

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-6-23>

УДК 551.501.81

Диагноз сильных шквалов на основе данных ДМРЛ-С и результатов численного моделирования

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

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
alekseeva@mecom.ru*

Представлен подход автоматизированного диагностирования шквалов в градации опасных явлений (≥ 25 м/с) по радиолокационной информации сети ДМРЛ-С с использованием данных численного моделирования. Дискриминантная функция для диагностирования ранее апробирована при автоматизированном прогнозе шквалов в градации опасных явлений. Предикторами являются максимальная конвективная скорость, рассчитываемая по данным ДМРЛ-С, и лапласиан приземного давления, прогнозируемый в узлах сетки радиолокационных данных $0,05 \times 0,05^\circ$ с временным разрешением 10 минут по региональной модели Гидрометцентра России. Предлагаемый подход диагностирования протестирован в период с 1 мая по 31 июля 2020 г. (более 13000 сроков наблюдений). Результаты исследований позволят получить дополнительные данные о шквалах в градации опасных явлений погоды и могут быть использованы для уточнения краткосрочных прогнозов и штормовых предупреждений о таких явлениях.

Ключевые слова: диагностирование, шквал, градация опасных явлений, радиолокационные данные, ДМРЛ-С, результаты моделирования

Diagnosis of severe squalls based on the data of DMRL-C Doppler weather radars and numerical modeling

A.A. Alekseeva, V.M. Bukharov, V.M. Losev

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia
alekseeva@mecom.ru*

The approach to the automated diagnostics of severe squalls (≥ 25 m/s) based on the DMRL-C radar network information and the results of numerical modeling is presented. The discriminant function used for the diagnostics was previously tested during the automated forecast of severe squalls. The predictors are the maximum convective velocity calculated from the DMRL-C data and the Laplacian of surface pressure predicted at the $0.05 \times 0.05^\circ$ radar data grid points with a temporal resolution of 10 minutes according to the regional model of the Hydrometeorological Center of Russia. The proposed approach was tested during the period from May 1 to July 31, 2020 (more than 13000 observation moments). The presented results will provide additional data on severe squalls and can be used to refine short-term forecasts and storm warnings about such weather events.

Keywords: diagnostics, squall, severe weather events, radar data, DMRL-C, simulation results

Введение

Сильные шквалы со скоростью ветра ≥ 25 м/с, относящиеся к градации опасных явлений (ОЯ) погоды, могут приводить к разрушениям жилых и хозяйственных построек, повреждению технических сооружений, транспортных средств и линий электропередач, человеческим жертвам. Несмотря на то, что на Европейской территории России (ЕТР) в летний период года из всех опасных конвективных явлений погоды чаще отмечаются ливни (63 %), а на шквалы градации ОЯ приходится только 14 %, именно опасные явления со шквалами значительно чаще других приводят к значительному ущербу [12]. Поэтому их изучение, диагностика и прогнозирование являются актуальными задачами метеорологии и имеют практическое значение для целей принятия превентивных мер защиты.

При диагностике шквалов с помощью доплеровских локоаторов ДМРЛ-С, сеть которых расширяется на территории России, на карте метеоявлений среди всех выявляемых метеорологических явлений именно шквалам отводятся цифры кода от 16 до 18 в зависимости от силы ветра [9]. Цифры кода увеличиваются с повышением опасности от возникшего явления. Большую цифру кода (код 19) имеют только смерчи.

В настоящее время диагностика шквалов на основе радиолокационной информации ДМРЛ-С проводится с использованием алгоритмов, реализованных в рамках программного обеспечения вторичной обработки данных ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» [11]. В процессе верификации продукции ДМРЛ-С с диагностируемыми явлениями выявляются недочеты, в настоящее время готовится новая версия программного обеспечения [9].

На карте метеоявлений ДМРЛ-С шквалы сопутствуют грозам различной интенсивности. В [9] отмечается, что алгоритм расчета шквалов таков, что шквалы у поверхности Земли, образующиеся при прохождении кучево-дождевой облачности, сопровождающейся ливнями, на карте метеоявлений зачастую не отображаются. Кроме того, значительную часть шквалистых усилений ветра (до 30–40 %) ДМРЛ-С объективно не может идентифицировать, так как они приходятся на область отсутствия радиозаха. Одновременно указывается, что шквалистые усиления ветра у поверхности Земли могут быть зафиксированы на карте доплеровской скорости самого нижнего уровня наблюдений (на высоте определения осадков).

Известно, что в условиях, когда диагностируется шквал со скоростью ≥ 25 м/с, возможно появление смерча. Именно поэтому особенно важно как можно точнее диагностировать шквалы со скоростью 25 м/с и более. Представленные исследования посвящены решению данной проблемы на основе авторских разработок, отличных от внедренного в оперативную работу ДМРЛ-С варианта диагностирования шквалов. Дополнительные данные о диагностированных шквалах в градации ОЯ могут помочь более точно и с большей заблаговременностью составлять штормовые предупреждения об их возникновении.

Материалы и методы исследования

Результаты представленного исследования получены на основе информации сети ДМРЛ-С на ЕТР в летний период 2020 г., а также данных моделирования региональной модели Гидрометцентра России, на основе которых рассчитывается лапласиан приземного давления с временным и пространственным разрешением радиолокационных данных – один из определяющих возникновение шквалов градации ОЯ предикторов.

Для исследований использованы: а) радиолокационные данные из созданной в Гидрометцентре России специализированной базы данных (БД) 9 локаторов ДМРЛ-С (Валдай, Внуково, Шереметьево, Брянск, Кострома, Смоленск, Нижний Новгород, Воейково, Вологда); б) модельные расчеты метеопараметров по расчетам региональной модели в 00 и 12 ч ВСВ.

При тестировании диагностированных шквалов в градации ОЯ использовались данные наблюдений метеорологических станций, передаваемые по кодам SYNOP и WAREP, а также данные сообщений о возникновении опасных явлений погоды из журнала ОЯ отдела краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений погоды по территории России Гидрометцентра России. Кроме того, использованы видео с сильными шквалами из сети Интернет.

Использованы методы экспериментально-теоретического уровня, позволяющие собрать факты, систематизировать и выявить неслучайные физические связи между возникновением сильных шквалов и параметрами атмосферы. К использованным теоретическим методам относится метод моделирования для расчета предиктора в экспериментально полученной зависимости для диагностирования шквалов в градации ОЯ в комплексе с радиолокационными данными. В основе использованных данных лежит основной метод исследования в метеорологии – метод наблюдений, а именно измерений ДМРЛ-С, позволяющий диагностировать такое атмосферное явление, как шквал.

