

УДК 551.5(470.5)(045)

*Е.С. Сергеева, Н.А. Калинин, Е.В. Пищальникова***О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НИЦ «ПЛАНЕТА» ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ПРОГНОЗА ГРОЗ НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛА**

Диагноз и прогноз конвективных явлений до сих пор представляют собой особую сложность. Одними из самых перспективных методов, используемых для решения подобных задач в настоящее время, считаются гидродинамическое моделирование и дистанционное зондирование. В данной работе был проведен сравнительный анализ карт метеоявлений и данных наземной наблюдательной сети с целью выявления возможностей использования карт НИЦ «Планета» для анализа опасных и неблагоприятных погодных явлений, в частности гроз. Выявлены пространственно-временные особенности повторяемости гроз, определена повторяемость и успешность распознавания явления на картах НИЦ «Планета» в зависимости от барического поля, синоптической ситуации и характеристик гроз (интенсивности и продолжительности явления, удаленности от станции и др.). В ходе исследования обнаружено, что около 20 % случаев гроз, зафиксированных метеостанциями, не было спрогнозировано на картах метеоявлений; прогноз высокой вероятности оправдывался лучше, чем прогноз средней и низкой вероятности гроз; для прогнозов гроз свойственно пространственное и временное смещение. Для более детального и объективного анализа в будущем рекомендуется провести анализ по большей выборке и включить в него данные МРЛ, грозоотметчиков и другие источники, по которым можно определить наличие данного опасного явления.

Ключевые слова: опасные метеорологические явления, гроза, дистанционное зондирование, гидродинамическое моделирование.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-1-59-66

В настоящее время все больше организаций стремятся применять современные подходы для анализа и прогноза неблагоприятных и опасных погодных явлений. Наиболее часто для решения данных задач используются гидродинамическое моделирование и спутниковое зондирование. Несмотря на развитие современных технологий и рост вычислительных возможностей, результаты расчета моделей напрямую зависят от исходной информации, в качестве которой используются данные наземных наблюдений [1-4]. Метеорологические станции и посты распределены по земному шару неравномерно, а расстояния между ними могут достигать сотен километров. Для того, чтобы компенсировать недостаток данных и неравномерность наблюдательной сети, используются данные реанализа, которые могут иметь расхождения с прямыми измерениями, что приводит к искажению результатов моделирования. Спутниковые метеорологические измерения без пропуска покрывают любую интересующую территорию и не зависят от «дальности наблюдений» [5-7], но, к сожалению, в большинстве случаев по их результатам можно получить лишь качественную оценку, что снижает объективность данного метода.

В ФГБУ НИЦ «Планета» были разработаны карты, объединяющие в себе результаты спутникового зондирования и гидродинамического моделирования, что представляет большой интерес с практической точки зрения. В настоящей работе был проведен сравнительный анализ карт метеоявлений и данных наземной наблюдательной сети с целью выявления возможностей использования карт НИЦ «Планета» для анализа опасных и неблагоприятных погодных явлений.

Материалы и методы исследований

В ходе исследования были применены методы синоптического и фронтального анализа, произведена визуальная дешифровка [7] карт НИЦ «Планета», сопоставлены синхронные данные наземных наблюдений и карт метеоявлений.

Карты метеоявлений выпускаются в ФГБУ «НИЦ «Планета» каждые 15 минут с заголовочностью 15 минут с помощью автоматизированной информационной системы (АИС) «Метео-ИСЗ» по результатам дешифровки информации с геостационарного спутника Meteosat-9 [8]. На картах отражена информация о приземном давлении, облачности, наличии осадков, состоянии подстилающей поверхности и таких явлений, как гроза (низкая, средняя и высокая вероятность грозы), гроза со шквалом, град. Анализ гроз проводился за период, когда были доступны карты метеорологических

явлений, а именно в летние месяцы 2020 года. Для определения синоптической ситуации использовались синоптические карты Boden Deutscher Wetterdienst (Германия) [9].

