

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-3-6-18>
УДК 551.501.815

Диагностика шквалов в снежных зарядах по данным доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С

А.А. Алексеева, В.М. Бухаров, Е.В. Васильев, В.М. Лосев

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
antonida_alekseeva@mail.ru*

Представлены результаты диагностирования шквалов в снежных зарядах по данным сети доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С. Диагностирование шквалов проводится с использованием разработанного в Гидрометцентре России алгоритма диагностирования ливневых осадков по максимальной конвективной скорости, рассчитанной по радиолокационным данным (максимальная радиолокационная отражаемость в облаке и высота верхней границы облачности). Алгоритм позволяет определять факт возникновения шквалов в трех градациях скорости ветра (15–19 м/с; 20–24 м/с; 25 м/с и более) и уточнять скорости ветра при шквале.

Ключевые слова: диагностика, радиолокационные данные, ливневой снег, шквал

Diagnosis of squalls in snowstorms based on DMRL-C Doppler weather radar data

A.A. Alekseeva, V.M. Bukharov, E.V. Vasil'ev, V.M. Losev

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation,
Moscow, Russia
antonida_alekseeva@mail.ru*

The results of studying the diagnosis of squalls in snowstorms based on DMRL-C Doppler weather radar data are presented. The diagnosis of squalls is performed using the algorithm developed in the Hydrometcentre of Russia for diagnosing showers based on the maximum convective velocity calculated from radar data (maximum radar reflectivity in a cloud and the cloud top height). The algorithm implies the determination of the fact of the occurrence of squalls for three speed gradations (15-19 m/s; 20-24 m/s; ≥ 25 m/s) and the refinement of wind speed during a squall.

Keywords: diagnosis, radar data, snowstorm, squall

Введение

Снежный заряд (заряд снега) – это кратковременный и интенсивный снегопад, сопровождающийся шквалистым ветром [3]. Чаще всего такие явления характерны в начале и конце зимы (ноябрь, март), хотя наблюдаются и в разгар холодного полугодия. Они также нередко возникают

и поздней весной (в апреле–мае) в случае резкого похолодания при прохождении атмосферных фронтов. Как правило, они следуют друг за другом через небольшие промежутки времени, при этом дальность видимости понижается до практически нулевой, что опасно для полетов легкомоторной авиации и вертолетов на малых высотах, а также для всех типов воздушных судов при взлете и посадке. Снежные заряды опасны также и на автомобильных трассах.

Подобные явления не только сложно прогнозировать, особенно в отношении времени и места их возникновения, но и диагностировать. Еще более сложно это делать в отношении сопровождающих заряды снежных шквалов, изучение которых является целью данного исследования. Снежный шквал – хотя и редкое (повторяется обычно раз в 5–10 лет), но крайне опасное явление. Скорость ветра при шквале превышает 60 км/ч. В условиях меняющегося климата можно ожидать возрастания их повторяемости.

Условия возникновения снежных зарядов со снежным шквалом

Типичными синоптическими ситуациями для возникновения зимних ливневых осадков, как правило, являются вторжение холодного воздуха и создание условий для динамической конвекции. Кучево-дождевые облака (Cb) с очагами ливневого снега образуются как за холодным фронтом, так и в зоне вторичных фронтов, и развиваются быстро. Обычно это происходит в тылу циклона.

Явление это хорошо известно. Зимой восходящий поток считается сильным, если его скорость равна 4–6 м/с, и очень сильным при скорости более 6 м/с. Мощность нисходящего потока зависит от размера выпадающих частиц осадков. Наибольшие скорости падения развивают крупные мокрые хлопья снега, размер которых может достигать 5 мм и более. Такие частицы осадков могут выпадать со скоростью, превышающей 10 м/с. В снежном шквале кроме выпадающего сверху интенсивного снега может находиться еще и снег, поднятый ветром с поверхности Земли.

Рассмотрим особенности развития снежных зарядов со шквалами на примере прохождения холодного фронта 25 января 2020 года по территории Московской области. Фронт образовался в северо-атлантическом циклоне, по мере его окклюдирования к вечеру теплый сектор активно сокращался, поэтому столичный регион оказался в его тыловой части (рис. 1). Температура днем составляла 0...–2 °С, относительная влажность достигала 92 %. Ранним вечером из разных районов Московской области стали поступать сообщения о кратковременных сильных ливневых осадках в виде снежной крупы, дождя со снегом или снега с дождем. В снежных зарядах отмечалось сильное потемнение и усиление ветра. Дальность видимости понизилась до 50 м и меньше, отмечалась метель. По сообщениям местных жителей в Интернете, гроза наблюдалась в Электростали

(в 16.15 ч ВСВ), Воскресенске, Подольске и Шатуре. Продолжительность гроз была 15–20 мин. Местами от порывов ветра падали деревья.