Теоретические основы диагностики сильных шквалов на основе данных ДМРЛ-С

Применяемый в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» [11] алгоритм диагноза шквалов разработан на основе Методических указаний [10] для локаторов предыдущего поколения, а также приведенной в [6] зависимости.

График для диагностирования шквалов представлен на рис. 1 [6]. Для интерпретации грозы со шквалом используются значения радиолокационной отражаемости $\lg Z_3$ на уровне высоты изотермы -15°C (это приблизительно уровень на 2–2,5 км выше высоты нулевой изотермы) и превышения верхней границей облачности уровня тропопаузы.

Анализ связи скорости ветра у земли с отражаемостью и с разностью высот тропопаузы и верхней границы радиоэха Св ($H_{\text{тр}} - H_{\text{в}} = \Delta H_{\text{тр}}$) показал (рис. 1), что можно выделить три зоны: I – шквал со скоростью

больше 20 м/с, II – шквал со скоростью 15...20 м/с, III – шквал со скоростью меньше 15 м/с. В I зоне величина $\Delta H_{\text{тр}}$ составляет от 1 до -3 км, а $\lg Z_3$ превышает 2,4 (согласно пересчета отражаемости в dBz: $\lg Z_3 \text{ (dBz)} = 10 \lg Z_3 + 18$; это 42 dBz). Отмечается, что наименьшее значение $\lg Z_3$ наблюдается в тех случаях, когда разность высоты радиоэха Св и $H_{\text{тр}}$ достигает 3 км. С уменьшением разности до 1 км значение $\lg Z_3$ увеличивается до 4 (58 dBz). Во II зоне величина $\Delta H_{\text{тр}}$ составляет от 1,2 до -1,4 км, а $\lg Z_3$ изменяется от 2,9 (47 dBz) до 3,9 (57 dBz). В III зоне наибольшее значение $\Delta H_{\text{тр}}$ равно -0,5 км, а $\lg Z_3$ может изменяться в пределах 2,7–3,9 (45–57 dBz), причем наибольшее значение $\lg Z_3$ отмечается при $\Delta H_{\text{тр}} = 2$ км.

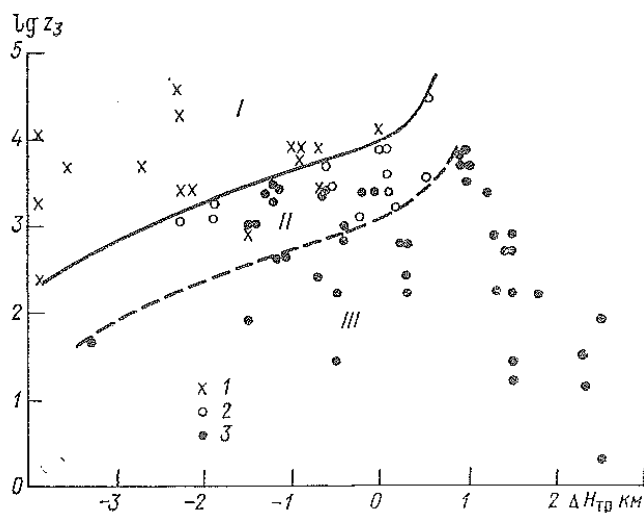


Рис. 1. График зависимости между $\lg Z_3$ и превышением верхней границы облачности уровня тропопаузы $\Delta H_{\text{тр}}$; зоны для оценки шквалов: I – шквал со скоростью больше 20 м/с, II – шквал со скоростью 15...20 м/с, III – шквал со скоростью меньше 15 м/с.

Fig. 1. The graph for the dependence between $\lg Z_3$ and the exceeding of the tropopause level by the cloud top $\Delta H_{\text{тр}}$; the zones to estimate squalls: I – squalls with a speed of 20 m/s, II – squalls with a speed of 15...20 m/s, III – squalls with a speed below 15 m/s.

Следует заметить, что график на рис. 1 позволяет диагностировать шквалы со скоростью больше 20 м/с, не выделяя градацию ≥ 25 м/с.

Результаты исследований

В [1] показано, что наиболее информативными предикторами для прогноза шквалов любой силы являются максимальная конвективная скорость и лапласиан приземного давления.

Очевидна физичность первого предиктора. Только при наличии мощной восходящей струи может накопиться достаточно влаги, которая, обрушиваясь вниз, создает мощный нисходящий поток и, как следствие, шквал. Второй информативный предиктор отражает конвергенцию горизонтальных приземных потоков воздуха, необходимых для обеспечения подъема массы достаточно влажного и теплого воздуха восходящими потоками. Лапласиан приземного давления важен и потому, что позволяет выделять зону полного отсутствия шквалов. Поэтому использование сочетания этих предикторов в большей степени уменьшает недостатки использования их по отдельности.

На основе решения Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 04.04.2006 г. в Гидрометцентре России был внедрен в оперативную практику метод автоматизированного альтернативного прогноза дневных шквалов в градации ОЯ с заблаговременностью 12 и 24 ч с использованием выходной продукции региональной гидродинамической модели атмосферы [2–4]. Прогноз шквалов в градации ОЯ осуществляется по дискриминантной функции, предикторами которой являются именно два вышеуказанные наиболее информативные параметра атмосферы.

В представляемых исследованиях по диагностике шквалов градации ОЯ по данным ДМРЛ-С использована применяемая в рекомендованном к внедрению методе прогноза зависимость [2–4]:

$$L_{шк} = W_m + 2,16\nabla P_3 - 35, \quad (1)$$

где W_m – максимальная конвективная скорость, м/с; ∇P_3 – лапласиан приземного давления, гПа/(300км)². Причем расчеты проводятся только при условии, когда $W_m \geq 27$ м/с и $7,5 \geq \nabla P_3 \geq 3,5$ гПа/(300 км)².

При диагностике используется прогностический лапласиан приземного давления, рассчитанный на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России [8] с временным (10 мин) и пространственным (0,05 град.) разрешением, сопряженным с радиолокационными данными.

Максимальная конвективная скорость при диагностировании шквалов рассчитывается по данным ДМРЛ-С.

