

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-2-114-127>

УДК 551.501.81

Диагностика града 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*

Приводятся результаты усовершенствования алгоритмов диагностики выпадения града на поверхность земли и его размера на основе данных сети ДМРЛ-С и численного прогнозирования. Алгоритмы реализованы в рамках автоматизированной технологии, функционирующей в режиме реального времени, с представлением результатов в базе данных и в виде карт. Предусмотрена двухчасовая, относительно срока наблюдений, анимация диагностированных зон с градом. Реализован алгоритм распознавания фазового состояния осадков в облаке, что позволило уточнить диагностику града поздней весной и ранней осенью, отсеив случаи с снежной и ледяной крупой. Приведены результаты верификации о предупрежденности случаев с градом. Сделан вывод, что полученные результаты усовершенствования диагностики града по радиолокационной информации позволят уточнить на Европейской территории России данные о случаях выпадения града на поверхность земли, дополнив уже имеющиеся, по информации сети метеорологических и дистанционных наблюдений, что имеет и практическое значение для формирования более точных штормовых предупреждений об возникновении явления.

Ключевые слова: град, диагностика, фазовое состояние осадков в облаке, радиолокационные данные, сеть ДМРЛ-С, автоматизированная технология

Diagnosis of hail based on DMRL-C and numerical modeling data

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

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

The results of improving the algorithms for diagnosing hail on the Earth surface and its size based on the DMRL-C network and numerical prediction data are presented. The algorithms are implemented as part of an automated technology that operates in real time, with the presentation of results in a database and in the form of maps. A two-hour (relative to the observation period) animation of the diagnosed hail zones is provided. An algorithm for identifying the phase state of precipitation in a cloud is implemented, which made it possible to refine the diagnosis of hail in late spring and early autumn, rejecting cases with snow and ice pellets. The results of verifying the probability of detection of hail are given. It is concluded that the results of improving hail diagnosis using radar data will make it possible to refine data on cases of hail reaching the Earth surface in the European

part of Russia, supplementing the already existing ones, according to the information of the network of meteorological and remote observations, which is also of practical importance for producing more accurate storm warnings about the occurrence of the phenomenon.

Keywords: hail, diagnostics, phase state of precipitation in a cloud, radar data, DMRL-S network, automated technology

Введение

Град приводит к большим бедствиям. В России особенно страдают от града южные районы, где и повторяемость случаев с градом, и его интенсивность выше в сравнении с другими регионами. Усилия ученых разных стран направлены на изучение градовых процессов, а также на предотвращение опасных ситуаций с градобитием. На юге нашей страны развернута служба искусственных воздействий на атмосферные процессы с целью предотвращения ущерба, особенно сельскому хозяйству. Ущерб в результате градобитий по сравнению с ущербом от других опасных явлений, даже конвективного характера, например, шквалов, носит локальный характер. Но бывают, хотя и редко, случаи выпадения крупного града, когда ущерб наносится не только сельскому хозяйству, но и инфраструктуре, получают ранения люди и животные.

До конца не решенная проблема исследования градовых процессов объясняется в том числе редкой сетью метеорологических наблюдений, да и для самого града не исключен элемент неожиданности, неравномерность распределения по площади, малая продолжительность выпадения и быстрота таяния. За рубежом более обстоятельно площади градобитий выявляются по данным страховых компаний, в России такая практика не развита. В последнее время, благодаря интернету, о таких случаях сообщают жители, нередко сопровождая сведения фото- и видеосъемками. Уже давно ученые возлагают надежду на достоверную диагностику града по данным радиолокаторов, но даже создание сети ДМРЛ-С в России пока не позволяет говорить утвердительно об этом.

Цель точной диагностики градобитий у поверхности земли пока остается не достигнутой, поэтому предлагаемые результаты исследований обладают актуальностью. Стоит также отметить, что активность публикаций по исследованию градовых процессов в настоящее время, по крайней мере в России, намного отстает от 50–60-х гг. прошлого века. Именно тогда в Высокогорном геофизическом научно-исследовательском институте была разработана модель градового облака [10, 11], а чуть позже – и серия методов прогноза [3, 9, 12–14].

