

МИЛЛИМЕТРОВЫЙ И СУБМИЛЛИМЕТРОВЫЙ СПУТНИКОВЫЙ РАДАР-РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАЧАТКОВ ГРАДА В ОБЛАКЕ

Г. Г. АИВАЗЯН, Г. М. АИВАЗЯН, А. Г. ГУЛЯН, Р. М. МАРТИРОСЯН

Институт радиофизики и электроники НАН Армении

(Поступила в редакцию 23 декабря 1993 г.)

В работе кратко излагается новый метод исследования физических процессов, происходящий в конвективном облаке, и показана возможность обнаружения зачатков града в облаке с самолета или спутника с помощью дистанционного зондирования облака в диапазонах ММ и СБММ волн. Рассматривается принципиальная схема многоканального радар-радиометрического комплекса ММ и СБММ диапазонов, посредством которого можно экспериментально реализовать рассмотренный метод.

1. В работах [1, 2] показано, что для исследования физических свойств конвективного облака следует использовать новый метод дистанционного зондирования облака с самолета или спутника в диапазонах ММ и СБММ волн. Суть метода заключается в измерении спектрального коэффициента поглощения $\Gamma_A(\lambda)$ или же спектрального радиотеплового излучения облака в диапазонах ММ и длинноволновой части СБММ до длины волны $\lambda = 0,6$ мм. Это собственное температурное излучение облачных капель—в основном, сверхкрупных капель радиусами r от 100 до 1500 мкм. Из-за соизмеримости длины волны излучения со средним радиусом $r_{\text{ср}}$ полидисперсного распределения сверхкрупных капель по размерам облака в функции $\Gamma_A(\lambda)$ наблюдается максимум при определенной длине волны $\lambda_{\text{макс}}$, приходящийся в основном на коротковолновую часть ММ диапазона.

В теории дифракции электромагнитного излучения на сферических частицах (теория Ми), по которой рассчитывается функция $\Gamma_A(\lambda)$, существует строгая прямая пропорциональность между величинами $r_{\text{ср}}$ и $\lambda_{\text{макс}}$. Поэтому увеличение или уменьшение $r_{\text{ср}}$ облака будет приводить соответственно к увеличению или уменьшению величины $\lambda_{\text{макс}}$ или же к смещению максимума функции $\Gamma_A(\lambda)$ соответственно в длинноволновую или в коротковолновую область спектра. В свою очередь, увеличение или уменьшение $r_{\text{ср}}$ облака непосредственно указывает соответственно на рост или уменьшение размеров сверхкрупных капель конвективного облака. Следовательно, если иметь многоканальный радиометр на весь ММ и длинноволновую область СБММ диапазона и на дисплее радиометра иметь постоянно функцию $\Gamma_A(\lambda)$ или $T_A(\lambda)$ —спектральное радиотепловое излучение облака, то по смещению кривой $\Gamma_A(\lambda)$ (вернее, максимума кривой $T_A(\lambda)$) в длинноволновую

или коротковолновую область спектра со временем можно судить о физическом процессе, происходящем в облаке,—увеличении или уменьшении размеров сверхкрупных капель облака. Это очень важно знать для градового облака, чтобы установить, развивается или нет процесс градообразования в облаке.

В работах [1, 2] показано также, что по смещению максимума $\Gamma_A(\lambda)$ вдоль шкалы длин волн и одновременному изменению формы самой спектральной кривой $\Gamma_A(\lambda)$ можно судить о том, изменяется ли температура сверхкрупных капель. Расчеты по строгой теории Ми показывают, что предложенным в [1, 2] методом можно установить—уменьшается или увеличивается температура капель облака, а если установить в какой-то момент развития облака и абсолютную температуру капель облака, то можно зафиксировать и момент перехода капель из теплого в переохлажденное состояние.

2. Наиболее важным для исследователя градового облака является обнаружение начала градообразования в облаке. Существующие радиолокационные методы позволяют это сделать, во-первых, косвенными методами, и во-вторых, слишком поздно, когда размеры градин уже порядка нескольких миллиметров; поэтому ввод реагента с этого момента в облако, с целью искусственной борьбы с градом, становится малоэффективным. В нашем случае момент фазового перехода вода-лед в сверхкрупных каплях облака устанавливается благодаря обнаруженному [3, 4] новому явлению—аномальному радиолокационному отражению СБММ волн в «окне» прозрачности льда $0,3 \div 0,8$ мм от сверхкрупных капель облака. Оказывается, если имеется полидисперсное распределение переохлажденных сверхкрупных капель облака при определенной температуре и это распределение капель превращается в лед—ледяную крупу при этой же температуре, то коэффициент радиолокационного отражения СБММ $0,3 \div 0,8$ мм увеличивается более, чем на два порядка [1—4]. Поэтому, если иметь радиолокатор на длину волны, например, $\lambda = 0,64$ мм, направить его на облако и вместе с вышеописанным многоканальным радиометром наблюдать за физическим процессом, происходящим в градоопасном облаке, то при фазовом переходе вода-лед в сверхкрупных каплях отраженный сигнал от облака увеличивается более, чем в 100 раз. Столь большое увеличение радиолокационного отражения заметить легко, а это означает установление начала градообразования в частицах субмиллиметровых размеров.

