

УДК 551.509.32

## **Прогноз опасных конвективных явлений погоды в летний период года**

***А.А. Алексева, В.М. Лосев***

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия*

Представлены результаты исследований последнего десятилетия, достигнутые в прогнозе опасных конвективных явлений погоды в летний период года. Рассматриваются научные основы методов прогноза и пути реализации их на практике. Уделено внимание автоматизированным методам прогноза с заблаговременностью до 24 ч, сильных осадков и шквалов в трех градациях интенсивности, рекомендованных Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета к внедрению в практику в 2011 г. в качестве фоновых прогнозов. Отмечено, что созданный в Гидрометцентре России программный комплекс прогноза неблагоприятных и опасных конвективных явлений погоды реализует прогноз ливней, шквалов и града, связанных с развитием зон активной конвекции в теплое полугодие, и их комплексов с детализацией типа и интенсивности явления, а также прогноз, когда с такими явлениями связан ущерб. Показаны способы уточнения автоматизированных прогнозов (места и времени возникновения опасных конвективных явлений) с использованием информации доплеровских локаторов.

*Ключевые слова:* прогноз, опасные конвективные явления, летний период года, ливень, шквал, град, диагноз, радиолокационные данные

## **Forecast of severe convective weather events in summer**

***A.A. Alekseeva, V.M. Losev***

*Hydrometeorological Research Center of Russian  
Federation, Moscow, Russia*

The results of the studies dealing with the forecast of severe convective weather events in summer in the recent decade are presented. The scientific basis of forecasting methods and the ways of their practical implementation are considered. Attention is paid to the automated methods for forecasting heavy rainfalls and squalls (for three gradations of intensity) with a lead time up to 24 hours. In 2011 the methods were recommended for the practical implementation by the Roshydromet Central Methodical Commission on Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts as background forecasts. It is noted that the software package for the forecasting of unfavorable and severe convective weather events developed in the Hydrometcentre of Russia provides the forecast of showers, squalls and hailstorms associated with the development of zones of active convection during the warm season and their complexes with the detailing of the type and intensity of phenomena as well as the forecast of cases when such phenomena cause damage. The ways of correcting the automated forecasts (the place and time of occurrence of severe convective events) using the information of Doppler weather radars are demonstrated.

*Keywords:* forecast, severe convective events, summer, rainfall, squall, hailstorm, diagnosis, radar data

## Введение

Опасные атмосферные конвективные явления: сильные ливень, град, шквал, а также комплексы таких явлений, представляют угрозу для хозяйственной деятельности, приводя к ущербу, иногда значительному, нередко сопровождаются гибелью людей, и не только в России. Поэтому исследования, посвященные изучению особенностей возникновения опасных конвективных явлений погоды, их диагнозу и прогнозу актуальны до настоящего времени. Кроме того, они практически значимы, так как позволяют совершенствовать подходы к их диагнозу и прогнозу, что позволит с достаточным запасом по времени выпустить штормовое предупреждение и принять превентивные меры защиты.

В последнее десятилетие отмечены существенные достижения метеорологии в области развития мезомасштабных численных моделей. Разрешение моделей по площади уже достигает порядка 3–0,5 км, т. е. по сути должны с достаточным качеством прогнозироваться явления погоды, относящиеся ранее при более грубом разрешении моделей к подсеточным процессам, в том числе и конвективные явления. Но образование зон активной конвекции отличается особой сложностью, поскольку при их возникновении взаимодействуют макро-, мезо- и микромасштабные атмосферные процессы, развитие которых нередко происходит в достаточно короткое время и отличается взрывным характером. Поэтому, несмотря на достижения мезомасштабного моделирования, представляет достаточную трудность прогнозирование точного места и времени возникновения таких явлений, а также их интенсивности. Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета на данный момент не принято ни одного решения о внедрении в практику прогнозов опасных конвективных явлений в летний период года на основе базовой мезомасштабной модели ввиду недостаточных показателей качества таких прогнозов [15]. С достаточно высокой точностью в настоящее время моделями прогнозируется факт выпадения осадков, но не их интенсивность, особенно в градации сильных осадков ( $\geq 15$  мм/12 ч), а также порывы скорости ветра в градациях до 20 м/с.

Опасные конвективные явления плохо обнаруживаются метеорологическими наблюдениями, так как их сеть до сих пор недостаточна с пространственной точки зрения, особенно для России. Появившиеся в последнее десятилетие доплеровские локаторы на настоящее время не покрывают всю территорию России, до сих пор нет результатов верификации вторичных радиолокационных продуктов. Поэтому хотя данные доплеровских радиолокаторов (ДМРЛ-С) уже нашли применение

в практике прогнозирования, до сих пор не использованы все возможности данного вида метеорологических наблюдений. Если по данным некогерентного режима работы доплеровского локатора в России на момент внедрения таких локаторов имелась достаточно емкая база научных знаний, то при работе в когерентном режиме пришлось опираться на зарубежные достижения, которые еще предстоит освоить для целей диагностирования и прогнозирования опасных явлений (ОЯ) погоды для территории России.

### **Достижения последнего десятилетия (2010–2019 гг.) в разработке методов прогноза опасных конвективных явлений погоды в летний период года**

В [3, 6–9] подробно изложены основы и результаты оперативных испытаний реализованных на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч автоматизированных методов прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34 мм/12 ч, от 35 до 49 мм/12 ч и 50 мм/12 ч и более) и шквалов с детализацией интенсивности в трех градациях (от 20 до 24 м/с, от 25 до 32 м/с, 33 м/с и более).

Прогноз осадков в трех градациях является результатом комплексирования двух методов прогноза [1, 2, 4, 10]: метода прогноза максимального количества осадков – основы прогноза осадков во всех градациях и альтернативного метода прогноза ливней градации ОЯ – уточняющего прогноз для градации осадков 50 мм/12 ч и более. С изменением критерия сильных осадков с 11 мм/12 ч на 15 мм/12 ч в методе также изменена прогнозируемая градация.

Прогноз шквалов в трех градациях является результатом комплексирования двух методов: прогноза скорости ветра при шквалах и альтернативного прогноза шквалов в градации ОЯ [3, 4, 10]. Шквалы с ураганной скоростью ветра прогнозируются при условии одновременного прогнозирования скорости максимальных порывов ветра не менее 33 м/с [6] и шквалов в градации ОЯ альтернативным способом.