Обсуждение результатов исследования

В настоящее время в рамках НИТР Росгидромета разрабатываются алгоритмы диагноза выпадения града на поверхность земли, в основу

которых положены методы, представленные в Руководстве [7], отличающиеся от алгоритмов, используемых при оперативной работе сети ДМРЛ-С [6]. Точная радиолокационная диагностика града позволила бы иметь дополнительные к наблюдениям на метеостанциях данные о градобитиях. Более подробно с предлагаемым подходом к диагнозу града на основе данных ДМРЛ-С и численного прогнозирования можно ознакомиться в [2]. Разработанные алгоритмы реализованы в ФГБУ «Гидрометцентр России» в рамках автоматизированной технологии диагноза опасных и неблагоприятных конвективных явлений погоды по данным сети ДМРЛ-С и численного прогнозирования, функционирующей в режиме реального времени. Возможность диагностирования выпадения града вычисляется по зависимости:

$$L = 0,004 Hm(dBZm - 18.0) - H_0 + 1,7, \quad (1)$$

где Hm – высота верхней границы облачности (км) по данным ДМРЛ-С; $dBZm$ – максимальная в «столбе» горизонтальная отражаемость (dbz); H_0 – высота изотермы 0°C (км).

Важной характеристикой выпадающего на подстилающую поверхность града является его размер, так как от него зависит возможный ущерб. Радиус града (см) в облаке рассчитывается по формуле:

$$r_0 = \frac{Wm^2 \cdot 10^4}{\gamma^2}, \quad (2)$$

где Wm – максимальная конвективная скорость, м/с; γ – коэффициент, зависящий от лобового сопротивления градины: при $5 \leq Wm < 10$ $\gamma = 1,33 \cdot 10^3 \sqrt{\text{см/с}}$, при $Wm \geq 10$ $\gamma = 2,3 \cdot 10^3 \sqrt{\text{см/с}}$.

Радиус града (см) в облаке по данным ДМРЛ-С:

$$r_0 = \frac{[1,33 (0,038 Hm (dBZm - 18) + 3,52) + 4]^2 \cdot 10^4}{\gamma^2}. \quad (3)$$

Экспериментально выяснено [10, 11], что градины диаметром 3 см и более, падая через теплую (ниже высоты нулевой изотермы) часть атмосферы, тают незначительно, т. е. при максимальной скорости конвективного потока в облаке более 30 м/с размер града можно определять непосредственно из уравнений (2) и (3). Если диаметр градин в облаке менее 3 см, то они заметно тают при падении через теплые слои атмосферы. Поэтому радиус града, выпадающего на подстилающую поверхность, зависит от высоты изотермы 0°C (H_0 , км). Согласно [3, 11, 12], уменьшение радиуса образовавшегося в облаке града за счет таяния при падении определяется соотношением:

$$r_{расп} = 0,13H_0. \quad (4)$$

Таким образом, радиус града, выпадающего на подстилающую поверхность, можно рассчитать:

$$R_{земля} = r_0 - r_{раст}. \quad (5)$$

Исходные данные

Исследование по диагностированию града и его размера проводилось на основе базы данных сети доплеровских локаторов, созданной в ФГБУ «Гидрометцентр России», для территории ЕТР. Используется информация о горизонтальной отражаемости на 11 уровнях, высоте верхней границы облачности в узлах сетки $0.05^\circ \times 0.05^\circ$. Кроме того, используется прогностическая информация о высоте нулевой изотермы – прогнозы Региональной модели ФГБУ «Гидрометцентр России», интерполированные в расчетную сетку $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ с временным интервалом 10 минут, т. е. привязанные синхронно к информации сети ДМРЛ-С.

Реализация диагностирования града

Запуск технологии происходит автоматически по расписанию на ЭВМ Asoi46a. Из циркулярной базы данных DMRL считываются имеющиеся через каждые 10 минут поля горизонтальной отражаемости (R11R000P, значения на 11 уровнях, среди которых затем находится максимальное значение из всех уровней) и высоты верхней границы облачности (Z77R000P) для каждой точки. Также используются прогностические поля высоты нулевой изотермы, которые рассчитываются по Региональной модели Гидрометцентра России на ЭВМ Asoi46a оперативно 2 раза в сутки (при старте расчета в 0 ч ВСВ – для сроков диагностирования 06.00 – 17.50, при старте в 12 ч ВСВ – для сроков диагностирования 18.00 – 5.50 через каждые 10 минут) и записываются в файлы. При запуске программы диагностирования града происходит считывание данных H_0 из соответствующих сроков файлов. Затем выполняется расчет величин L . Далее по этим значениям по заданным условиям формируется массив с индексами 1 (град) или 0 (без града). В случае индекса 1 в расчетной точке вычисляется по данным ДМРЛ-С максимальная конвективная скорость [2]. Затем в зависимости от ее величины выполняется расчет радиуса града сначала в облаке, а потом на земле. По значению радиуса града у поверхности земли в каждый узел сетки заносится одно из значений индекса: 13, 14 или 15, соответствующих аналогичным цифрам кода при оперативной работе ДМРЛ-С [6] при диагностировании града. После этого полученные результаты расчета для града, выпадающего на поверхность земли, записываются в оперативную базу данных DWxx (поле G93R000P), последние цифры в имени базы (xx) указывают год (например, для 2023 г. – DW23). Диагностированный град представляется в виде карт в трех градациях интенсивности (слабый – диаметр менее 5 мм, умеренный – диаметр 5–20 мм, сильный – диаметр более 20 мм). Реализована также анимация карт диагностированного града за последние 2 часа.