Исследование основано на данных наземной наблюдательной сети Уральского УГМС, включающей 88 метеорологических станций и постов. Были выявлены особенности пространственно-временного распределения гроз, а также их повторяемость в зависимости от синоптической ситуации. При сравнении данных наземных наблюдений с картами метеоявлений учитывалось наличие/отсутствие явления или его вероятности на станции или в ее окрестностях в промежуток времени, зафиксированный метеорологической станцией. Также был произведен более подробный анализ по двум точкам: Пермь и Екатеринбург. Спутниковая информация и гидродинамическое моделирование совместно с другими методами уже применяется в мезомасштабных прогнозах опасных явлений погоды конвективного характера [10-12]. Сопоставление информации, полученной из разных источников, представляет собой достаточно сложную задачу вследствие разных периодов наблюдений и необходимости сравнения различных параметров [13].

Как и другие явления конвективного характера, гроза наблюдается на относительно небольшой территории и поэтому часто пропускается сетью метеостанций [14]. Следовательно, необходимо принять во внимание, что станции могли не зафиксировать некоторые случаи явления, но, если они были отмечены на станции, это свидетельствует о том, что они были на данной территории в данный промежуток времени. Следовательно, при достоверном анализе явлений случаи, о которых идет речь, должны быть отображены на картах в те же или близкие промежутки времени на той же территории.

Результаты и их обсуждение

В летний период 2020 года наиболее часто грозы наблюдались в южных горных районах и в Зауралье в дневные и вечерние часы, когда вклад солнечной радиации в прогрев воздуха и земной поверхности близок к максимальному. Более 60 % гроз были отмечены в промежуток времени с 13:00 до 20:00. Часто во время гроз наблюдались осадки различной интенсивности, град и сильные порывы ветра [15]. Большинство гроз сформировалось под воздействием циклонов и связанных с ними фронтальных систем. В тылу, в передних и центральных частях циклонов, а также в ложбинах наблюдалось 72 % гроз. На малоградиентные поля, включая седловины, пришлось 17 % гроз. Реже всего (11 %) грозы наблюдались в антициклоническом поле.

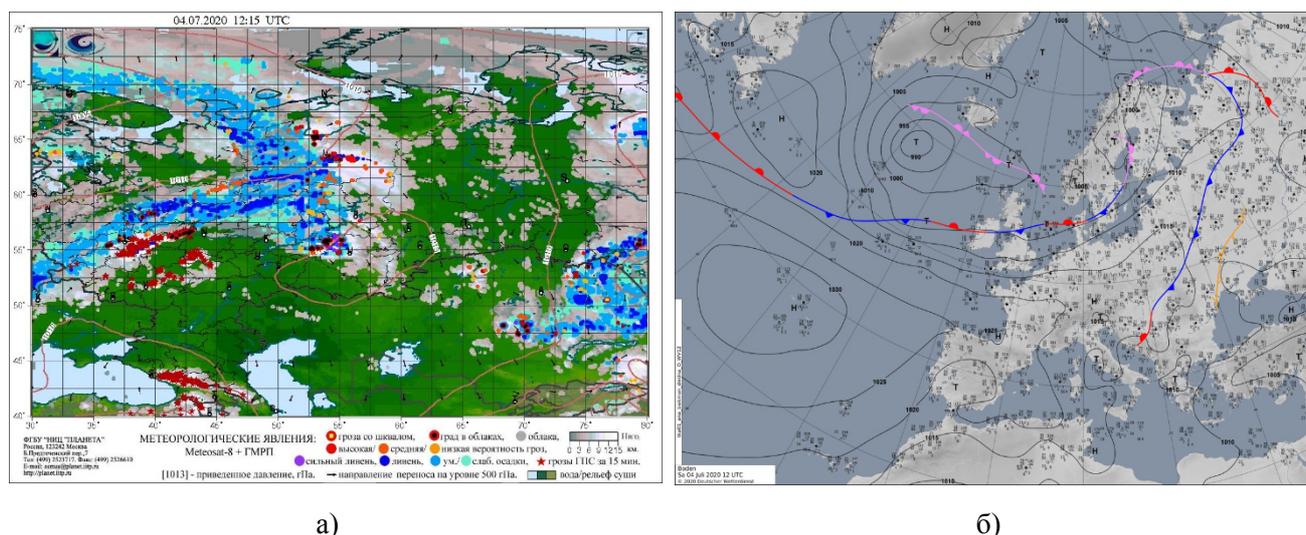


Рис. 1. Синхронные карты НИЦ «Планета» (а) и синоптические карты Boden Deutscher Wetterdienst (б) за 12:00 ВСВ 4.07.2021.

