

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРОЗ И ГРАДА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИП. С. ЛОПУХ¹⁾, Е. С. БЕРЕЖКОВА¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Исследуется проблема обеспечения безопасности воздушных судов при выполнении взлета-посадки. Гроза и град – наиболее опасные метеорологические явления. Для предупреждения авиационных происшествий, связанных с данными явлениями, следует четко представлять закономерности их возникновения и пространственного распределения. В связи с быстрыми темпами роста объемов пассажиро- и грузооборота в авиации необходимо иметь возможность в реальном режиме получать и предоставлять фактическую метеорологическую информацию, а также обладать качественным и заблаговременным прогнозом погоды. Для изучения пространственно-временных закономерностей распределения грозы и града выполнены обработка метеорологических инструментальных данных Белгидромета за 1989–2016 гг., анализ синоптических карт в сравнении с расчетными прогнозами (включая *WRF*) и построение карт с помощью *ArcGIS*.

Ключевые слова: авиационная метеорология; гроза; град; безопасность полетов; радиолокация; метеорологический прогноз; расчетные методы.

ANALYSIS AND FORECAST SPATIOTEMPORAL
DISTRIBUTION OF THUNDERSTORMS
AND HAIL THE TERRITORY OF BELARUSP. S. LOPUKH^a, K. S. BERAZHKOVA^a^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: K. S. Berazhkova (katarina0704@tut.by)

The article is devoted to the study of the problem of ensuring the safety of aircraft during take-off and landing. Thunderstorm and hail is one of the most dangerous meteorological phenomena in aviation. To prevent accidents associated with these phenomena, it is necessary to clearly understand the patterns of their occurrence and spatial distribution. In connection with the rapid growth of passenger and cargo traffic, it is necessary to be able to receive and provide actual meteorological information in real mode, as well as to be able to receive high-quality and timely weather forecast. To study the spatial-temporal patterns of the distribution of thunderstorms and hail, Belgidromet's meteorological instrumental data for 1989–2016 was processed, synoptic maps were analyzed in comparison with calculated forecasts, including *WRF*, and maps were made using *ArcGIS*.

Keywords: aviation meteorology; thunderstorm; hail; flight safety; radiolocation; meteorological forecast.

Образец цитирования:

Лопух П.С., Бережкова Е.С. Анализ и прогноз пространственно-временного распределения гроз и града на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019;1:35–45. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-35-45>

For citation:

Lopukh PS, Berazhkova KS. Analysis and forecast spatiotemporal distribution of thunderstorms and hail the territory of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019;1:35–45. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-35-45>

Авторы:

Петр Степанович Лопух – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

Екатерина Сергеевна Бережкова – аспирантка кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – П. С. Лопух.

Authors:

Piotr S. Lopukh, doctor of science (geography), full professor; head of the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

lopuch49@mail.ru

Katsiaryna S. Berazhkova, postgraduate student at the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

katarina0704@tut.by

Введение

Цель исследования – изучение закономерностей пространственно-временного распределения грозовых явлений на территории Беларуси на основе международного и национального опыта прогнозирования погодных условий и обеспечения безопасности при взлете и посадке воздушных судов. Одной из задач является верификация прогнозной информации и оценка ее качества. В Республике Беларусь вопросами происхождения и пространственного распределения гроз занимались В. Ф. Логинов, В. И. Мельник, А. А. Волчек, И. Н. Шпока и др. [1–3]. Однако выполненные ранее исследования не касались безопасности полетов гражданской авиации. Поэтому наша работа в данной предметной области акцентирована на изучении достоверности прогноза грозы и града в целях обеспечения надежности работы гражданской авиации.

Методика исследования

В статье использовались методы Вайтинга, Решетова, Фауста для исследования метеорологической обстановки на этапе взлета и посадки воздушных судов [4]. Это позволило, на наш взгляд, всесторонне изучить закономерности распределения гроз и града и возможности прогнозирования их возникновения.

Фактические материалы по грозам и граду как опасным явлениям были получены по результатам наблюдений за период с 1989 по 2016 г., для анализа оправдываемости метеорологического прогноза использовались данные за апрель и май 2018 г. на 49 метеорологических станциях, зафиксированные в электронной базе (рис. 1). В экспериментальной части исследования сопоставлялись прогнозные данные по зафиксированным опасным явлениям. На этом этапе была протестирована эффективность численных методов прогнозирования метеорологической обстановки с реальными данными. После анализа полученных материалов выявлены характерные признаки, особенности, свойства опасных явлений и возможности численного метода прогнозирования.