Пример диагностики града в рамках технологии

Рассмотрим для примера случай градового шторма 18 июля 2022 г. По территории ЕТР перемещались активные атмосферные фронты. Наиболее ярко они проявили себя в Черноземье и Поволжье. Повсеместно отмечались грозы с сильными ливнями, которые местами сопровождал град и сильный порывистый ветер. На некоторые районы Воронежской области обрушился градовый шторм. Эпицентр разрушительного града пришелся на поселок Ольховатка (рис. 1). Град, достигавший размера крупной сливы, около полудня выпадал приблизительно 30 минут и сопровождался шквалистым ветром. Такого града, по мнению жителей, здесь не было лет 20, а если и был, то кратковременный, не с таким масштабом повреждений. В других пунктах Рамонского и Семилукского районов также наблюдалось выпадение града. Очевидцы отмечали выпадение града и на северо-западе от столицы Черноземья. Ущерб подсчитывали и фермеры. Погибли не только овощи и зелень, были сбиты яблоки. Образовались сугробы из градин высотой до 10 см. Даже на следующий день при температуре 25 °С на земле лежали градины. Не выстояли теплицы. На полях пострадала кукуруза, за несколько минут – около ста гектаров подсолнухов, на значительной площади выбито зерно из озимой пшеницы. Погибла домашняя птица.

Кроме Ольховатки град прошел в деревне Вериловка, с. Новоживотинное Рамонского района, на юго-западе Воронежа, в Тепличном районе, в д. Репное (рис. 1). В Семилукском районе размер градин достигал 20 мм. Пострадали и северо-западные районы Воронежской области. Очевидцы засняли град также в Липецкой области. Можно было видеть потоки ливневой воды с льдинами из спрессованного града, уровень ледяных осадков в некоторых районах достигал 30 см.



Рис. 1. Град в райцентре Ольховатка, Репное (фото: соц. сети https://www.m24.ru/videos/regiony/19072022/482798?utm_source=CopyBuf).
Fig. 1. Hail in the regional center of Olkhovatka, Repnoe (photo: social networks https://www.m24.ru/videos/regiony/19072022/482798?utm_source=CopyBuf).

Сеть метеостанций настолько редка, что град на метеостанциях не был зафиксирован. Дежурный синоптик Воронежского центра гидрометеорологии Г. Губинская отметила, что град прошел в ряде районов вокруг Воронежа, преимущественно по северу-западу области, в Рамонском, Семилукском, Ольховатском, Репьевском районах.

В Московской области в Волоколамске и Истре тоже прошел сильный град. На рис. 2 представлены для примера карты радиолокационной диагностики града предлагаемым подходом в рамках технологии в дневное время 18.07.2022.