Решением ЦМКП Росгидромета от 2 марта 2011 г. [15] оба метода рекомендованы к внедрению в оперативную технологию ФГБУ «Гидрометцентр России»: автоматизированный метод прогноза осадков – с детализацией интенсивности в двух градациях (от 11 до 34 мм/12 ч и  $\geq 35$  мм/12 ч) и автоматизированный метод прогноза шквалов с детализацией интенсивности в градациях от 20 до 24 м/с и  $\geq 25$  м/с с заблаговременностью 12 и 24 ч. Рекомендовано обеспечить передачу прогнозов в летний период в прогностические организации Центрального и Центрально-Черноземного УГМС; прогностическим организациям Центрального и Центрально-Черноземного УГМС использовать в оперативной практике данные прогнозы в качестве фоновых для последующего их уточнения на текущих материалах. Авторам рекомендовано продолжить

работу по развитию методов прогноза, в т. ч. с использованием информации ДМРЛ-С.

Кроме того, методы прогноза опасных конвективных явлений с заблаговременностью 12 и 24 ч на основе выходной продукции региональной модели атмосферы испытаны в Татарстане. ЦМКП Росгидромета утвердила 6 февраля 2012 г. [15] решение Технического совета ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» от 24.11.2011 г. использовать прогнозы опасных конвективных явлений с заблаговременностью 12 и 24 ч на основе выходной продукции региональной модели атмосферы в качестве консультативных к синоптическому методу.

Анализ полученных результатов оперативных испытаний осадков показал [8]:

- число случаев с осадками количеством  $\geq 50$  мм/12 ч составило 11–17, что менее 0,5 % общей выборки, поэтому результаты испытаний прогнозов в градации ОЯ оказались статистически не обеспечены;

- значения критерия качества Пирса-Обухова для осадков в градациях  $\geq 11$  мм/12 ч и  $\geq 35$  мм/12 ч на дневной период составляют 0,42 и 0,63, соответственно, с заблаговременностью 12 ч; 0,42 и 0,49 – с заблаговременностью 24 ч; на ночной период – 0,44 и 0,63 с заблаговременностью 12 ч; 0,47 и 0,55 с заблаговременностью 24 ч;

- сравнение показателей успешности прогнозов осадков количеством  $\geq 11$  мм/12 ч, рассчитанных на основе данного метода и гидродинамических моделей атмосферы (PLAV, COSMO-Ru07 и REGION), в период испытаний летнего сезона 2010 г. показало, что метод и модели имели невысокие (около 15 %) оправдываемости прогнозов с осадками, однако предупредительность выпадения сильных осадков, а также величина критерия качества Пирса-Обухова у испытываемого метода были существенно выше (90 % и 0,39), чем у рассмотренных гидродинамических моделей атмосферы (16–18 % и 0,15–0,16);

- недостатком рассматриваемого метода является значительное количество «ложных тревог».

Случаев со шквалами скоростью 33 м/с и более за период оперативных испытаний оказалось недостаточно для выводов об успешности метода для этой градации [9].

Расчет прогнозов опасных и неблагоприятных явлений (НЯ) погоды конвективного характера (ливни, шквалы) и их количественных характеристик (количества осадков, скорости ветра) данными методами проводится на основе выходных данных трех оперативных вариантов гидродинамической региональной модели Гидрометцентра России [14], отличающихся областью прогноза, шагом расчетной сетки по горизонтали и параметрами параметризации неадиабатических факторов (радиации, пограничного слоя, осадков). Это три оперативных варианта модели. Расчет проводится в системе ASOI, разработанной в отделе математического обеспечения Гидрометцентра России. Все расчеты в настоящее время

(2019 г.) в оперативном режиме ведутся на ЭВМ Xeon-32a или Xeon-32b и записываются в три базы данных (БД). В БД RGPR записываются прогнозы на сетке  $137 \times 209$  узлов с шагом по горизонтали 75 км. В БД RGRF – на сетке  $351 \times 529$  узлов для территории, включающей Европу, всю Россию и Японию с шагом по горизонтали 25 км. В БД RGKU записываются прогнозы на сетке  $137 \times 209$  узлов с шагом по горизонтали 25 км для Северного Кавказа. Выходные прогностические поля в рамках программного комплекса рассчитываются с ежечасной детальностью. Кроме того, прогнозы рассчитываются на основе оперативных прогностических полей региональной модели с шагом 75 км с 6-часовым разрешением. В данной версии расчетов расширен набор прогнозов, т. е. расчеты включают дополнительно прогнозы ливней, шквалов и града в градации ОЯ ранее внедренными методами, подробно представленными в [10, 12]. Данный вид прогнозов передается потребителям по электронной почте.

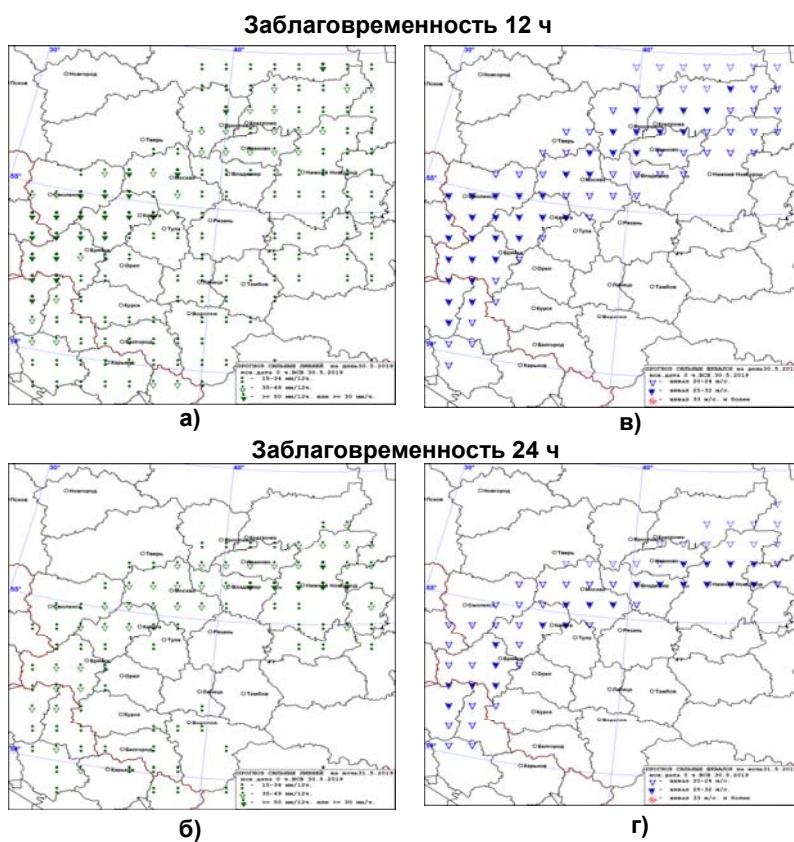
Следует заметить, что все прогнозы, как с пространственным разрешением 75 км, так и 25 км, доступны для визуализации в удобном для потребителя виде с помощью специальной версии разработанного в Гидрометцентре России программного комплекса «Изограф» (автор – Ю.В. Алферов). Визуализацию можно осуществить и в рамках «Программного комплекса оперативной обработки, визуализации и представления гидрометеорологической информации для оперативно-прогностических организаций» (комплекс «Прометей»). Программный комплекс «Прометей» был рекомендован ЦМКП Росгидромета от 1 декабря 2009 г. для внедрения в прогностических организациях и учреждениях Росгидромета в качестве унифицированной информационной системы обеспечения прогностической и аналитической деятельности специалистов [15].

