

УДК 551.509.31:551.501.815

Использование информации о доплеровской радиальной скорости метеоцелей в задачах синоптического анализа

О. А. Дмитриева*, Е. В. Дорофеев*,
М. В. Львова*, И. А. Тарабукин*

Предлагается методика применения карт радиальной скорости, предназначенная для использования в оперативных подразделениях Росгидромета, которые получают радиолокационную информацию от ДМРЛ-С. Данная методика пригодна, в частности, для детального анализа барического поля в зоне обзора локатора.

Ключевые слова: доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С, радиальная скорость гидрометеоров, направление перемещения, синоптический анализ.

Введение

Диагноз синоптической ситуации основывается на анализе приземных и высотных карт барических полей, положения фронтов, векторных полей ветра, связанных с циклонами, антициклонами, зонами дивергенции (конвергенции) и т. д. Для этих целей используются разные прикладные инструменты и программные средства, способные усваивать и представлять в удобном для проведения синоптического анализа виде данные наземной и аэрологической наблюдательных сетей, спутниковые изображения, результаты численного моделирования и многое другое. С развитием сети доплеровских метеорологических радиолокаторов в оперативном режиме становится доступной информация о полях облачности и осадков, о скорости и направлении их перемещения. Данная статья посвящена вопросам использования этой информации в синоптической практике, что в некоторых случаях позволяет уточнить и даже скорректировать картину барического поля в зоне обзора радиолокатора.

По состоянию на первый квартал 2015 г. сеть штормового оповещения и метеообеспечения авиации включала 25 доплеровских метеорологических радиолокаторов С-диапазона (ДМРЛ-С) отечественного производства, внедряемых по плану двух программ модернизации радиолокационной сети Росгидромета. По мере установки новых ДМРЛ-С и введения их в оперативную работу сеть будет постепенно расширяться, что в конечном итоге должно привести к созданию единого радиолокационного поля на территории Российской Федерации.

* Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова; e-mail: director@main.mgo.rssi.ru.

Радиолокатор ДМРЛ-С в доплеровском режиме наблюдений выполняет измерения сдвига частоты излучаемого и принимаемого сигнала радиоэха, по результатам обзора формирует карты распределения радиальной (относительно радиолокатора) составляющей скорости V_R перемещения облачных частиц и осадков на удалении от радиолокатора до 125 км [1]. В штатном режиме работы на абонентском пункте, входящем в состав ДМРЛ-С, эти карты доступны потребителям практически сразу после окончания обзора.

На основании данных о V_R с применением разных алгоритмов вторичной обработки (VAD, EVAD, CEVAD, VVP) можно восстанавливать горизонтальные составляющие скорости ветра в слоистых облаках и обложных осадках [2]. Как правило, численные результаты такого восстановления хорошо согласуются с данными радио- и самолетного зондирования атмосферы [4]. Однако в условиях конвективной облачности (особенно внутримассового происхождения), сопровождаемой мощными вертикальными движениями воздуха, турбулентностью, значительными сдвигами ветра и т. п., перечисленные выше алгоритмы могут давать некорректные результаты [2—4].

Так как результаты, представленные в настоящей статье, целиком основаны на данных анализа полей V_R , представляемых в виде карт на экране монитора на абонентском пункте, необходимы некоторые пояснения по реализованному в программном обеспечении ДМРЛ-С способу отображения этих карт.

Функциональные возможности программного обеспечения на абонентском пункте ДМРЛ-С позволяют отображать карты распределения радиолокационных характеристик в виде горизонтальных сечений на высоте от 1 до 15 км с шагом 1 км. В качестве примера на рис. 1 приведено распределение V_R на высоте 2 км, полученное ДМРЛ-С Архангельск 29 октября 2014 г. Подобный режим отображения в радиолокационной метеорологии имеет устоявшееся обозначение CAPPI — Constant Altitude Plan Position Indicator. Для построения карты CAPPI исходный трехмерный массив данных радиолокационного зондирования “сечется” поверхностью, высота которой постоянна относительно уровня модельной земной поверхности сферической формы.