3. С целью экспериментального исследования, во-первых, физических процессов, происходящих в конвективных облаках по предложенной в п. 1 новой методике, и, во-вторых, для обнаружения зачатков града в облаке опять по предложенному в п. 2 аномальному радиолокационному отражению СБММ волн при $\lambda = 0,64$ мм, в работах [5—7] разработаны два метода: 1) пассивно-активной и 2) активной радиолокации облака с самолета или спутника. В случае пассивно-активной радиолокации в работах [5, 6] приводится принципиальная

схема многоканального радиометра, перекрывающая весь ММ и длинноволновую область СВММ диапазона до длины волны $\lambda=0,64$ мм. Всего каналов в радиометре 16, причем последний канал одновременно является и активным. Все 16 каналов, выведенные на дисплей радиометра, позволяют фиксировать в каждый момент времени развития конвективного облака функцию $\Gamma_A(\lambda)$ и наблюдать направление развития облака в сторону увеличения или уменьшения среднего размера сверхкрупных капель. Как указывалось выше (см. п. 1), по смещению кривой $\Gamma_A(\lambda)$ на дисплее вдоль оси длин волн и изменению формы кривой $\Gamma_A(\lambda)$ можно определить момент перехода капель в переохлажденное состояние. После этого следует уже ожидать момента фазового перехода вода-лед в сверхкрупных каплях, что можно зафиксировать с помощью активного последнего канала радар-радиометра на $\lambda=0,64$ мм. Мгновенное увеличение амплитуды 16-го канала более чем в 100 раз и будет служить индикатором появления ледяной фазы облака—зародышей градин размерами в субмиллиметры. В принципиальной схеме радар-радиометра (см. [7], рис. 2) предусмотрены оба вида приема: широкополосный и узкополосный (см. тракты II и III на рис. 2 [7]).

В работе [7] рассматривается случай активной радиолокации, когда все 16 каналов радиометра активны и на дисплее многоволнового радиолокатора вырисовывается функция $\Gamma_{RR}(\lambda)$. Детально рассматривается четырехэлементная антенная система E и распределение 16 значений длин волн—активных каналов по отдельным четырём антеннам диаметрами в 50 см каждая [7] (см. рис. 1). Данную антенную систему E , оказывается, можно использовать и в случае пассивно-активной радиолокации. Ниже детально рассматривается принципиальная схема радар-радиометра в случае узкополосного приема—16 узкополосных каналов с применением антенной системы E из работы [7].

4. На рис. 1 приводится антенная система E , которая теперь используется исключительно для пассивного приема во всех 16 каналах. В подписи к рис. 1 приводятся для каждой антенны в отдельности число каналов и соответствующие этим каналам длины волн. Для активного канала $\lambda=0,64$ мм необходимо использовать отдельную антенну F , удаленную от антенной системы E , чтобы боковые лепестки излучающей антенны F (см. принципиальную схему радар-радиометра ниже—рис. 2) не влияли на приемную антенну D этого же канала $\lambda=0,64$ мм. Дело в том, что в отличие от обычных радиолокаторов, здесь замеряется средний уровень сигнала, отраженного от облака, поэтому при работе в режиме активной радиолокации генератор должен излучать непрерывно в течение всей работы этого канала и одновременно должен работать приемник этого канала. (Один цикл, т. е. 16 каналов радиометра, измеряется за 2 миллисекунды, поэтому длительность замера каждого канала—133 микросекунды. Поэтому в течение этого времени непрерывно должно идти