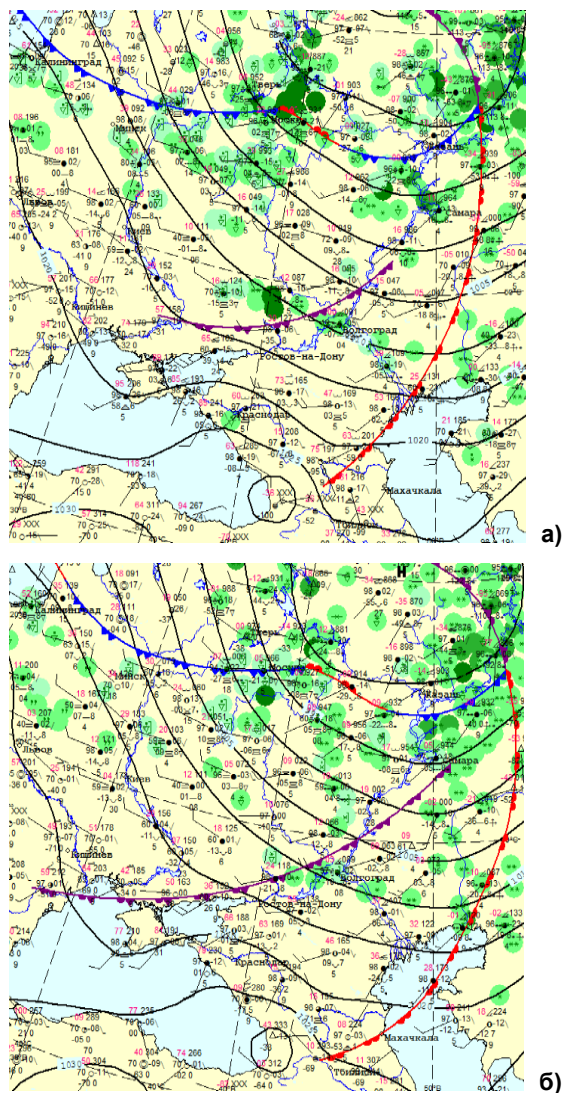


Рис. 1. Кольцевые карты погоды за 12 ч (а) и 15 ч ВСВ (б) 25.01.2020 г.
Fig. 1. Surface weather charts for 12.00 (a) and 15.00 UTC (б), January 25, 2020.

В это время была также зафиксирована серия молниевых разрядов. Их отметили мировая сеть пеленгации молниевых разрядов WWLLN (World Wide Lightning Location Network) и грозопеленгационная система blizortung.org. Грозовые отметки наблюдались на территории Московской, Владимирской и Рязанской областей, вечером гроза наблюдалась

и в Тамбове. Согласно климатическим справочникам, гроза в январе – очень редкое явление и в этой части России бывает не чаще 1 раза в 5–10 лет.

Синоптики прогнозировали на 25 января 2020 г. небольшие, местами умеренные осадки (дождь, мокрый снег, снег), местами гололедицу, температуру в Москве 1...3 °С, по области -2...3 °С, ветер западный, северо-западный 7–12 м/с, местами порывы до 14–19 м/с. Были переданы два предупреждения о неблагоприятных метеорологических явлениях: с 12 до 21 ч по Московской области и с 13 до 21 ч – по Москве.

По данным ДМРЛ-С Внуково (рис. 3в) шквалы в Московской области не были обнаружены, лишь к востоку от Москвы грозопеленгационная сеть отметила грозу. Облака Сб наблюдались, но в поле верхней границы облаков на картах ДМРЛ-С они не очень видны (рис. 2, рис. 3а). Доплеровские скорости на высоте 1 км (рис. 3б) составляли 22–25 м/с. Вектор переноса – один из параметров идентификации шквалов по данным ДМРЛ – был значительным (скорость перемещения облаков превышала 75 км/ч).