Поскольку радиолокационный луч расширяется по мере распространения, периферийные элементы карты имеют большее пространственное разрешение. Поэтому по мере удаления от места расположения радиолокатора размер информационного объема, которому соответствует отображаемое значение V_R , будет увеличиваться. Вблизи радиолокатора поперечный размер информационного объема составляет несколько десятков метров, тогда как на границе зоны обзора он достигает двух километров [1]. Это обстоятельство вносит некоторую пространственную неопределенность при интерпретации радиолокационных данных.

В программном обеспечении ДМРЛ-С диапазон отрицательных значений V_R в направлении на радиолокатор отображается в зеленых тонах цветовой гаммы, а от радиолокатора — в красных (рис. 1). Таким образом, на карте распределения V_R присутствуют зоны положительных и отрицательных значений, которые разделяет область (линия) нулевых значений V_R бе-

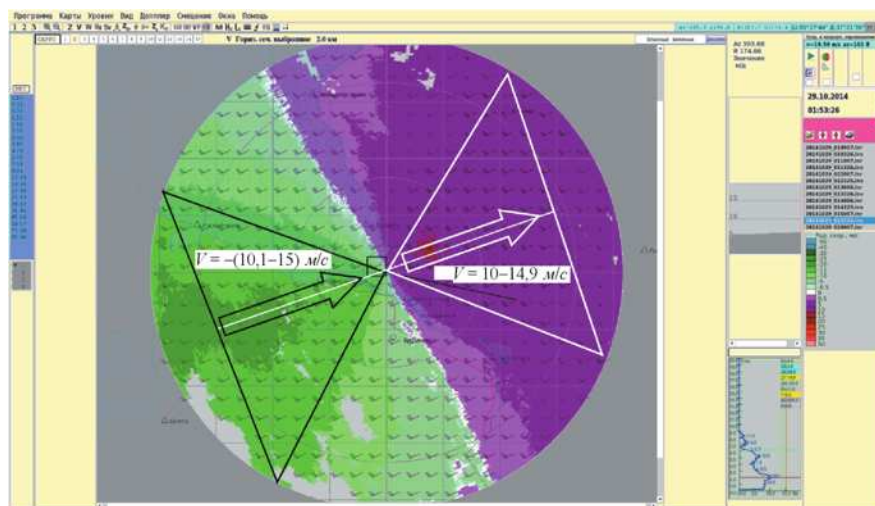


Рис. 1. Пример пространственного распределения V_R в зоне обзора ДМРЛ-С Архангельск в 1 ч 52 мин 29 октября 2014 г. (здесь и далее указано Всемирное скоординированное время).

лого цвета. В окрестности этой линии направление движения гидрометеоров ортогонально направлению распространения радиолокационного луча.

Ориентация линии нулевой скорости и зон максимальных значений V_R в слое дает представление о горизонтальной однородности потока, скорости и направлении его перемещения. Так, данные рис. 1 свидетельствуют о наличии на высоте 2 км устойчивого воздушного потока юго-западного направления, движущегося со скоростью 10—15 м/с.

Рассмотрим, как на основании детального анализа карт распределения V_R в зоне обзора ДМРЛ-С можно идентифицировать центральные области и периферию циклонических образований, барические ложбины, зоны дивергенции и конвергенции воздушного потока.

Определение зон дивергенции и конвергенции воздушного потока на основании анализа карт V_R

Информация о сходимости (конвергенции) и расходимости (дивергенции) воздушного потока используется в авиационной и синоптической метеорологии как о факторе возникновения и развития облачных образований. В отсутствие данных радиолокационных наблюдений получить сведения о направлении воздушного потока, наличии его конвергенции или дивергенции можно по результатам анализа карт абсолютной барической топографии, которые строятся по данным аэрологического зондирования 2 раза в сутки. Привлечение данных о радиальной составляющей доплеровской скорости гидрометеоров позволяет уточнять положение барических образований и атмосферных фронтов в зоне расположения ДМРЛ-С каждые 10 мин. В условиях устойчивого воздушного потока радиолокационные данные хорошо согласуются с результатами аэрологического зондирования атмосферы, а векторы горизонтального ветра на картах V_R совпадают с линиями тока на соответствующих им картах стандартных изобарических поверхностей.