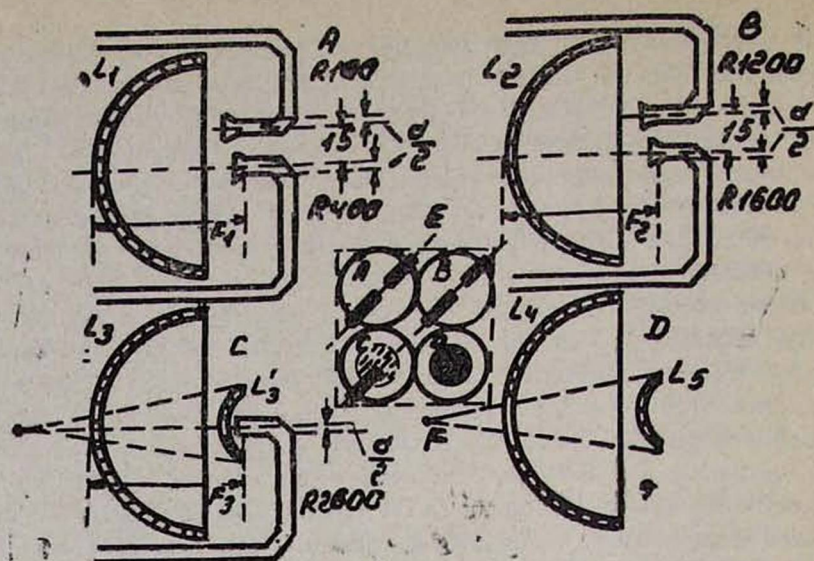


Рис. 1. Антенная система радар-радиометрического комплекса, А—антенна для длин волн: $\lambda=32$ мм; 9,1 мм; 7,5 мм и 6 мм; В—антенна для длин волн: $\lambda=3,25$ мм; 2,85 мм; 2,00 мм и 1,5 мм; С—антенна для длин волн: $\lambda=1,2$ мм и 0,91 мм; Д—антенна для длин волн: $\lambda=0,73$ мм и 0,64 мм (для каждой антенны вид сбоку); Е—общий вид антенной системы, состоящей из четырех антенн—А, В, С и Д (вид спереди).

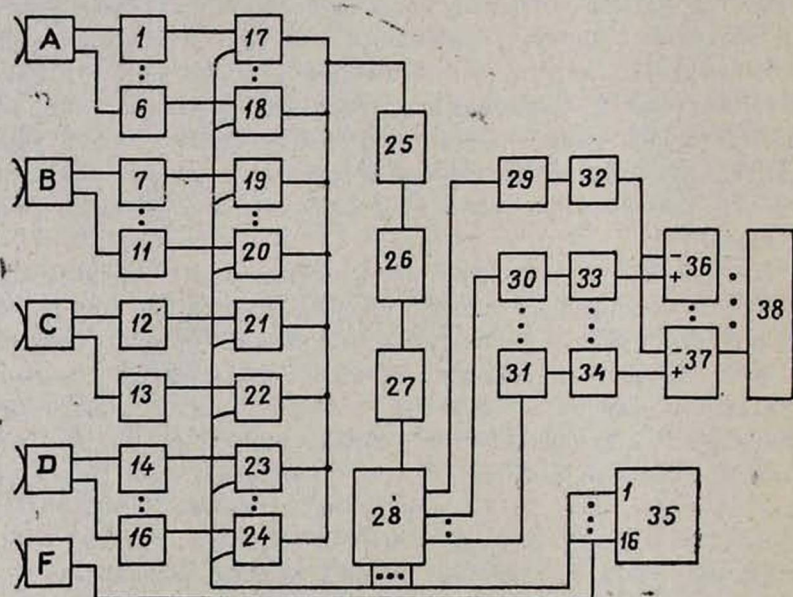


Рис. 2. Принципиальная схема многоканального радар-радиометрического комплекса ММ и СБММ диапазонов волн. А, В, С, Д—многоволновые приемные антенны с ответвителями мощности, F—излучающая антенна активного канала; 1—16—гетеродины, 17—24—переключатели, 25—блок усилителей, 26—квадратичный детектор, 27—усилитель постоянного тока, 28—блок коммутаторов, 29—31—интеграторы, 32—34—делитель напряжения, 35—блок режимов, 36—37—блоки вычитания, 38—блок регистрации.

излучение и прием последнего, 16-го канала). Только взаимное разнесение антенны D и F может исключить влияние приема и передачи.

Принципиальная схема радар-радиометра приводится на рис. 2. Сигнал, поступающий на антенны $A-D$, через ответвители мощности подается на гетеродины 1—16 и преобразуется к единой частоте входного канала усиления блока 25. Это происходит через переключатели 17—24 режима работы, который задается блоком режимов 35. Одновременно 35 включает антенну F в режим излучения. Поэтому через антенну D и гетеродин 16 в устройство подается отраженный сигнал режима активной радиолокации. На этом цикл работы радар-радиометра завершается. Частота повторения циклов выбрана порядка 500 Гц, что лежит выше частот флуктуации усиления блока 25. Усиленный в блоке 25 сигнал детектируется в 26 и после усиления в 27 по постоянному току, посредством блока коммутаторов 28, распределяется между шестнадцатью интеграторами 29—31. Выходные напряжения интеграторов через делители напряжения 32—34 подаются на вычитающие устройства 36—37, где напряжения опорного (первого канала) канала вычитаются из напряжений всех остальных каналов.