Материалы обработаны с помощью статистических и математических методов *WRF* (Weather Research and Forecasting), позволивших найти достоверные характеристики пространственно-временного распределения изучаемых опасных явлений и представить их в виде графиков, диаграмм, таблиц [5; 6].

Обработка данных Белгидромета за предшествующее опасным погодным явлениям время (в апреле и мае 2018 г.) проводилась в соответствии с метеорологическими сроками в электронном виде. В зависимости от указанного явления фактическая метеорологическая информация (направление и скорость ветра, температура, точка росы, виды облачности, метеорологические явления, атмосферное давление и т. д.) собирается за 6–24 ч до его начала.

Сбор сопровождающей метеорологической информации осуществлялся по той же программе во время прохождения опасного для авиации явления. Одновременно метеоданные фиксировались с помощью радиолокаторов.

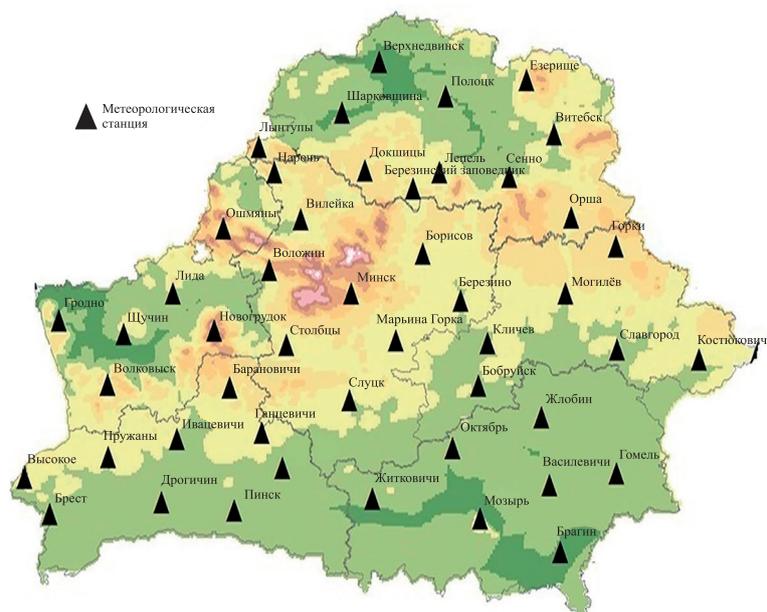


Рис. 1. Сеть метеорологических станций на территории Беларуси
Fig. 1. The system of meteorological stations in Belarus

Верификация радиолокационных метеорологических данных производилась путем сравнения их с фактическими данными метеостанций. При этом недостоверные материалы изымались из базы и в расчетах не участвовали, а достоверные принимались за основные и применялись при пространственном анализе исследуемых опасных явлений.

В работе использовались данные системы глобальных прогнозов (GFS) и модель прогноза погоды, созданная национальными центрами экологического прогнозирования (NCEP) [7]. Через предлагаемый набор данных можно получить десятки переменных параметров атмосферы (от температур, ветра и осадков до концентрации атмосферного озона). GFS покрывает весь земной шар при базовом горизонтальном разрешении 18 миль (28 км) между точками сетки, которое используется оперативными синоптиками для прогноза погоды до 16 дней. Горизонтальное разрешение снижается до 44 миль (70 км) между узлами сетки для прогнозов от 1 до 2 недель. GFS представляет собой связанную модель, состоящую из 4 отдельных моделей (модель атмосферы, модель океана, модель почвы и модель морского льда), совместная работа которых обеспечивает точную картину погодной обстановки. Для улучшения прогноза в модель GFS вносятся изменения. Данные в виде сетки доступны для загрузки через национальную оперативную модель архивации и распространения NOAA (NOMADS) [8].

Материалы GFS позволяют обработать метеорологическую информацию с помощью программы *WRF* и использовать ее для усовершенствования процесса оперативного прогнозирования, необходимого для гражданской авиации. Увеличение временного и пространственного разрешений моделей помогает проследить эволюцию синоптических систем и идентифицировать развитие локальных атмосферных процессов. С помощью *WRF* можно провести проверку прогнозов конвективных явлений в теплый сезон, что особенно важно для гражданской авиации. Каждый расчет, составленный на 48 ч, осуществлен в двух пространственных разрешениях: 15 и 3 км. Визуализация фактических метеорологических данных выполнена с помощью программного продукта *ArcGIS* методом равных интервалов.

