

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-1-22-42>

УДК 551.501.81+551.506.2+551.509.3

Конвективный шторм в Московском регионе 28 июня 2021 года

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

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

Представлены результаты анализа условий возникновения активного атмосферного процесса с опасными конвективными явлениями на основе аэрологической, спутниковой, радиолокационной, синоптической информации и данных метеостанций. Показано, что оперативная диагностическая информация о параметрах конвекции и явлениях позволяет уточнить автоматизированные прогнозы неблагоприятных и опасных конвективных явлений погоды за счет уточнения времени, места их возникновения, вида и интенсивности явлений. Использование прогностической информации в комплексе с диагностической позволит более точно формировать штормовые предупреждения и заблаговременно принимать превентивные меры защиты.

Ключевые слова: конвективный шторм, неблагоприятные и опасные конвективные явления, диагноз, прогноз, информация ДМРЛ-С

The convective storm in the Moscow Region on June 28, 2021

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

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

The results of analyzing conditions for the occurrence of an active atmospheric process with severe convective phenomena based on aerological, satellite, radar, synoptic information are presented. It is shown that the operational diagnostic information on convection parameters and phenomena makes it possible to refine automated forecasts of adverse and severe convective weather events by clarifying the time, place of their occurrence, type and intensity of the phenomena. The use of forecast data in combination with diagnostic information will provide more accurate preparation of storm warnings and early preventive protection measures.

Keywords: convective storm, adverse and severe convective phenomena, diagnosis, forecast, DMRL-C data

Введение

Предсказание времени и места осуществления конвективного шторма, сопровождающегося сильным ливнем, градом, шквалом

либо комплексом этих явлений, является сложной задачей, даже в век компьютерных технологий. И хотя из классических знаний синоптика известно, что при прогнозе опасных конвективных явлений в детальном прогнозировании нуждаются такие параметры атмосферы, как влажность, неустойчивость и сдвиг ветра, дополнительно надо учесть множество других факторов, влияющих в разной степени на их возникновение. В настоящее время существуют прогностические модели мезомасштабного разрешения, но и они не решили задачу точного прогноза таких явлений. По мере приближения к сроку прогноза все внимание концентрируется на оперативной информации: спутниковых снимках, данных радиозондов, радаров, грозопеленгаторов, самолетов, автоматических метеостанций, а также наблюдательной сети. Необходимо определить место совокупности факторов, благоприятных для возникновения конвективных явлений, на основе анализа расположения и активности атмосферных фронтов, их передвижения, сухих линий, областей дивергенции и конвергенции. Как можно точнее определить температурно-влажностные характеристики как у поверхности Земли, так и на высотах, структуру распределения ветра в атмосфере. Таким образом, и на сегодняшний день наиболее ценным инструментом прогноза активных конвективных штормов остается мозг человека, оперативного синоптика, который должен проанализировать огромное количество различной информации, провести ее правильную интерпретацию к сроку прогноза.

Рассмотрение конкретных случаев и анализ причин возникновения сильных конвективных штормов дает возможность нахождения путей совершенствования методов прогноза таких явлений погоды, сопровождающихся значительным ущербом, а нередко и гибелью людей. Поэтому представляемые исследования являются актуальными и практически значимыми.

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы фактические данные об осадках и осуществившихся конвективных явлениях 28 июня 2021 г. в Московском регионе, кольцевые синоптические карты, прогнозы опасных конвективных явлений погоды автоматизированными методами прогноза, рекомендованными к внедрению в практику решениями Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 2006 и 2011 гг. [10], два из которых прогнозируют сильные осадки: максимальное количество осадков в зонах конвекции [1] и альтернативно осадки с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49 и 50 мм/12ч и более) [4, 6, 7] на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России с заблаговременностью 12 и 24 ч, а также прогнозы по двум методам прогноза шквалов: в трех градациях интенсивности [5, 6, 7] и скорости ветра при шквалах [2, 6, 7]. Кроме того, использованы данные сети ДМРЛ-С

на ЕТР и ДМРЛ-С Внуково, а также данные аэрологического зондирования атмосферы и результаты спутникового диагноза явлений.

При исследовании использованы эмпирические методы: изучение разнообразных источников информации, их анализ, синтез, чтобы получить общее представление об конвективном шторме, аналогия, моделирование.

Результаты исследований

В конце июня 2021 года большая часть России, включая ЕТР, оказалась в зоне экстремальной жары. Температура несколько суток превышала климатическую норму на 7 °С и более. Так, в Москве с 20 по 27 июня температура днем была выше 30 °С, и даже ночью выше 25 °С. 23 июня был побит температурный рекорд июня, продержавшийся 120 лет (21.06.1901 г. рекорд 34.7 °С), – достиг 34.8 °С. Жара охватывала обширную территорию, включая запад ЕТР, Ленинградскую, Калининградскую, Псковскую и Новгородскую области. В Центральном, Приволжском федеральных округах температура поднималась до 40 °С, а на юге в Волгоградской, Астраханской областях и Республике Калмыкия до 41 °С. Причиной установившейся жары был блокирующий антициклон. Его можно отнести к экстремальным событиям, так как занимал обширную территорию, выражен был не только у поверхности Земли, но и в средней тропосфере на высоте 3–5 км, и даже 9 км. Все воздушные массы доходили до него, затем изменяли свою траекторию, т. е. был блокирован преобладающий западно-восточный перенос. К особенностям данного блокирующего антициклона можно отнести и то, что такая погода установилась в период летнего солнцестояния. Благодаря нисходящим движениям солнечная энергия при безоблачном небе беспрепятственно проникала до поверхности Земли. За счет конвекции, турбулентности этот жар передавался в приземный слой воздуха. Антициклон довольно продолжительное время стационарировал над Русской равниной.

Ближе к рассматриваемой дате конвективного шторма наметилось смещение антициклона на восток. В период с 26 по 28 июня метеорологические условия в Центральном, Северо-Западном и Приволжском федеральных округах определялись сменой влияния блокирующего антициклона на влияние системы атмосферных фронтов циклонов с запада и юга. Отмечались грозы, сопровождающиеся ливнями, шквалистым ветром, в отдельных районах выпадал град. Сильные дожди с количеством осадков до 40 мм 26 июня выпали в Ленинградской и Псковской областях, республиках Карелия и Коми; в Смоленской, Брянской, Калужской и Тульской областях – 16–31 мм; в Республике Татарстан и Пермском крае – 17–39 мм. Ветер при шквалах усиливался в Псковской области, республиках Татарстан и Удмуртия – до 21 м/с; в Оренбургской области – до 24 м/с. Очень сильный дождь наблюдался в Республике Адыгея, в Майкопе выпало до 58 мм осадков. В Краснодарском крае по данным

гидропоста Хадыженск выпало до 61 мм осадков. По данным метеостанции Псебай крупный град диаметром до 55 мм выпадал в Краснодарском крае. В период 27 июня – ночью 28 июня сильный дождь с грозой наблюдался в Республике Карелия (до 24 мм), Псковской области (до 54 мм за 24 ч), Архангельской области (до 17 мм), Москве и Московской области (30–33 мм), Смоленской, Ярославской, Костромской областях (21–38 мм), Тверской области (до 29 мм); ветер усиливался до 26 м/с, в Ставропольском крае и Республике Карачаево-Черкесии (20–25 мм). Очень сильный дождь отмечался в Новгородской (до 55 мм), Брянской (до 79 мм), Калужской (до 58 мм) областях, в Республике Адыгея (гидропост Курджипская до 64 мм) [<https://www.meteorf.ru/press/news/25135/>].

Таким образом, главной особенностью рассматриваемого конвективного шторма было то, что предшествовала ему аномальная жара на обширной территории за счет блокирующего антициклона в период летнего солнцестояния. Поэтому от смены данной синоптической ситуации на циклоническую с прохождением атмосферных фронтов следовало по всем известным классическим знаниям синоптиков ожидать активизации фронтальных разделов и возникновения опасных конвективных явлений.

