

## **Прогнозирование града с помощью доплеровского поляриметрического радиолокатора**

В.Ю.Жуков<sup>1</sup>, О.Г. Мондоева<sup>2</sup>, Г.Г.Щукин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Ждановская, 13, e-mail: [vuzhukov2002@list.ru](mailto:vuzhukov2002@list.ru)

<sup>2</sup>ФГБУ «Якутское УГМС»

*Рассматривается вопрос о применимости в российских условиях доплеровского поляризационного метода идентификации града. Приводится методика эксперимента, его результаты. Делается вывод о том, что данный метод обладает высокой вероятностью обнаружения градоопасной облачности*

*Dealt with the question of the applicability of polarization Doppler method detection of hail danger in the Russian conditions. The technique and results of experiment are presented. It is concluded that this method has a high probability of detecting hail-danger clouds*

### **Введение**

Град – одно из опасных явлений природы, способное нанести большой урон народному хозяйству. Поэтому своевременному распознаванию градоопасных облаков уделяется большое внимание. Единственное техническое средство, способное выполнять данную задачу – метеорологический радиолокатор. До недавнего времени противорадовые отряды в России использовали в своей работе некогерентные радиолокаторы МРЛ-5. При этом для идентификации данного опасного явления был разработан высокоэффективный двухволновый метод, основанный на способности упомянутого изделия излучать одновременно два сигнала на длинах волн 3 и 10 см [1].

В настоящее время метеорологические радиолокаторы МРЛ-5 повсеместно заменяются на новые ДМРЛ-С с длиной волны несущего колебания 5 см. Для противорадовой службы разработан и прошел испытания S-диапазонный ДМРЛ-10. Эти радиолокаторы являются одноволновыми, когерентными (доплеровскими) и поляриметрическими. Двухволновый метод распознавания в них нереализуем, кроме того в их программе вторичной обработки информации заложены старые алгоритмы распознавания града по мощности отражений и максимальной высоте радиоэхо [2], а поляризационные характеристики принимаемого сигнала в идентификации наблюдаемых явлений никак не используются. В то же время в мире они широко применяются. Поэтому представляет интерес исследование того, в какой степени новые методы идентификации градоопасности, основанные на поляризационных измерениях, применимы к российским условиям.

### **Методика эксперимента**

Известно, что характеристиками процесса обнаружения являются вероятность правильного обнаружения цели и вероятность ложной тревоги. Для нахождения последней из них требуется сравнить статистические данные, полученные при помощи исследуемого метода, с эталонными, в качестве которых логично принять данные наземных метеорологических станций. Поскольку программной реализации нового метода в наше распоряжение не имеется, а обрабатывать информацию «вручную» невозможно из-за ее большого объема, приходится ограничиться расчетом вероятности правильного обнаружения.

Для нахождения указанной величины, прежде всего, необходимо зафиксировать все случаи обнаружения града на метеостанциях, попадающих в зону обзора

радиолокатора. Для радиолокатора ДМРЛ-С, установленного в г. Валдай Новгородской области, их набралось 16. Была изучена полученная ими информация об опасных явлениях за период май – сентябрь 2011, 2012 и 2013 годов. Всего было выявлено 12 случаев. Для каждого случая проверялась возможность своевременного распознавания при помощи информации о радиолокационной отражаемости наблюдаемого объекта, дифференциальной отражаемости и модуле коэффициента кросс-корреляции создаваемых им отражений. Карты указанных параметров входят в стандартный набор карт поляриметрического радиолокатора.

Первая из них рассчитывается по мощности принятого сигнала и зависит от размера частиц, их агрегатного состояния и концентрации.

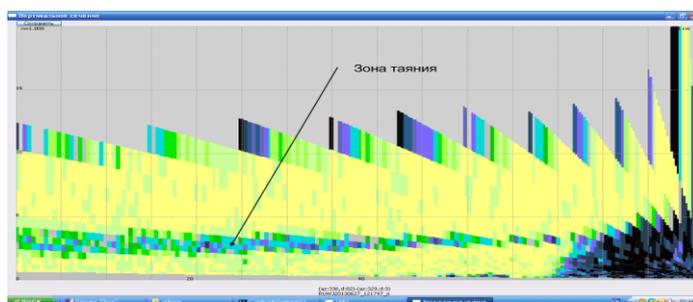
Дифференциальная отражаемость – отношение мощностей горизонтально и вертикально поляризованных составляющих отраженной волны. Значение данного параметра близко к нулю для ледяных частиц, поскольку они либо круглые (град), либо хаотично ориентированы в пространстве (снежинки). При наблюдении же жидких гидрометеоров оно, как правило, положительно из-за приобретения ими при падении формы эллипса. При этом горизонтальная ось больше вертикальной.

Для модуля коэффициента кросс-поляризации характерно то, что его значение близко к единице (0,98 – 1) для сухого льда и капель воды и уменьшается (0,95 – 0,97) для тающего льда.