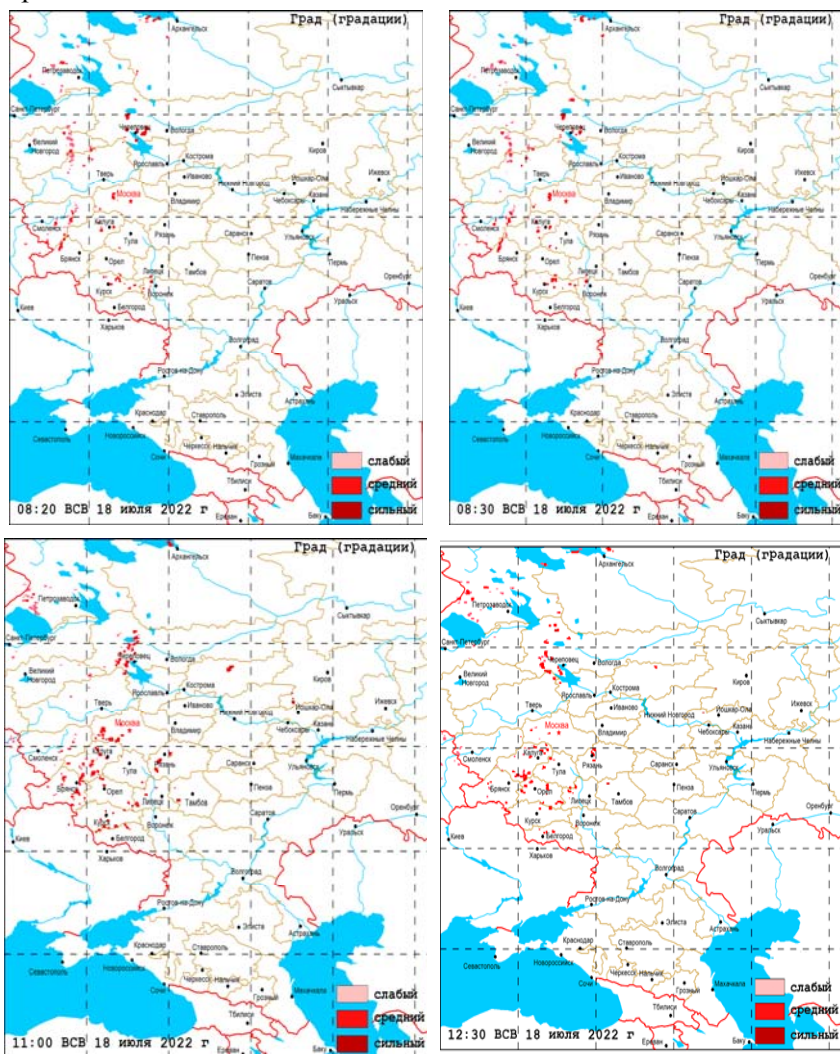


Рис. 2. Карты радиолокационного диагноза града за сроки 08.20, 08.30, 11.00, 12.30 ч ВСВ 18.07.2022, полученные в рамках автоматизированной технологии по рассматриваемому в статье алгоритму.

Fig. 2. Maps of radar diagnosis of hail for 08:20, 08:30, 11:00, 12:30 UTC on July 18, 2022 as a part of an automated technology.

Результаты верификации диагностики града

Верификация как прогноза явлений, так и их диагноза – важная задача. Относительно конвективных явлений – это еще и трудная задача, так как для таких явлений характерна локальность возникновения как по территории, так и во времени. Сеть наблюдений для обнаружения таких явлений недостаточна. Раньше для получения выводов о точности прогнозирования или диагностирования конвективных явлений использовались специально оборудованные полигоны, которых сейчас в России нет.

Трудность в определении оправдываемости [8] случаев с градом, диагностированных в узлах сетки, заключается в том, что, возможно, в выбранном радиусе вокруг узлов сетки может не оказаться пунктов наблюдения, что повлечет необоснованное увеличение ложных тревог диагностирования. Поэтому в данном исследовании оценена предупрежденность диагностированных случаев выпадения града на поверхность земли. Исходными данными для проведенной верификации послужили данные метеорологических станций, передаваемые по коду WAREP, а также информация из журнала опасных явлений погоды, сформированного в ФГБУ «Гидрометцентр России» на основе донесений с мест, и сообщения очевидцев, доступные в Интернете.

Для анализа рассмотрены 127 случаев (WAREP) и 18 случаев (журнал, Интернет) в мае; 28 случаев (WAREP) и 51 случай (журнал, Интернет) в июне; 20 случаев (WAREP) и 53 случая (журнал, Интернет) в июле; 5 случаев (WAREP) и 22 случая (журнал, Интернет) в августе; 13 случаев (WAREP) и 7 случаев (журнал, Интернет) в сентябре 2022 г. Итого за летний период 2022 г. на территории ЕТР рассмотрены 193 случая с градом (WAREP) и 151 случай (журнал, Интернет), что в сумме составляет 344 случая. Данные о градобитии по разным видам информации сравнивались. Если они дублировались, то такой случай принимался за один случай. За случай брался факт выпадения града на станции. При этом в один случай попадало, как правило, несколько 10-минутных сроков диагностирования, т. е. анализировались все сроки диагностирования, попавшие в указанный в коде WAREP период выпадения града в радиусе 10 км от станции. Если время выпадения града для одной станции указывалось дважды (два раза зафиксировано выпадение града), то считалось, что это два случая.

Предупрежденность выпадения града при диагностировании (только случаи по коду WAREP) составила 91.2 %, для всех случаев (WAREP и журнал, Интернет) – 94.7 %. При этом не анализировались причины не диагностирования случаев, к которым можно отнести следующие: алгоритм не позволил диагностировать явление; не работал по какой-либо причине локатор. Все такие случаи отнесены к пропуску явления (из выборки в 344 случаев пропуски составили 25 случаев: 17 случаев согласно WAREP и 8 случаев согласно данным журнала и Интернета). Таким образом, можно сделать вывод, что диагностирование данным подходом

града, выпадающего на поверхность земли, происходит с высокой точностью. На качественном уровне (на основе анализа карт с диагностикой града) можно отметить, что диагностированные зоны хорошо согласуются с зонами высоких значений максимальной конвективной скорости.