Таким образом, диагностика шквалов градации ОЯ проводится на основе данных ДМРЛ-С по зависимости, используемой в течение более десяти лет при автоматизированном прогнозировании шквалов градации ОЯ.

Диагностика максимальных конвективных скоростей

Сегодня при получении вторичных продуктов ДМРЛ-С максимальные конвективные скорости не диагностируются. Доплеровский локатор измеряет суммарный вертикальный поток воздуха, включая

относительную скорость выпадения осадков. Основные движения, обнаруженные локатором, скорее вызваны скоростями падения осадков, чем вертикальными потоками воздуха. По этой причине вертикальные движения, обнаруженные доплеровским локатором, являются не очень эффективным количественным показателем активной конвекции [7]. Поэтому максимальные конвективные скорости, оцененные предлагаемым подходом по данным ДМРЛ-С, уже сами по себе позволяют дополнить имеющиеся радиолокационные данные эффективным количественным показателем развития зон активной конвекции.

Максимальная конвективная скорость W_m (м/с) рассчитывается [5]:

$$W_m = 1,33[0,038H_m(\text{dBZ}_m - 18) + 3,52] + 4,0, \quad (2)$$

где H_m – высота верхней границы облачности (км); dBZ_m – максимальная радиолокационная отражаемость (dBz) в столбе.

На рис. 2 для примера приведены фрагменты карт диагноза максимальной конвективной скорости за 17.09.2020 г. по данным ДМРЛ-С. 17 сентября метеорологические условия на большей части ЕТР определялись влиянием атмосферных фронтов атлантического циклона, центр которого переместился со Скандинавии на центральные регионы. Температура была около и на 2–4 °С выше климатической нормы. Преобладающая дневная температура воздуха составляла 16...23 °С. В Центральном и Приволжском федеральных округах прошли сильные дожди, местами с грозами и порывистым ветром.

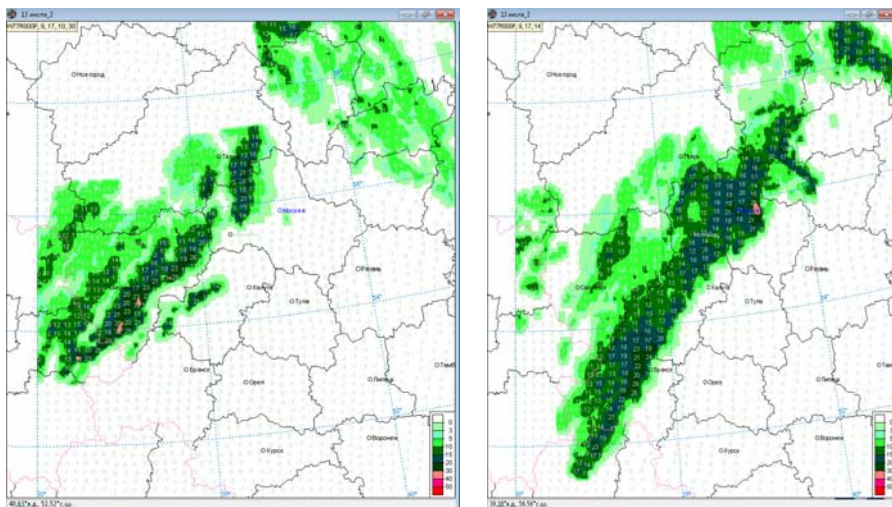


Рис. 2. Фрагменты карт диагностированной максимальной конвективной скорости (м/с) за 10.30 и 14.00 ч ВСВ 17.09. 2020 г. по данным сети ДМРЛ-С.

Fig. 2. The fragments of maps of the diagnosed maximum convective velocity (m/s) for 10.30 and 14.00 UTC on September 17, 2020 according to the DMRL-C network.

В Московской области отмечалось усиление ветра до 22 м/с. В районе Восточное Бирюлево Москвы ветер поднял в воздух металлический контейнер, повреждены автомобили. В Солнечногорске повалены деревья, повреждены автомобили, пострадали два человека. По данным объединенной грозопеленгационной системы ФГБУ «НИЦ «Планета» и ФГБУ «ВГИ», 17 сентября интенсивная грозовая активность была зарегистрирована в зоне холодного атмосферного фронта, который смещался с северо-запада через север и центр ЕТР. Наибольшее число вспышек молний 17 сентября было зарегистрировано в Московском регионе: 6095 (за период с 9.00 до 17.30 ч ВСВ), в том числе 561 в Москве (за период с 11.15 до 16.30 ч ВСВ). На 18.00 ч ВСВ в отдельных районах Москвы выпало до 36 мм осадков, что составило более половины месячной нормы сентября: в САО – 35, СВАО – 35,8, ВАО – 30,2 и ЮВАО – 28 мм. Местами выпал град.

Как видно, диагностированные предлагаемым подходом максимальные конвективные скорости по данным ДМРЛ-С (рис. 2) характерны для развития зон активной конвекции с ливнями и шквалами [1, 5, 12].

Обсуждение результатов

В период 2016–2019 гг. диагностика шквалов в градации ОЯ по данным ДМРЛ-С предлагаемым подходом проводилась для отдельных случаев активных конвективных процессов. В данный период диагностики использовались данные 9 локаторов, с 2020 г. дополнительно создана база данных 26 локаторов.

Радиолокационные данные привязаны к сетке $0,05 \times 0,05^\circ$ и временному интервалу 10 минут. С технической точки зрения БД 9 локаторов заполняется без потери данных, для 26 локаторов имелись пропуски данных. Поэтому для рассматриваемых исследований использовалась БД 9 локаторов.

Шквалы градации ОЯ диагностировались ежедневно, включая дневное и ночное время, с 10-минутным разрешением в период с 1.05 по 31.07.2020 г., а также анализировались отдельные случаи за сентябрь при развитии активных конвективных процессов в Центральном федеральном округе России. Длительность периода тестирования алгоритма диагностирования шквалов в градации ОЯ составила более 90 дней (более 13000 сроков наблюдений).