На рис. 1 представлены примеры прогнозов осадков и шквалов указанными выше методами на 30–31 мая 2019 года. На рис. 2 представлен прогноз града в двух градациях интенсивности (ОЯ – закрашенный значок, НЯ – не закрашенный значок) ранее разработанным методом [10] на день 30 мая 2019 года. Прогнозировался только град в градации НЯ.

Развитие ЗАК в центральной части России 30 мая 2019 г. происходило при прохождении холодного фронта. Смещение фронта сопровождалось резким усилением ветра, интенсивными ливнями местами с градом. В предыдущие сутки фронт отличился в Новгородской и Ленинградской областях. Метеостанция Киришей зафиксировала ветер с порывами 25 м/с, в других районах региона были зафиксированы ветры с порывами 15–20 м/с. В Ленинградской области выпало до 30 мм/12 ч, что здесь случается раз в 17 лет. Около трети месячной нормы (20 мм) выпало всего за час в Минске. Ветром повреждены кровли, поваленными деревьями – автомобили, образовались завалы на дорогах. В Минске жители зафиксировали на видео небольшой смерч, не причинивший вреда.

В ночь на 30 мая сильные дожди прошли в Ленинградской, Псковской, Новгородской и Тверской областях. Холодный фронт во вторую

половину дня 30 мая приблизился к Москве. Непогода отмечалась во многих частях центральных областей Европейской России. Осложнено было движение на многих автомобильных трассах Москвы: Носовихинском, Ярославском, Ленинградском, Новорижском, Симферопольском и Варшавском шоссе, а также в Подмоскowie. Во Внуково выпало 24 мм осадков. В отдельных районах Подмоскowie наблюдался град. Ливни сопровождались шквалистыми усилениями ветра. В Костромской и Калужской областях также отмечались сильные дожди. В Ярославской области выпало до 44 мм. Осадки сопровождались порывистым ветром до 22 м/с. Таким образом, можно сделать вывод, что прогнозируемые опасные конвективные явления не противоречат фактически наблюдавшимся.



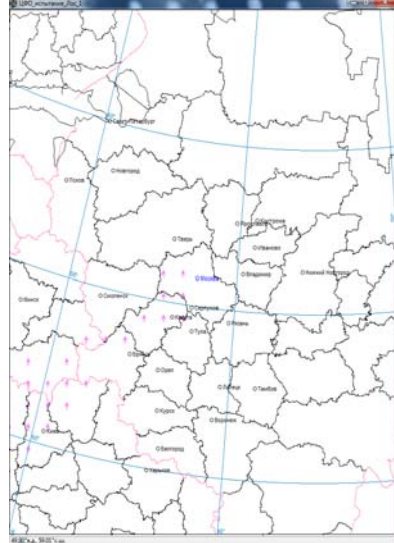
**Рис. 1.** Примеры прогнозов осадков в трех градациях интенсивности (а, б) и шквалов в трех градациях интенсивности (в, г) на 30–31.05.2019 г. от срока 00 ч ВСВ с заблаговременностью 12 ч (а, в) и 24 ч (б, г) для Центрального федерального округа России.

**Fig. 1.** The examples of forecasts of precipitation (for three gradations of intensity) (а, б) and squalls (for three gradations of intensity) (в, г) on May 30–31, 2019 with the start at 00 UTC with a lead time of 12 (а, в) and 24 (б, г) hours for the Central Federal District of Russia.

Прогноз на 12 ч ВСВ 30.05.2019г.



Прогноз на 18 ч ВСВ 30.05.2019г.



**Рис. 2.** Примеры прогнозов града в градации интенсивности НЯ на 30.05.2019г. от срока 00 ч ВСВ для Центрального федерального округа России.

**Fig. 2.** The examples of forecasts of hail (for the gradation of intensity of adverse phenomena) for May 30, 2019 with the start at 00 UTC for the Central Federal District of Russia

В рамках исследований данного направления к концу 2013 г. был разработан усовершенствованный метод прогноза максимального количества осадков. В отличие от внедренного в 2006 г. решением ЦМКП метода [15], коэффициент генерации осадков  $K_0$ , показывающий, какая часть сконденсированной в облаке влаги участвует в осадкообразовании, в усовершенствованном методе вычисляется по влажности (среднему дефициту точки росы  $d_{8,7}$  в слое 850–700 гПа) согласно формуле:

$$K_0 = 0,69 - 0,1 d_{8,7}. \quad (1)$$

Кроме того, в связи с оптимизацией прогноза температуры точки росы у Земли в региональной модели Гидрометцентра России [7], прогнозы рассчитывались как с использованием прогноза приземной температуры точки росы по эмпирической зависимости [4, 10], так и с использованием ее модельного значения в оптимизированном варианте.

Также в 2013 г. метод прогноза сильных шквалов был усовершенствован за счет учета предиктора «фактор фронта» у поверхности Земли, рассчитываемого с шагом 75 км, который отражает синоптическую ситуацию и учитывает большие контрасты температуры и благоприятные для возникновения шквалов гребни тепла:

$$F_{FR_3} = f(\Delta T_3, \nabla T_3), \quad (2)$$

где  $\Delta T_z$  – градиент приземной температуры;  $\nabla T_z$  – лапласиан приземной температуры.