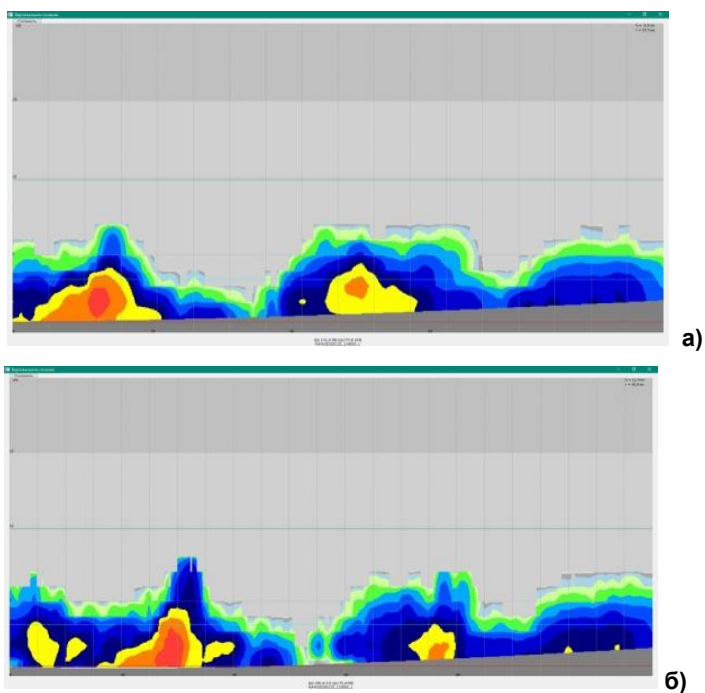


Рис. 2. Разрезы облачности по направлениям Подольск – Павловский Посад (а) и Домодедово – Жуковский (б) по данным ДМРЛ-С Внуково, соответственно, за сроки 13.30 и 13.40 ч ВСВ 25.01.2020 г.

Fig. 2. The cross-sections of cloudiness along the lines Podolsk–Pavlovskii Posad (a) and Domodedovo–Zhukovskii (б) according to data from DMRL-C Vnukovo for 13.30 and 14.00 UTC, January 25, 2020.