Перейдем непосредственно к рассмотрению конвективного шторма в Московском регионе. МЧС России предупредило москвичей об ожидающихся 28 июня в столице грозах, ливне, граде и ветре, местами с порывами до 23 м/с.

Фактически фронтальная волна, из которой развился молодой активный циклон, проходила территорию столицы и области в середине дня 28 июня (рис. 1а).

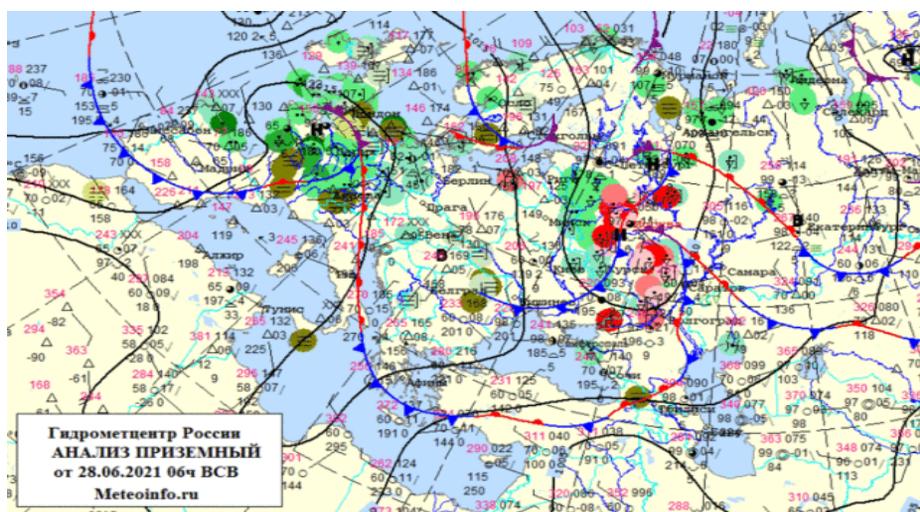
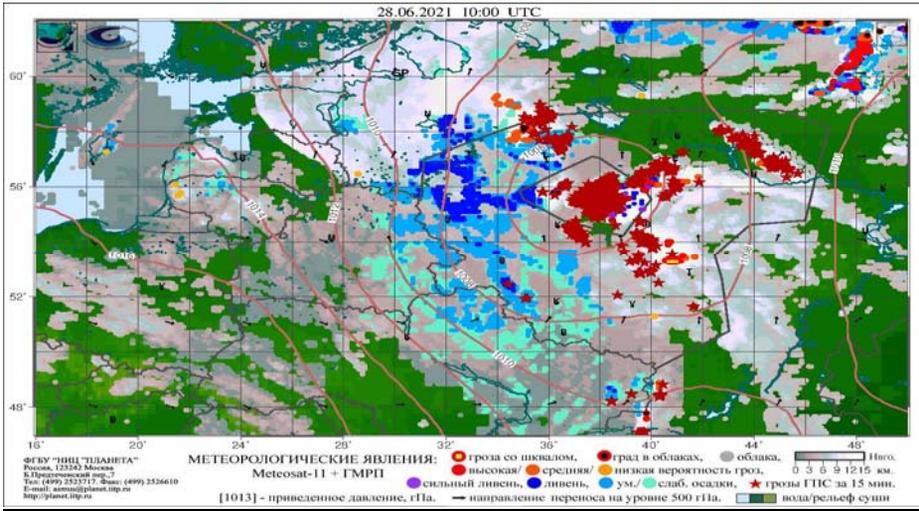
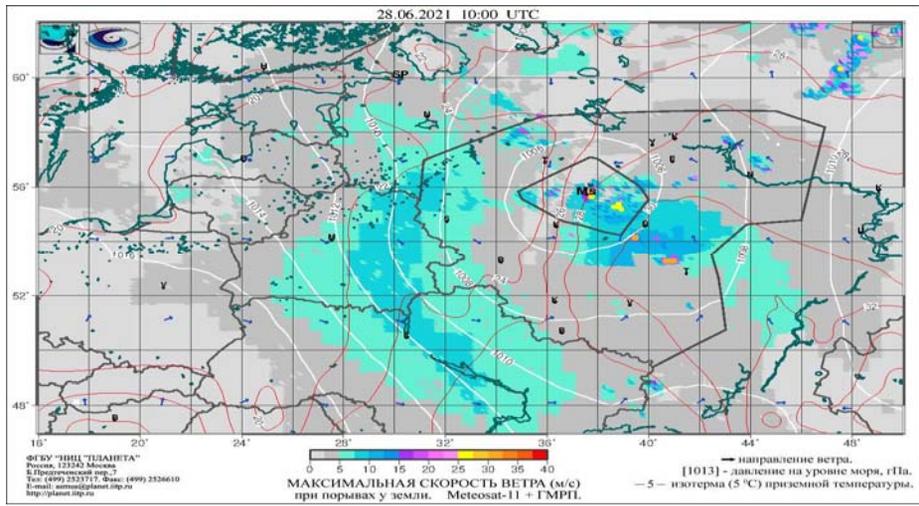


Рис. 1а.



б)



в)

Рис. 1. Карты приземного анализа за срок 06 ч ВСВ (а); спутникового диагноза: метеорологических явлений (б); максимальной скорости ветра при порывах у земли за срок 10.00 ч ВСВ (в) 28.06.2021 г.

Fig. 1. The surface weather maps for 06.00 UTC (a); the maps of satellite diagnosis of weather phenomena for 10.00 UTC (б); maximum surface wind gusts for 10.00 UTC (в) on June 28, 2021.

На холодном атмосферном фронте отмечались большие контрасты температуры. 28 июня днем и 29 июня ночью в Центральном федеральном округе прошли дожди с грозами, в Тверской, Ярославской, Смоленской, Московской, Тульской, Рязанской, Курской областях местами сильные (17–48 мм за 12 ч). Очень сильный дождь отмечался днем в Старице

Тверской области (50 мм за 12 ч), в Московской области (68 мм за 12 ч) и Москве (32–48 мм за 12 ч). Ветер усиливался до 13–20 м/с, днем в Шереметьево Московской области зафиксированные порывы ветра достигали 26 м/с. Преобладающая температура воздуха была днем 26–31 °С, на северо-востоке до 35 °С, на западе 19–25 °С, ночью 14–21 °С (табл. 1).

Таблица 1. Температура воздуха днем 28 июня 2021 г. и осадки в Москве и Московской области днем 28 и ночью 29 июня 2021 г. по данным метеорологических станций

Table 1. Air temperature in the daytime on June 28, 2021 and precipitation in Moscow and the Moscow region in the daytime on June 28 and at night on June 29, 2021 according to weather stations

Станция	Максимальная температура (°С) 28 июня	Осадки (мм) днем 28 июня	Осадки (мм) ночью 29 июня
Москва (ВДНХ)	29,8	20 (июньская норма осадков 80 мм, 1991–2020 гг.)	0,3
Балчуг	30,8	19	-
Тушино	29,1	37	0,4
Немчиновка	29,9	22	0,8
Внуково	28,4	42	2
Шереметьево	23,4	23	0,3
Домодедово	30,9	17	6
Егорьевск	29,8	18	0,3
Клин	23,9	18	-
Дмитров	26,7	16	-
Волоколамск	24,3	33	0,8
Можайск	24,8	6	0
Н-Иерусалим	24,8	7	-
Подмосковная	28,6	11	0,3
Павловский Посад	30,6	2	-
Черусти	31,0	-	19
Наро-Фоминск	25,2	25	0,4
Михайловское	29,0	48	2
Серпухов	29,8	3	0,3
Коломна	31,3	9	-
Кашира	30,2	4	0,3

В столичном регионе в результате обрушившегося конвективного шторма оказались затопленными дороги, станции метро, повреждены автомобили, частично разрушены здания, упал на дорогу башенный кран. Пользователи социальных сетей окрестили погодное явление «суперливнем». Но следует заметить, что прошедший в столице и Подмосковье

ливень, несмотря на вызванные им подтопления, не является рекордным или беспрецедентным по каким-либо показателям, включая его предсказание. Так, синоптики уверенно ожидали в прогнозах конвективный шторм. Известно, что после продолжительной аномальной жары при смене воздушных масс всегда следует ожидать конвективный шторм. Трудно только определить точное время, место его осуществления, тип и интенсивность возникающих явлений.