Аналогично прогнозам максимального количества осадков прогнозы сильных шквалов рассчитывались относительно расчета приземной температуры точки росы в двух вариантах: по эмпирической зависимости и оптимизированному модельному расчету.

В последнее время в исследованиях в области прогнозов конвективных явлений погоды активизировалось использование различных индексов, как известных, так и разработанных в рамках исследований, например в [13, 18], учитывающих распределение влаги, температуры, ветра и неустойчивости по высотам. Оперативные испытания на практике в рамках Плана испытаний новых и усовершенствованных методов прогноза Росгидромета данные методы не проходили. В рекомендованных ЦМКП для внедрения методах прогноза прогнозируется конкретное конвективное явление и его количественные характеристики, а не прогноз ситуации, благоприятной для их возникновения, в случае применения индексов.

Поскольку приведенные выше прогнозы были рекомендованы ЦМКП для использования со статусом консультативных как фоновые и предложено их дальнейшее усовершенствование с применением данных доплеровских локаторов ДМРЛ-С, проводились исследования с целью развития подходов диагностирования конвективных явлений на основе информации сети данных локаторов.

Для исследований в Гидрометцентре России создана БД DMRL сети доплеровских локаторов на сетке с шагом  $0,05 \times 0,05^\circ$  для территории от  $40^\circ$  до  $65^\circ$  с. ш. и от  $30^\circ$  до  $56^\circ$  в. д. (алгоритм Д.Я. Прессмана, реализация Д.Я. Прессмана и А.Ю. Недачиной). Используются 10-минутные радиолокационные данные ДМРЛ-С об интенсивности и 6-часовых суммах осадков, диагностированных явлениях, а также данные о верхней границе облаков и горизонтальной отражаемости на всех (11-ти) уровнях. На основе данной БД разработаны новые подходы диагностирования опасных конвективных явлений и их количественных характеристик интенсивности, а также параметров конвекции.

Известно, что максимальная конвективная скорость является одной из основных характеристик параметров атмосферы при развитии ЗАК. Она как предиктор используется во многих методах диагноза [5, 17] и прогноза опасных конвективных явлений погоды [16], до сих пор используемых в синоптической практике, поэтому важно иметь как можно более точные и детализированные по времени и пространству данные. На основе радиолокационных данных ДМРЛ-С реализован их диагноз. Такие диагностические данные, в отличие от рассчитанных максимальных конвективных скоростей на основе данных радиозондирования атмосферы, имеют высокое пространственное ( $0,05 \times 0,05^\circ$  в сравнении с довольно редкой сетью радиозондирования)



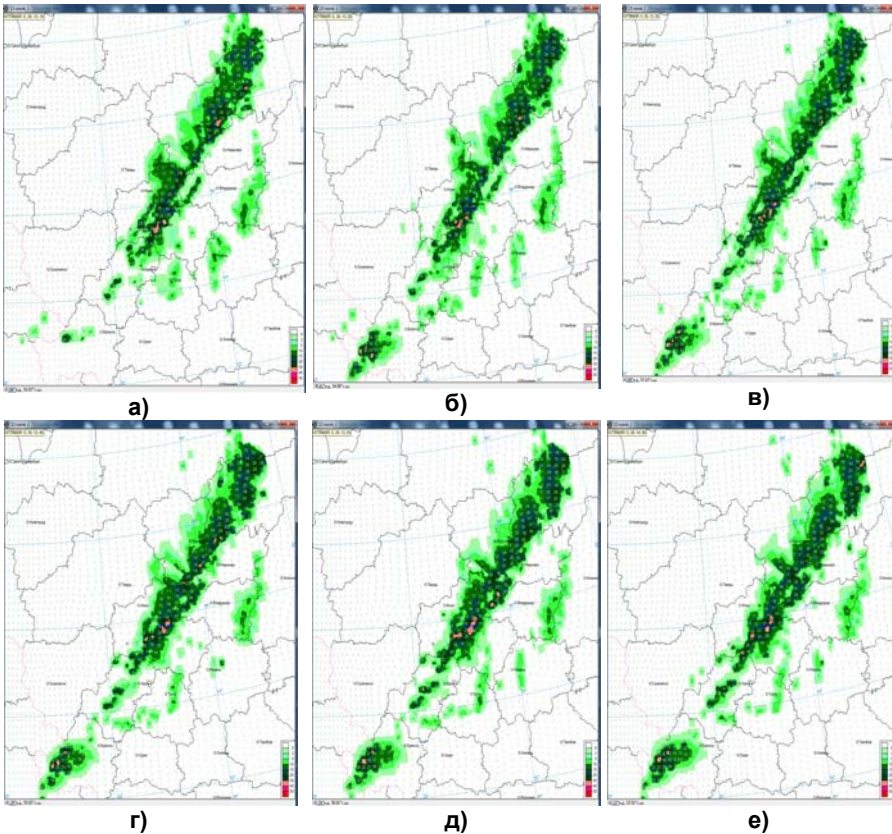
и временное разрешение (каждые 10 мин по сравнению с рассчитанными по данным радиозондирования, в лучшем случае – 2 раза в сутки).

Максимальная конвективная скорость рассчитывается как [11]

$$W_{m_{\text{ДМРЛ-С}}} = 1,33 [0,038H_m(dBZ_m - 18) + 3,52] + 4,0, \quad (3)$$

где  $H_m$  – значение верхней границы облачности, км;  $dBZ_m$  – максимальное из 11 уровней значение радиолокационной отражаемости,  $dBZ$ .

На рис. 3 представлены примеры диагностированных по данным сети ДМРЛ-С максимальных конвективных скоростей с 10-минутным разрешением на период от 13.10 ч до 14.00 ч ВСВ 30.05.2019 для центральной части ЕТР.



**Рис. 3.** Диагностированные по данным сети ДМРЛ-С максимальные скорости восходящих конвективных движений (м/с) с 10-минутным разрешением на период от 13.10 до 14.00 ч ВСВ 30.05.2019 для центрального региона ЕТР.

**Fig. 3.** Maximum convective velocities of updrafts (m/s) with the 10-minute resolution for the period from 13:10 to 14:00 h UTC for May 30, 2019 for the central region of the European part of Russia diagnosed from the DMRL-C network data.

