

УДК 551.501.8:551.578.7

РАДИОФИЗИКА

Г. М. Айвазян

Обнаружение начала градообразования—перехода жидких капель в лед в облаках по радиолокационному отражению субмиллиметровых волн

(Представлено чл-корр. АН Армянской ССР Р. М. Мартirosяном 26/X 1987)

Существующий в настоящее время метод обнаружения града в облаке, основанный на различии радиолокационного отражения от воды и льда (¹), позволяет обнаружить град, когда размеры градин уже близки к сантиметру, т. е. их размеры уже велики, а само различие в отражаемости не превышает одного порядка. Этого явно недостаточно для обнаружения и успешной борьбы с градом. Очевидно, ее следует начинать в зачаточном состоянии—с началом появления льда в облаке. Но из-за отсутствия полосы поглощения льда в микроволновой области, могущей служить индикатором появления льда в облаке, не было возможности это сделать. В настоящей работе предложено использовать «окно» прозрачности льда в субмиллиметровом диапазоне для этих целей. В ранней работе автора (²) показано, что при определенных условиях «окно» прозрачности подобно полосе поглощения и в «окне» можно получить интенсивное радиолокационное отражение, что и послужит индикатором появления льда в облаке. Ниже с помощью расчетов показана возможность использования вышеуказанного «окна» прозрачности льда для раннего обнаружения начала градообразования в облаке.

В последние годы в связи с использованием безымпакторных методов исследования микроструктуры в облаках обнаружены сверхкрупные капли радиусом от 85 до 1500 мкм и более (^{3–5}). Как показывают наблюдения, эти капли являются зачатками для образования града и осадков. Сведения об их физическом состоянии можно получить, исследуя распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн, поскольку размер сверхкрупных капель становится соизмеримым с длиной волны λ зондирующего излучения, где резонансные свойства капель выявляются наиболее ярко. Таким образом, борьбу с градом необходимо начинать с момента интенсивного роста сверхкрупных капель, перехода этих капель в переохлажденное состояние, покрытия капли ледяной коркой или же при переходе сверхкрупных капель непосредственно в лед—ледяную крупу.

Рассмотрим момент перехода сверхкрупных капель в лед и возможность его четкой фиксации. Как известно, во всем микроволновом диапазоне действительная часть комплексного показателя преломления льда постоянна и равна $n=1,78$, а мнимая часть x в длинновол-

новой части микроволнового диапазона определяется и рассчитывается по известным релаксационным формулам Дебая (1). С переходом в субмиллиметровый диапазон влияние релаксационной или ориентировочной поляризуемости уменьшается и вместе с этим χ льда стремится к нулю. Но с переходом в субмиллиметровую область спектра уже начинает играть роль резонансная поляризуемость, т. е. начинают играть роль полосы поглощения льда в ИК-области спектра. Эта часть поляризуемости—максимальная в ИБ области спектра—постепенно уменьшается и стремится также к нулю в субмиллиметровом диапазоне (6). Сложение двух вышеуказанных поляризуемостей приводит к тому, что функция $\chi(\lambda)$ льда в субмиллиметровом диапазоне в области 0,3—0,8 мм имеет «окно» (6).

Используя методику расчетов (4), мы рассчитали функции $\chi(\lambda)$ льда для 3 значений температур — 0, —10 и —20°C в диапазоне от 0,1 до 10 мм (для 20 значений λ). Данные приводятся на рис. 1. Как видно из рисунка, минимальное значение χ в «окне» имеет место при $t = -20^\circ\text{C}$ и равно $3,678 \cdot 10^{-5}$. Для $\lambda = 0,1$ мм величина $\chi = 1,059 \times 10^{-1}$, а для $\lambda = 10$ мм $\chi = 1,064 \cdot 10^{-3}$. Таким образом, различие в величинах χ при $\lambda = 0,1$ мм и в «окне» составляет более четырех порядков, а по сравнению с χ при $\lambda = 10$ мм различие около двух порядков. Такое изменение $\chi(t)$ может сказаться существенным образом