Проанализируем условия возникновения рассматриваемого конвективного шторма.

На рис. 2 представлены прогнозы сильных ливней в трех градациях интенсивности, на рис. 3 – прогнозы шквалов двумя подходами: альтернативного прогноза шквалов в трех градациях интенсивности (значки) и прогноза скорости ветра при шквалах (цветовая шкала), с заблаговременностью 18 ч (автоматизированные методы рекомендованы к внедрению ЦМКП Росгидромета).

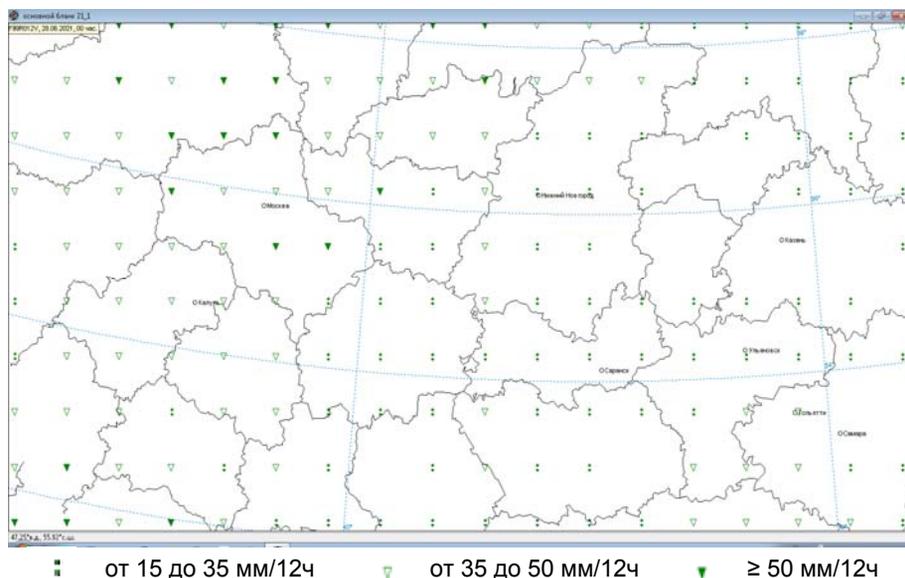
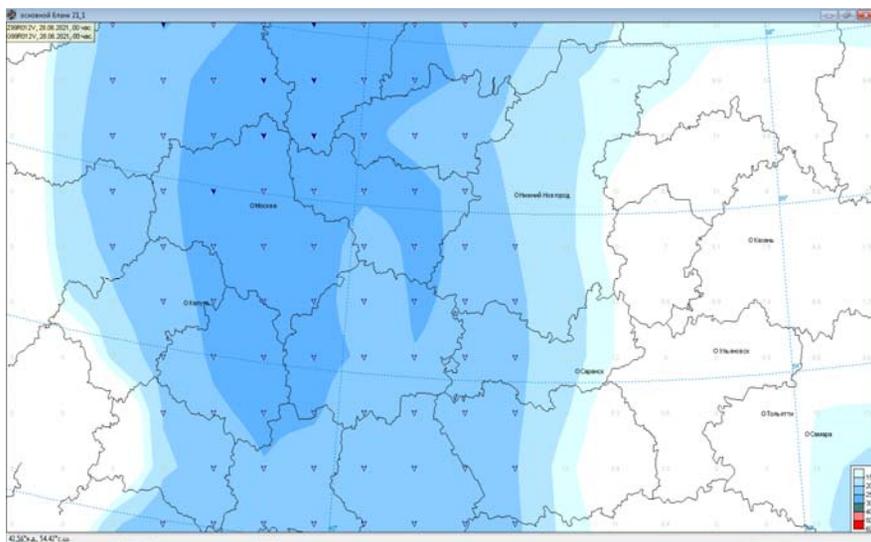


Рис. 2. Фрагмент карты автоматизированных прогнозов сильных ливней в трех градациях на дневной период 28 июня 2021 г. с заблаговременностью 18 ч от срока прогноза 00 ч ВСВ.

Fig. 2. The fragments of the maps of automated forecasts of heavy rains (a) for the daytime on June 28, 2021 with a lead time of 18 hours for the 00:00 UTC forecast run.

Как видно, повсеместно в центральных областях ЕТР прогнозировались сильные ливни в градациях от 15 до 35 мм/12ч и от 35 до 50 мм/12ч, и очень сильные (закрашенные значки) количеством ≥ 50 мм/12ч, в основном в Московской и Тверской областях. Прогнозировалась большая

зона шквалов скоростью от 20 до 25 м/с двумя методами: методом прогноза шквалов в трех градациях интенсивности в северо-восточном направлении рядом с Москвой прогнозировался шквал скоростью ≥ 25 м/с (закрашенный значок), методом прогноза скорости ветра при шквале (цветовая шкала) зона со скоростью 25–30 м/с намного больше по площади, чем прогнозируемая зона шквалов альтернативным методом.



□ от 20 до 25 м/с; □ ≥ 25 м/с; ⚡ ≥ 33 м/с

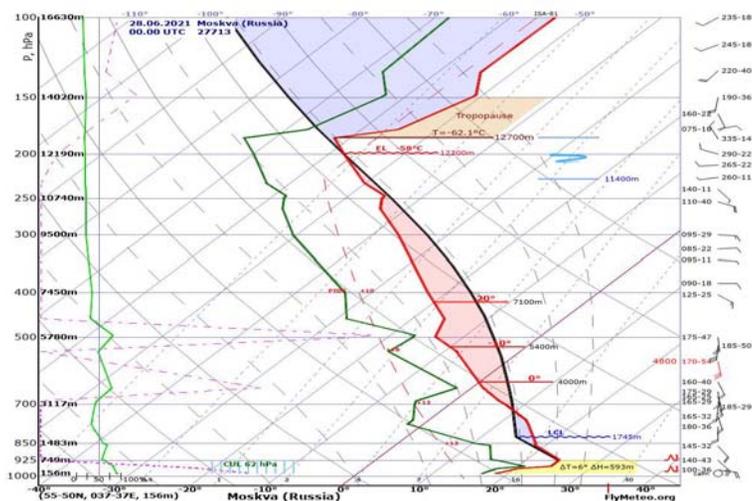
Рис. 3. Фрагмент карты автоматизированных прогнозов шквалов: альтернативный прогноз шквалов в трех градациях интенсивности (значки) и скорости ветра при шквалах (цветовая шкала) на дневной период 28 июня 2021 г. с заблаговременностью 18 ч от срока прогноза 00 ч UTC.
Fig. 3. The fragments of the maps of automated forecasts of squalls for the daytime on June 28, 2021 with a lead time of 18 hours for the 00:00 UTC forecast run.

Таким образом, МЧС, как и оперативные синоптики, ожидали конвективный шторм, автоматизированные методы прогноза также его прогнозировали. Значит, правильно сделан выше приведенный вывод, что данный шторм не является особенным и трудным в прогнозировании.