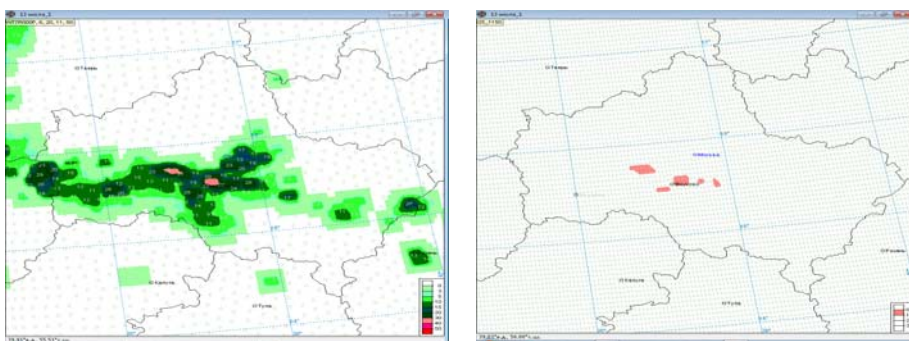
Верификация диагностированных и спрогнозированных опасных конвективных явлений в силу их локальности в условиях достаточно редкой сети наблюдений – сложная задача. Конвективным ячейкам свойственно объединяться друг с другом, а отдельным – затухать или резко активизироваться в своем развитии. Надо учитывать и взрывной характер возникновения опасных конвективных явлений. Поэтому, если даже на метеостанции отмечается шквал меньшей градации, чем опасное явление, уже на удалении нескольких километров или десятков километров может

возникнуть шквал большей интенсивности, где наблюдений нет. Особенно это сложно сделать относительно явлений в градации ОЯ, так как дополнительным фактом является и их меньшая повторяемость, чем аналогичных явлений меньшей интенсивности.

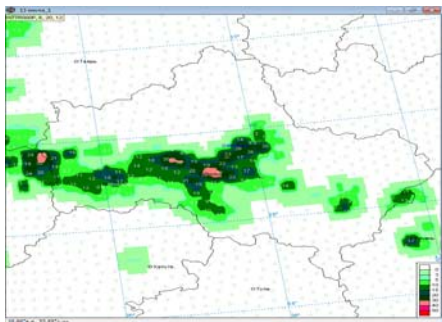
В нашем исследовании при тестировании диагностирования шквалов в градации ОЯ использованы данные наблюдений, передаваемые в кодах SINOP и WAREP, из журналов фиксирования опасных явлений погоды. Следует заметить, что для верификации радиолокационных данных о грозах и осадках на станциях наблюдений, а также шквалах скоростью до 20 м/с, более пригодны данные по коду WAREP. Данные о явлениях, передаваемые по коду SINOP, практически дублируют данные о них по коду WAREP, но с меньшей детализацией по времени (в срок наблюдения, между сроками). Верификация таких явлений, как шквал в градации ОЯ, проблематичен ввиду редкой их повторяемости на метеорологических станциях. Как правило такие явления проходят между станциями. Вызвала трудности и верификация их при тестировании диагностирования на исследуемой территории в рассматриваемый период.

Шквалы градации ОЯ диагностированы данным подходом на рассматриваемой территории в 11,77 % случаев от общего количества сроков наблюдений в исследуемый период: 0,86 % – в мае, 6,76 % – в июне, 4,15 % – в июле, что не противоречит их природной повторяемости по месяцам. Выявляемые данным подходом шквалы градации ОЯ имеют вид компактных округлых или вогнутых при наблюдении их в нескольких узлах сетки зон, часто в виде отдельных локальных точек.

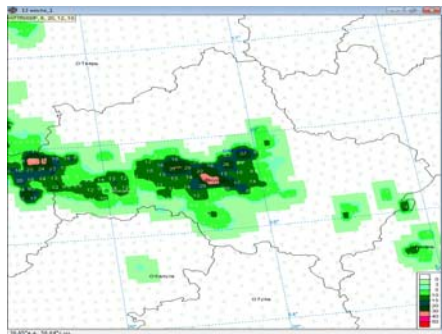
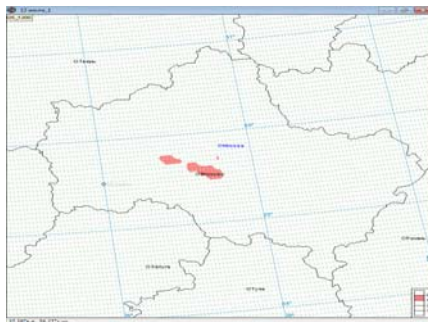
За весь исследуемый период практически в одном случае – 20 июня 2020 г. – зоны шквалов градации ОЯ были зафиксированы и диагностированы на станции (Внуково), где согласно данным по коду SINOP в 18 ч ВСВ зафиксирована скорость ветра между 6-часовыми сроками 26 м/с и по коду WAREP в 12.08 ч ВСВ скорости ветра 17 м/с с порывами 26 м/с. На рис. 3 приведены фрагменты карт диагностирования шквалов градации ОЯ 20 июня 2020 г. рассматриваемым подходом.



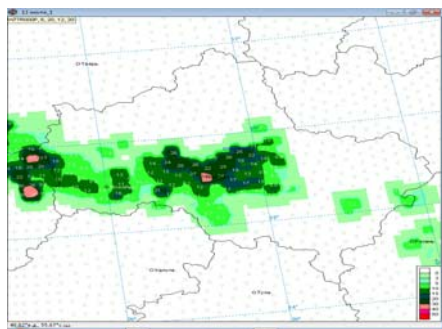
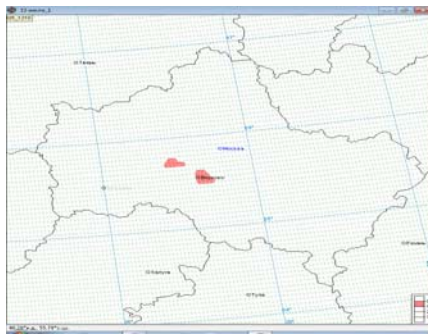
11.50 ч ВСВ



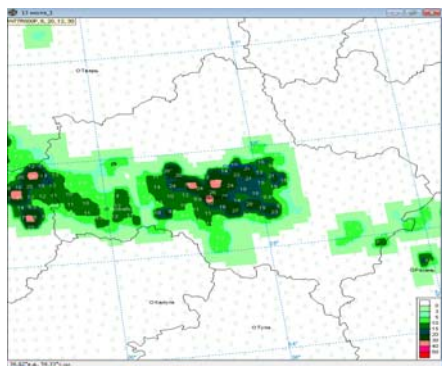
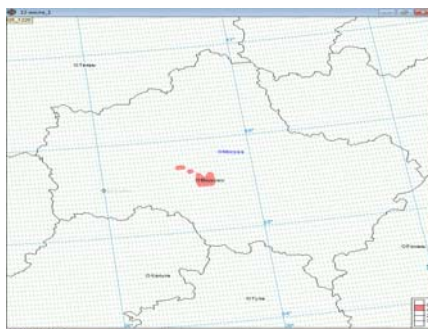
12.00 ч ВСВ