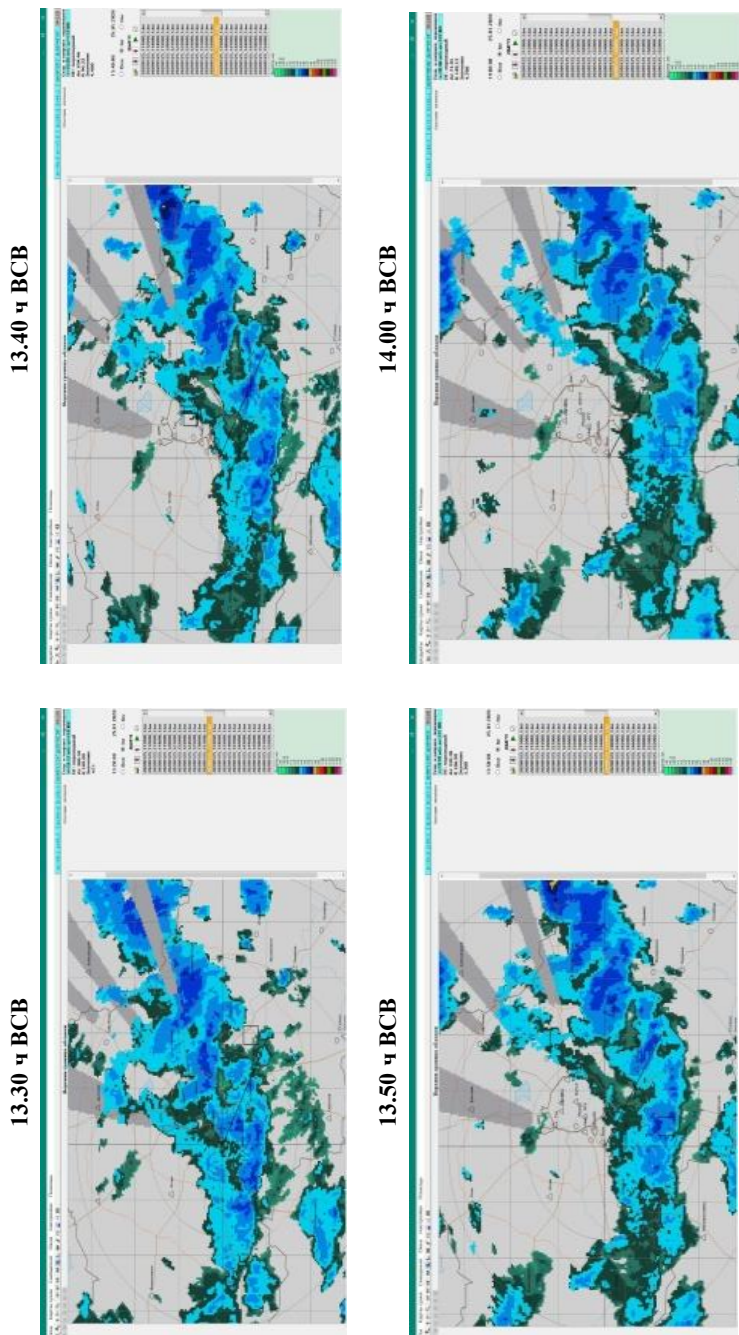


Рис. 3а

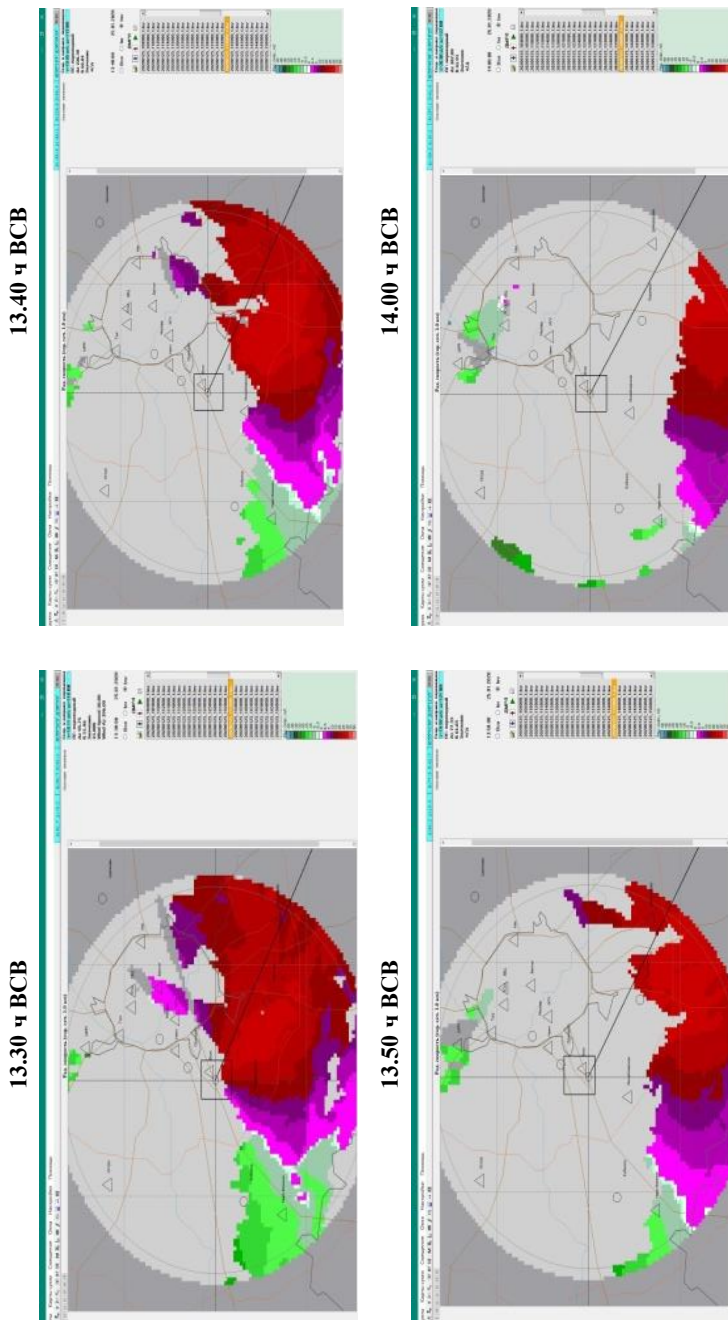
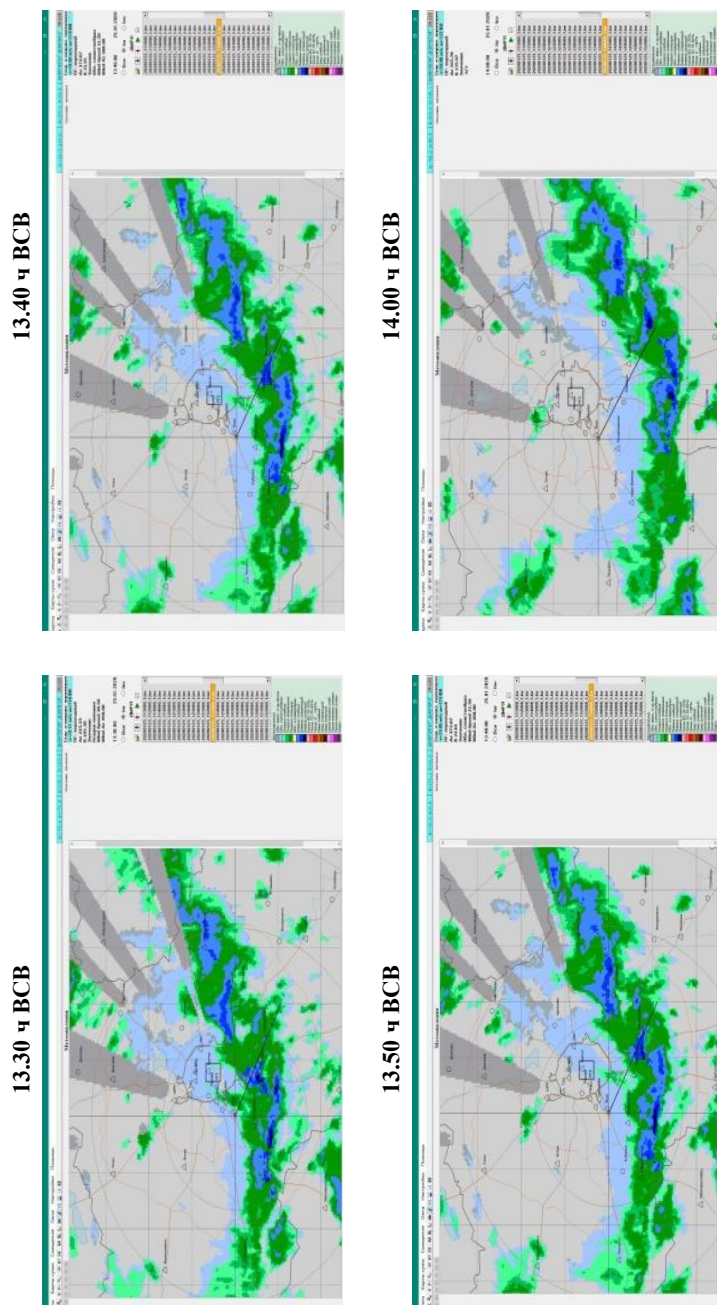