Анализ случаев града по интенсивности показал, что в большинстве случаев размер града совпадает с указанным в донесениях (WAREP, журнал, Интернет; в случаях, где размер был определен), но наблюдается тенденция к диагностике града большего размера в сравнении с измеренным размером. Вывод о точности диагностирования града по размеру на данный момент сложно сделать, так как случаи диагностирования его выпадения относятся к узлу сетки, что означает, что размер относится к размеру града, выпадающего в некотором радиусе. При данной верификации – в радиусе 10 км от станции. Сравнение с данными локаторов, функционирующих в оперативном режиме, запланировано на следующем этапе исследований после создания базы данных о случаях с градом в той же сетке. Но анализ отдельных случаев показывает, что зоны, диагностированные данным подходом и в оперативном режиме работы сети ДМРЛ-С, различаются как по размеру, так и расположению на площади.

Для примера (рис. 3) рассмотрим случай, приведенный в [1]. Днем 30 июня 2017 г. Центральный федеральный округ находился под влиянием атмосферного фронта атлантического циклона, в зоне которого выпали настоящие тропические ливни с грозами, градом и шквалом. В Московском регионе стихия отметилась в виде двух волн, первая – после полудня, вторая – в районе 18 ч. В Москве и Подмосковье наблюдался комплекс опасных метеорологических явлений. Погибли три человека, несколько пострадали. Во время первой волны прошел очень сильный дождь на севере Москвы, по данным метеостанции ВДНХ к 18 ч выпало 53 мм, это рекордное количество с 1923 г. Была подтоплена взлетная полоса аэропорта Шереметьево. Сильные ливни прошли и в других районах, так, в Тушино выпало 27 мм, во Внуково 21 мм, в Немчиновке 44 мм, в Электроуглях 21 мм, в Ново-Иерусалиме 37 мм, в Зарайске 21 мм, дожди продолжались и после 18 ч. В Одинцово и на других территориях Подмосковья отмечен местами град со шквалистым ветром.

Анализ всех случаев диагностирования выпадения града на поверхность земли с 10-минутной детализацией в летний период 2022 г. показал, что в мае и сентябре были случаи с диагностированными зонами града, занимавшими довольно обширные площади, что не характерно для града. Град очень сложно отличить от ледяной крупы, часто смешивают его и со снежной крупой. На практике руководствуются в таких случаях климатологическими данными, так как существует ярко выраженный сезонный ход этих видов осадков. Но в переходные периоды (поздняя весна и ранняя осень) это сделать бывает затруднительно, особенно при заторах холодных воздушных масс. Также трудности возникают в горных районах, отличающихся разнообразием твердых осадков.

