой града толщиной h , то концентрацию градин N в облаке можно определить из выражения

$$N = 6\kappa h / \left[\pi H \int_0^{\infty} D^3 n(D) dD \right], \quad (1)$$

$\kappa = 0,75$ — коэффициент упаковки градин, $H = H_v - H_0$, где H_v , H_0 — соответственно высоты вершины градиного очага и нулевой изотермы, $n(D)$ — нормированная функция распределения градовых частиц по размерам. Конечно, этот путь определения N весьма несовершенен, однако другим, более точным, мы не располагаем.

На рис. 2 приводится зависимость N от диаметра зародыша по данным 19 градобитий на Северном Кавказе. Значение H_v определяли по РЛС с $\lambda = 10,0$ см, H_0 — по радиозонду. За $n(D)$ брали логарифмически-нормальный закон ⁽⁸⁾. Максимальная ошибка в определении, оцененная нами, составляет 70%.

Экспериментальные данные хорошо аппроксимируются эмпирической зависимостью

$$N = A D_3^{-\alpha}, \quad (2)$$

где A — постоянная, $\alpha = 2,5$.

Среднеквадратичное отклонение между наблюдаемыми и вычисленными по формуле (2) величинами $\lg N$ равно 0,20, при этом для $D_3 > 1$ см от-

клонение практически равно нулю. Можно полагать, что разброс точек при $D_3 < 1$ см обусловлен более интенсивным таянием градин меньших размеров при падении в толще теплой атмосферы. Это явление не всегда удается точно учитывать.

Как видно из рис. 2, значение величины N лежит в интервале $0,3-70 \text{ м}^{-3}$, при этом прослеживается важная закономерность: чем больше D_3 , тем меньше концентрации градовых частиц в облаке. Наименьшими значениями концентрации градин характеризуются катастрофические градобития. В целом же концентрация градин на два—три порядка меньше концентрации льдообразующих ядер в атмосфере, а также кристаллов в зоне образования и роста градин. Это обстоятельство указывает на селективный характер роста градовых частиц, при этом, по-видимому, значительная часть потенциальных зародышей, до образования на них градин достаточных размеров, выносятся восходящими потоками за пределы облака и тем интенсивнее, чем мощнее процесс градообразования.

Высокогорный геофизический институт
Нальчик

Поступило
26 VIII 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. К. Сулаквелидзе, Ливневые осадки и град, Л., Гидрометеопздат, 1967.
- ² М. И. Тлисов, В. Г. Хоргуани, Тр. Высокогорн. геофизич. ин-та, в. 29, 122 (1975).
- ³ Ch. Knight, N. Knight, J. Atm. Sci., v. 31, № 4, 1174 (1974). ⁴ P. V. Hobbs, *ibid.*, v. 29, № 2 (1969). ⁵ G. Vali, R. Schaell, J. Rech. Atm., v. 5, № 2, 87 (1971). ⁶ D. Atlas, F. H. Ludlam, Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 87, 523 (1961). ⁷ М. Т. Абшаев, Тр. Высокогорн. геофизич. ин-та, в. 3, 191 (1966). ⁸ В. Г. Хоргуани, М. И. Тлисов, Физика атмосферы и океана, т. 10, № 4, 440 (1974).