На рис. 4а для примера представлены диагностированные по данным сети ДМРЛ-С интенсивности ливневых осадков (мм/ч) за сроки 11.10–12.00 ч ВСВ 30.06.2017 г. Интенсивность осадков рассчитывается по зависимости [11]:

$$\bar{I} = 0,00043 W_{m_{\text{ДМРЛ-С}}}^2. \quad (4)$$

С подходами диагностирования максимальных конвективных скоростей, интенсивности ливневых осадков и града можно подробнее ознакомиться в [11].

На рис. 4б представлено диагностируемое просуммированное из 10-минутных сроков по данным ДМРЛ-С рассматриваемым алгоритмом полусуточное на срок 18 ч ВСВ 30.06.2017 г. количество осадков (мм/12 ч). Как видим, в районе Москвы и ближнего Подмосковья диагностирована зона полусуточных осадков, достигающих 52–55 мм/12 ч, что не противоречит фактическим данным.

На основе БД ДМРЛ-С (некогерентный режим) также разработаны дополнительные методы диагностики града по дискриминантной функции:

$$L = 0,04H_m (dBZ_m - 18) - H_0 + 1,7, \quad (5)$$

где  $H_m$ ,  $H_0$  – высоты максимальной верхней границы радиоэха от кучево-дождевых облаков и нулевой изотермы, км;  $dBZ_m$  – максимальная в вертикальном столбе кучево-дождевого облака горизонтальная отражаемость в  $dBZ$  по данным ДМРЛ-С.

При  $L > 0$  возможно образование и выпадение града на поверхность Земли.

Радиус града в облаке по данным ДМРЛ-С определяется как

$$r_0 = \frac{W_{m_{\text{ДМРЛ-С}}}^2 \cdot 10^4}{\gamma^2}, \quad (6)$$

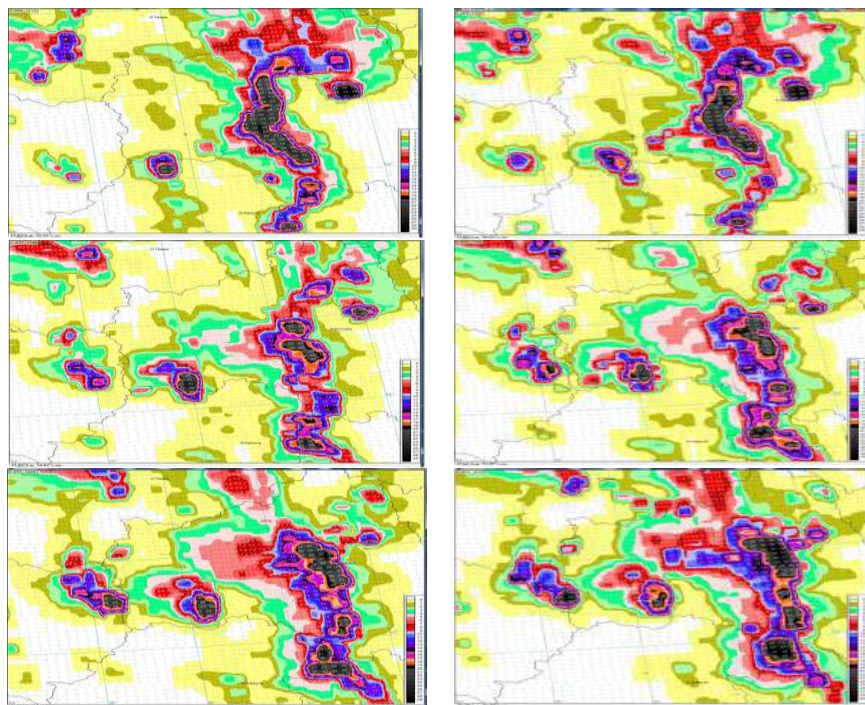
где  $\gamma = 1,33 \cdot 10^3 \text{ см}^{\frac{1}{2}} \text{ с}^{-1}$  при  $10 > W_m \geq 5$  м/с;

$\gamma = 2,3 \cdot 10^3 \text{ см}^{\frac{1}{2}} \text{ с}^{-1}$  при  $20 > W_m \geq 10$  м/с;

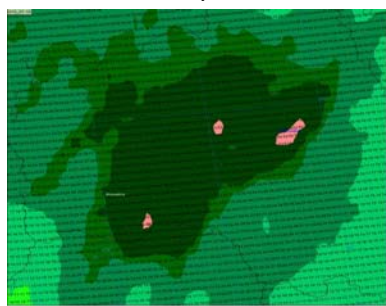
$\gamma = 2,63 \cdot 10^3 \text{ см}^{\frac{1}{2}} \text{ с}^{-1}$  при  $W_m \geq 20$  м/с.

Экспериментально выяснено, что градины диаметром 3 см и более, пролетая через теплую часть атмосферы, тают незначительно, т. е. при  $W_m > 30$  м/с размер града на подстилающую поверхность можно определять по уравнению (6). Если диаметр градин в облаке менее 3 см, то при падении через теплые слои атмосферы они заметно тают, поэтому радиус града, выпадающего на подстилающую поверхность, зависит от высоты изотермы 0 °С.

Радиус растаявшего града  $R_{раст}$  в см определяется соотношением  $R_{раст} = 0,13H_0$ . Радиус града на подстилающую поверхность:  $R = r_0 - R_{раст}$ .



а)



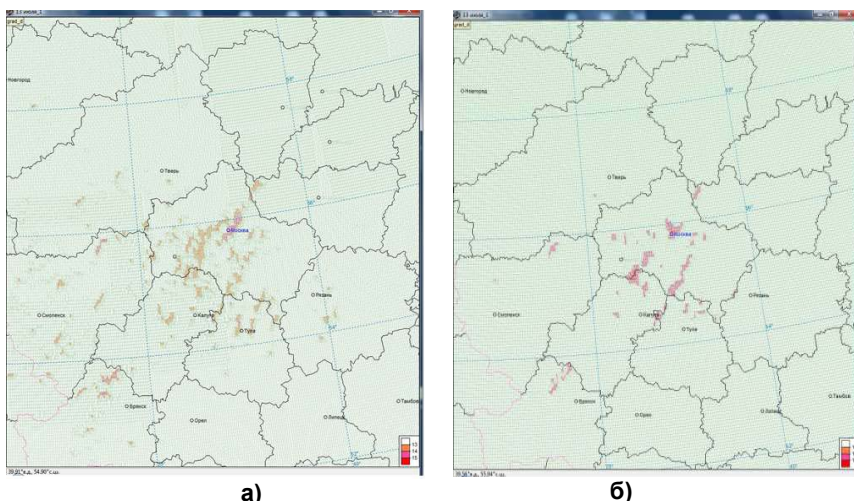
б)

**Рис. 4.** Диагностированные по информации сети ДМРЛ-С интенсивность ливневых осадков (мм/ч) в 10-минутные сроки наблюдений 11:10-12:00 ч ВСВ (а) 30.06.2017 г. и полусуточное количество осадков (мм/12ч) на срок 18 ч (б) ВСВ 30.06.2017 г.