На рис. 1 в качестве примера приведен один из случаев грозы, который был зафиксирован на станции Чайковский 4.07.2021 г. в 12 ч всемирного согласованного времени (ВСВ). Явление наблюдалось на теплом фронте циклона, центр которого располагался над Скандинавией (рис. 1б). На карте (рис. 1а) в данном районе в данное время была отмечена высокая вероятность грозы, град, ливни.

В табл. 1 приведены сведения о совпадении случаев гроз, зафиксированных метеостанциями и отмеченных на картах метеоявлений НИЦ «Планета» (%), из которой следует, что фронтальные грозы отображались на картах метеоявлений значительно чаще внутримассовых.

Таблица 1

Совпадение случаев гроз, зафиксированных метеостанциями и отмеченных на картах метеоявлений НИЦ «Планета» (%)

Генезис гроз	Барическое поле		
	Поле пониженного атмосферного давления	Поле повышенного атмосферного давления	Малоградиентные поля, в том числе седловины
Внутримассовые	78	45	74
Фронтальные	81	88	88

В зависимости от типа фронта процент успешности распознавания гроз на картах метеоявлений также различался. В области вершины волны фронта грозы были отмечены на картах НИЦ «Планета» в 98 % случаев. Грозы, сформированные под влиянием теплого фронта, распознавались чуть реже – в 87 % случаев. При прохождении холодного фронта было зафиксировано 80 %, а фронта окклюзии – 77 % гроз.

Наибольшее количество случаев гроз в 2020 году было зафиксировано в Свердловской области. Лучшие результаты карты показали в Пермском крае (83 %), а в Свердловской области процент был самым низким (72 %). В связи с этим было принято решение дополнительно провести более подробный анализ по двум точкам (Пермь и Екатеринбург).

Анализ случаев гроз в Перми производился по данным системы WAREP, а также информации, полученной из архива сайта гр5 «Погода в мире» [16]. За весь исследуемый период ни один из случаев гроз не был отмечен на картах в качестве явления, а лишь как вероятность явления (низкая, средняя или высокая).

В летний период 2020 года на станции Пермь было зарегистрировано 79 случаев гроз, 54 из которых были так или иначе отмечены на картах метеоявлений, что составило 68 %. В Екатеринбурге было отмечено 50 из 63 гроз (79 %). При анализе синоптической ситуации было выявлено, что наибольшее совпадение фактических случаев со случаями, отмеченными на картах, в обоих пунктах было зафиксировано в зоне смены знака фронтальной системы и на вершине волны (89 %), чуть меньше при прохождении холодного и теплого фронтов (86 % и 76 % соответственно). В Перми фронтальные грозы отмечались на картах чаще внутримассовых: при прохождении фронтов были отображены с различной вероятностью 82 % гроз, зафиксированных метеостанциями, внутримассовые грозы отмечались на картах лишь в 59 %. В Екатеринбурге наблюдалась обратная ситуация: на картах были отмечены 86 % внутримассовых гроз и 76 % фронтальных.

В процессе синхронного анализа карт НИЦ «Планета» и фактических данных было выявлено, что для карт метеоявлений свойственно некоторое смещение явлений в пространстве и времени. В большинстве случаев на картах грозы прогнозировались в среднем на час раньше, чем были отмечены сетью метеостанций, а заканчивались они или раньше, или значительно позже. Зафиксированные наземной наблюдательной сетью вблизи метеостанций грозы в 8 % случаев в Перми и в 4 % случаев в Екатеринбурге прогнозировались и на самой станции тоже. Куда больший разрыв можно заметить при сравнении гроз, отмеченных на станциях (рис. 2).