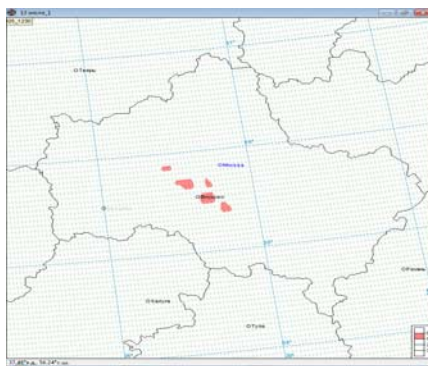
12.10 ч ВСВ

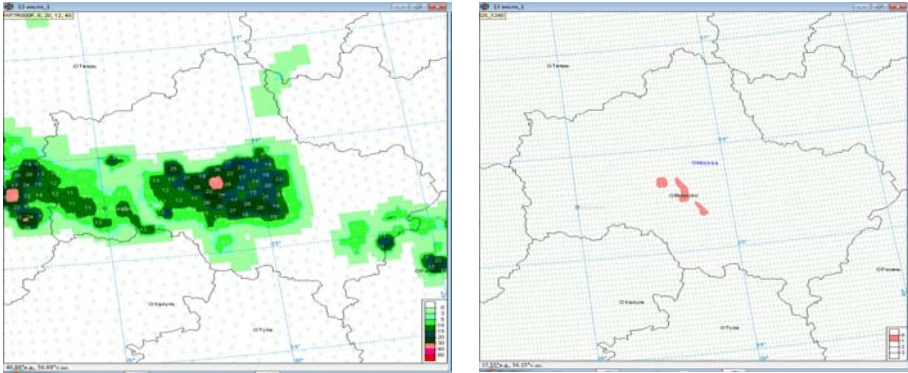


12.20 ч ВСВ



12.30 ч ВСВ



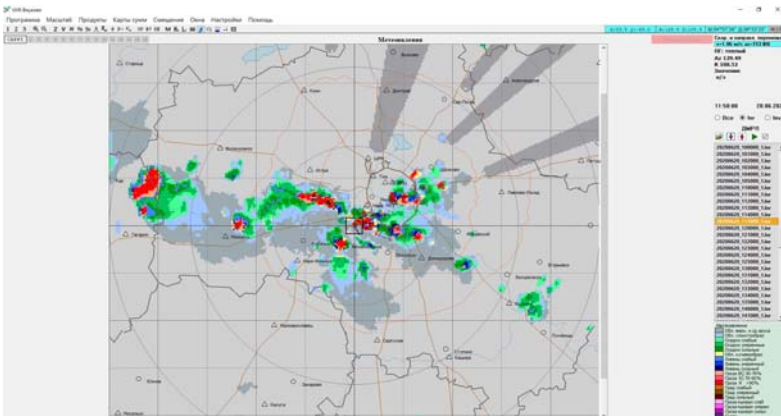


12.40 ч ВСВ

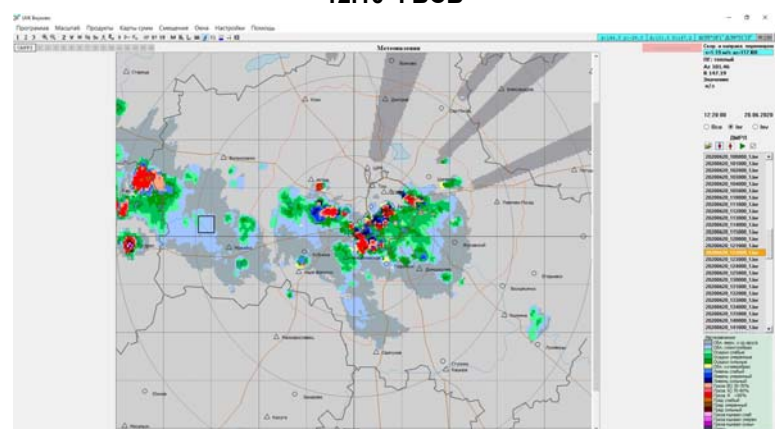
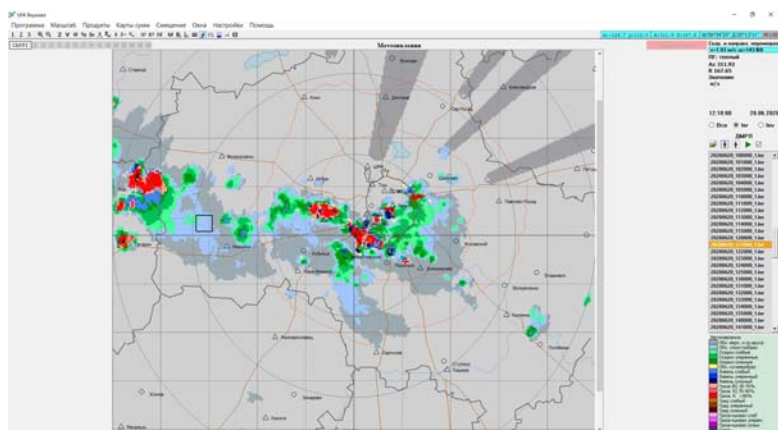
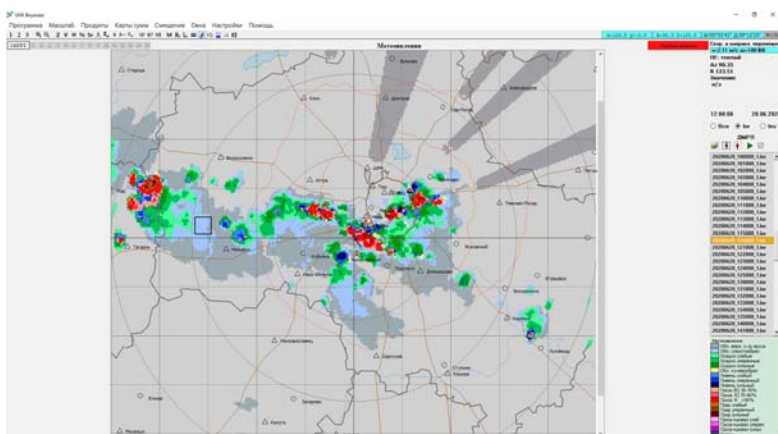
Рис. 3. Фрагменты карт с диагностированными максимальной конвективной скоростью (слева, м/с) и шквалами градации ОЯ (справа, цифра 1 (красный цвет) соответствует при визуализации возникновению явления) по данным сети ДМРЛ-С предлагаемым подходом в период 11.50–12.40 ч ВСВ 20.06.2020 г.