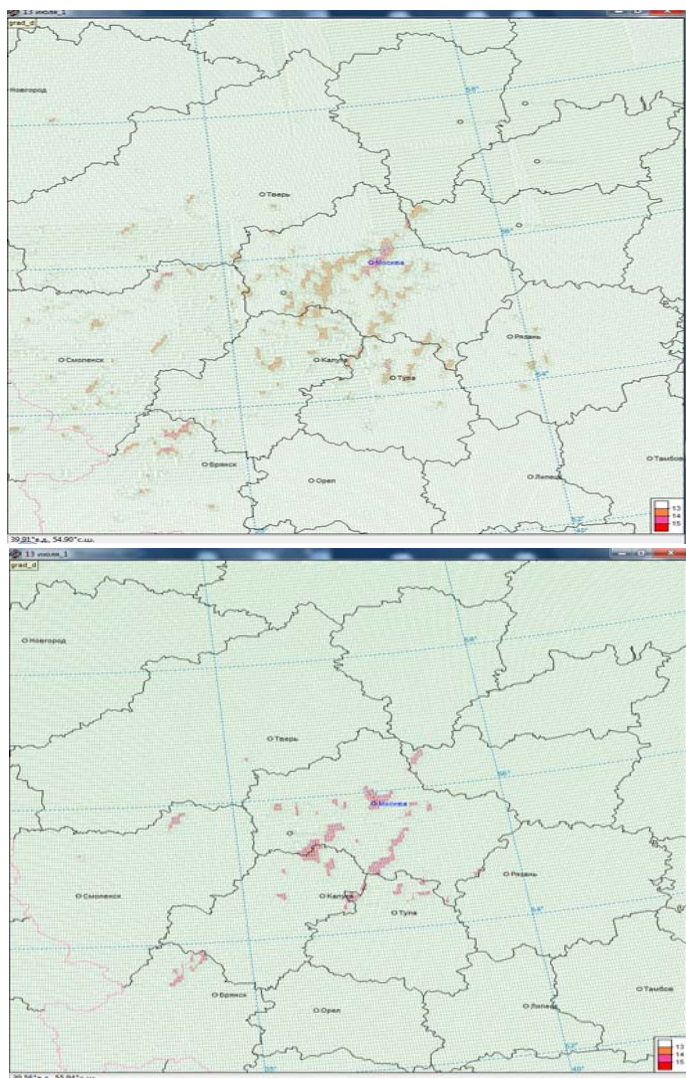


Рис. 3. Диагностированные зоны с градом за дневное время (на срок 18 ч ВСВ) 30.06.2017г. по существующему программному обеспечению работы ДМРЛ-С (верхняя панель) и предлагаемому подходу (нижняя панель).
Fig. 3. Diagnosed hail zones for the daytime (18:00 UTC) on June 30, 2017 according to the existing DMRL-C software (upper panel) and the proposed approach (lower panel).

Для наблюдателей метеостанций именно размер выпавших крупинок является наиболее удобным в практическом отношении критерием различия крупы и града (град от 5 до 50 мм; снежная крупа от 2 до 5 мм). Если обратиться к кодам для передачи данных наблюдений, то и в них нередко объединяются данные явления. Так, например, при передаче погоды в последний час по КН-01 SYNOP кодовая цифра 27 отведена для «града,

крупы (ледяная или снежная), с дождем или без дождя». Ранее [4] эту проблему пытались решить, исследовав зависимость фазового состояния осадков в облаке от максимальной скорости восходящего потока и температуры на уровне максимальной скорости (рис. 4).

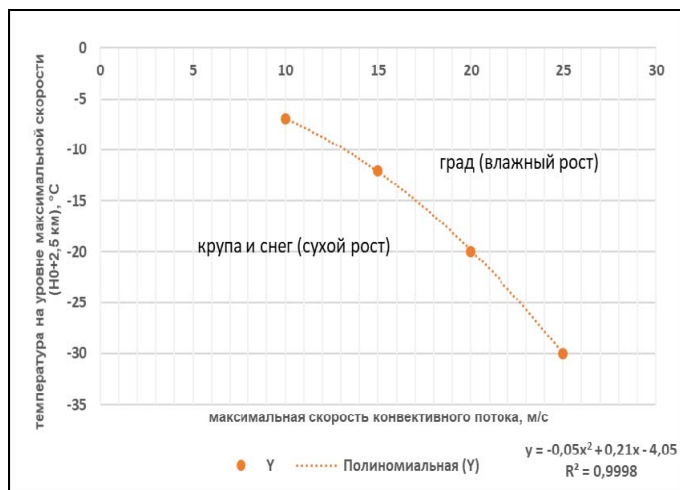


Рис. 4. Зависимость фазового состояния осадков в облаке от максимальной скорости восходящего потока и температуры на уровне максимальной скорости.

Fig. 4. The dependence of the phase state of precipitation in a cloud on the maximum speed of the updraft and temperature at the level of the maximum speed.

В нашем исследовании определялась прогностическая температура воздуха на уровне ($H_0 + 2.5$ км), максимальная конвективная скорость рассчитывалась по данным ДМРЛ-С [2]. Алгоритм уточняется для мая и сентября месяцев. Как видно из рис. 4, линия разделяет зоны града (влажный рост) и крупы и снега (сухой рост). Таким образом, при диагностике града в облаке уточняется в таких случаях – град образуется или крупа.

На рис. 5 показано применение уточненного алгоритма для случая диагностирования града 24 сентября 2022 года. Как видно из рисунка, без учета фазового состояния осадков в облаке зоны диагностирования града занимают довольно обширные области, с учетом – зоны локальны. Известно, что 24 сентября в Белгородской области ближе к вечеру погода испортилась, прошел дождь, о котором предупреждали синоптики. Однако град, кадрами о котором стали делиться в соцсетях, стал для белгородцев неожиданностью. Таким образом, применяя усовершенствованный алгоритм к диагностированию града весной и осенью, по нашему мнению, удастся отделить град от снежной и ледяной крупы, сохраняя случаи с выпадением града. В 2023 г. будет проведена проверка алгоритма в режиме реального времени.