В Перми (рис. 2а) из 40 гроз, отмеченных на станции, 28 были нанесены на карту метеоявлений и лишь 11 из них – в районе станции, то есть 28 %, в Екатеринбурге (рис. 2б) данное совпадение оказалось заметно выше – 41 %. Как уже упоминалось ранее, карты метеоявлений НИЦ «Планета» выпускаются с заблаговременностью 15 минут, следовательно, их можно считать прогностическими, а отмеченные на них явления и их вероятность – вероятностным прогнозом. За летний период 2020 г. на исследуемой территории ни одна из гроз не была отмечена на картах в качестве явления, были спрогнозированы лишь низкая, средняя и высокая вероятности гроз. По пунктам Пермь и Екатеринбург был подсчитан процент оправдываемости прогноза гроз различной вероятности (табл. 2).

Как следует из табл. 2, при низкой вероятности в Перми стоит ожидать грозу в 25 %, в Екатеринбурге в 29 % случаев, при средней вероятности – в 52 и 44 %, при высокой – в 69 и 50 % соответственно. В среднем процент оправдываемости прогноза в Перми оказался выше, чем в Екатеринбурге.

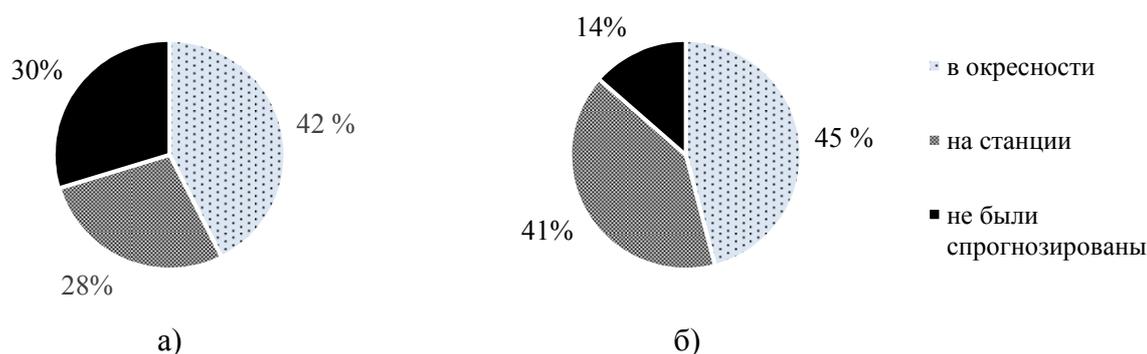


Рис. 2. Соотношение прогноза расположения гроз на картах относительно гроз, зафиксированных на метеостанциях (%): а) Пермь; б) Екатеринбург

Таблица 2

Оправдываемость прогноза вероятности гроз на картах НИЦ «Планета» (%)

Пункты	Вероятность грозы		
	Низкая	Средняя	Высокая
Пермь	25	52	69
Екатеринбург	29	44	50

В зависимости от синоптической ситуации и барического поля процент оправдываемости также отличался. В Перми в областях повышенного атмосферного давления на картах были отмечены 13 гроз различной вероятности, причем ни одна из них не была отмечена на станции; в Екатеринбурге оправдался лишь 1 прогноз из 7. В малоградиентных полях, в том числе в седловинах, в Перми оправдались 3 из 5 прогнозов высокой вероятности грозы; 5 прогнозов средней вероятности и 15 низкой – не оправдались; в Екатеринбурге прогнозы при данном барическом поле оправдывались в среднем в 30 % случаев.