Результаты и их обсуждение

Гроза – это атмосферное явление, при котором наблюдаются многократные электрические разряды (молнии) между облаками или между облаками и землей, сопровождаемые звуковым явлением (громом). Обычно при грозе выпадают обильные осадки в виде дождя, града и в очень редких случаях – в виде снега. Иногда отмечаются грозы и без осадков, их называют сухими грозами. Грозы бывают двух основных типов: внутримассовые и фронтальные.

Внутримассовые грозы образуются во влажном и неустойчивом воздухе внутри воздушных масс. Наиболее распространенной внутримассовой грозой является тепловая, или местная, гроза, возникающая в результате нагрева воздуха от подстилающей поверхности. Тепловые грозы наблюдаются летом после полудня и рассеиваются вечером. Внутримассовые грозы обычно образуются изолированно или располагаются друг от друга на расстоянии 20–30 км, поэтому самолет может свободно обходить их.

Фронтальные грозы развиваются на холодных и теплых фронтах, а также на фронтах окклюзии.

Грозы на холодных фронтах наиболее сильные, они возникают вследствие мощного подъема теплого воздуха по клину холодного воздуха. В результате в передней части холодного фронта в теплое время года образуются мощные кучево-дождевые (грозовые) облака с ливнями, нередко с градом и со шквалами, достигающими ураганной силы. Грозы на холодном фронте усиливаются во вторую половину дня и ослабевают к второй половине ночи и утром [9–11].

Грозы на теплом фронте – сравнительно редкое явление, они развиваются в теплом неустойчивом воздухе, восходящем по клину холодного воздуха. Кучево-дождевые облака бывают скрыты слоистообразными облаками. Характерным для гроз на теплом фронте является то, что наиболее активными они бывают в вечерние и ночные часы.

Опасность для самолета и экипажа представляют мощные восходящие и нисходящие потоки воздуха внутри кучево-дождевых облаков и в непосредственной близости к ним, а также возможный разряд молнии в самолет [2; 12].

Как видно из рис. 2, на территории Беларуси наблюдается тенденция увеличения числа дней с грозами с северо-запада на юго-восток и на юго-запад. Максимальных значений данный показатель достигает в Гомельской области и на стыке Гродненской и Брестской областей и составляет более 29,0 дня. Абсолютный максимум – 33,3 дня – зафиксирован на метеорологической станции Житковичей. Минимальные значения количества дней с грозами регистрируются в южной части Брестской и в Витебской области, где этот показатель снижается до 17,0 дня. Абсолютный минимум, равный 18,3 дня, зафиксирован на метеорологической станции Пинска.

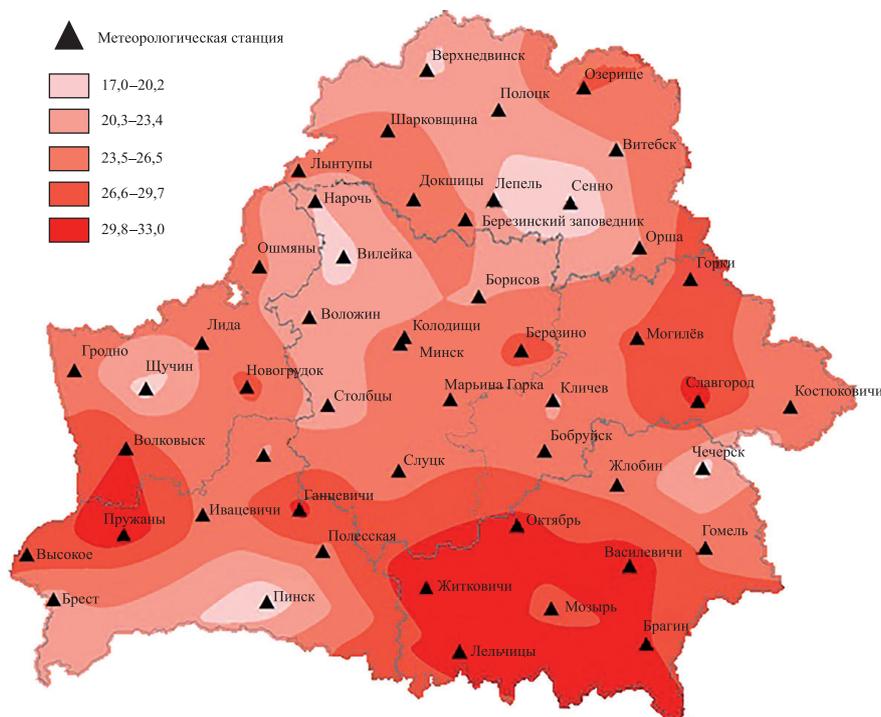


Рис. 2. Пространственное распределение среднегодового количества дней с грозой за 1989–2016 гг.