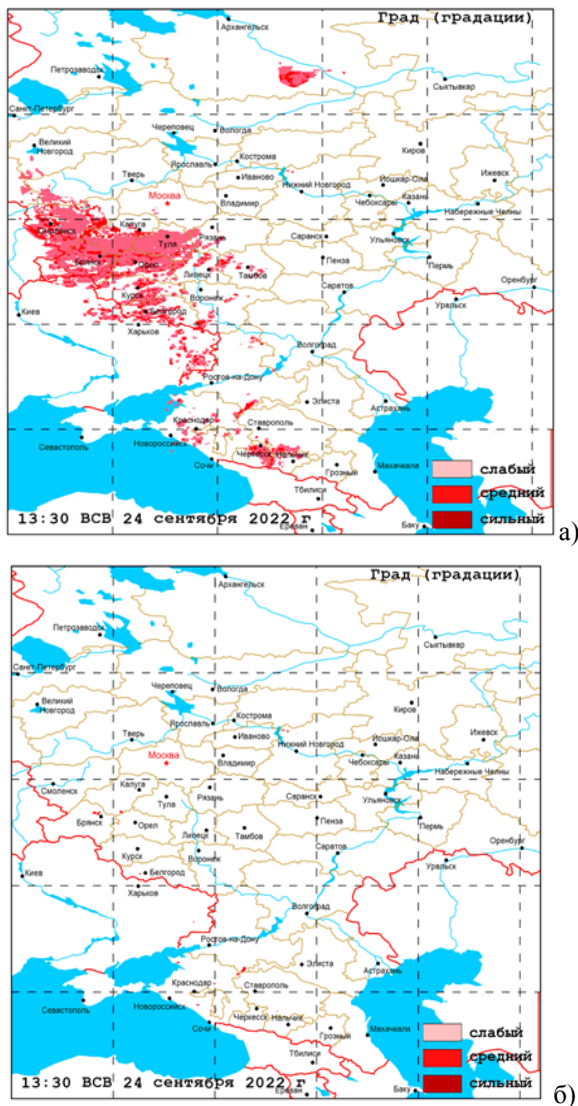


Рис. 5. Диагностированные зоны с градом по алгоритму без анализа фазового состояния осадков в облаке (а) и с учетом (б) за срок 13.30 ч ВСВ 24.09.2022 г.

Fig. 5. Diagnosed hail zones according to the algorithm (a) without and (б) with analyzing the phase state of precipitation in a cloud for 13:30 UTC on September 24, 2022.

Выводы

Представленные результаты исследований показывают, что есть проблемы диагностики града, выпадающего на поверхность земли, которые необходимо решать для достижения цели точности диагностирования.

В результате – данные радиолокационного диагностирования града, выпадающего на поверхность земли, смогут дополнить базу данных о таких случаях, приблизившись по доверию к наблюдавшимся случаям на метеостанциях, которые считаются эталонными.

Использованные в данном исследовании подходы к диагностированию явления прошли проверку практикой их использования в прогнозировании [5]. Это подтверждает вывод, что подходы к диагностированию явлений, проверенные в режиме реального времени, также могут применяться при прогнозировании, т. е. исследования по диагностированию и прогнозированию опасных явлений погоды дополняют друг друга, обогащая знаниями о процессах их возникновения.

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», реализованном при оперативной работе сети ДМРЛ-С, для критерия диагностики града, как и грозы, используются значения высоты верхней границы облачности и вертикальный профиль радиолокационной отражаемости, а именно ее значения на специальных уровнях (высоте нулевой изотермы и на уровне интенсивной кристаллизации, т. е. на уровне изотермы -15°C , превышающем, как правило, уровень нулевой изотермы на 2–2.5 км), а также максимальное значение радиолокационной отражаемости в столбе [6]. Кроме того, ведутся исследования по использованию значений вертикально интегрированной водности как предиктора для явления «град слабый» и «град сильный». В представляемом исследовании диагностика града и его размера производится практически по тем же предикторам, что и в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», но по разработанным зависимостям, а не критериям радиолокационных параметров. Результаты данных исследований показывают их полезность для совершенствования диагностики града по данным сети ДМРЛ-С и численного прогнозирования, о чем говорит показатель предупрежденности таких случаев.

Верификация случаев градобитий предлагаемым подходом будет проведена на большей выборке с учетом 2023 г., в том числе в режиме сравнения с данными локаторов, работающих в оперативном режиме в рамках действующей сети ДМРЛ-С. Результаты верификации покажут, насколько данный подход оправдан для использования, а результаты диагностирования полезны для синоптиков.

Результаты исследований по отделению случаев с градом от случаев выпадения снежной или ледяной крупы также являются важными. Из общих сведений о площадях градобитий, накопленных десятилетиями, известно, что они локальны, по форме представляют либо узкие зоны близ фронтальных разделов в случае прохождения атмосферных фронтов, либо пятна при внутримассовых процессах. Это наглядно видно на рис. 5б.