Как было сказано выше, неопределенность в установлении высоты локализации рассеивающих частиц облаков и осадков растет с увеличением поперечных размеров радиолокационного луча. Поэтому при анализе представленных ниже данных следует иметь в виду, что на периферии карты действительная высота, на которой мог располагаться основной объем гидрометеоров, ограничена слоем тропосферы 0—2 км. На рис. 2а видно, что на высоте 1 км гидрометеоры приближаются к ДМРЛ-С по двум направлениям (черные стрелки), а удаляются только в одном направлении — на северо-запад (белая стрелка). При этом преобладающее значение V_R гидрометеоров, приближающихся к ДМРЛ-С в обоих направлениях, находится в диапазоне 10,1—15 м/с. Удаляются гидрометеоры от ДМРЛ-С с максимальной скоростью 15,0—19,9 м/с. При этом линия нулевых значений скорости имеет U-образную форму и вогнута в сторону удаляющихся частиц (в сторону большей скорости). Такая картина пространственного распределения V_R свидетельствует о наличии конвергенции (сходимости) воздушных потоков в рассматриваемом воздушном слое, что и подтверждает анализ барических полей, построенных по результатам аэрологического зондирования атмосферы (рис. 2в).

На рис. 2б четко просматривается западное — юго-западное на высоте 3 км направление потока (черная стрелка), выделенное черным треугольником. Преобладающие значения скорости, с которыми гидрометеоры приближаются к ДМРЛ-С, находятся в диапазоне 10,1—15 м/с, но на расстоянии более 100 км от ДМРЛ-С просматриваются отдельные области, где

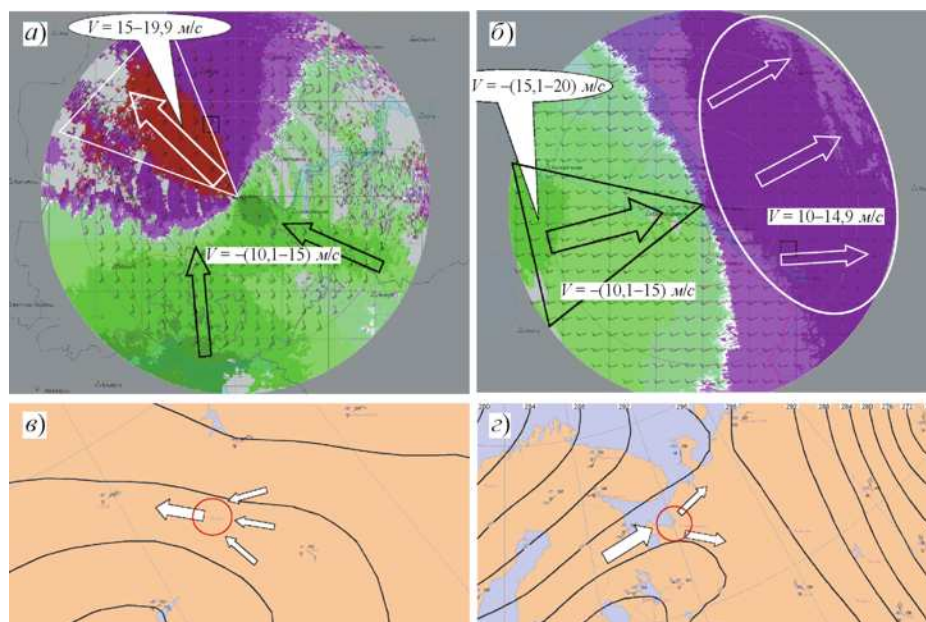


Рис. 2. Примеры синоптической ситуации дивергенции и конвергенции воздушных потоков в зоне обзора ДМРЛ-С в Ижевске 17 октября 2014 г. (а, в) и в Архангельске 26 октября 2014 г. (б, з).