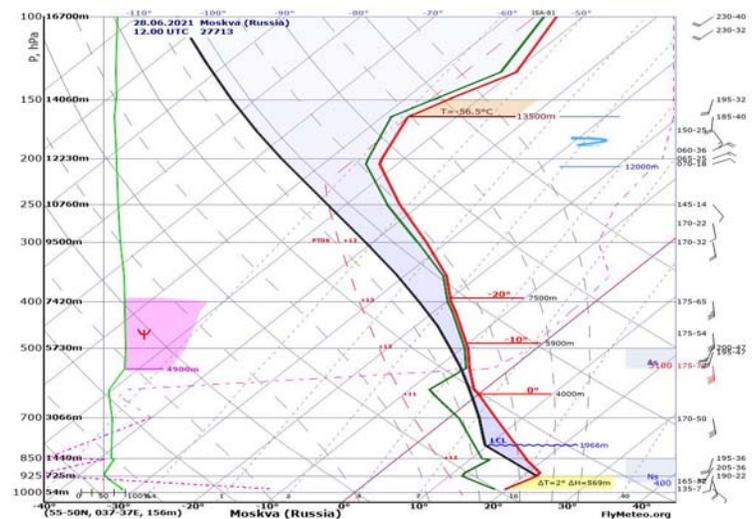
Прогноз выпускается на текущий день. Важно определиться, когда точно, где и какими явлениями шторм будет сопровождаться. Выше указывалось, именно оперативная информация: спутниковая, данные радиозондов, радаров, грозопеленгаторов, самолетов, автоматических метеостанций, а также наблюдательной сети помогают уточнить время и место возникновения конвективного шторма. Рассмотрим такую информацию.

Карты спутникового диагноза метеорологических явлений и максимальной скорости ветра при порывах у земли (см. рис. 1б, в) за срок

10.00 ч ВСВ, выпускаемые в ФГБУ «НИЦ «Планета», показывают, что диагностировались высокая вероятность гроз, облака с градом и максимальная скорость ветра при порывах у земли от 20 до 30 м/с. На рис. 4 представлены результаты аэрологического зондирования атмосферы (Москва, индекс станции 27713) за сроки 00 и 12 ч ВСВ.



а) 00 ч ВСВ



б) 12 ч ВСВ

Рис. 4. Температурно-ветровое зондирование атмосферы в Москве (индекс станции 27713) в сроки 00 и 12 ч ВСВ [https://flymeteo.org/sounding/diag_p.php].
Fig. 4. Temperature and wind sounding of the atmosphere in Moscow (station ID 27713) at 00:00 and 12:00 UTC [https://flymeteo.org/sounding/diag_p.php].

В 00 ч ВСВ у земли наблюдался инверсионный слой вертикальной мощностью 593 м и интенсивностью 6°. Уровень конденсации находился на высоте 1745 м. До уровня 900 гПа наблюдалась высокая влажность при температуре 19 °С. Приблизительно с 700 до 200 гПа – слой неустойчивости (уровень конвекции 12200 м), максимальное отклонение кривой состояния от кривой стратификации в 9 °С на уровне 500 гПа. Высота тропопаузы 12700 м (температура -62,1 °С). Ветер восточного направления (100 град) у земли скоростью 10 м/с, у поверхности 500 гПа, повернул на южный (185 град), на высоте 4800 м с максимальной скоростью 15 м/с. На уровне 400 гПа опять становится восточным (90 град) скоростью 5 м/с. Выше на высоте 11400 м ветер развернулся на западный (260–290 град) скоростью 2.5–5 м/с. В 12 ч ВСВ у земли в слое инверсии приблизительно той же мощности (569 м) значительно уменьшилась интенсивность (до 2°). Уровень конденсации стал чуть выше – 1966 м. Высота тропопаузы 13500 м, температура -56.5 °С. В 12 ч ВСВ ветер юго-восточного направления (135 град) скоростью 2.5 м/с сохраняет направление до высоты 12000 м, наибольшая скорость ветра 20 м/с на высоте 5100 м. Неустойчивость отсутствует. С высоты 5100 м наблюдаются облака As. Высота уровня 0 °С в сроки 00 и 12 ч ВСВ составляет 4000 м, уровня -10 °С – 5400 и 5900 м, уровня -20 °С – 7100 и 7500 м соответственно.

В табл. 2 представлены индексы неустойчивости за сроки 00 и 12 ч ВСВ для станции Москва с индексом 27713, позаимствованные с сайта [https://flymeteo.org/sounding/diag_p.php]. Как видно, в 00 ч ВСВ практически все индексы неустойчивости (критерий Вайтинга, метод Фауста, Vertical totals index, Cross totals index, SWEAT index, метод Г.Д. Решетова) указывают на грозы, причем четыре из них – на сильные грозы, метод Г.Д. Решетова прогнозировал грозу, град, шквал с порывами до 17 м/с. Один из индексов прогнозировал даже сильные смерчи. Только метод Н.В. Лебедевой давал прогноз без гроз. В 12 ч ВСВ значения индексов неустойчивости, кроме критерия Вайтинга, уменьшились. Согласно пяти из шести индексов прогнозировались грозы.

По данным станций наблюдений (см. табл. 1), температура днем составляла от 23.4 до 31.3 °С. Осадки в Московском регионе днем 28 июня наблюдались на метеостанциях количеством от 3 до 48 мм, в Черустах их не было. Ночью 29 июня осадки в Московском регионе небольшие, кроме Черустей (19 мм).

Известно, что важными диагностированными данными являются радиолокационные данные. В настоящее время сетью ДМРЛ-С покрыта практически вся ЕТР. Карта метеоявлений рассчитывается согласно ПО ВОИ «ГИМЕТ 2010» [9]. В ФГБУ «Гидрометцентр России» в рамках темы НИТР Росгидромета 2020–2024 гг. ведутся исследования по совершенствованию диагноза параметров конвекции и конвективных явлений, включая градации неблагоприятных (НЯ) и опасных явлений (ОЯ). Основы подхода к их диагнозу изложены в [3, 8]. Алгоритмы диагноза

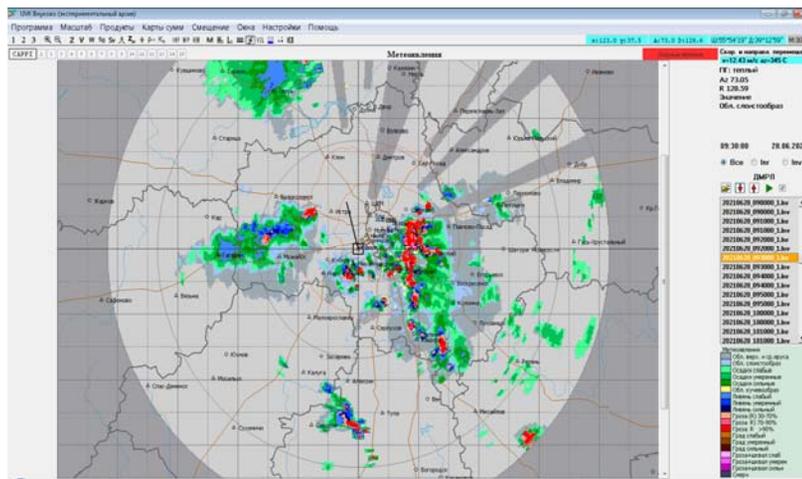
реализованы в рамках автоматизированной технологии диагноза параметров конвекции и конвективных явлений ФГБУ «Гидрометцентр России», функционирующей в настоящее время в летний период года в оперативном режиме с записью рассчитанной продукции в циклическую базу данных, в 2021 г. с именем DW21, с задержкой порядка 25 минут от срока наблюдений ДМРЛ-С. Выходной продукцией диагноза предлагаемым подходом на основе данных сети ДМРЛ-С с временным разрешением 10 минут в сетке $0.05 \times 0.05^\circ$ являются: максимальные конвективные скорости, интенсивность ливневых осадков, ежечасное количество осадков, полусуточное количество осадков, град и шквалы в трех градациях интенсивности, аналогичных градациям согласно ПО ВОИ «ГИМЕТ 2010», и шквалы в градации ОЯ.