Таблица 3

Оправдываемость прогноза вероятности фронтальных гроз на картах НИЦ «Планета» в зависимости от типа фронта (%)

Вероятность грозы	Теплый фронт		Фронт окклюзии		Холодный фронт	
	Пермь	Екатеринбург	Пермь	Екатеринбург	Пермь	Екатеринбург
Низкая	25	25	25	25	60	41
Средняя	33	63	75	100	33	38
Высокая	100	100	100	100	50	1

При прохождении фронтов в большинстве случаев отмечалась корреляция между оправдываемостью и вероятностью прогноза (табл. 3). Только при прохождении холодного фронта проценты оправдываемости заметно отличались. Так, в Перми прогноз низкой вероятности грозы оправдался на 60 %, что в 2,4 раза выше, чем при прохождении фронтов другого типа и почти в 6 раз выше, чем при прогнозе внутримассовых гроз (табл. 4).

Таблица 4

Оправдываемость прогноза вероятности внутримассовых гроз на картах НИЦ «Планета» (%)

Вероятность грозы	Пермь	Екатеринбург
Низкая	11	26
Средняя	50	31
Высокая	67	44

Из табл. 4 также следует, что в случаях внутримассовых гроз процент оправдываемости был ниже, чем при прохождении фронтов. При этом сохранилась связь между вероятностью явления, отображенной на картах, и оправдываемостью гроз.

Заключение

Грозы являются опасным кратковременным погодным явлением конвективного характера, занимающим малые площади и часто пропускаемым сетью метеостанций. Даже их анализ, а тем более прогноз, представляет собой сложную задачу.

На основании данного исследования можно сделать следующие предварительные выводы:

1. При анализе гроз было выявлено, что 70–80 % случаев, зафиксированных на метеорологических станциях, было отображено на картах НИЦ «Планета» в то же время и на той же территории. Исключение составили грозы, наблюдаемые при повышенном атмосферном давлении, когда на картах было отображено лишь 45 % от всех случаев гроз, зафиксированных на метеорологических станциях.

2. Было обнаружено, что от 40 до 50 % гроз, отмеченных на картах и зафиксированных на станциях Перми и Екатеринбурга, прогнозировались не собственно на станциях, а в их окрестностях, что указывает на пространственное смещение прогнозов. Кроме того, по данным наземных наблюдений грозы начинались позже, а заканчивались раньше, чем это отображалось на картах метеоявлений.

3. В летний период 2020 г. на исследуемой территории ни один из случаев гроз не был отображен на картах метеоявлений в качестве явления, а прогнозировалась лишь его вероятность (низкая, средняя и высокая). Анализ оправдываемости прогнозов по двум пунктам (Пермь и Екатеринбург) показал различные результаты. В среднем прогнозы гроз низкой вероятности фиксировались метеостанциями значительно реже, чем прогнозы гроз средней и высокой вероятности. По усредненным данным двух пунктов было выявлено, что прогноз гроз низкой вероятности оправдался на 27 %, средней и высокой на 48 % и 60 % соответственно.

В силу малой выборки разработать рекомендации по использованию карт метеоявлений НИЦ «Планета» в оперативной практике пока не представляется возможным. Для более детального и объективного анализа в будущем рекомендуется провести анализ по большей выборке и включить в него данные МРЛ, грозоотметчиков и другие источники. Полученные в данной работе результаты и выводы можно рассматривать как предварительные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков, А. В. Прогноз опасных конвективных явлений в Пермском крае с использованием глобальных прогностических моделей / А. В. Быков, А. Л. Ветров, Н. А. Калинин // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 363. – С. 101–119.
2. Калинин, Н. А. Особенности формирования высокой температуры воздуха в сентябре–октябре 2003 г. на Среднем и Южном Урале / Н. А. Калинин, Л. Н. Ермакова, И. Я. Аликина // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 5. – С. 82–89.
3. Оценка качества воспроизведения моделью MM5 температуры воздуха в июле на Урале / Н. А. Калинин, А. В. Кислов, Е. Д. Бабина, А. Л. Ветров // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 10. – С. 15–22.
4. Условия формирования и краткосрочный прогноз конвективных опасных явлений погоды в Уральском регионе в теплый период 2020 года / Н. А. Калинин, А. Н. Шихов, А. В. Быков, А. А. Поморцева, Р. К. Абдуллин, И. О. Ажигов // Оптика атмосферы и океана. – 2021. Т. 34, № 1. – С. 46–56.
5. Бухаров, М. В. Анализ соответствия между результатами автоматизированной метеорологической дешифровки информации с геостационарного спутника и данными МРЛ / М. В. Бухаров, Д. В. Говоров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 1, вып. 5. – С. 419–423.
6. Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования Земли / С. В. Пьянков, Н. А. Калинин, Е. М. Свиззов, А. А. Смирнова, И. Б. Некрасов // Вестник Пермского университета. – 2009. – Вып. 10 (36). – С. 147–153.
7. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учеб. пособие / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – 191 с.
8. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «Планета» / Е. А. Лупян, О. Е. Милехин, В. Н. Антонов, Л. С. Крамарева, М. А. Бурцев, И. В. Балашов, В. А. Толпин, В. И. Соловьев // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 12. – С. 89–97.