В 2022 и 2023 гг. диагностические карты опасных конвективных явлений, включая град, поступают в режиме реального времени на компьютер синоптиков Гидрометцентра России. Успехи в повышении точности диагностирования градовых процессов имеют и практическое значение,

что приведет к более точному штормовому предупреждению о них, полученные результаты могут также найти применение при наукастинге явления.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО» за предоставленную выборку данных, переданных по коду WAREP, и начальнику отдела краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений ФГБУ «Гидрометцентр России» Александру Дмитриевичу Голубеву – за данные из журнала донесений о выпадении града в летний период 2022 года на Европейской территории России.

Исследования выполнены в рамках темы 1.1.5 (2020–2024 гг.) НИТР ФГБУ «Гидрометцентр России».

Список литературы

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М.* Прогноз опасных конвективных явлений погоды в летний период года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 127-143.
2. *Алексеева А.А., Песков Б.Е.* Оценка максимальной скорости конвективного потока, характеристик ливневых осадков и града по радиолокационной информации // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 135-148.
3. *Глушкова Н.И.* Метод прогноза града и ливня // Труды ВГИ. 1966. Вып. 3 (5). С. 129-139.
4. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 542-545.
5. Методические рекомендации по использованию в прогностической практике продукции численных краткосрочных прогнозов опасных конвективных явлений погоды в летний период года. М.: Гидрометцентр России. 2018. 170 с. <http://www.method.meteorf.ru> (дата обращения 16.05.2023г.).
6. Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. Третья редакция. М., 2019. 129 с.
7. 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.
8. РД 52.27.724-2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. 66 с.
9. *Решетов Г.Д.* Метод прогноза града для авиации на 12–36 ч. Пособие для синоптиков. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 31 с.
10. *Сулаквелидзе Г.К.* Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 412 с.
11. *Сулаквелидзе Г.К., Глушкова Н.И., Федченко Л.М.* Прогноз града, гроз и ливневых осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 183 с.
12. *Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Мальбахова Н.М.* О прогнозе града // Метеорология и гидрология. 1989. № 4. С. 43-50.
13. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Прогнозирование метеорологических условий для авиации: Научно-методическое пособие. М.: Триада лтд, 2016. С. 127-145.
14. *Шишкин Н.С.* О прогнозе града // Труды ГГО. 1962. Вып. 126. С. 25-32.

References

1. *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.].

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

3. *Glushkova N.I.* Metod prognoza grada i livnya. *Trudy VGI*, 1966, vol. 3, no. 5, pp. 129-139 [in Russ.].

4. *Zverev A.S.* Sinopticheskaya meteorologiya. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1977, pp. 542-545 [in Russ.].

5. Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu v prognosticheskoy praktike produkcii chislennykh kratkosrochnykh prognozov opasnykh konvektivnykh yavleniy pogody v letniy period goda. Moscow, Gidrometcentr Rossii [Hydrometcentre of Russia], 2018, 170 p. Available at: www.method.meteorf.ru [in Russ.].

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

7. RD 52.27.339-93. Rukovodstvo po diagnozu i prognozu opasnykh i osobo opasnykh osadkov, grada i shkvalov po dannym meteorologicheskikh radiolokatorov i iskusstvennykh sputnikov Zemli. 181 p. [in Russ.].

8. RD 52.27.724-2019. Nastavlenie po kratkosrochnym prognozam pogody obshchego naznacheniya. 66 p. [in Russ.].

9. *Reshetov G.D.* Metod prognoza grada dlya aviatsii na 12–36 ch. Posobie dlya sinoptikov. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1981, 31 p. [in Russ.].

10. *Sulakvelidze G.K.* Livnevye osadki i grad. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1967, 412 p. [in Russ.].

11. *Sulakvelidze G.K., Glushkova N.I., Fedchenko L.M.* Prognoz grada, groz i livnevnykh osadkov. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1970, 183 p. [in Russ.].

12. *Fedchenko L.M., Goral' G.G., Mal'bahova N.M.* O prognoze grada. *Meteorologiya i Gidrologiya [Russ. Meteorol. Hydrol.]*, 1989, no. 4, pp. 43-50 [in Russ.].

13. *Shakina N.P., Ivanova A.R.* Prognozirovaniye meteorologicheskikh usloviy dlya aviatsii: Nauchno-metodicheskoe posobie. Moscow, Triada LTD publ., 2016, pp. 127-145 [in Russ.].

14. *Shishkin N.S.* O prognoze grada. *Trudy GGO*, 1962, vol. 126, pp. 25-32 [in Russ.].

Поступила 16.05.2023; одобрена после рецензирования 30.05.2023;

принята в печать 13.06.2023.

Submitted 16.05.2023; approved after reviewing 30.05.2023;

accepted for publication 13.06.2023.