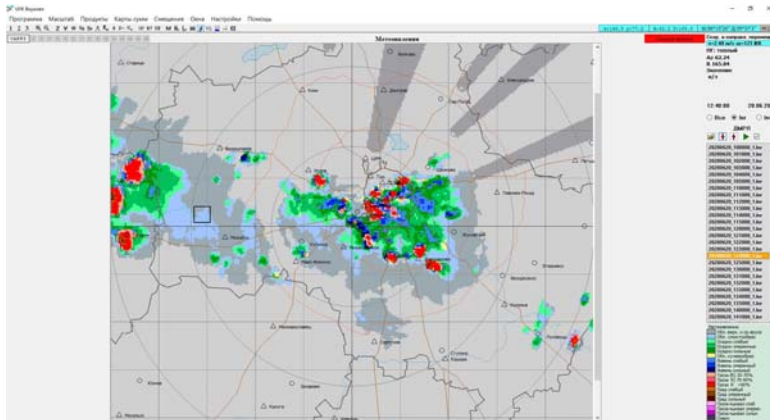
Fig. 3. The fragments of maps with the diagnosed maximum convective velocity (on the left, m/s) and severe squalls (on the right, the number 1 (red) corresponds to the occurrence of the phenomenon) according to the DMRL-C network data obtained using the proposed approach for the period of 11.50–12.40 UTC on June 20, 2020.

На территории Московского мегаполиса в период с 11.00 до 00.00 ч ВСВ следующего дня с прохождением активного холодного атмосферного фронта с северо-запада, согласно сообщения Росгидромета, прогнозировался комплекс неблагоприятных и опасных погодных явлений: гроза, сильный дождь (количество осадков 10–15 мм), местами очень сильный дождь (количество осадков 20–30 мм), в отдельных районах град, при грозе порывы ветра 15–20 м/с. На рис. 4 представлены карты метеоявлений ДМРЛ-С Внуково за те же сроки, что и на рис. 3.

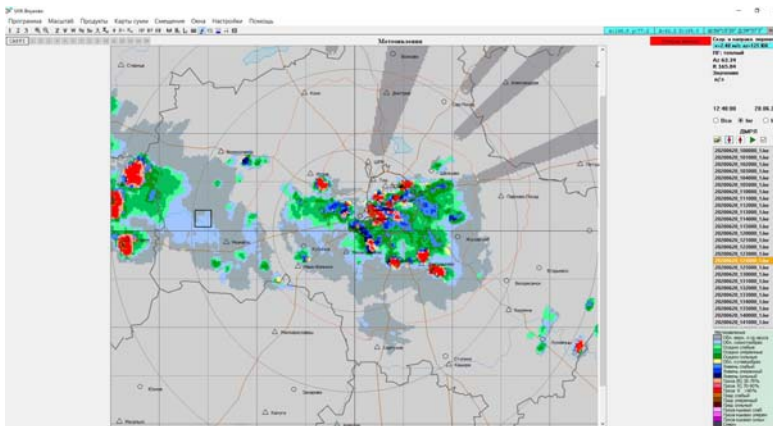


11.50 ч ВСВ





12.30 ч ВСВ



12.40 ч ВСВ

Рис. 4. Карты метеоявлений ДМРЛ-С Внуково, генерируемые в оперативном режиме, в период 11.50–12.40 ч ВСВ 20.06.2020 г.
Fig. 4. The maps of DMRL-C Vnukovo weather events generated online for the period of 11.50–12.40 UTC on June 20, 2020.

В таблице представлены данные, выбранные из Таблиц опасных явлений, генерированных ДМРЛ-С Внуково в оперативном режиме за тот же период наблюдений, позволяющие более наглядно провести анализ и сравнение с диагностированными шквалами градации ОЯ предлагаемым подходом.

Согласно Таблицам опасных явлений можно констатировать, что 20.06.2020 г. ДМРЛ-С Внуково начал диагностировать шквалы в дневное время с 10.10 ч ВСВ как в режиме отражаемости $\ln r$ (с получением информации в радиусе 250 км от локатора), так и в режиме скорости $\ln v$ (с получением информации в радиусе 125 км от локатора). В это время диагностировался умеренный шквал в обоих режимах в юго-западном

направлении на удалении 26–36 км от локатора. В 10.20 ч ВСВ в обоих режимах в том же направлении от локатора продолжал диагностироваться шквал умеренной интенсивности, а также в северо-западном направлении на удалении 26–37 км сильные шквалы в режиме Inr. Следует заметить, что в режиме Inv в этом районе в данный срок диагностировался шквал, но уже умеренный. В последующие 10-минутные сроки вплоть до сопоставимых сроков с данными, приведенными на рис. 3 и 4, диагностировались шквалы разной силы от слабых до сильных.