Fig. 2. Spatial distribution of the average annual number of days with a thunderstorm for the period from 1989 to 2016

Анализируя хронологический ход многолетнего среднемесячного количества дней с грозой в республике за 1989–2016 гг. (рис. 3), можно отметить, что максимальное количество грозовых дней фиксируется в июле (7,3 дня), а минимальное – в январе (0). Среднемесячный показатель составляет 2,1 дня. Грозовым период в течение года начинается в апреле и завершается в октябре, т. е. характерен только для весенне-летнего навигационного периода. Однако в последнее время из-за более «размазанного» изменения температур в течение года фиксируются отдельные случаи возникновения грозовой деятельности в феврале, марте, ноябре и даже декабре. Из вышеизложенного следует, что в результате глобального потепления климат Беларуси зимой смягчается, а в теплое время года учащаются случаи грозовых явлений.

Из хронологического хода среднегодового количества грозовых дней на территории республики за 1989–2016 гг. видно (рис. 4), что максимальное число дней с грозой фиксируется на отметке 37,5 в 2010 г., а минимальное – на отметке 18,1 в 2015 г. Среднегодовой показатель составляет 25,3 дня. Линия тренда (пунктир на рис. 4) показывает тенденцию роста среднегодового числа грозовых дней, связанных с потеплением климата.

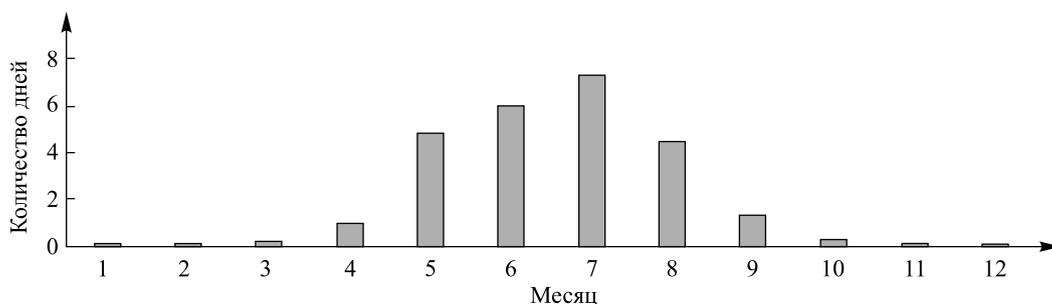


Рис. 3. Хронологический ход многолетнего среднемесячного количества дней с грозой за 1989–2016 гг.

Fig. 3. Chronological course of the perennial average monthly number of days with a thunderstorm for the period from 1989 to 2016

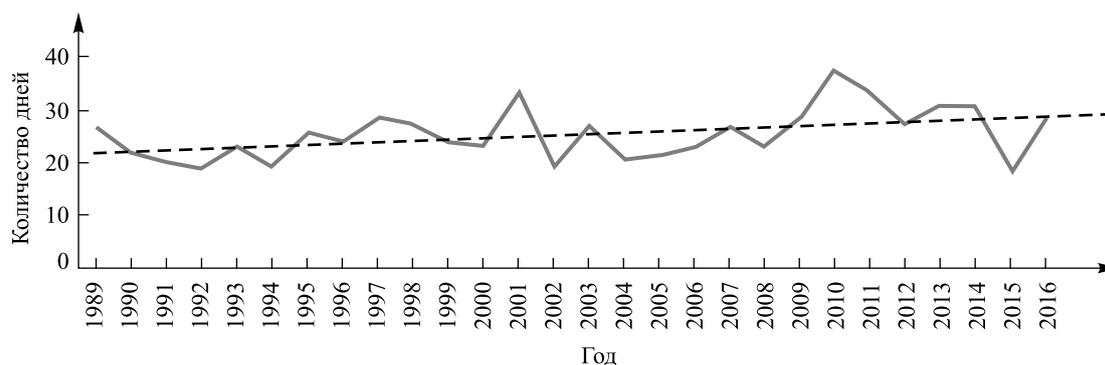


Рис. 4. Хронологический ход среднегодового количества грозных дней за 1989–2016 гг.

Fig. 4. Chronological course of the average annual number of thunderstorm days for the period from 1989 to 2016

Опасным явлением, наблюдаемым при грозе, является град – атмосферные осадки, выпадающие из кучево-дождевых облаков в виде частичек льда, преимущественно в летний период во время грозы, в большинстве случаев сопутствуя ливням. Попадание в зону града вызывает серьезное техническое повреждение воздушного судна. Длина пробега самолета изменяется при посадке на мокрую взлетно-посадочную полосу, что может привести к выкатыванию за ее пределы [4; 13].