**Fig. 4.** The 10-minute intensity of rainfalls (mm/hour) during the period of 11:10–12:00 UTC (a) and the semidiurnal rainfall (mm/12h) for 18:00 UTC (б) on June 30, 2017 diagnosed from the DMRL-C network data.

На рис. 5 представлены карты гроз с градом, диагностированных в оперативном режиме ДМРЛ-С на основе внедренного в оперативную работу программного обеспечения и выше представленным подходом. Град на шкале карты метеоявлений ДМРЛ-С условно классифицирован по величине (очевидно, по уровню ущерба) как слабый – менее 5 мм; умеренный – 5–20 мм; сильный – более 20 мм.

Как видно из рис. 5, предлагаемым методом зоны диагностирования града несколько отличаются по площади, а также по интенсивности, от диагностируемых в оперативном режиме. Возможно, разница объясняется тем, что ДМРЛ-С в настоящее время диагностирует грозы с градом, а в предложенном алгоритме решается задача диагностирования выпадения града на подстилающую поверхность.



**Рис. 5.** Диагностированные зоны с градом за дневное время (на 18 ч ВСВ) 30.06.2017 г. по существующему программному обеспечению работы ДМРЛ-С (а) и разработанному методу диагностирования (б).

**Fig. 5.** The hail zones for the daytime (18:00 UTC) on June 20, 2017 diagnosed using the existing DMRL-C software (a) and the developed diagnostic method (б).

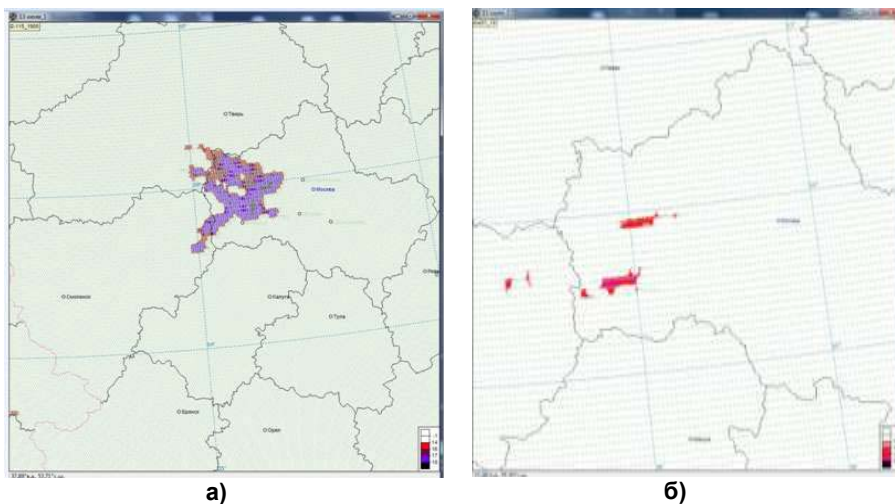
Для шквалов реализованы два алгоритма: диагностирование шквалов и их скорости (метод Б.Е. Пескова [17]) и шквалов в градации ОЯ (метод А.А. Алексеевой [4]). Во втором алгоритме дополнительно к данным ДМРЛ-С используется лапласиан приземного давления, прогнозируемый региональной моделью Гидрометцентра России с детализацией по времени и пространству, идентичной данным БД DMRL (10 мин и 0.05°), как и величина высоты нулевой изотермы  $H_0$  в случае диагноза града.

На рис. 6а представлены карты диагноза шквалов по методу Б.Е. Пескова [17], на 19:00 13.07.2016 со скоростями ветра в градациях от 15 до 25 м/с и более. Если сравнить рис. 6а и рис. 6б, видно, что зоны

диагноза шквалов методом Б.Е. Пескова на момент времени 19:00 больше по площади просуммированных аналогичных зон, диагностируемых ДМРЛ-С в оперативном режиме с 18:10 до 19:00 ч ВСВ.

На рис. 7 представлены зоны диагноза шквалов в градации ОЯ по данным сети ДМРЛ-С в период 18:40 – 19:40 ч ВСВ 13.07.2016 г. (верхние два рисунка с нанесением рек).

Как видим, в момент возникновения смерча в Можайском и Рузском районах Московской области шквалы градации ОЯ диагностировались в то же время и в том же районе.