Выделенные таким образом напряжения соответствуют интенсивностям радиотеплового излучения облака для каждой отдельной длины волны (канала) из диапазонов ММ и СБМ волн. Они определяют спектральную интенсивность излучения облака, пропорциональную спектральной интенсивности поглощения $\Gamma_A(\lambda)$, а она, как показано выше, несет информацию об $r_{\text{ср}}$ —росте или уменьшении сверхкрупных капель облака. В данном случае интенсивность излучения оказывается независимой от среды распространения, поскольку через среду (облако и атмосфера) распространяются как опорный, так и информационные каналы.

Посредством делителей напряжения 32—34, на фоне чистого неба, приводятся к нулю все напряжения блоков 36—37, что позволяет скомпенсировать неравномерности коэффициентов подачи трактов раздельного прохождения сигналов каждого канала—от входа антенны до усилителя 25. На блок регистрации 38 одновременно подаются напряжения всех отдельных 16 каналов, что может быть реализовано посредством параллельно расположенных пиковых индикаторов. Это позволяет наглядно наблюдать картину спектрального распределения интенсивности радиотеплового излучения облака по каналам, т. е. наблюдать изменение со временем спектральной интенсивности радиотеплового излучения облака—динамику развития конвективного облака.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Айвазян. Распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн в облаках. Справочник. Гидрометеониздат, Л. 1991.
2. Г. М. Айвазян. Изв. АН СССР, серия «Физика атмосферы и океана», 27, 304(1991).
3. Г. М. Айвазян. ДАН АрмССР, 84, 166(1988).

4. H. M. Ajvazyan. Int. J. of IR and MM Waves, 12, 919 (1991).
5. Г. Г. Айвазян, Г. М. Айвазян, А. Г. Гулян и Р. М. Мартиросян. Тезисы Всесоюзной конференции «Использование спутниковой информации в исследовании океана и атмосферы», апрель 1989, Звенигород. М., с. 82(1989).
6. Г. Г. Айвазян, Г. М. Айвазян, А. Г. Гулян, Р. М. Мартиросян. Изв. АН АрмССР, Физика, 25, 98(1990).
7. H. M. Ajvazyan and H. H. Ajvazyan. Int. J. of IR and MM Waves, 14, 1155 (1993).

**ԱՄՊԻ ՄԵՋ ԿԱՐԿՈՒՑԻ ՎԱՂ ՀԱՅՏՆԱՐԵՐՄԱՆ ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՆՈՑ
ԵՎ ԵՆԹԱՄԻԼԻՄԵՏՐԱՆՈՑ ԱՐՐԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՌԱԴԱՐ-ՌԱԴԻՈՄԵՏՐԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼԻՐ**

2. Հ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Հ. Մ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ա. Գ. ԳՈՒԼՅԱՆ, Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

Աշխատանքում հակիրճ շարադրված է նոր մեթոդ, որ ուսումնասիրում է կոնվեկցիոն ամպի մեջ տեղի ունեցող ֆիզիկական պրոցեսները և ամպի մեջ կարկուտի սաղմերի հայտնաբերման հնարավորությունը օդանավի կամ արբանյակի միլիմետրանոց և ենթամիլիմետրանոց տիրույթի ալիքներով՝ ամպի հեռագործական զոնդման միջոցով: Քննարկվում է միլիմետրանոց և ենթամիլիմետրանոց տիրույթի ռադար-ռադիոմետրական համալիրի բազմականալ սկզբունքային սխեման, որի շնորհիվ կարելի է փորձնականորեն իրականացնել վերոհիշյալ մեթոդը:

**MILLIMETER AND SUBMILLIMETER RADAR-RADIOMETER
SATELLITE COMPLEX FOR EARLY DETECTION OF HAIL
EMBRIONS IN CLOUD**

H. H. AJVAZYAN, H. M. AJVAZYAN, A. G. HULYAN,
R. M. MARTIROSSYAN

The present paper briefly describes a new method for investigation of physical processes occurring in a convective cloud and possibility to detect hail embryos in it by means of remote sensing of cloud in millimeter and submillimeter wavelength ranges, from airplane or satellite. Basic diagram of multi-channel radar-radiometer complex for operation in millimeter and submillimeter wavelength, which allows to realize experimentally the abovementioned method, is considered.