На территории республики град чаще выпадает на наветренных склонах возвышенностей (Новогрудской, Минской и Витебской). Такое распределение также характерно для общего количества гроз, шквалов, осадков. Из этого можно сделать вывод о взаимосвязи вышеуказанных явлений. Для получения географии распределения среднегодового количества дней с градом по республике была составлена карта, представленная на рис. 5.

Относительно отрицательных тенденций предыдущих десятилетий выявлен скачок среднегодового количества дней с градом, которое в настоящее время составляет 0,8 дня, что выше предыдущих показателей. К примеру, с 1988 по 2008 г. этот показатель был 0,6 дня (по данным И. Н. Шпока). Общая тенденция распределения сохранилась. Увеличение среднегодового количества дней с градом происходит от низин к возвышенностям. В течение года максимальное количество града выпадает в теплый сезон (апрель – октябрь), для которого характерны конвективные явления. Однако необходимо указать, что в последнее время (начиная с 2005 г.) отмечаются дни с градом в феврале, марте, ноябре и даже декабре. Этот факт свидетельствует о смягчении климата в холодные месяцы и, как следствие, о его потеплении.

Проанализировав рис. 6, можно отметить месяцы с максимальным и минимальным количеством дней с градом – июнь (0,25 дня) и январь (0) соответственно.

Анализ данных рис. 7 показал, что максимальное число дней с градом наблюдалось в 2014 г. (1,6 дня), а минимальное – в 1994 г. (0,2 дня). Среднегодовой показатель составляет 0,8 дня. Линия тренда (пунктир на рис. 7) показывает тенденцию роста количества дней с градом в году. Данный факт говорит об увеличении конвективных явлений, способствующих образованию града, и, как следствие, о потеплении климата.

Для более детального рассмотрения грозных явлений была составлена выборка грозных дней, подобраны фактические метеорологические и радиолокационные, а также прогностические данные Белгидромета, полученные с помощью программного продукта *WRF*. Всего было зафиксировано 8 грозных дней в апреле и мае 2018 г. (табл. 1 и 2). Также подобрана и проанализирована фактическая метеорологическая обстановка за сутки до появления грозных явлений (по данным Белгидромета). Все рассмотренные грозные дни характеризуются воздействием циклонической деятельности (прохождение холодного, теплого фронтов и фронта окклюзии).

Для образования грозного фронта необходимы три основные составляющие: 1) влага (весенний период на территории республики характеризуется наличием большого количества влаги в воздухе в связи с таянием снежного покрова, осадками, которые, в свою очередь, испаряются, насыщая воздух); 2) перепад давления (в течение исследуемых грозных дней наблюдалась циклоническая деятельность, которая характеризуется перепадами атмосферного давления); 3) мощная энергия (в отличие от зимнего периода весенний характеризуется наличием мощной энергии Солнца) [14]. Таким образом, исследуемые грозы относятся к фронтальным грозам, типичным и наиболее распространенным на территории республики.

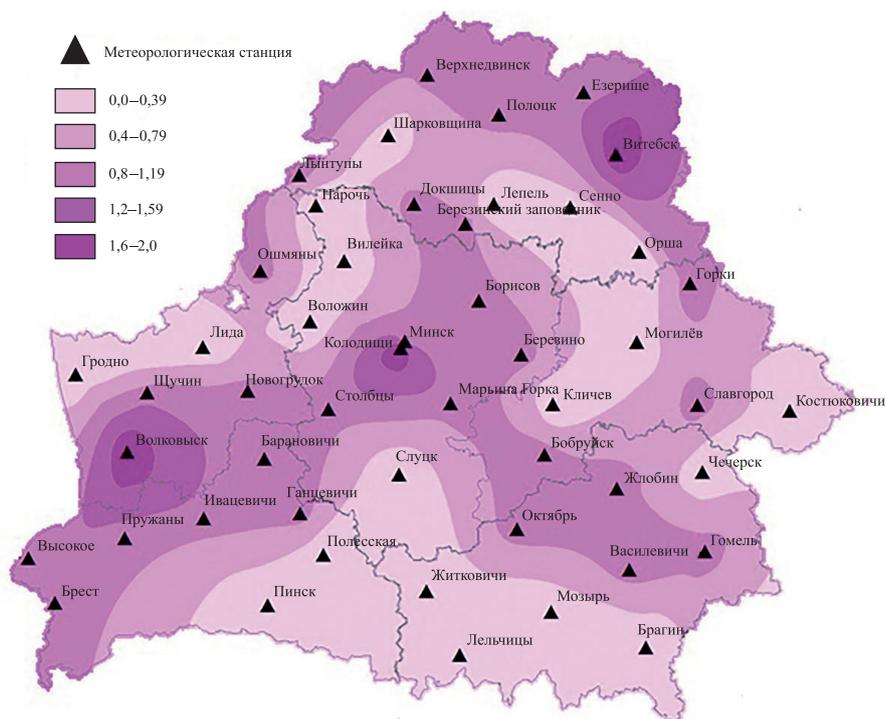


Рис. 5. Пространственное распределение среднегодового количества дней с градом за 1989–2016 гг.