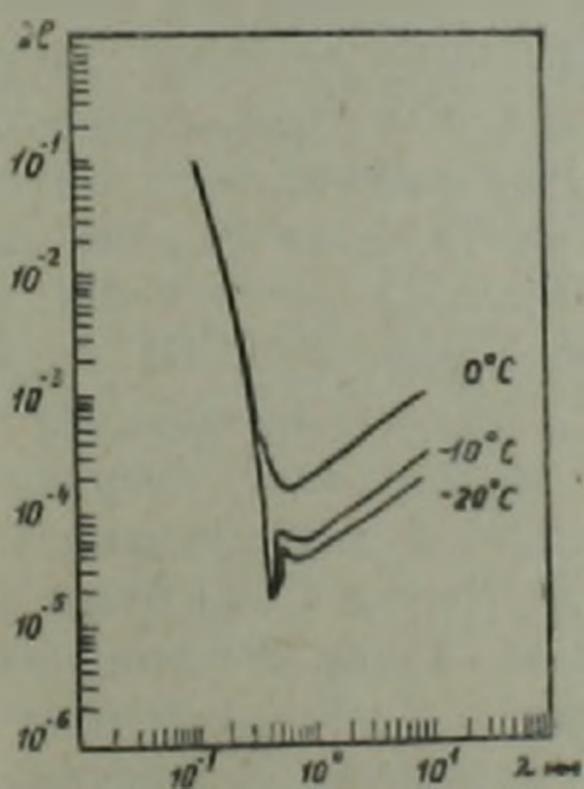


Рис. 1. Спектральные изменения показателей поглощения льда в субмиллиметровом диапазоне при различных температурах

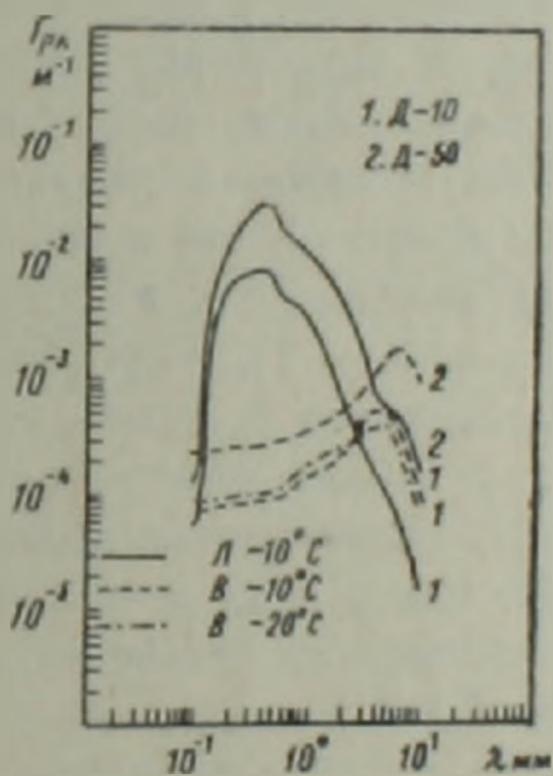


Рис. 2. Спектральные изменения коэффициентов радиолокационного отражения от переохлаждения и ледяных облаков

при расчетах радиолокационного отражения по дифракционной теории Ми (1,8).

Используя функции $\chi(\lambda)$ и $\mu(\lambda)$, рассчитанные нами для воды и льда в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах по методикам (1,8,9), и распределения сверхкрупных капель по размерам для основных типов облаков (3,4,5,10), мы рассчитали по точным формулам Ми спектральные коэффициенты: ослабления — $\Gamma_0(\lambda)$, рассеяния — $\Gamma_p(\lambda)$, поглощения — $\Gamma_n(\lambda)$ и радиолокационного отражения — $\Gamma_r(\lambda)$ в диапазоне λ от 0,1 до 10 мм и температур в облаке от +20 до —20°C, через каждые 10°.

На рис. 2 приводятся рассчитанные нами $\Gamma_{рл}(\lambda)$ лишь для облаков, дающие осадки с интенсивностью 10 мм/ч —Д—10 и с интенсивностью 50 мм/ч —Д—50. Как видно из рисунка, кривые $\Gamma_{рл}(\lambda)$ для льда при $t = -10^\circ\text{C}$ (обозначение на рисунке Л—10 $^\circ\text{C}$) в обоих случаях имеют максимум в области 0,3—0,8 мм. Здесь же нанесены кривые $\Gamma_{рл}(\lambda)$ для переохлажденной воды при $t = -10$ и -20°C (обозначение В—10 $^\circ\text{C}$ и В—20 $^\circ\text{C}$). Легко видеть, что в максимуме кривых $\Gamma_{рл}(\lambda)$ различие в величинах $\Gamma_{рл}$ для воды и льда составляет более двух порядков. Такое различие в радиолокационном отражении легко зафиксировать. Таким образом, можно утверждать, что если в облаке имеется какое-то распределение сверхкрупных капель по размерам в переохлажденном состоянии и они или сразу же переходят в состояние льда—ледяную крупу, или же покрываются коркой льда, то в «окне» прозрачности льда 0,3—0,8 мм будет наблюдаться увеличение коэффициента радиолокационного отражения более чем на два порядка. Этого вполне достаточно для уверенной фиксации момента перехода сверхкрупных капель в лед и установления начала градообразовательного процесса в облаке. Вместе с этим доказана реальность столь необходимого для борьбы с градом индикатора раннего обнаружения града—полосы интенсивного радиолокационного отражения льда в области 0,3—0,8 мм.