Рис. 36



в)

Рис. 3. Поля значений: верхней границы облачности (а); доплеровских скоростей (б); диагностированных метеоявлений (в) за сроки 13.30–14.00 ч ВСВ 25.01.2020 г. для территории Московской области.

Fig. 3. The fields of cloud top height (a), Doppler velocity (б) and diagnosed weather phenomena for 13.30–14.00 UTC, January 25, 2020 for the Moscow region.

Результаты исследования

Диагностирование снежных зарядов со шквалами проводилось на основе базы данных сети ДМЛР-С, созданной в ФГБУ «Гидрометцентр России». Эта база включает: информацию о радиолокационной отражаемости и дифференциальной отражаемости на 11 уровнях; высоту верхней границы облачности; явления погоды (в кодовой форме); максимальную мгновенную интенсивность осадков, суммы осадков за периоды 3 и 6 ч, поступающих в оперативном режиме. Размер сетки $0,05^\circ \times 0,05^\circ$.

Рассмотрим возникновение снежных зарядов со шквалами в Московской области 25.01.2020 г. – более подробно случаи их возникновения в двух пунктах Московской области – Домодедово и Ходаево Чеховского района. В 13.30 ч ВСВ в Домодедово было зафиксировано усиление ветра до 17 м/с. Снежный шквал такого же порядка в зоне снежного заряда (крупы) в Ходаево в 14.00 ч ВСВ наблюдал один из авторов статьи.

Анализ проводился по разработанному в ФГБУ «Гидрометцентр России» алгоритму по данным ДМЛР-С с 10-минутным разрешением по времени на сетке $0,05^\circ \times 0,05^\circ$. Интенсивность ливневых осадков (I , мм/мин) в снежных зарядах вычислялась согласно указанному в [2] уравнению с уточненным коэффициентом для зимнего периода года:

$$I = 0,000215 W_m^2, \quad (1)$$

где W_m – максимальная конвективная скорость, м/с.

Максимальная конвективная скорость рассчитывается как в [2, 5, 6]:

$$W_{m_{\text{ДМЛР-С}}} = 1,33[0,038Hm(\text{dBZ}_m - 18) + 3,52] + 4,0, \quad (2)$$

где Hm – высота верхней границы облачности, км; dBZ_m – максимальная из 11 уровней радиолокационная отражаемость.

Снежные шквалы анализировались только при условии выпадения ливневых осадков. В разработанном нами алгоритме используются те же параметры, как и в методе обнаружения шквалов по радиолокационным данным для летнего периода [7], в котором ситуация без шквала и со шквалом определяется по радиолокационной отражаемости на уровне 2,5 км выше изотермы 0°C и высоте радиоэха. Однако особенностью диагностики снежных шквалов в разработанном алгоритме является использование максимальной радиолокационной отражаемости облачности в вертикальном столбе, которая сравнивается со значениями квадратичных функций, рассчитанных по данным о высоте верхней границы облачности для трех градаций скорости ветра в шквале. Зимой высота верхней границы кучево-дождевой облачности редко превышает 4 км. В случаях анализа ситуации со шквалом в снежном заряде скорость ветра в шквале оценивается аналогично уточнению скорости ветра при летних шквалах [7] для определенной высоты верхней границы облачности (км), оцененной по таким данным, как максимальная радиолокационная отражаемость

и скорость ветра на поверхности 700 гПа (км/ч). На этом уровне используется прогностическая скорость ветра, рассчитанная по региональной модели REGION ФГБУ «Гидрометцентр России» [4], которая интерполируется в сетку данных ДМРЛ-С с временным интервалом 10 минут.

На рис. 4 представлены результаты расчетов максимальной конвективной скорости, интенсивности ливневых осадков и лапласиана приземного давления с 10-минутным разрешением.