Распределение V_R на высоте 1 (а) и 3 км (б) в 15 ч 3 мин (а) и в 6 ч 3 мин (б). Карты абсолютной топографии изобарических поверхностей 925 гПа за 12 ч (в) и 700 гПа за 0 ч (з).

значения V_R 15,1—20 м/с. Удаляются гидрометеоры со скоростью 10—14,9 м/с в более широком секторе (юго-восток — северо-восток). Следует обратить внимание на ориентацию линии нулевых значений скорости — она по-прежнему имеет U-образный вид, но в данном случае вогнута в сторону приближающихся частиц (в сторону большей скорости).

Согласно данным аэрологического зондирования, на карте абсолютной топографии изобарической поверхности 700 гПа (рис. 2з), соответствующей высоте тропосферы около 3 км, зона обзора ДМРЛ-С находилась на северо-западной периферии высотного гребня, и скорость потока, по мере приближения к оси гребня, действительно ослабевала, т. е. наблюдалась дивергенция воздушного потока.

Распределение V_R в центральных частях малоактивных циклонов

При скорости воздушного потока менее 10 м/с (менее 36 км/ч) определить его генеральное направление по данным ДМРЛ-С крайне затруднительно, а при скорости потока менее 5 м/с (менее 18 км/ч) — практически невозможно. Но и эти данные можно использовать для анализа синоптических ситуаций, так как отсутствие упорядоченных движений гидрометеоров при незначительной скорости потока характерно для центральной части циклонических образований, широких барических ложбин и барических седловин.

Для центральной части малоактивных циклонов характерно квазихаотичное распределение радиальных составляющих скорости гидрометеоров. В этих случаях поток направлен к центру циклона по нескольким направлениям одновременно (рис. 3а). На рис. 3а представлено распределение радиальной составляющей доплеровской скорости гидрометеоров, наблюдавшееся в центральной части неглубокого циклона в зоне обзора ДМРЛ-С Ижевск в 21 ч ВСВ 13 октября 2014 г. Подобное хаотичное движение гидрометеоров, характерное для центральной части циклонов, подтверждается данными приземной синоптической карты в 21 ч ВСВ (рис. 3в). На ней четко просматривается малоградиентный циклон с давлением в центре 1008 гПа, образовавшийся на волне холодного фронта в районе городов Ижевск и Казань.

Такое же хаотичное распределение радиальных составляющих скорости гидрометеоров характерно для барических седловин. Для примера рассмотрим синоптическую ситуацию, наблюдавшуюся в 6 ч ВСВ 9 октября 2014 г. По данным приземной синоптической карты (рис. 3г), ДМРЛ-С Архангельск располагался в хорошо выраженной барической седловине с обширной слоисто-дождевой и кучево-дождевой облачностью, сопровождавшейся небольшими и умеренными осадками обложного и ливневого характера в виде дождя и мокрого снега. Распределение радиальных составляющих скорости гидрометеоров на высоте 1 км, соответствующее этой синоптической ситуации, представлено на рис. 3б.

Таким образом, если на картах радиальных составляющих скорости гидрометеоров зафиксировало их квазихаотическое движение с небольшой скоростью, то это означает, что над местом расположения ДМРЛ-С наблюдается малоградиентное барическое образование циклонического характера, со-