9. Wetter und Klima – Deutscher Wetterdienst – Startseite. – URL: <https://www.dwd.de/> (дата обращения: 10.05.2021).
10. Ленская, О. Ю. Методические вопросы использования спутниковой и радиолокационной информации в мезомасштабном прогнозе (на примере опасных явлений погоды в Москве 24 июля 2001 г.) / О. Ю. Ленская // Вестник Челябинского ун-та. 2007. № 6. С. 66–79.
11. Толмачева, Н. И. Исследование условий развития конвекции в атмосфере / Н. И. Толмачева // Географический вестник. – 2012. – № 2. – С. 60–67.
12. Krawczyk, K. Multispectral satellite data application to hazardous convection monitoring / K. Krawczyk, J. Jasiński // 9th International Conference “Environmental engineering”, May 22–23 2014. – Vilnius, Lithuania. 2014. – P. 1–9.
13. Абдуллин, Р. К. Оценка повторяемости конвективных опасных явлений погоды с применением данных дистанционного зондирования (на примере территории Пермского края) / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 7. – С. 308–318.
14. Анализ структуры временных рядов и факторов, влияющих на пространственную неоднородность грозовой активности / В. П. Горбатенко, А. А. Дульзон, Ф. А. Гиндуллин, Т. В. Ершова, И. И. Ипполитов, М. В. Кабанов, С. В. Логинов // Проектирование и технология электронных средств. – 2004. – №1. – С. 61–65.
15. Опасные природные явления Пермского края. – URL: <http://accident.perm.ru> (дата обращения: 20.03.2021).
16. Погода в мире. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 20.03.2021).

Поступила в редакцию 06.02.2022

Сергеева Екатерина Сергеевна, синоптик лаборатории прогнозов ЦФО отдела краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений по территории России
ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации»
123367, Россия, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 13, стр. 1
E-mail: sergeevaxo@icloud.com

Калинин Николай Александрович, доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы,
ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: kalinin@psu.ru

Пищальникова Евгения Владимировна, кандидат географических наук, начальник отдела метеорологических прогнозов, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Уральское УГМС»
614030, Россия, г. Пермь, ул. Новогайвинская, 70
ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: evaporova@rambler.ru

E.S. Sergeeva, N.A. Kalinin, E.V. Pishchalnikova

ON THE POSSIBILITY OF USING MAPS OF METEOROLOGICAL EVENTS FROM RESEARCH CENTRE «PLANET» FOR STUDYING AND PREDICTING THUNDERSTORMS ON THE URAL TERRITORY

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-1-59-66

The diagnosis and prediction of convective events are a difficult and challenging process. One of the most promising methods used for such tasks are hydrodynamic modelling and remote sensing. The aim of this research is to make a comparative analysis of meteorological events maps and data from observational network to find the possibility of using the maps from research center «Planet» for studying and predicting thunderstorms on the territory of the Ural. The spatiotemporal features of thunderstorms were identified. The repeatability and success of detection of this event were also determined, depending on the barium field, synoptic situation and specific characteristics of thunderstorms. During the study it was found that about 20 % of thunderstorms observed by weather stations were not predicted on weather maps; the high probability prediction was better than the medium and low probability forecasts of thunderstorms; spatial and temporal shifts were common in the prediction of thunderstorms. For a more detailed and objective

analysis, it is recommended to work with a larger sample and use data from other sources like meteorological radiolocators, stormscopes, and others.