Таблица. Данные о диагностируемых в оперативном режиме ДМРЛ-С Внуково шквалах в период 11.50–12.40 ч ВСВ 20.06.2020 г. из Таблиц опасных явлений

Table. The data on the squalls diagnosed in the operational mode of DMRL-C Vnukovo during the period of 11.50–12.40 UTC on June 20, 2020 from the Tables of Severe Weather Events

Срок наблюдений	Режим работы ДМРЛ-С	Диагностированная сила шквала	Азимут, град	Расстояние от ДМРЛ-С Внуково, км
11.50	Inr	умеренный	293–329	14–40
		сильный	вокруг центра	0–17
	Inv	слабый	293–328	14–39
		сильный	вокруг центра	0–17
12.00	Inr	слабый	49–70	19–38
		сильный	вокруг центра	0–28
	Inv	сильный	вокруг центра	0–29
12.10	Inr	слабый	280–288	117–144
	Inv	не диагностированы	-	-
12.20	Inr	сильный	265–270	136–145
	Inv	не диагностированы	-	-
12.30	Inr	умеренный	26–93	10–33
		умеренный	264–270	134–148
	Inv	умеренный	27–93	10–34
12.40	Inr	слабый	25–82	11–48
	Inv	слабый	25–82	12–48

Сильные шквалы диагностировались в 10.40 ч ВСВ на удалении 99–114 км на востоке от локатора и в 11.00 ч ВСВ на востоке-северо-востоке на удалении 18–35 км в режиме Inr; в этом же районе в режиме Inv шквалы диагностировались уже меньшей интенсивности, умеренные. В 11.10 ч ВСВ диагностированный в режиме Inr как умеренный шквал, в том же направлении, что в предыдущий срок наблюдений, в режиме Inv диагностируется как сильный. В 11.20 ч ВСВ диагностировался сильный шквал

в этом же направлении от локатора в обоих режимах наблюдений, но уже на удалении 8–42 км. В 11.30 и 11.40 ч ВСВ диагностировались умеренные и слабые шквалы, совпадающие по силе в обоих режимах наблюдений. Следует отметить, что в эти сроки зоны со шквалами практически приблизились к локатору, удаление составило 2–36 км. Противоречий в диагностировании силы шквала в разных режимах наблюдений в эти сроки не наблюдается.

В 11.50 и 12.00 ч ВСВ вокруг центра (локатора) (рис. 4 и таблица) диагностировались сильные шквалы на удалении до 29 км, т. е. и во Внуково. В 12.10 ч ВСВ диагностировались только слабые шквалы на западе от локатора на удалении 117–144 км. В 12.20 – уже сильные в том же районе в режиме Inr; в 12.30 – умеренные шквалы как на удалении 10–34 км в северо-восточном направлении, так и на западе на удалении 134–148 км; в 12.40 ч ВСВ в северо-восточном направлении на удалении 11–48 км – слабые шквалы, в 12.50 – сильные на востоке на удалении 141–157 км, а также умеренные в том же направлении и на северо-востоке на удалении от 11 до 63 км. Позже три срока наблюдений диагностировались умеренные и слабые шквалы, но уже в основном на востоке и северо-востоке на удалении от 34 до 75 км. Далее сильные шквалы стали диагностироваться локатором в период с 13.30 до 15.40 ч ВСВ на удалении от 55 до 100 км. Начиная с 15.50 ч ВСВ диагностировались практически во все сроки наблюдений умеренные и слабые шквалы.

Анализ Таблиц опасных явлений за 20.06.2020 г. показал, что иногда в разных режимах наблюдений локатора диагностированные шквалы не совпадают по силе ветра. Отметим, что в одном и том же месте в режиме Inr диагностируются большие градации шквалов, чем в режиме Inv.

Сравнение диагностированных шквалов предлагаемым в исследованиях подходом с диагностированными в оперативном режиме ДМРЛ-С показывает, что в 11.50 и 12.00 ч ВСВ сильные шквалы диагностируются в обоих случаях. В 12.10 и 12.20 ч ВСВ наблюдается отличие: в оперативном режиме во Внуково и вокруг центра наблюдений (локатора) шквалы не диагностируются, а предлагаемым подходом диагностируются. И как отмечено выше, именно в 12.08 ч ВСВ такие шквалы отмечены по коду WAREP. Далее в 12.30 и 12.40 ч ВСВ диагностированные шквалы вблизи Внуково отличаются по силе: предлагаемым подходом в 12.30 ч ВСВ сильные, в оперативном режиме – умеренные; в 12.40 ч ВСВ – сильные и слабые соответственно.

Таким образом, анализ диагностированных зон со шквалами в оперативном режиме работы ДМРЛ-С в двух режимах, а также их диагностирования предлагаемым подходом показывает, что имеются как совпадения, так и различия в диагностировании как самого явления, так и его интенсивности. Это говорит о том, что требуется дальнейший анализ конкретных случаев с фактически возникшими шквалами градации ОЯ всеми подходами с целью выработки более точного алгоритма их

диагностирования. Кроме того, в случаях возникновения шквалов в градации ОЯ синоптику будет полезным иметь результаты диагностирования всеми подходами как дополняющие друг друга, чтобы дать более точные прогноз на ближайшее время и штормовое предупреждение.

Относительно предлагаемого подхода диагностирования шквалов градации ОЯ из сравнения можно сделать вывод, что в двух сроках, когда практически во Внуково наблюдался шквал порывами 26 м/с и ДМРЛ-С Внуково в оперативном режиме диагностировал вокруг локатора сильные шквалы, и предлагаемым подходом диагностировались шквалы градации ОЯ. Если сравнить карты метеоявлений ДМРЛ-С (рис. 4), на которых цветом предусмотрена визуализация явлений по 19 цифрам кода, с картами диагностированных шквалов градации ОЯ (рис. 3), то последние являются более наглядными. Следует заметить, что только Таблицы опасных явлений, генерированные в оперативном режиме работы локатора, позволили проанализировать диагностируемые шквалы в сравнении.

Остальные диагностированные случаи шквалов ОЯ за рассматриваемый период характеризовались большим количеством сообщений по коду WAREP для данной территории о грозах на станциях наблюдений, а чаще – грозах в окрестности станции, о порывах ветра в градации 15–20 м/с, реже до 23 м/с, сильных осадках, изредка о граде.

Анализируя данные о конвективных явлениях по коду WAREP за исследуемый период, можно сделать осторожный вывод, что ветры градации ОЯ практически не фиксируются станциями наблюдений. Исключением являются аэродромы, где уделяется повышенное внимание к наблюдениям за шквалами. Подтверждением является рассматриваемый на рис. 3 и рис. 4 случай во Внуково, а также случай фиксирования по коду WAREP шквала градации ОЯ в Сасове Рязанской области (не на территории исследований), где находится летное училище.

На остальных станциях наблюдений за рассматриваемый период шквалов градации ОЯ не зафиксировано, хотя в сети Интернет довольно много видео случаев о непогоде (выкорчеванные деревья, упавшая или летающая реклама, повреждения линий электропередач). Поскольку количество наблюдаемых на станциях случаев шквалов градации ОЯ мало (практически отсутствует) и статистически не обеспечивает объективность их верификации, получить объективные оценки даже за несколько лет при существующей сети наблюдений не представляется возможным.