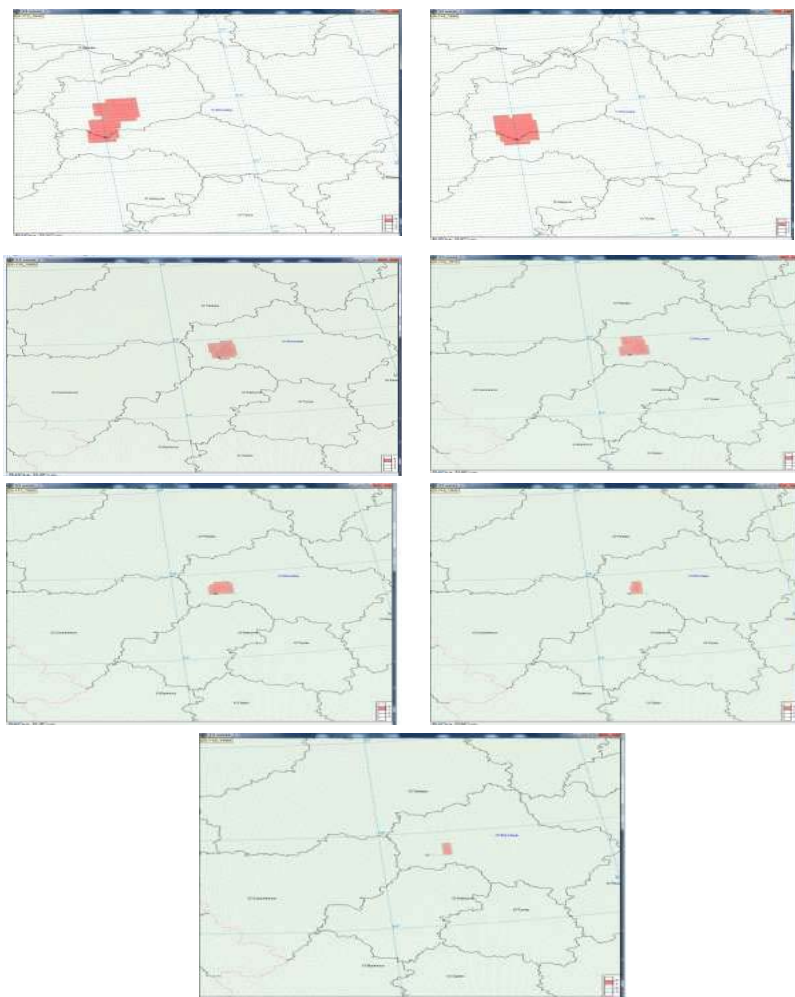


**Рис. 6.** Карты диагноза шквалов методом Б.Е. Пескова [17] (а) на 19:00 ВСВ и просуммированных аналогичных зон, диагностируемых в настоящее время ДМРЛ-С в оперативном режиме с 18:10 до 19:00 ВСВ (б), 13.07.2016 г. по территории Московской и Смоленской областей.

**Fig. 6.** The maps for the squall diagnosis developed by the method by B.E. Peskov [17] (a) for 19:00 UTC and the summed similar zones currently diagnosed by DMRL-C in operational mode for the period from 18:10 till 19:00 UTC (б) on July 13, 2016 in the Moscow and Smolensk regions.

Задачей представленных выше исследований было: развитие методов диагноза параметров конвекции и связанных с ней конвективных ОЯ (шквалов, града, ливней) по информации доплеровских радиолокаторов. Ожидаемыми целевыми показателями были приращение выходной продукции доплеровских радиолокаторов для задач краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза опасных конвективных явлений погоды и повышение эффективности штормоповещений их возникновения. Частично результаты расчетов по диагностированию (максимальных конвективных скоростей, интенсивности, ежечасного и полусуточного количества ливневых осадков) записываются в БД Гидрометцентра России. Результаты диагноза можно получать в виде автоматизированных карт, построенных

пакетом Изограф. Накапливается информация и в архивных БД для осуществления верификации и уточнения, если потребуется, эмпирических коэффициентов полученных расчетных зависимостей. На первом этапе исследований сделан акцент на использовании радиолокационных данных в режиме «отражаемость», на последующих планируется использовать данные и в режиме «скорость». Таким образом выполняется и рекомендация ЦМКП о совершенствовании методов прогноза конвективных ОЯ, рекомендованных для внедрения в практику.



**Рис. 7.** Карты с диагнозом шквалов градации ОЯ по данным сети ДМРЛ-С в период 18:40 – 19:40 ВСВ 13.07.2016г. (верхние два рисунка с нанесением рек) для территории Московской области и прилегающих областей.

**Fig. 7.** The maps with the diagnosis of severe squalls according to the DMRL-C network data for the period of 18:40–19:40 UTC on July 13, 2016 (the top two figures with the indication of rivers) for the Moscow region and adjacent territories.

## Выводы

В последнее десятилетие в Гидрометцентре России разработана автоматизированная технология, функционирующая в оперативном режиме, прогнозирующая практически все опасные и неблагоприятные конвективные явления погоды и их комплексы, в том числе включающие метод прогноза конвективных явлений с вероятным ущербом в летний период года. Технология базируется на выходных данных региональной модели Гидрометцентра России с разрешением  $75 \times 75$  км, на момент основных исследований данного направления являющейся на практике базовой региональной моделью. Разрешение модели позволило ЦМКП Росгидромета присвоить прогнозам статус фоновых прогнозов и консультативных для синоптиков. Прогнозами пользуются синоптики Центрального федерального округа России, Татарстана, Северного Кавказа и Беларуси. В 2019 году прогнозы стали поступать в ФГБУ «Северное УГМС».

Согласно рекомендации ЦМКП Росгидромета усовершенствовать предлагаемые к внедрению методы с использованием радиолокационных данных ДМРЛ-С, в последние два года разработана автоматизированная технология диагноза таких явлений и их интенсивности на основе данных сети ДМРЛ-С для центральной части ЕТР. Диагностированные максимальные конвективные скорости, интенсивность ливневых осадков, ежечасное и полусуточное их количество рассчитывается уже с записью результатов в созданную БД DW19.

Кроме того, полученные результаты исследований по усовершенствованию прогноза опасных конвективных явлений нацелены на сокращение ложных тревог и увеличение пространственного разрешения прогнозов.

В качестве перспектив развития прогноза опасных конвективных явлений погоды можно отметить реализацию наработок данного направления научных исследований на основе базовой мезомасштабной модели, а также проведение дальнейших исследований по усовершенствованию диагноза таких явлений по радиолокационной информации сети ДМРЛ-С, в том числе с использованием радиолокационных данных, получаемых в когерентном режиме работы локаторов. Как показали уже полученные результаты исследований, частично подходы прогнозирования таких явлений могут использоваться в их диагнозе с привлечением модельных данных, и на основе результатов диагноза появляется возможность совершенствования методов их прогноза. То есть совместные исследования по прогнозу и диагнозу опасных конвективных явлений погоды обогащают оба направления исследований. Предупрежденность явлений в прогнозе данным подходом достаточно высока и на сегодняшний день, главной задачей на ближайшие годы является сокращение ложных тревог без потери показателей предупрежденности, в результате чего повысится оправдаемость прогноза таких явлений. Таким образом будет решаться задача более точного предсказания опасных конвективных явлений

погоды, что позволит с достаточной заблаговременностью в случае необходимости принять превентивные меры защиты, предотвратив значительный ущерб и сохранив жизни людей.