Таблица 2. Индексы неустойчивости 28.06.2021 г. в Москве, индекс станции 27713 [https://flymeteo.org/sounding/diag_p.php]

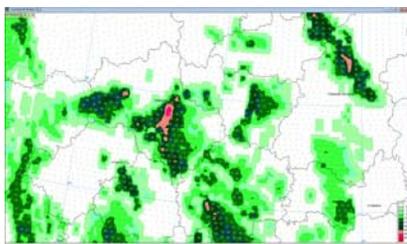
Table 2. The instability indices in Moscow on June 28, 2021 [https://flymeteo.org/sounding/diag_p.php]

Индекс неустойчивости	00.00 ч ВСВ	12.00 ч ВСВ
Критерий Вайтинга (K index)	30,3 Рассеянные грозы (20-50 % S)	32,9 Рассеянные грозы (20-50 % S)
Метод Фауста	5.2 Гроза	2.7 (±3) Гроза (кривизна изобар не учтена)
Vertical totals index	31.9 Гроза	26,5 Без гроз
Cross totals index	23.9 Высокая неустойчивость. Возможны сильные грозы	20.5 Высокая неустойчивость. Грозы
Totals totals index	55.8 Многочисленные сильные грозы с сильными смерчами	47 Рассеянные грозовые очаги
SWEAT index	321 Сильные грозы, град и шквал	201 Гроза
Метод Решетова	Гроза (L=2.4), град, шквал, порывы до 17 м/с	
Метод Лебедевой	Без гроз	

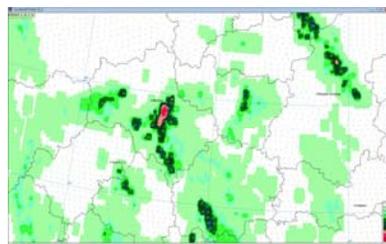
На рис. 5 представлены данные о метеоявлениях ДМРЛ-С Внуково (а), а также диагностированные выше указанным подходом максимальные конвективные скорости (б), интенсивность осадков (в), шквалов (г) и града (е) в трех градациях интенсивности по данным сети ДМРЛ-С, шквалов градации ОЯ (д) по данным ДМРЛ-С и численного прогнозирования.



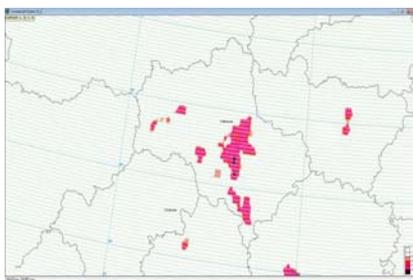
а)



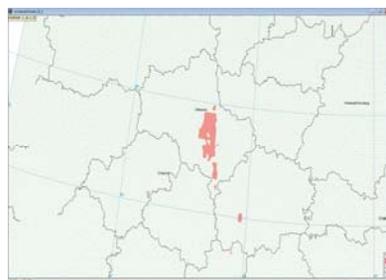
б)



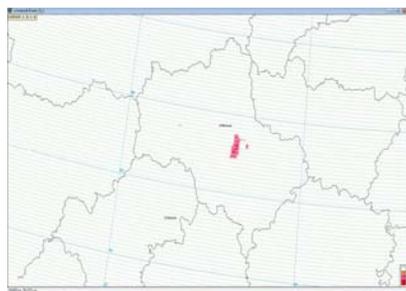
в)



г)

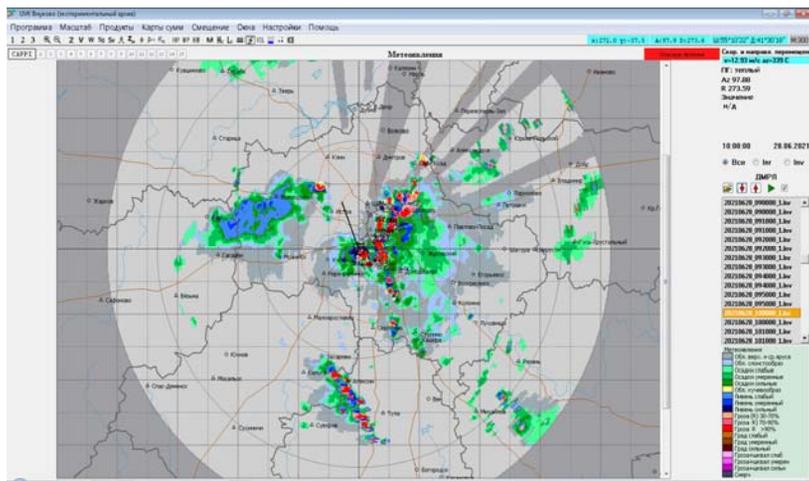


д)

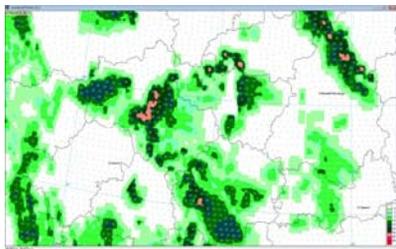


е)

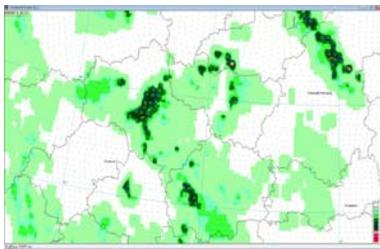
9.30 ч ВСВ



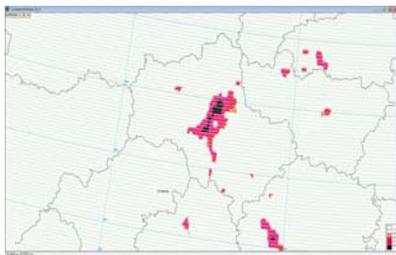
а)



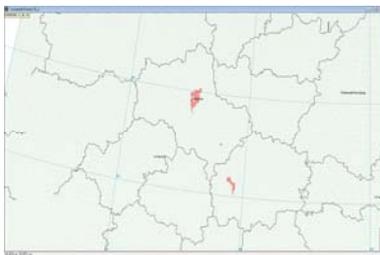
б)



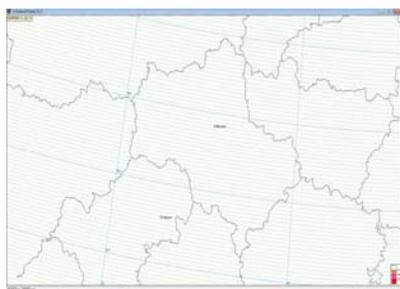
в)



г)