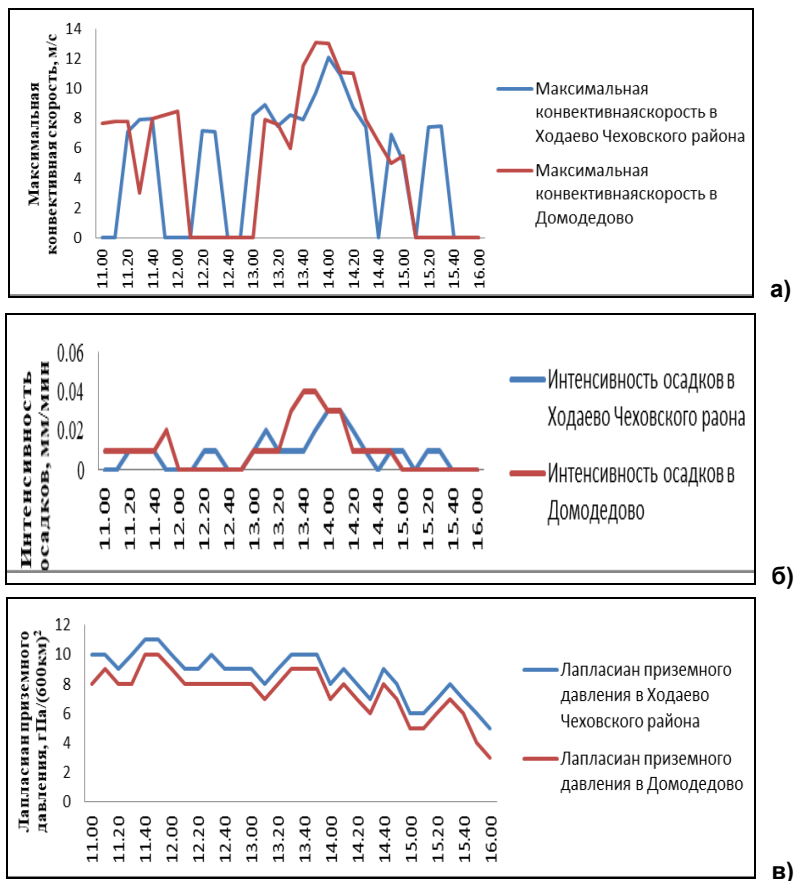


Рис. 4. Изменения параметров облачности: максимальной конвективной скорости (а); интенсивности ливневых осадков, рассчитанных по данным сети ДМРЛ-С по разработанному алгоритму (б); лапласиана приземного давления, прогнозируемого региональной моделью Гидрометцентра России (в) для Домодедово и Ходаево за период с 11.00 до 16.00 ч ВСВ 25.01.2020 г.

Fig. 4. Variations in the cloud parameters: maximum convective velocity (a); shower precipitation intensity calculated from the DMRL-C network data by the developed algorithm (б); surface air pressure Laplacian predicted by the regional model of Hydrometcentre of Russia for two settlements (в) in the Moscow region: Domodedovo and Khodaevo (the Chekhov district) for the period of 11.00–16.00 UTC, January 25, 2020.

Как видно из рис. 4а, б, наблюдалось несколько снежных зарядов с разной интенсивностью осадков. Самый интенсивный снежный заряд отмечен с 13 до 15 ч ВСВ, при этом максимальные конвективные скорости достигали 8–13 м/с, а интенсивность осадков – 0,03–0,04 мм/мин. Лапласиан приземного давления был равен 6–11 гПа/(600 км)², но к 16.00 ч ВСВ слегка уменьшился. Заметим, что хотя зимние процессы и схожи с летними грозами [1], при снежных зарядах шквалы возникают при значительно меньших значениях максимальной конвективной скорости и верхней границы облачности, но при большем значении лапласиана приземного давления.

На рис. 5 показаны фрагменты карт диагностирования шквалов за период с 13.30 до 14.00 ч ВСВ по разработанному алгоритму в цифрах кода, используемых при диагностировании по данным ДМРЛ-С в оперативном режиме работы.