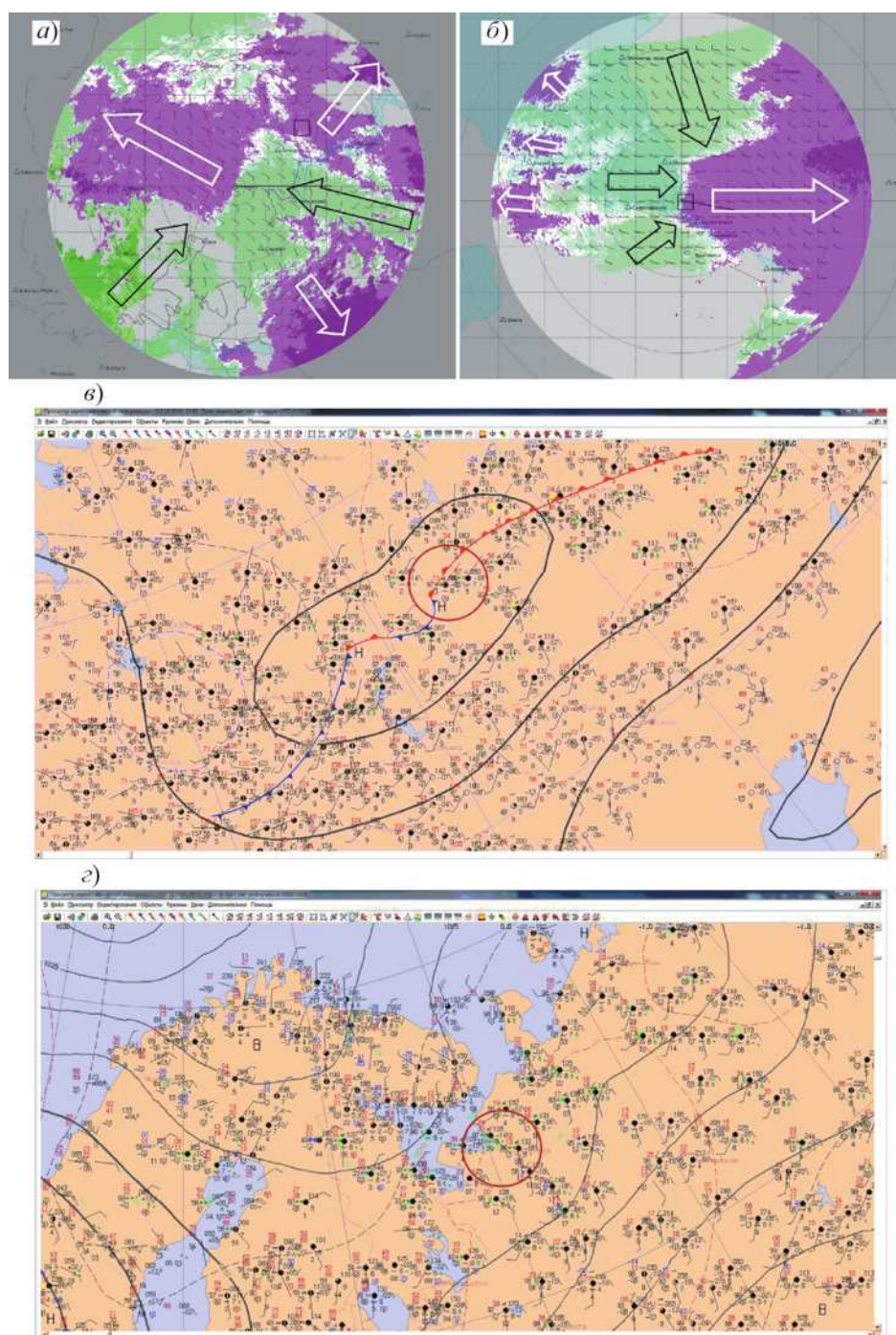


Рис. 3. Примеры синоптической ситуации, характерные для центральной части малоактивных циклонов в зоне обзора ДМРЛ-С в Ижевске 13 октября 2014 г. (а, б) и в Архангельске 9 октября 2014 г. (б, г).

Распределение V_R на высоте 1 км (а, б) в 21 ч (а) и в 6 ч 13 мин (б). Синоптические приземные карты за срок 21 ч (в) и 6 ч (г).

проходящее значительной облачностью (центральная часть циклона, ложбины и т. д.). Подобный вывод можно сделать, не дожидаясь очередной синоптической карты, доступной синоптику раз в 3 ч.

