

Состояние и перспективы развития современной метеорологической радиолокации.

В.Ю.Жуков, Г.Г.Щукин

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского. Санкт-Петербург, Ждановская ул., 13. vuzhukov2002@list.ru

Рассмотрены проблемы, возникающие в процессе развертывания новой сети штормооповещения России. Показано несоответствие алгоритмов вторичной обработки информации тем возможностям, которые заложены в радиолокаторы ДМРЛ-С. Предложены пути преодоления указанного несоответствия. Намечаются пути дальнейшего развития метеорологической радиолокации.

The problems of a new storm informing network implementation were analyzed. Were marked the inconsistency between the algorithms of the secondary information analysis and the possibilities of DMRL-S radars. Were presented the ways to solve the problem of this inconsistency. The ways of meteorological radiolocation development were indentify.

Современное состояние метеорологической радиолокации можно охарактеризовать как бурное развитие. С начала 2010-х годов в практику радиометеорологических наблюдений активно внедряются методы поляризационных измерений и все известные фирмы, работающие в данной области, уже перешли на выпуск поляриметрических радаров. Поставляемая ими информация открывает новые широкие возможности для сверхкраткосрочного прогнозирования и идентификации опасных явлений погоды. Национальные сети штормооповещения перестраиваются с целью ее усвоения. Так, США уже модернизировали свою сеть, введя режим двойной поляризации в свои радиолокаторы WSR-88, Германия постепенно заменяет свои радары на новые. Россия, по сути, выстраивает новую сеть из самостоятельно разработанных радиолокаторов ДМРЛ-С.

Принципы построения данного радиолокатора и его основные тактико-технические характеристики хорошо известны [1]. Стоит только напомнить, что он является доплеровским, поляриметрическим и в нем впервые для радиолокатора, предназначенного для оперативной работы в составе национальной сети штормооповещения, применена технология сжатия сложного зондирующего импульса. Для этого был разработан специальный сигнал с нелинейной частотной модуляцией, в котором было преодолено главное препятствие на пути использования широкополосных импульсов в метеорологической радиолокации – большой уровень боковых лепестков на выходе фильтра сжатия. В результате эквивалентная мощность передатчика составляет 900 кВт и существует возможность ее дальнейшего увеличения как минимум до 1,5 МВт.

Таким образом, Россия обладает одним из лучших, если не лучшим на настоящий момент, метеорологическим радиолокатором для создания новой сети штормооповещения. Используемые ранее для этой же цели радиолокаторы МРЛ-5 давно морально устарели, т.к. не имеют не только режима двойной поляризации, но не являются и доплеровскими. Тем не менее, за время их эксплуатации, начиная с 80-х годов двадцатого века, были разработаны методики обработки поставляемой ими информации, позволяющие с большой степенью достоверности обнаруживать и прогнозировать развитие таких опасных явлений погоды как гроза, град, ливень. Эти алгоритмы, основанные на измерении всего одного параметра принимаемого сигнала, мощности, и по сей день являются базовыми в программах вторичной обработки

информации в ДМРЛ-С. И это нельзя считать недостатком, т.к. указанные методики в течение многих лет проверялись на предмет оправдываемости и достоверности идентификации и доказали свою эффективность[2]. Плохо то, что этим и исчерпывается вся вторичная обработка в плане обнаружения опасных явлений погоды.

Помимо уже упомянутой мощности ДМРЛ-С оценивает еще два спектральных (средняя частота спектра радиальных скоростей гидрометеоров и ширина этого спектра) и три поляризационных (дифференциальная отражаемость, дифференциальная фаза и модуль коэффициента взаимной корреляции горизонтальной и вертикальной составляющих) параметра принимаемого сигнала. На основании оценок каждого из них программа вторичной обработки строит карты распределения параметра в горизонтальных, вертикальных или конических разрезах, но этим все и заканчивается. К задаче распознавания опасных явлений ни один из них не привлекается. Только спектральные параметры используются еще для построения карт распределения ветра в выбранных горизонтальных плоскостях, вертикального профиля ветра и карт зон повышенной турбулентности и сдвига ветра. Но каких-либо критериев распознавания опасных значений перечисленных характеристик не имеется, и указанные карты остаются лишь приложением к основной информации, не имеющими практического значения.

В то же время исследования, проводимые в нашей стране еще в прошлом веке, доказали большую эффективность привлечения спектральных и поляризационных параметров для решения задач распознавания различных опасных явлений [3,4] Далее эти исследования развивались, в основном, в США в Национальной лаборатории сильных штормов [5]. Наибольший опыт накоплен по применению спектральных характеристик. Доказано и подтверждено практикой, что их использование позволяет идентифицировать следующие явления:

- зоны сильного ветра;
- торнадо;
- фронты порывистости;
- области сдвига ветра;
- зоны повышенной турбулентности;
- микрошквалы.