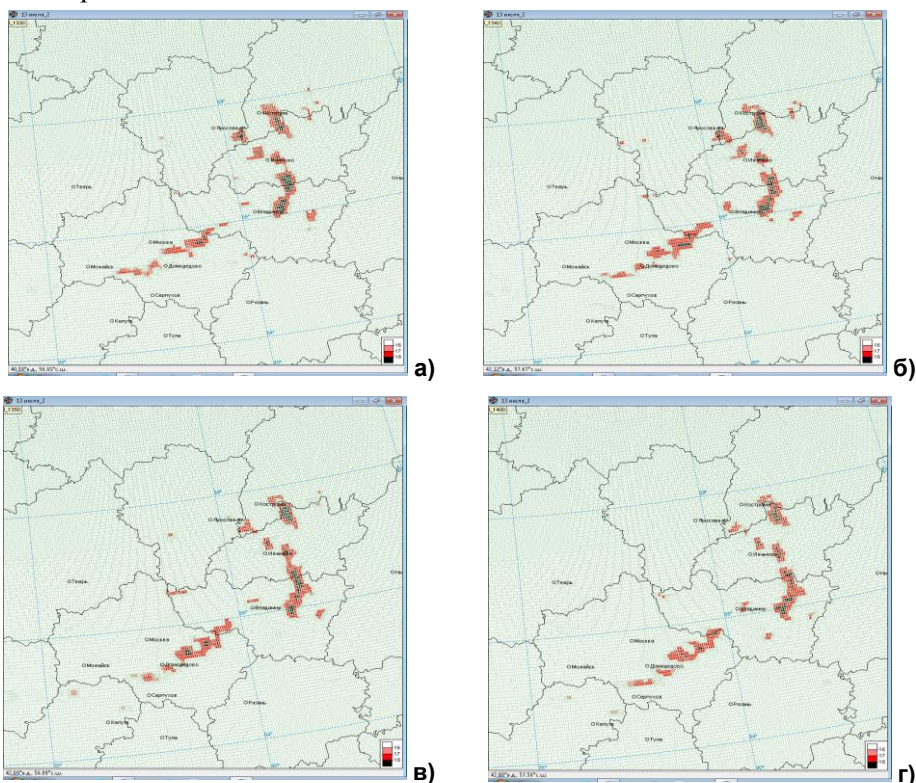


Рис. 5. Фрагменты карт диагностирования шквалов (в цифрах кода: 16 – скорость ветра от 15 до 19 м/с; 17 – от 20 до 24 м/с; 18 – от 25 м/с и выше) в снежных зарядах по разработанному алгоритму за сроки 13.30 ч ВСВ (а); 13.40 ч ВСВ (б); 13.50 ч ВСВ (в); 14.00 ч ВСВ (г) 25.01.2020 г.

Fig. 5. The fragments of maps with squalls (code numbers: 16 – wind speed from 15 to 19 m/s; 17 – from 20 to 24 m/s; 18 – ≥ 25 m/s) during snowstorms diagnosed by the developed algorithm based on DMRL-C network data for 13.30 (a); 13.40 (б); 13.50 (в); 14.00 (г) UTC on January 25, 2020.

Как видно на рис. 5, шквалы диагностировались в Московской, Владимирской, Ивановской областях, локально на западе Ярославской области и на востоке, граничащем с Костромской областью, а также в Костромской области в районах, граничащих на юго-западе с Ивановской областью. Выявленные зоны хорошо согласуются с фронтальными разделами на синоптической карте (рис. 1). В основном диагностировались шквалы в градации от 20 до 24 м/с, но были и более сильные – со скоростью более 25 м/с.

На рис. 6 даны фрагменты карт диагностированных скоростей ветра при шквалах в качестве уточнения скорости ветра при выявленных шквалах (по факту шквала).

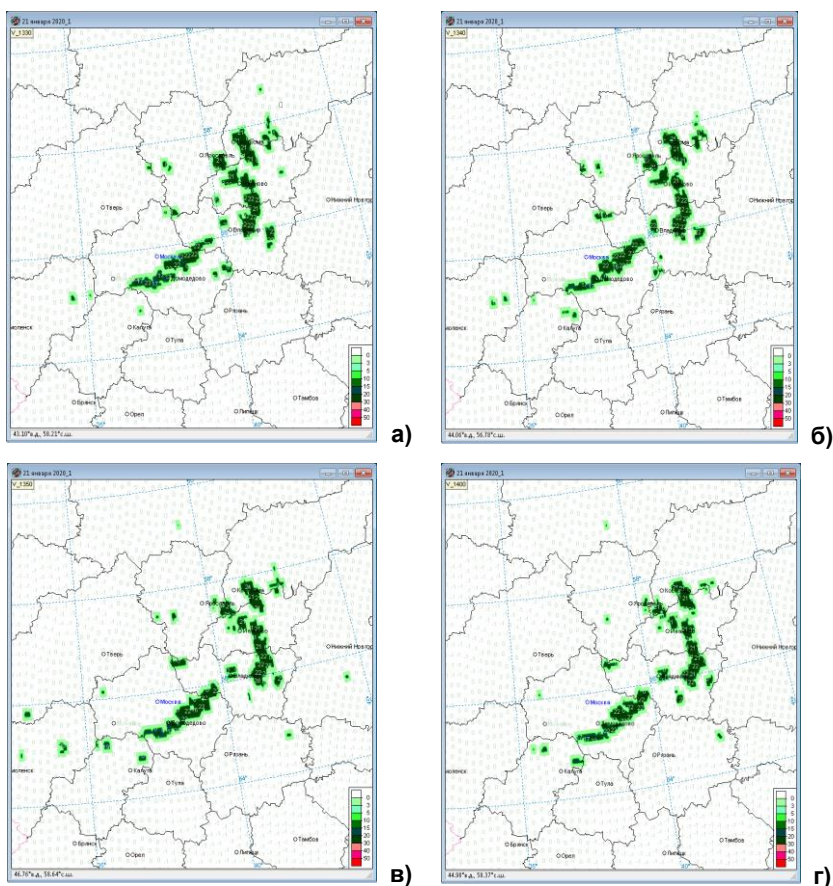


Рис. 6. Фрагменты карт диагностирования скорости ветра (м/с) при шквале в снежных зарядах за сроки 13.30 ч ВСВ (а), 13.40 ч ВСВ (б), 13.50 ч ВСВ (в); 14.00 ч ВСВ (г) 25.01.2020 г.