Fig. 5. Spatial distribution of the average annual number of days with hail for the period from 1989 to 2016

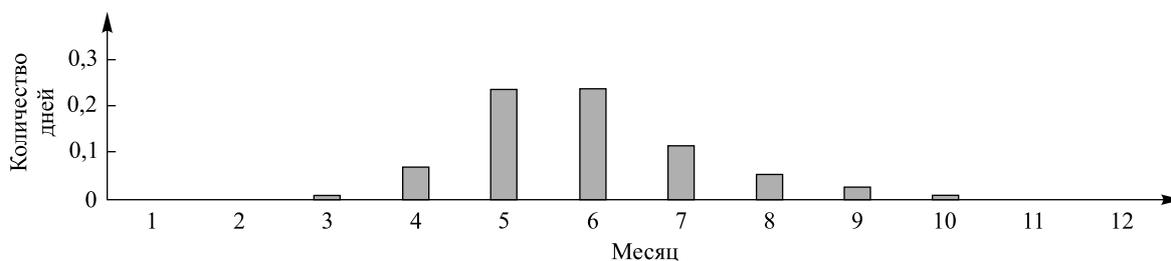


Рис. 6. Хронологический ход многолетнего среднемесячного количества дней с градом за 1989–2016 гг.

Fig. 6. Chronological course of the perennial average monthly number of days with hail for the period from 1989 to 2016

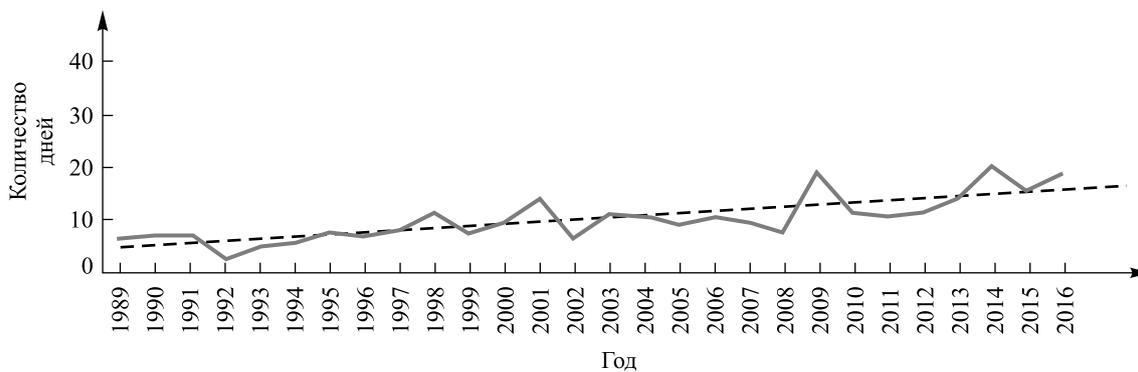


Рис. 7. Хронологический ход среднегодового количества дней с градом за 1989–2016 гг.

Fig. 7. Chronological course of the average annual number of days with hail for the period from 1989 to 2016

Таблица 1

Синоптическая обстановка грозовых и предшествующих дней в 2018 г.

Table 1

Synoptic situation of thunderstorm and the days before them in 2018

Дата	Синоптическое состояние	Температура на уровне 850 гПа, °С	Опасное явление
16.04	Теплый сектор циклона	8	–
17.04	Фронт окклюзии	10	Гроза, град
20.04	Наступление теплого фронта	3	–
21.04	Прохождение теплого фронта, перемещение в теплый сектор циклона	8	Гроза
23.04	Холодный фронт	0	–
24.04	Прохождение теплого фронта, перемещение во фронт окклюзии	4	Гроза
26.04	Наступление холодного фронта	4	–
27.04	Холодный фронт	2	Гроза, град
28.04	Прохождение холодного фронта	2	–
29.04	Приближение теплого фронта	6	Гроза, град
30.04	Прохождение теплого фронта, перемещение в теплый сектор циклона	11	Гроза, град
01.05	Фронт окклюзии	12	Гроза, град
17.05	Выход из холодного фронта, фронт окклюзии	10	–
18.05	Наступление холодного фронта	8	Гроза, град

Примечание. Во все дни наблюдалась тенденция падения атмосферного давления.