Зоны сильного ветра и фронты порывистости идентифицируются по значительному увеличению среднего значения спектра эхо-сигнала, области сдвига ветра – по величине градиента данного параметра, а повышенная турбулентность – по увеличенному значению ширины спектра сигнала. Наиболее сложно обнаружение торнадо и микрошквалов. Первые выявляются по резкому скачку средней радиальной скорости, имеющему место в случае, когда поперечные размеры торнадо превосходят размер элемента разрешения радиолокатора. В противном случае, идентификация возможна только по локальному расширению рассматриваемого спектра. Эффективность последнего метода невелика, т.к. к подобным же эффектам приводят и сдвиг ветра, и фронт порывистости.

Микрошквал – резкое нисходящее движение небольшого объема холодного воздуха очень опасное для идущих на посадку самолетов. Непосредственное обнаружение его метеорадаром в штатном режиме обзора, при котором антенна обычно не поднимается выше 30 градусов, практически невозможно. Поэтому применяют косвенные методы обнаружения по оцениванию дивергенции поля скоростей частиц в приземном слое, т.е. для каждого из интересующих элементов разрешения определяют разницу оценок средней радиальной скорости частиц, получаемых в соседних по дальности объемах пространства. По ее превышению определенного порога

принимается решение о наличии в данном расстоянии интенсивного вертикального потока.

В отличие от спектральных поляриметрические характеристики в значительно меньшей степени расширяют список обнаруживаемых опасных явлений. К ним относятся:

- зоны переохлажденной воды, несущие в себе опасность обледенения попавших в них летательных аппаратов. Определяются по положительному значению дифференциальной отражаемости сигналов, приходящих из области отрицательных температур

- скопления птиц и насекомых, также опасные для авиации, идентифицируются по большим (более 10 дБ) значениям дифференциальной отражаемости;

- облака радиоактивного аэрозоля, обнаружения которых возможно по величине дифференциальной фазы принимаемого сигнала, прошедшего через контролируемую область пространства [6].

Главный же эффект от поляриметрии состоит в повышении надежности обнаружения «старых» опасных явлений, таких как град и ливень, за счет того, что обнаруживаются они непосредственно. Для града характерно нулевое значение дифференциальной отражаемости и уменьшенное значение модуля коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих, как это показано на рис. 1.

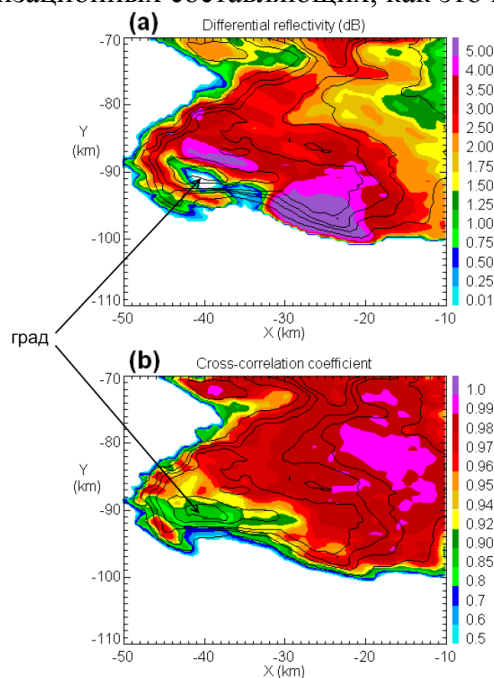


Рис. 1. Пример непосредственного обнаружения града на картах дифференциальной отражаемости (а) и модуля коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих (b).

Обнаружение ливней улучшается за счет того, что с помощью поляризационных измерений значительно, в два раза, повышается точность оценивания интенсивности наблюдаемых осадков. Предложенные новые методы [7].используют одновременно оценки мощности принимаемых отражений, их дифференциальную фазу и дифференциальную отражаемость. Кроме того результаты наблюдений становятся нечувствительны к частичному блокированию луча радиолокатора, например, местными предметами, что иллюстрируется рис. 2.

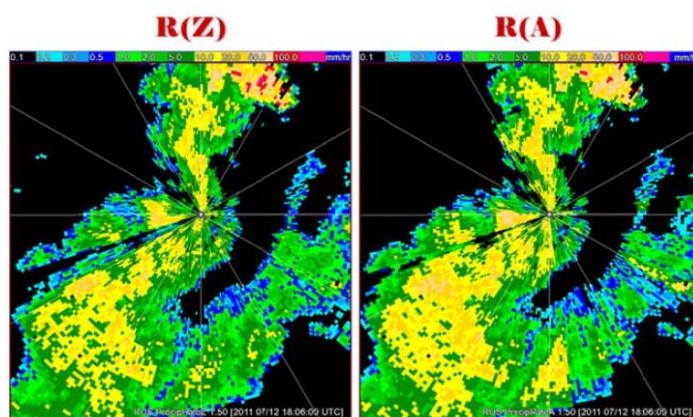


Рис. 2. Карты интенсивности осадков, рассчитанные традиционным методом по величине радиолокационной отражаемости (слева) и с привлечением поляризационных параметров (справа).