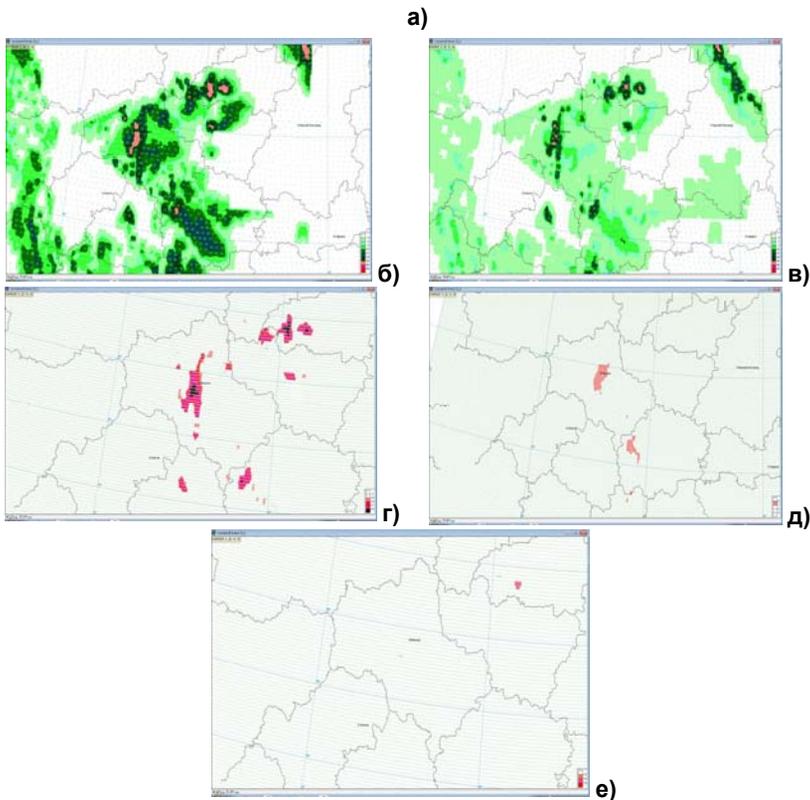
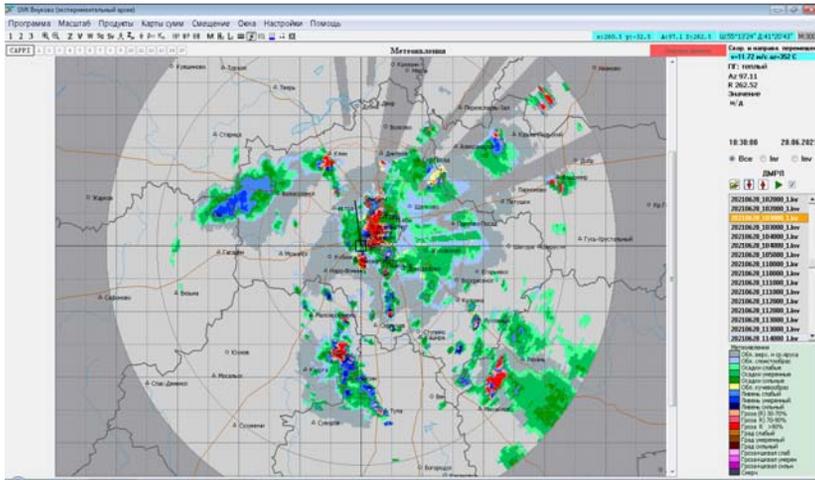


д)



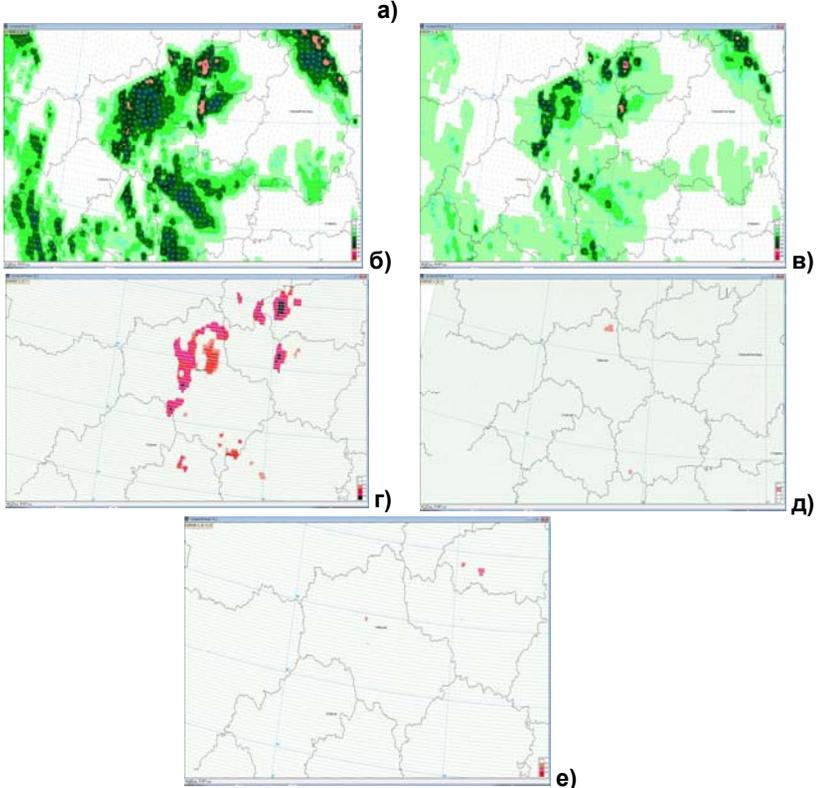
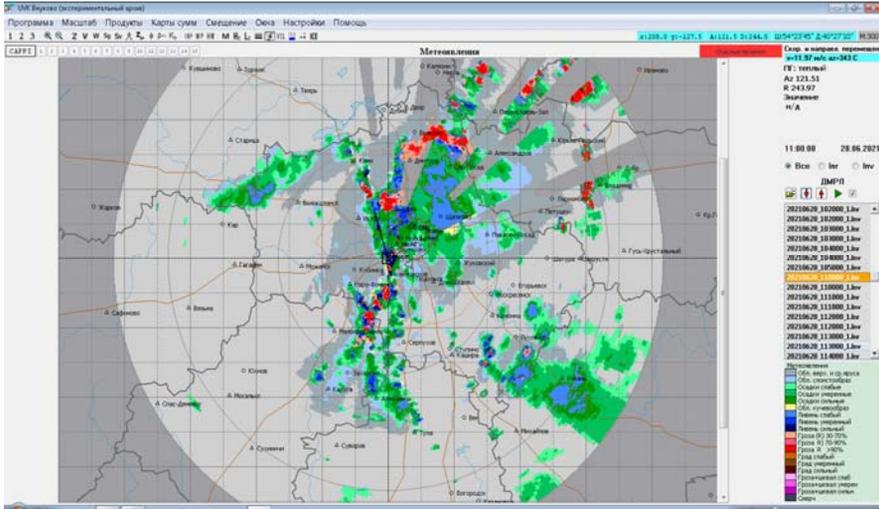
е)

10.00 ч ВСВ



10.30 ч ВСВ

Рис. 5. Данные ДМРЛ-С Внуково (а) и фрагменты карт диагностированных максимальных конвективных скоростей (б), интенсивности осадков (в), шквалов (г) и града (е) в трех градациях интенсивности по данным ДМРЛ-С и шквалов градации ОЯ (д) по данным ДМРЛ-С и численного прогнозирования за сроки 9.30, 10.00, 10.30 и 11.00 ч ВСВ 28.06. 2021 г. предлагаемым подходом.



11.00 ч ВСВ

Fig. 5. DMRL-C Vnukovo data (a) and the fragments of the maps of diagnosed maximum convective velocities (б), precipitation intensity (в), squalls (г) and hail (е) for three intensity gradations according to DMRL-C data and severe squalls (д) according to DMRL-C and numerical weather prediction data for 9:30 and 11:00 UTC on June 28, 2021 constructed using the proposed approach.

В табл. 3 представлены радиолокационные данные ДМРЛ-С Внуково о диагностированных конвективных явлениях погоды (град, шквал) в зоне до 100 км вокруг локатора из журнала опасных явлений локатора. Анализ данных указанной таблицы и фрагментов карт диагноза конвективных явлений погоды (рис. 5б–е) показал, что согласно ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» ДМРЛ-С Внуково чаще диагностировал из наиболее опасных явлений град (дается наибольшая цифра кода согласно опасности явления, поэтому там, где диагностирован град или шквал, подразумевается, что диагностированы и осадки), тогда как предлагаемым подходом диагностировался чаще шквал. Большее совпадение по шквалам разными подходами наблюдалось для шквалов в градации сильных.