При анализе радиолокационных метеорологических данных (табл. 2) выявлены единичные случаи погрешности в определении грозовой локации по отношению к фактическим данным. Погрешность составила от 1 до 10 км относительно метеостанции. Данная погрешность отмечается на расстоянии от 150 км и далее от места расположения локатора. Такая ситуация может быть обусловлена географическими условиями местности, что, в свою очередь, искажает скорость возврата радиоволны в приемное устройство локатора. Однако стоит отметить, что указанная погрешность может быть допустимой и учитываться путем расширения границ метеорологического прогноза, т. е. при фактической грозе на метеорологической станции локацию грозы, зафиксированной с помощью доплеровского метеорологического радиолокатора (ДМРЛ), допустимо считать оправданной при удаленности от метеорологической станции до 10 км. Можно выделить положительные моменты использования данных ДМРЛ. Во-первых, эти данные актуальны и заблаговременны (от 1,5 до 3,0 ч в зависимости от скорости ветра). Во-вторых, они могут быть получены вне зависимости от наличия метеорологической станции.

На примере рассматриваемых грозовых дней можно прийти к выводу, что 35 % грозовых очагов не были зафиксированы ввиду отсутствия метеостанций на определенных территориях и 95 % случаев града – ввиду их точечных локаций (табл. 3). Также необходимо отметить, что из 53 случаев грозы и (или) града, зафиксированных на метеорологических станциях за рассматриваемый период, 50 случаев зарегистрировано с помощью ДМРЛ, что соответствует 94 %. Это довольно высокий уровень оправдываемости. Если же говорить о выпадении града, то важным моментом является то, что даже расширение метеорологической сети не позволяет обнаруживать его локации в 100 % случаев.

Таблица 3

Число зафиксированных случаев грозы и града (2018)

Table 3

Number of recorded cases of thunderstorms and hail (2018)

Дата		Метеостанция		ДМРЛ	
		Гроза	Град	Гроза	Град
Апрель	17	2	0	15	2
	21	2	0	7	0
	24	0	0	4	0
	27	5	2	17	1
	29	8	0	20	4
	30	8	0	12	5
Май	1	18	0	26	19
	18	22	0	30	12
Итого		65 (54)	2 (5)	121 (100)	43 (100)

Примечание. В скобках указана доля в процентах.

Заключение

В последние годы из-за более низких амплитуд температур в течение года фиксируются отдельные случаи возникновения грозовой деятельности в феврале, марте, ноябре и даже декабре, хотя грозовой период начинается в апреле и завершается в октябре, т. е. характерен только для весенне-летнего навигационного периода.

Что касается прогноза конвективных явлений, то высокой точностью прогноза обладают радиолокационные методы. Однако заблаговременность их невысокая (от 1 до 3 ч). Большой заблаговременностью (48 ч) характеризуются численные методы, реализованные с помощью программного продукта *WRF*. Точность их снижается при увеличении периода прогноза. Заблаговременность авиационных прогнозов по аэродрому и маршруту полета – 24 ч на аэродромах Минск-2 и Гомель. На аэродромах Брест, Витебск, Гродно, Могилёв и Орша прогноз составляется с заблаговременностью 9 ч. Из вышесказанного можно сделать вывод, что при совместном использовании радиолокационных данных и данных *WRF* увеличивается точность прогноза. Также будет эффективным использование этих данных при площадном прогнозе.

Картографические материалы целесообразно применять при составлении прогнозов на более ранней стадии прогнозирования опасных явлений в целях обеспечения безопасности полетов.

Библиографические ссылки

1. Волчек АА, Шпока ИН. Изменчивость количества гроз на территории Беларуси. В: *Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий. Материалы V Международной научно-практической конференции; 23–25 октября 2003 г.; Гомель, Беларусь*. Гомель: Гомельский государственный университет; 2003. с. 35–37.
2. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси. В: *Природопользование. Сборник научных трудов. Выпуск 12*. Минск: Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси; 2006. с. 33–40.
3. Мельник ВИ, Герменчук МГ, Комаровская ЕВ. Изменения основных климатических параметров и повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь. В: *Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства*. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси; 2010. с. 135–146.
4. Воробьев ВИ. *Синоптическая метеорология*. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1981. 172 с.
5. Аргучинцева АА. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений. Иркутск: Иркутский государственный университет; 2007. 106 с.
6. Дегтярев АС, Драбенко ВА, Драбенко ВА. *Статистические методы обработки метеорологической информации*. Санкт-Петербург: Андреевский издательский дом; 2015. 225 с.
7. National Weather Service for Environmental Prediction [Internet]. Houston, 1970 [cited 2017 January 18]. Available from: <http://www.ncep.noaa.gov>.
8. NOAA Earth System Research Laboratory [Internet]. Houston, 1970. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory [cited 2017 January 18]. Available from: <https://www.esrl.noaa.gov>.