#### Список литературы

1. Алексеева А.А. Исследование условий формирования экстремальных осадков на Европейской территории бывшего СССР // Труды Гидрометцентра России. 1996. Вып. 328. С. 115-124.
2. Алексеева А.А. Летние конвективные явления // Природные опасности России. Том 5. Гидрометеорологические опасности. М.: Крут, 2001. С. 127-165, 167-172.
3. Алексеева А.А. Метод прогноза сильных шквалов // Метеорология и гидрология. 2014. № 9. С. 5-15.
4. 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. 2006. Информационный сборник № 34. С. 49-69.
5. Алексеева А.А. Подходы к решению проблемы прогнозирования сильных летних осадков // Труды Гидрометцентра России. 2014. Вып. 351. С. 64-84.
6. Алексеева А.А. Прогноз ураганных ветров внетропических циклонов на территории России // Метеорология и гидрология. 2017. № 1. С. 5-15.
7. Алексеева А.А., Лосев В.М. Прогноз сильных летних осадков на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России // Труды Гидрометцентра России. 2014. Вып. 351. С. 43-63.
8. 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/12 ч 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. 2012. Информационный сборник № 39. С. 49-60.
9. 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 // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2012. Информационный сборник № 39. С. 61-68.
10. 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.
11. 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.
12. Васильев Е.В., Алексеева А.А., Песков Б.Е. Условия возникновения и краткосрочный прогноз сильных шквалов // Метеорология и гидрология. 2009. № 1. С. 5-15.
13. Калинин Н.А., Быков А.В., Пицальникова Е.В., Шихов А.Н. Анализ условий возникновения сильных шквалов в Пермском крае по данным наблюдений и результатам численного моделирования // Гидрометеорологические исследования и прогнозы (Труды Гидрометцентра России). 2018. № 2 (368). С. 7-26.
14. Лосев В.М. Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада лтд, 2010. С. 36-58.
15. Решения Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета. <http://www.method.meteorf.ru> (дата обращения 25.09.2019 г.).
16. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 704 с.
17. 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. М.: РОСГИДРОМЕТ, 1996. 181 с.
18. Спрыгин А.А., Прохореня М.И. Диагноз и прогноз конвективных структур с опасными явлениями по данным моделирования и дистанционного зондирования над территорией Беларуси и Центральной России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы (Труды Гидрометцентра России). 2018. № 3 (369). С. 2-22.



## References

1. Alekseeva A.A. Issledovanie uslovii formirovaniya ekstremal'nykh osadkov na Evropeiskoi territorii byvshego SSSR. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 1996, vol. 328, pp. 115-124 [in Russ.].
2. Alekseeva A.A. Letnie konvektivnye yavleniya. *Prirodnye opasnosti Rossii*. Vol. 5. Gidrometeorologicheskie opasnosti. Moscow, KRUK publ., 2001, pp. 127-164. [in Russ.].
3. Alekseeva A.A. A method of forecasting severe squalls. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 9, pp. 569-576. DOI: 10.3103/S1068373914090015.
4. 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.].
5. Alekseeva A.A. The approaches to solving the problems of forecasting heavy summer precipitation. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2014, vol. 351, pp. 64-84 [in Russ.].
6. Alekseeva A.A. Forecasting hurricane winds in extratropical cyclones in Russia. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2017, vol. 42, no. 1, pp. 1-8. DOI: 10.3103/S1068373917010010.
7. Alekseeva A.A. Forecast of heavy summer precipitation based on the output of a regional model of the Hydrometcenter of Russia. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2014, vol. 351, pp. 43-63 [in Russ.].
8. Alekseeva A.A., Losev V.M., Bagrov A.N. Rezul'taty ispytaniya avtomatizirovannogo metoda prognoza osadkov s detalizaciei intensivnosti v trekh gradaciyah (ot 11 do 34, ot 35 do 49, 50 mm/12 ch i bolee) na osnove vyhodnykh dannykh regional'noi modeli s zablagovremennost'yu 12 i 24 ch. *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov. Informacionnyi sbornik*, 2012, vol. 39, pp. 49-60 [in Russ.].
9. Alekseeva A.A., Losev V.M., Peskov B.E., Bagrov A.N. Rezul'taty ispytaniya avtomatizirovannogo metoda prognoza osadkov s detalizaciei intensivnosti v trekh gradaciyah (ot 11 do 34, ot 35 do 49, 50 mm/12 ch i bolee) na osnove vyhodnykh dannykh regional'noi modeli s zablagovremennost'yu 12 i 24 ch. *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov. Informacionnyi sbornik*, 2012, vol. 39, pp. 61-68 [in Russ.].
10. 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 Gidromettsentra Rossii. *80 let Gidromettsentru Rossii*. Moscow, Triada LTD publ., 2010, pp. 147-159 [in Russ.].
11. 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.].
12. Vasil'ev E. V., Alekseeva A. A., Peskov B. E. Conditions for formation and short-range forecasting of severe squalls. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2009, vol. 34, no. 1, pp. 1-7. DOI: 10.3103/S1068373909010014.
13. Kalinin N.A., Bykov A.V., Pischalnikova E.V., Shikhov A.N. Analysis of conditions for the formation of strong squalls in the Perm region environments in using the ground-based data and numerical weather prediction data. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2018, vol. 368, no. 2, pp. 7-26. [in Russ.].
14. Losev V.M. Regional'naya gidrodinamicheskaya model' prognoza Gidromettsentra Rossii. *80 let Gidromettsentru Rossii*. Moscow, Triada LTD publ., 2010, pp. 36-58 [in Russ.].
15. Resheniya T'Sentral'noj metodicheskoy komissii po gidrometeorologicheskim i geliogeofizicheskim prognozam Rosgidrometa. Available at: <http://www.method.meteorf.ru>. [in Russ.].
16. Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozom pogody. Chast' 1. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1986, 704 p. [in Russ.].
17. RD 52.27.339-93. Rukovodstvo po diagnozu i prognozu opasnykh i osobo opasnykh osadkov, grada i shkvalov po dannykh meteorologicheskikh radiolokatorov i iskusstvennykh sputnikov Zemli. Moscow, ROSGIDROMET, 1996, 181 p. [in Russ.].
18. Sprygin A.A., Prokharenya M.I. Diagnosis and forecasting of convective structures accompanied by severe weather events based on model and remote sensing data over the territory of Belarus and central Russia. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, vol. 369, no. 3, pp. 2-22 [in Russ.].

Поступила в редакцию 16.10.2019 г.

Received by the editor 16.10.2019.