Таблица 3. Радиолокационные данные ДМРЛ-С Внуково о диагностированных конвективных явлениях погоды (град, шквал) в зоне до 100 км вокруг локатора из журнала опасных явлений в двух режимах работы локатора

Table 3. DMRL-C Vnukovo radar data on the diagnosed convective weather phenomena (hail, squall) in the zone up to 100 km around the radar from the log of severe weather events in two radar operating modes

Явление	Азимут (град)	Расстояние (км)	Высота верхней границы (км)	Азимут (град)	Расстояние (км)	Высота верхней границы (км)
	9.00 VCB (Inr)			9.00 VCB (Inv)		
Шквал сильный	87-139	68-107	16.3	-	-	-
Шквал умеренный	-	-	-	92-107	39-62	14.5
				123-138	77-88	15.9
Шквал слабый	-	-	-	277-291	44-57	14.6
				83-125	68-102	16.6
Град сильный	274-288	43-56	14.9	69-74	97-103	12.3
	94-110	39-62	14.7			
Град слабый	116-126	48-56	12.7	115-123	46-55	12.8
	172-180	36-40	9.7	171-181	34-41	9.7
	161-169	72-79	13.1	137-142	88-95	13.1
	9.10 VCB (Inr)			9.10 VCB (Inv)		
Шквал сильный	88-103	42-63	16.9	-	-	-
Шквал умеренный	281-297	46-58	14.7	73-103	44-83	16.9
	74-93	65-87	16.6			
	116-137	62-87	15.4			
Шквал слабый	-	-	-	286-300	47-59	14.8
Град сильный	95-115	68-101	16.6	73-83	50-60	12.8
	109-120	42-66	13.3	93-112	65-97	15.7
				106-119	43-66	13.3
				115-140	62-96	16.2
Град умеренный	135-141	84-91	16.3	-	-	-
	9.20 VCB (Inr)			9.20 VCB (Inv)		
Шквал сильный	70-116	40-93	19.7	67-114	40-87	17.5
Шквал слабый	-	-	-	109-137	57-84	16.1
Град сильный	186-213	23-37	15.1	185-213	22-35	15.0
	111-139	58-93	16.1	115-125	43-51	13.5
Град умеренный	116-127	43-52	13.6	141-147	87-97	13.7
Град слабый	143-147	90-98	12.5	-	-	-

Явление	Азимут (град)	Расстояние (км)	Высота верхней границы (км)	Азимут (град)	Расстояние (км)	Высота верхней границы (км)
	9.30 ВСВ (Inr)			9.30 ВСВ (Inv)		
Шквал сильный	59-134	35-85	19.2	-	-	-
	139-146	83-94	15.5			
Шквал умеренный	-	-	-	55-130	35-87	18.6
Шквал слабый	296-312	51-65	14.1	139-146	81-91	14.1
Град умеренный	161-186	17-25	13.0	161-186	17-25	13.0
				146-157	49-59	11.6
	9.40 ВСВ (Inr)			9.40 ВСВ (Inv)		
Шквал умеренный	51-113	38-88	17.7	50-110	37-88	17.7
Град сильный	107-122	22-41	14.0	146-221	10-27	14.4
	147-221	10-27	14.5	107-152	22-45	13.8
	122-153	22-31	13.5			
	116-138	41-56	13.7			
Град умеренный	143-157	46-55	12.5	-	-	-
Град слабый	303-320	53-67	14.2	113-135	41-53	13.7
				140-147	60-68	12.4
	9.50 ВСВ (Inr)			9.50 ВСВ (Inv)		
Шквал слабый	40-78	30-84	17.1	63-143	16-46	14.9
	64-143	16-41	15.4			
	134-147	42-70	13.3			
Град сильный	105-225	3-18	15.4	39-76	31-85	17.1
				105-225	4-18	15.0
Град умеренный	66-103	42-62	14.4	315-328	59-71	14.1
	10.00 ВСВ (Inr)			10.00 ВСВ (Inv)		
Град сильный	26-126	15-81	16.9	24-45	42-67	14.4
	вокруг центра	0-22	13.7	34-126	15-65	16.7
					36-270	1-22
Град умеренный	-	-	-	323-333	64-75	13.5
	10.10 ВСВ (Inr)			10.10 ВСВ (Inv)		
Град сильный	вокруг центра	0-42	17.0	вокруг центра	0-60	17.1
Град умеренный	21-41	43-59	15.6	-	-	-
Град слабый	323-335	68-79	14.9	-	-	-
	10.20 ВСВ (Inr)			10.20 ВСВ (Inv)		
Град сильный	327-339	72-82	14.4	11-143	2-62	16.6
	9-143	2-61	16.7	157-189	14-27	13.7
	157-189	14-26	13.6			
Град умеренный	-	-	-	327-341	70-86	14.2
				186-196	93-118	15.7
	10.30 ВСВ (Inr)			10.30 ВСВ (Inv)		
Шквал умеренный	3-119	5-57	16.4	-	-	-
Шквал слабый	186-197	88-111	15.0	3-116	5-59	16.6
Град сильный	329-342	76-90	13.9	147-203	6-22	13.8
	147-216	6-22	13.9			
Град умеренный	-	-	-	185-198	78-107	15.5
	10.40 ВСВ (Inr)			10.40 ВСВ (Inv)		
Шквал умеренный	-	-	-	187-200	77-97	14.7
Град сильный	вокруг центра	0-61	15.4	341-72	3-55	13.4
	38-46	94-113	15.2			
Град умеренный	186-199	78-99	15.1	-	-	-

Явление	Азимут (град)	Расстояние (км)	Высота верхней границы (км)	Азимут (град)	Расстояние (км)	Высота верхней границы (км)
	10.50 ВСВ (Inr)			10.50 ВСВ (Inv)		
Град сильный	-	-	-	351-42	11-58	16.0
				184-198	39-50	14.2
Град умеренный	-	-	-	6-42	80-125	16.7
				190-201	70-84	15.1
	11.00 ВСВ (Inr)			11.00 ВСВ (Inv)		
Град сильный	337-347	52-70	13.6	-	-	-
Град умеренный	6-41	84-133	17.5	337-16	41-72	14.3
	190-205	47-68	15.1	159-211	22-73	15.2
Град слабый	158-193	22-38	14.4	5-37	86-125	16.9

Анализ фактических данных (наблюдений на станциях и видео, представленных в сети Интернет) показал, что данный синоптический процесс характеризовался сильными ливнями, сопровождающимися чаще шквалами разной интенсивности, чем градом.

На рис. 6 представлено диагностированное предлагаемым подходом ежечасное за период 9.00–12.00 ч ВСВ, на рис. 7 – полусуточное за период 06–18 ч ВСВ количество осадков (мм) 28 июня 2021 г. На рис. 7 также представлено полусуточное количество осадков (мм), диагностируемое ДМРЛ-Внуково за тот же период.