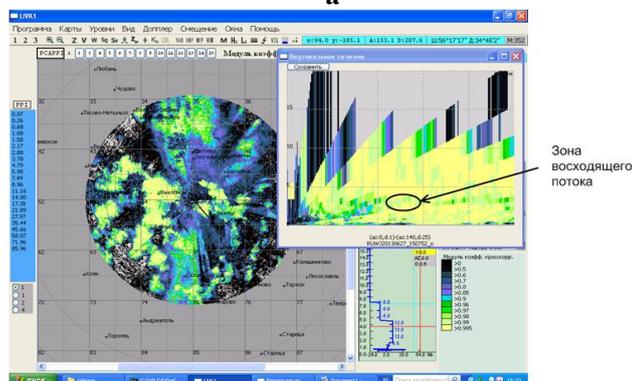
На основе перечисленных свойств данных параметров был составлен следующий алгоритм обработки информации:

1) выбирались обзоры, имевшие место, как минимум, за 30 минут до выпадения града;

2) на картах модуля коэффициента кросс-корреляции делались вертикальные разрезы с целью выявления восходящих потоков. Полоса таяния частиц, лежащая ниже нулевой изотермы, хорошо видна на данной карте в виде горизонтального слоя пониженного значения параметра (0,95-0,97) [3]. Пример такой карты приведен на рисунке 1.



а



б

Рис. 1. Примеры наблюдения зоны таяния (а) и восходящего потока (б) на картах модуля коэффициента кросс-корреляции

В зоне же восходящего потока идет процесс замерзания капель воды, который не вызывает подобного снижения, что приводит к образованию «разрыва» в указанно слое. Именно такие «разрывы» и определялись на этом этапе;

3) по имеющимся данным о высоте нулевой изотермы и нижней границе облачности рассчитывался минимальный диаметр градин  $d_{min}$ , способных долететь до земли, не растаяв полностью. Далее находилась соответствующая данным размерам градин граничная радиолокационная отражаемость в соответствии с известным выражением [4]

$$Z_{гр} = \sum d_{min}^6 \left| \frac{m^2-1}{m^2+2} \right|^2, \quad (1)$$

где  $Z_{гр}$  – граничное значение радиолокационной отражаемости,

$m$  – комплексный коэффициент преломления частиц;

4) исследовалась область пространства над обнаруженными восходящими потоками, где зарождаются и растут градины. Оценивались величины создаваемых ими радиолокационной и дифференциальной отражаемостей. Первая зависит от размера наблюдаемых частиц, вторая подтверждает то, что эти частицы находятся в твердом агрегатном состоянии;

5) фиксировалось значение модуля коэффициента кросс-корреляции в рассматриваемой области. Дело в том, что при расчетах по формуле (1) можно допустить ошибку. Связана она с тем, что тающая частица за счет тонкой водяной пленки на ее поверхности создает отражения примерно в пять раз превосходящие по мощности эхо от ледяной частицы такого же размера. Это может привести к неправильным решениям при прогнозировании рассматриваемого опасного явления. Нахождение упомянутого параметра в границах 0,98-1 гарантирует нам отсутствие таяния и корректность проведенных расчетов;

6) Полученное значение радиолокационной отражаемости сравнивалось с граничным значением. По превышению данного порога делался вывод о градоопасности наблюдаемого метеообъекта.

### **Результаты эксперимента и выводы**

В результате проведенных исследований подтверждена работоспособность метода для всех обнаруженных случаев града, за исключением одного, имевшего место 27 июня 2012 года. Применение в этом случае описанного алгоритма было затруднено наличием обширных областей деполяризационного ослабления, вызванного прохождением сигнала через интенсивные осадки с крупными каплями. Создаваемое при этом отражение настолько мощное и настолько различно для горизонтально и вертикально поляризованных волн, что нарушает равенство мощностей поляризационных составляющих падающей волны. В итоге, после прохождения зондирующим импульсом через такие осадки, области, расположенные за ними, приобретают отрицательные значения дифференциальной отражаемости.

Обнаруженное явление само по себе может считаться надежным признаком для прогнозирования града. Поэтому полученную в результате исследования оценку вероятности правильного обнаружения следует признать равной 1. Однако малый размер полученной выборки не позволяет сделать окончательный вывод о применимости метода, а только дает надежду на подтверждение полученного результата в дальнейших, более масштабных экспериментах. Кроме того, остается открытым вопрос о вероятности ложной тревоги, проверка которой является гораздо более трудной задачей.

### **Литература**

1. Руководящий документ РД 52.37.73- 2010. Организация и проведение противорадовой защиты. Нальчик: ООО «Редакция журнала «Эльбрус», 2010, 85 с.
2. Доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С. Руководство по эксплуатации. М.: ЛЭМЗ, 2011.
3. В.Ю.Жуков, Г.Г.Щукин. Состояние и перспективы сети доплеровских метеорологических радиолокаторов. Метеорология и гидрология, 2014, №2, с.92-100.
4. Руководящий документ РД 52.04.320-91. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. СПб, Гидрометеоздат, 1993, 357 с.