Как известно, в облаке наряду с радиолокационным отражением имеет место поглощение самими сверхкрупными ледяными частицами и жидкими каплями размерами диапазона 1—20 мкм, находящимися в переохлажденном состоянии. Для случаев, приведенных на рис. 2, расчеты показали, что в «окне» прозрачности льда $\Gamma_{п}$ льда на 3—4 порядка меньше $\Gamma_{рл}$, а $\Gamma_{п}$ переохлажденной воды — более чем на порядок меньше $\Gamma_{рл}$ льда. Таким образом, значение $\Gamma_{п}(\lambda)$ воды оказалось несколько большим. Однако не следует забывать, что в расчетах принимала участие очень малая концентрация сверхкрупных капель. В конвективных облаках концентрация сверхкрупных капель, переходящих в лед, довольно велика, поэтому и $\Gamma_{рл}(\lambda)$ будет значительно больше по сравнению с $\Gamma_{п}(\lambda)$ воды. Таким образом, рассмотренные $\Gamma_{п}(\lambda)$ весьма малы по сравнению с $\Gamma_{рл}(\lambda)$ льда и не могут явиться помехой для фиксации момента перехода сверхкрупных капель в лед. Затруднений, связанных с использованием предлагаемого нами «окна» льда в субмиллиметровом диапазоне, из-за больших потерь на поглощение водяным паром в приземном слое атмосферы в этом диапазоне можно избежать, если радиолокационное устройство, работающее на вышеописанном принципе, поместить на спутники или на летающие самолеты-лаборатории, которые будут облетать конвективные облака бурного развития с близкого расстояния. Со временем, в связи с развитием техники субмиллиметрового диапазона и появлением мощных приемно-передающих устройств, можно решить вопрос и наземных комплексов по определению начальной стадии градообразования в облаке.

Институт радиофизики и
электроники Академии наук
Армянской ССР

Սնրամիլիմետրանոց ալիքների ուղիուղկացիոն անդրադարձման մեքոդով ամպերում հեղուկ կաթիլների սառույցին անցնելու՝ կարկտագոյացման սկզբնավորման հայտնաբերումը

Աշխատանքում առաջարկված է, օգտագործելով սառցի թափանցելիության «պատուհանը» ըստ կլանման գործակցի ենթամիլիմետրանոց տիրույթում, հայտնաբերել կարկտագոյացման սկիզբը:

Հաշվարկներով ցույց է տրված, որ գերխոշոր կաթիլների անցումը գերսառնցված վիճակից սառցի կամ գերխոշոր կաթիլների պատումը սառցե կեղևով, բերում է «պատուհանում» ուղիուղկացիոն անդրադարձման գործակցի աճին ավելի քան երկու կարգով: Դա միանգամայն բավարար է սառցե սաղմերի վաղ հայտնաբերման համար ամպերում: Այսպիսով առաջարկված է և հաշվարկներով հաստատված է սառցի կամ կարկտի երևան գալու ալդրան անհրաժեշտ հայտանիշը ամպերում՝ սառցի թափանցելիության «պատուհանի» գոյությունը 0,3—0,8 մմ տիրույթում:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ В. И. Розенберг, Рассеяние и ослабление электромагнитного излучения атмосферными частицами, Гидрометеоиздат, Л., 1972. ² Г. М. Айвазян, Оптика и спектроскопия, т. 61, вып. 3 (1986). ³ Радиация в облачной атмосфере. Под ред. Е. М. Фейгельсон, Гидрометеониздат, Л., 1981. ⁴ И. П. Мазин, С. М. Шметер, Облака, строение и физика образования, Гидрометеониздат, Л., 1983. ⁵ H. R. Pruppacher, J. D. Klett, Microphysics of clouds and precipitation, D. Reidel Publ. Co. 1978. ⁶ P. S. Ray, Applied Optics, v. 11, №8 (1972). ⁷ К. С. Шифрин, Рассеяние света в мутной среде, Гостехиздат, М., 1951. ⁸ Д. Дейрмеджан, Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами, Мир, М., 1971. ⁹ Ю. И. Милышенко, И. Х. Ваксер, Укр. физ. журн., т. 15, №9 (1970). ¹⁰ К. Я. Кондратьев, В. М. Биненко, Влияние облачности на радиацию и климат, Гидрометеониздат, Л., 1984.