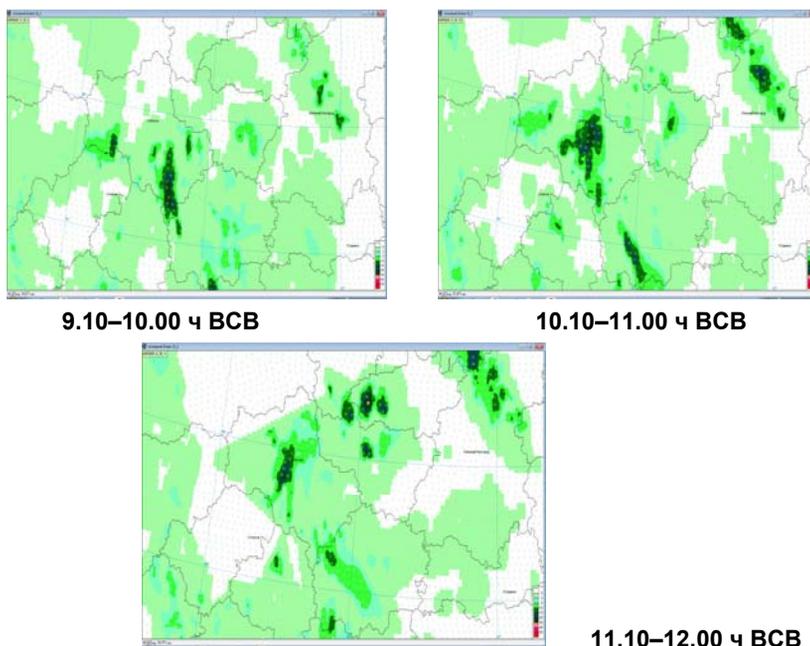
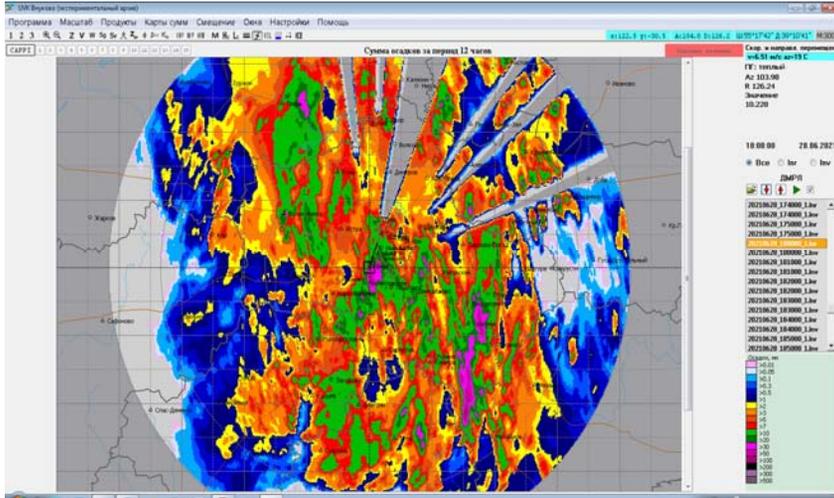
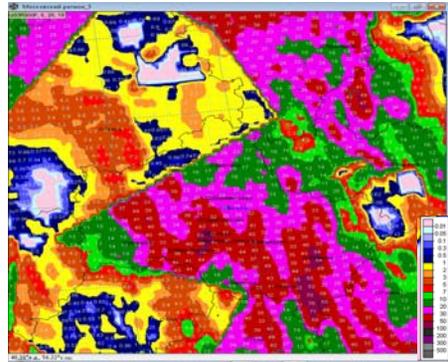
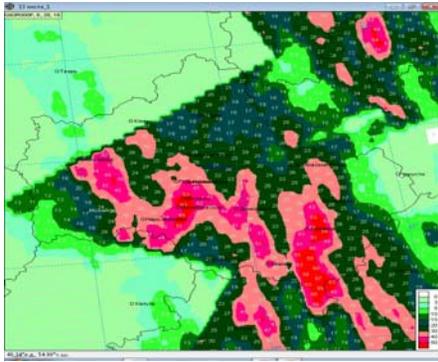


Рис. 6. Диагностированное предлагаемым подходом ежечасное за период 9.00–12.00 ч ВСВ количество осадков (мм) 28 июня 2021 г.

Fig. 6. Diagnosed hourly for the period of 09:00–12:00 UTC total precipitation (mm) on June 28, 2021.



а)



б)

Рис. 6. Диагностированное полусуточное за период 06.00–18.00 ч ВСВ количество осадков (мм) 28 июня 2021 г.: ДМРЛ-Внуково (а); предлагаемым подходом (б) в двух вариантах легенды закрашивания.

Fig. 6. Diagnosed 12-hour (for the period of 06:00–18:00 UTC) total precipitation (mm) on June 28, 2021 according to DMRL-C Vnukovo (a) and the proposed approach (б) in two variants of the color legend.

Заключение

Рассмотренный комплекс прогностической и диагностической метеорологической информации позволяет заблаговременно предупредить о возникновении конвективного шторма с неблагоприятными и опасными явлениями погоды, а диагностические спутниковые и радиолокационные данные – уточнить время и место возникновения, более детально по времени (10–15 мин) и площади (4 км) диагностировать вид и интенсивность опасных конвективных явлений погоды.

Анализ отдельных активных конвективных процессов полезен как для синоптиков-практиков, так и для совершенствования методов прогноза, что позволит принять превентивные меры защиты при возникновении неблагоприятных и опасных явлений погоды конвективного характера.

Авторы выражают благодарность сотруднику ФГБУ «НИЦ «Планета» Н.С. Мироновой за карты спутникового диагноза.

Представленные исследования выполнены в рамках темы 1.1.5 плана НИТР Росгидромета на 2020–2024 годы.

Список литературы

1. Алексеева А.А. Методы прогноза максимального количества осадков в зонах активной конвекции и альтернативного прогноза сильных ливней и шквалов // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под ред. канд. геогр. наук Г.К. Веселовой. 2006. Информационный сборник № 34. С. 49-69.

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

3. Алексеева А.А., Бухаров В.М., Лосев В.М. Диагноз сильных шквалов на основе данных ДМРЛ-С и результатов численного моделирования // Гидрометеорологические исследования и прогнозы (Труды Гидрометцентра России). 2021. № 3 (381). С. 6-23.

4. Алексеева А.А., Лосев В.М., Багров А.Н. Результаты испытания автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под ред. канд. геогр. наук Г.К. Веселовой, канд. геогр. наук А.А. Алексеевой. 2012. Информационный сборник № 39. С. 43-53.

5. Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Багров А.Н. Результаты испытания автоматизированного метода прогноза шквалов с детализацией интенсивности в трех градациях (от 20 до 24, от 25 до 32, 33 м/с и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник № 39. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под ред. канд. геогр. наук Г.К. Веселовой, канд. геогр. наук А.А. Алексеевой. 2012. С. 54-60.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

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

References

1. *Alekseeva A. A.* Metody prognoza maksimal'nogo kolichestva osadkov v zonah aktivnoi konvekcii i al'ternativnogo prognoza sil'nykh livnei i shkvalov. *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov. Informacionnyi sbornik*, 2006, vol. 34, pp. 49-69 [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., Bukharov V.M., Losev V.M.* Diagnosis of severe squalls based on the data of DMRL-C Doppler weather radars and numerical modeling – summaries. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2021, vol. 381, no. 2, pp. 6-23 [in Russ.].

4. *Alekseeva A.A., Losev V.M., Bagrov A.N.* Rezul'taty ispytaniya avtomatizirovannogo metoda prognoza osadkov s detalizatsiey intensivnosti v trekh gradatsiyah (ot 11 do 34, ot 35 do 49, 50 mm/12ch i bolee) na osnove vyhodnykh dannykh regional'noy modeli s zablagovremennost'yu 12 i 24 ch // Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologiy, modeley i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov / pod red. kand. geogr. nauk G.K. Veselovoy, kand. geogr. nauk A.A. Alekseevoy. 2012, Informacionnyy sbornik № 39, pp. 43-53 [in Russ.].

5. *Alekseeva A.A., Losev V.M., Peskov B.E., Bagrov A.N.* Rezul'taty ispytaniya avtomatizirovannogo metoda prognoza shkvalov s detalizatsiey intensivnosti v trekh gradatsiyah (ot 20 do 24, ot 25 do 32, 33 m/s i bolee) na osnove vyhodnykh dannykh regional'noy modeli s zablagovremennost'yu 12 i 24 ch // pod red. kand. geogr. nauk G.K. Veselovoy, kand. geogr. nauk A.A. Alekseevoy. 2012, Informacionnyy sbornik № 39, pp. 43-53 [in Russ.].

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

7. *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.].

8. *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.].

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

*Поступила 26.01.2022; одобрена после рецензирования 17.03.2022;
принята в печать 30.03.2022.*

*Submitted 26.01.2022; approved after reviewing 17.03.2022;
accepted for publication 30.03.2022.*