Таким образом, ближайшие перспективные задачи отечественной метеорологической радиолокации состоят в освоении уже известных и проверенных экспериментально методик обнаружения опасных явлений природы посредством использования спектральных и поляризационных характеристик принимаемого сигнала.

В более далекой перспективе предстоит разработка новых методик, в наибольшей степени отвечающим требованиям потребителей. Так, сейчас поле ветра восстанавливается в слоях толщиной 1 км, расположенных на выбираемой оператором высоте. Для обеспечения же безопасности полетов авиации требуется знать распределение вектора скорости ветра в слое до 500 м с разрешением 30 м. Последние исследования показывают возможность решения поставленной задачи при помощи оценок ширины спектра радиальных скоростей гидрометеоров [7].

Восстановление трехмерного вектора движения воздуха становится возможным при использовании принципов многопозиционной радиолокации. Если раньше делались попытки реализовать их в виде синхронной работы трех радиолокаторов, то теперь гораздо более перспективным видится построение системы по схеме «один излучатель – несколько приемников».

Недостаточно полно используется потенциал модуля коэффициента взаимной корреляции вертикальной и горизонтальной составляющих сигнала. Сейчас его метеорологическая интерпретация тормозится трудностями получения оценок, вызванными влиянием шумов. По их преодолению данный параметр может значительно улучшить обнаружение такого трудно распознаваемого явления как торнадо.

К уже перечисленным следует добавить следующие направления развития метеорологических радиолокаторов:

1. Построение малогабаритных станций, обладающих худшими по сравнению с «большими» характеристиками, но и меньшей стоимостью. Главный выигрыш от их применения заключается в максимальном приближении радиолокатора к наблюдаемому объекту, что делает их незаменимыми для контроля осадков в особо опасных с гидрологической точки зрения районах, а также в горной местности, где не требуется большая дальность действия. Сейчас использование таких радиолокаторов ограничивается экономическими соображениями, т.к. цена одного «большого» радара оказывается меньше цены пяти «малых», способных его полностью заменить. Но тенденция их развития обещает в скором времени преодоление данного препятствия.

2. Комплексование радиолокационных измерений с данными других технических средств. Наиболее перспективным здесь представляется построение пассивно-активных систем, включающих радар и СВЧ радиометр. Поставляемая последним информация о водозапасе атмосферы способна значительно повысить качество сверхкраткосрочного прогноза гроз и града [8].

3. Применение многоволновой радиолокации, включающей миллиметровый канал, для повышения количественных измерений микроструктуры облаков и осадков (разделение мелкокапельной и крупнокапельной фракции), а также получения информации от высокослоистой и перистой облачности (особенно в арктических районах).

4. Использование активных фазированных решеток, что позволит значительно увеличить темпы обзора пространства и тем повысить оперативность получаемой информации. Успешные работы в этом направлении уже ведутся в нашей стране в Центральной аэрологической обсерватории [9] и в США.

Литература

1. Стасенко В.Н., Мельничук Ю.В., Абшаев М.Т., Шаповалов А.В., Вовшин Б.М., Вылегжанин И.С., Ефремов В.С., Жуков В.Ю., Щукин Г.Г. Когерентный метеорологический радиолокатор с поляризационной селекцией сигнала для оснащения сети Росгидромета. Труды 22 Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», 2012 г., вып. 9, т. 2, стр. 212-219.
2. Павлюков Ю.Б., Серебряник Н.И.. К вопросу о создании системы валидации данных сети ДМРЛ Росгидромета. Сборник трудов региональной 19 конференции по распространению радиоволн, Санкт-Петербург, 2013 г.
3. Рыжков А.В. Поляризационные методы метеорологической радиолокации. - Зарубежная радиоэлектроника, 1993, №4, с. 18 – 28.
4. Мельников В.М. Обработка информации в доплеровских МРЛ. Зарубежная радиоэлектроника, 1993, №4, с. 35 – 43
5. Zrnich D.S., Ryzhkov A.V. Polarimetry for Weather Surveillance Radars. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 80, No. 3, March 1999, 389-406 p.
6. Щукин Г.Г., Корбан Д.В., Жуков В.Ю. Радиолокационное обнаружение, распознавание и измерение концентрации радиоактивного аэрозоля в безоблачной турбулентной атмосфере. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 30. Научно-теоретический журнал. – СПб.:РГГМУ, 2013, с.83-93.
7. Ryzhkov A., Diederich M., Zhang P., Simmer C. Potential utilization of specific attenuation for rainfall estimation, mitigation of partial beam blockage, and radar networking. February 13, 2013. Submitted to the Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.
8. Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков и туманов. РГГМУ. Санкт-Петербург, 2012 г. 342 с.
9. Азаров А.С., Егоров А.С., Суханов Е.С., Чиркунова Ж.В., Орешкин В.И., Лялин К.С. Бортовой метеорологический радиолокатор со сжатием радиоимпульсов. Труды 28-го Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», 2013, вып. 10, т.2, с. 309 - 317