Применение данного подхода диагностирования только к конкретным фактическим случаям может дать ответ, насколько он будет полезен для синоптиков. По повторяемости смерчей в России, представленной в [13], подтвержденной спутниковыми данными о ветровалах, можно утверждать, что и повторяемость шквалов градации ОЯ на основе данных метеорологических станций наблюдений намного занижена.

Заключение

Предложен подход диагностирования шквалов в градации ОЯ, отличный от применяемого в настоящее время в оперативной работе ДМРЛ-С. В комплексе используется информация сети ДМРЛ-С и численного моделирования. Алгоритм диагностирования шквалов реализован в рамках созданной в Гидрометцентре России автоматизированной технологии диагностирования опасных конвективных явлений погоды на основе сети ДМРЛ-С, функционирующей с июня 2021 г. в оперативном режиме работы с записью результатов диагностирования в БД через ~25 минут после срока наблюдений локаторами. Дополнительная продукция сети доплеровских радиолокаторов позволит повысить эффективность штормовых предупреждений и штормовых оповещений о возникновении шквалов в градации ОЯ.

Авторы выражают благодарность сотруднику Гидрометцентра России Е.В. Васильеву за предоставленные карты метеоявлений ДМРЛ-С Внуково за 20 июня 2020 года.

Работа выполнена в рамках исследований по плану ЦНТП Росгидромета НИТР 1.1.5.

Список литературы

1. Алексеева А.А. Особенности условий возникновения активной конвекции с сильными шквалами // Гидрометеорологические исследования и прогнозы (Труды Гидрометцентра России). 2019. № 2 (372). С. 41-58.

2. Алексеева А.А. Метод прогноза сильных шквалов // Метеорология и гидрология. 2014. № 9. С. 5-15.

3. Алексеева А.А., Лосев В.М. Прогноз опасных конвективных явлений погоды в летний период года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы (Труды Гидрометцентра России). 2019. № 4 (374). С. 127-143.

4. Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Васильев Е.В., Никифорова А.Е. Прогноз развития зон активной конвекции с особо опасными явлениями на основе региональной модели Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада лтд, 2010. С. 147-159.

5. 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.

6. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминова Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 229 с.

7. Дональдсон Р.Дж., Чмела А.К. Распределение средней вертикальной скорости в грозе и ее вариации // Проблемы радиолокационной метеорологии: Сборник статей из трудов двенадцатой и тринадцатой конференций по радиолокационной метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1971. С. 46-54.

8. Лосев В.М. Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада лтд, 2010. С. 36-58.

9. Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике: Третья редакция. М., 2019. 129 с.

10. Методические указания по использованию радиолокационных данных в синоптическом анализе и краткосрочном прогнозе погоды. М.: Гидрометеиздат, 1979. 23 с.

11. Программный комплекс вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (шифр «ГИМЕТ-2010») версия 02: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Правообладатель: ФГБУ «ЦАО», номер регистрации (свидетельства): 2018665447, дата регистрации: 05.12.2018.

12. РД 52.27.339-93. Руководство по диагнозу и прогнозу опасных и особо опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли. 181 с.

13. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н., Ажигов И.О., Селезнева Е.В., Захарченко Д.И., Антонеску Б., Кюне Т. Смерчи в российских регионах // Метеорология и гидрология. 2021. № 2. С. 17-34.

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. 41-58 [in Russ.].

2. Alekseeva A. A. A method of forecasting severe squalls. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 9, pp. 569–576. DOI: 10.3103/S1068373914090015.

3. Alekseeva A.A., Losev V.M. Forecast of severe convective weather events in summer. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2019, vol. 374, no. 4, pp. 127-143 [in Russ.].

4. Alekseeva A.A., Losev V.M., Peskov B.E., Vasil'ev E.V., Nikiforova A.E. Prognoz razvitiya zon aktivnoi konvekcii s osobo opasnymi yavleniyami na osnove regional'noi modeli Gidrometcentra Rossii. *80 let Gidromettsentru Rossii*. Moscow, Triada LTD publ., 2010, pp. 147-159 [in Russ.].

5. 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.].

6. Brylev G.B., Gashina S.B., Nizdoyminoga G.L. Radiolokatsionnye kharakteristiki oblakov i osadkov. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1986, 229 p. [in Russ.].

7. Donal'dson R.Dzh., Chmela A.K. Raspredelenie sredney vertikal'noy skorosti v groze i ee variatsii // Problemy radiolokatsionnoy meteorologii: Sbornik statey iz trudov dvenadtsatoy i trinadtsatoy konferentsiy po radiolokatsionnoy meteorologii: Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1971, pp. 46-54 [in Russ.].

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

9. Metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu informatsii doplerovskogo meteorologicheskogo radiolokatora DMRL-S v sinopticheskoy praktike: Tret'ya redaktsiya. Moscow, 2019, 129 p. [in Russ.].

10. Metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu radiolokatsionnykh dannyykh v sinopticheskom analize i kratkosrochnom prognoze pogody. Moscow, Gidrometeoizdat publ., 1979, 23 p. [in Russ.].

11. Programmnyy kompleks vtorichnoy obrabotki informatsii doplerovskogo meteorologicheskogo radiolokatora DMRL-S (shifr «GIMET-2010») versiya 02: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM. Pravoobladatel': FGBU «TSAO», nomer registratsii (svidetel'stva): 2018665447, data registratsii: 05.12.2018 [in Russ.].

12. RD 52.27.339-93. Rukovodstvo po diagnozu i prognozu opasnyh i osobo opasnyh osadkov, grada i shkvalov po dannym meteorologicheskikh radiolokatorov i iskusstvennykh sputnikov Zemli. Moscow, ROSGIDROMET, 181 p.

13. Chernokulsky A.V., Kurgansky M.V., Mokhov I.I., Shikhov A. N., Azhigov I. O., Selezneva E. V., Zakharchenko D. I., Antonescu B., Kuhne T. Tornadoes in the Russian Regions. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2021, vol. 46, no. 2, pp. 69-82. DOI: 10.3103/S1068373921020023.

*Поступила 21.07.2021; одобрена после рецензирования 14.09.2021;
принята в печать 28.09.2021.*

*Submitted 21.07.2021; approved after reviewing 14.09.2021;
accepted for publication 28.09.2021.*