9. Астапенко ПД, Баранов АМ, Шварев ИМ. *Авиационная метеорология*. Москва: Транспорт; 1985. 433 с.
10. Баранов АМ, Солонин СВ. *Авиационная метеорология*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1981. 384 с.
11. Матвеев ЛТ. *Основы общей метеорологии. Физика атмосферы*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1984. 752 с.
12. Бэр А. Опасные явления погоды и их прогноз. *КиЯ*. 2011;1(229);82–85.
13. Арабаджи ВИ. *Гроза и грозовые процессы*. Минск: Издательство БГУ им. Ленина; 1960. 242 с.
14. Богаткин ОГ, Еникеева ВД. *Анализ и прогноз погоды для авиации*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1992. 272 с.

References

1. Volchek AA, Shpoka IN. [Variability of the number of thunderstorms on the territory of Belarus]. In: *Ekologicheskie problemy Poles'ya i sopredel'nykh territorii. Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 23–25 oktyabr' 2003 g.; Gomel', Belarus'* [Environmental problems of Polesie and adjacent territories. Proceedings of the V International Scientific Conference; 2003 October 23–25; Gomel, Belarus]. Gomel: Gomel State University; 2003. p. 35–37. Russian.
2. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. [Dangerous meteorological phenomena in the territory of Belarus]. In: *Prirodopol'zovanie. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 12* [Nature Management. Collection of scientific papers. Volume 12]. Minsk: Institut problem ispol'zovaniya prirodnikh resursov i ekologii Natsional'noi akademii nauk Belarusi; 2006. p. 33–40. Russian.
3. Melnik VI, Germenchuk MG, Komarovskaia EV. [Changes in the main climatic parameters and the recurrence of dangerous hydrometeorological phenomena in the Republic of Belarus]. In: *Materialy postoyanno deistvuyushchego seminar pri Parlament-skom sobranii Soyuzu Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva* [Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State]. Minsk: Tsentr sistemnogo analiza i strategicheskikh issledovaniy Natsional'noi akademii nauk Belarusi; 2010. p. 135–146. Russian.
4. Vorob'ev VI. *Sinopticheskaya meteorologiya* [Synoptic meteorology]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981. 172 p. Russian.
5. Arguchinsteva AA. *Metody statisticheskoi obrabotki i analiza gidrometeorologicheskikh nablyudenii* [Methods of statistical processing and analysis of hydrometeorological observations]. Irkutsk: Irkutsk State University; 2007. 106 p. Russian.
6. Dektiarev AS, Drabenko VA, Drabenko VA. *Statisticheskie metody obrabotki meteorologicheskoi informatsii* [Statistical methods for processing meteorological information]. Saint Petersburg: Andreevskii izdatel'skii dom; 2015. 225 p. Russian.
7. National Weather Service for Environmental Prediction [Internet]. Houston, 1970 [cited 2017 January 18]. Available from: <http://www.ncep.noaa.gov>.
8. NOAA Earth System Research Laboratory [Internet]. Houston, 1970. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory [cited 2017 January 18]. Available from: <https://www.esrl.noaa.gov>.
9. Astapenko PD, Baranov AM, Shvarev IM. *Aviatsionnaya meteorologiya* [Aviation meteorology]. Moscow: Transport; 1985. 433 p. Russian.
10. Baranov AM, Solonin SV. *Aviatsionnaya meteorologiya* [Aviation meteorology]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981. 384 p. Russian.
11. Matveev LT. *Osnovy obshchei meteorologii. Fizika atmosfery* [Basics of general meteorology. Atmosphere physics]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1984. 752 p. Russian.
12. Ber A. [Dangerous weather phenomena and their forecast]. *KiYa*. 2011;1(229);82–85. Russian.
13. Arabadzhi VI. *Groza i grozovye protsessy* [Thunderstorm and thunder processes]. Minsk: Izdatel'stvo BGU im. Lenina; 1960. 242 p. Russian.
14. Bogatkin OG, Enikeeva VD. *Analiz i prognoz pogody dlya aviatsii* [Analysis and weather forecast for aviation]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1992. 272 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 11.10.2018.
Received by editorial board 11.10.2018.