Если при последующих обзорах ДМРЛ-С появляется возможность определять генеральное направление движения гидрометеоров, а скорость их движения увеличивается, то это является надежным признаком того, что центральная часть циклона, ложбины, седловины удалилась от пункта наблюдения (места расположения ДМРЛ-С), и погода стала определяться периферийной частью барического образования.

В подобных случаях по изменению направления воздушного потока можно определить направление смещения центра барического образования:

- установившийся юго-западный поток после хаотичного распределения радиальной скорости свидетельствует о том, что центр циклона (или ось ложбины) сместился в северном, северо-западном направлении;

- установившийся поток западного, северо-западного направления является показателем того, что циклон сместился в восточном направлении;

- установившийся поток северного, северо-восточного направления указывает на смещение центральной части циклонического барического образования в южном направлении; поворот воздушного потока в дальнейшем на северо-запад указывает на смещение центральной части циклонического барического образования в юго-восточном направлении;

- установившийся южный, юго-восточный поток свидетельствует о смещении центра циклона в западном направлении.

Таким образом, по характеру воздушного потока (переход от хаотичного движения гидрометеоров в облачной массе к направленному) и изменению его направления можно судить и о направлении смещения барических ложбин и других барических образований циклонического характера, расположенных в Северном полушарии.

Выводы

Обычная практика использования информации о V_R ориентирована на восстановление в зоне обзора ДМРЛ-С горизонтальных составляющих поля ветра. На их основании может быть получен краткосрочный прогноз перемещения зон опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью, и проведены оценки вертикального и горизонтального сдвига ветра, положения зон турбулентности, необходимые для метеорологического обеспечения авиации [1].

Несмотря на все преимущества использования доплеровской информации в вопросах синоптической метеорологии, методы, пригодные для построения полей ветра, нельзя считать универсальными, дающими правильные результаты в любых синоптических ситуациях. Скорость совокупности частиц внутри информационного объема в общем случае описывается тремя независимыми составляющими (радиальной, тангенциальной и вертикальной), в то время как радиолокационный метод зондирования облачной атмосферы дает информацию только о V_R . Метод восстановления горизонтальной скорости по данным ДМРЛ-С обеспечивает наилучшие результаты в случае слоистообразной облачности и устойчивого воздушного

потока, когда наиболее применима линейная модель ветрового потока [2] при средней скорости более 10 м/с. В условиях развития конвективной внутримассовой облачности, сопровождаемой мощными вертикальными воздушными потоками, метод работает хуже.

Неоспоримым преимуществом использования информации ДМРЛ-С является также возможность текущего анализа барических образований циклонического характера в зоне установки ДМРЛ-С и прогноз их развития в нижних слоях атмосферы. Важную роль играют большая периодичность обновления информации ДМРЛ-С и скорость ее доведения до потребителя, что особенно необходимо при контроле быстроразвивающихся процессов. Общий подход при анализе доплеровской информации и уточнении некоторых синоптических ситуаций в зоне обзора ДМРЛ-С, основанный только на использовании карт распределения V_R , делает его достаточно универсальным и полезным для метеообеспечения авиации, а также для диагноза и прогноза малоградиентных синоптических ситуаций.

Литература

- 1. Производство** метеорологических радиолокационных наблюдений с применением ДМРЛ-С на сети Росгидромета в целях штормоповещения и метеообеспечения авиации. /Методическое письмо. — СПб, ГГО, 2014, 178 с.
- 2. Brown Rodger A. and Wood Vincent T.** A Guide for Interpreting Doppler Velocity Patterns. — Norman, Oklahoma, Northern Hemisphere Edition — NOAA/National Severe Storms Laboratory, 2007, 55 p.
- 3. Fukao Shoichiro and Hamazu Kyosuke** (consulted by R. J. Doviak). Radar for Meteorological and Atmospheric Observations. — Springer Japan, 2014, 537 p.
- 4. Holleman Iwan.** Doppler Radar Wind Profiles. — Scientific Report, KNMI WR-2003-02, 2003, 72 p.

Поступила
17 VIII 2015