Fig. 6. The fragments of maps of wind speed (m/s) during squalls in snowstorms diagnosed by the developed algorithm based on DMRL-C network data for 13.30 (a), 13.40 (б), 13.50 (в), 14.00 (r) UTC on January 25, 2020.

Видно, что при уточнении скорости 25 м/с и более не диагностировались. В основном диагностированные скорости составляют 22–23 м/с, что для двух рассматриваемых случаев неплохо согласуется с фактическими данными наблюдений. Поскольку в сети Интернет (YouTube) выложены видеоролики наблюдаемых шквалов (например, в Москве и Московской области) в снежных зарядах в тот же период времени, в случаях, где наблюдалось падение деревьев, можно предположить, что скорость ветра явно превышала 20 м/с.

Выводы

Усовершенствован алгоритм диагностирования по данным сети ДМРЛ-С шквалов разной интенсивности и уточнения скорости ветра в шквале для холодного периода года, который был ранее разработан для летнего периода [5]. Этот алгоритм позволяет дополнить имеющиеся радиолокационные данные, получаемые в оперативном режиме работы сети радиолокаторов ДМРЛ-С, такими явлениями, как снежные заряды со шквалами. Эти явления отличаются локальностью и кратковременностью, но способны нанести существенный ущерб, поэтому их диагностирование имеет определенное и практическое значение. Если создавать анимационные карты выявленных шквалов, например за период 3 часа, синоптик будет иметь более реальное представление, в какое время и в каких районах можно их ожидать, что поможет своевременно дать или уточнить штормовое предупреждение об этих опасных явлениях погоды в холодное время года.

Список литературы

1. *Алексеева А.А.* Особенности условий возникновения активной конвекции с сильными шквалами // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 2 (372). С. 40-57.
2. *Алексеева А.А., Песков Б.Е.* Оценка максимальной скорости конвективного потока, характеристик ливневых осадков и града по радиолокационной информации // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 135-148.
3. Гляциологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 564 с.
4. *Лосев В.М.* Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада, ЛТД, 2010. С. 36-58.
5. Методические рекомендации по использованию в прогностической практике продукции численных краткосрочных прогнозов опасных конвективных явлений погоды в летний период года. <http://www.method.meteorf.ru> (обращение 15.07.2020 г.)
6. Программа расчета максимальных скоростей конвективных движений по данным сети доплеровских локаторов ДМРЛ-С. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2019662109 от 17.09.2019.
7. Руководство по диагнозу и прогнозу осадков, града и шквалов (опасных и стихийных) по данным МРЛ и ИСЗ. РД 52.27.339-93. 1996, 180 с.

References

1. *Alekseeva A.A.* Specific features of the conditions of occurrence of active convection accompanied by severe squalls. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2019, vol. 372, no. 2, pp. 40-57. [in Russ.].

2. *Alekseeva A.A., Peskov B.E.* Assessment of the maximum speed of convective flow, characteristics of heavy rain and hail using radar information. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 360, pp. 135-148. [in Russ.].

3. *Glyatsiologicheskiy slovar'*. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1984, 564 p. [in Russ.].

4. *Losev V.M.* Regional'naya gidrodinamicheskaya model' prognoza Gidromettsentra Rossii. *80 let Gidromettsentru Rossii*. Moscow, Triada LTD publ., 2010, pp. 36-58. [in Russ.].

5. *Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu v prognosticheskoy praktike produktzii chislennykh kratkosrochnykh prognozov opasnykh konvektivnykh yavleniy pogody v letniy period goda*. Available at: <http://www.method.meteorf.ru>. [in Russ.].

6. *Programma rascheta maksimal'nyh skorostey konvektivnykh dvizheniy po dannym seti doplerovskikh lokatorov DMRL-S: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registracii programmy EVM № 2019662109 ot 17.09.2019*. [in Russ.].

7. *Rukovodstvo po diagnozu i prognozu opasnyh i osobo opasnyh osadkov, grada i shkvalov po dannym meteorologicheskikh radiolokatorov i iskusstvennyh sputnikov Zemli. RD 52.27.339-93*. Moscow, ROSGIDROMET, 1996, 181 p. [in Russ.].

*Поступила 31.07.2020 г., одобрена после рецензирования 17.09.2020,
принята в печать 09.10.2020.*

*Submitted 31.07.2020; approved after reviewing 17.09.2020;
accepted for publication 09.10.2020.*