Keywords: dangerous meteorological phenomena, thunderstorm, remote sensing, hydrodynamic modelling.

REFERENCES

1. Bykov A.V., Vetrov A.L., Kalinin N.A. [The forecast of dangerous convective phenomena in the Perm Krai with use of global prognostic models], in *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 2017, iss. 363, pp. 101–119 (in Russ.).
2. Kalinin N.A., Ermakova L.N., Alikina I.Ya. [Conditions of Formation of High Air Temperature in September–October 2003 in the Middle and Southern Ural], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, no. 5, pp. 82–89 (in Russ.).
3. Kalinin N.A., Kislov A.V., Babina E.D., Vetrov A.L. [Estimation of Air Temperature Reproduction Quality by the MM5 Model in the Urals in July], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2010, no 10, pp. 15–22 (in Russ.).
4. Kalinin N.A., Shikhov A.N., Bykov A.V., Pomortseva A.A., Abdullin R.K., Azhigov I.O. [Conditions of the formation and short-term forecasting of hazardous weather events in the Ural in the warm period of 2020], in *Optika Atmosfery i Okeana*, 2021, vol. 34, no 1, pp. 46–56 (in Russ.).
5. Buharov M.V., Govorov D.V. *Analiz sootvetstviya mezhdu rezul'tatami avtomatizirovannoy meteorologicheskoy deshifrovki informacii s geostacionarnogo sputnika i dannymi MRL* [Analysis of the correspondence between the results of the automated meteorological interpretation of information from the geostationary satellite and the MRL data], in *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the earth from space], 2008, iss. 5, vol. 1, pp. 419–423 (in Russ.).
6. P'yankov S.V., Kalinin N.A., Sviyazov E.M., Smirnova A.A., Nekrasov I.B. [Monitoring of condition of agricultural crops in Perm Krai on information of the remote sensing of Earth], in *Vestnik Permskogo universiteta*, 2009, iss. 10 (36), pp. 147–153 (in Russ.).
7. Shikhov A.N., Gerasimov A.P., Ponomarchuk A.I., Perminova E.S. *Tematicheskoe deshifrirovaniye i interpretatsiya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya: uchebnoye posobie* [Interpretation of medium- and high-spatial-resolution space imagery: training manual], Perm: *Permskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet*, 2020, 191 p. (in Russ.).
8. Lupyan E.A., Milekhin O.E., Antonov V.N., Kramareva L.S., Burtsev M. A., Balashov I. V., Tolpin V. A., Solov'ev V. I. [Problems of Data Organization and Use within the Planeta Research Center for Space Hydrometeorology United Satellite Data Access System], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, no 12, pp. 89–97 (in Russ.).
9. Wetter und Klima in Deutscher Wetterdienst, Startseite. Available at: <https://www.dwd.de/> (accessed: 10.05.2021).
10. Lenskaya O.Yu., *Metodicheskie voprosy ispol'zovaniya sputnikovoi i radiolokatsionnoi informatsii v mezomasshtabnom prognoze (na primere opasnykh yavlenii pogody v Moskve 24 iyulya 2001 g.)* [Methodical issues of the use of satellite and radar data in the mesoscale forecast (by the example of dangerous weather phenomena in Moscow on July 24, 2001)], in *Vestnik Chelyabinskogo Univ.*, 2007, no. 6, pp. 66–79 (in Russ.).
11. Tolmacheva N.I. *Issledovanie usloviy razvitiya konvekcii v atmosfere* [Study of atmospheric convection conditions], in *Geograficheskiy vestnik*, 2012, no 2, pp. 60–67 (in Russ.).
12. Karolina Krawczyk, Janusz Jasiński Multispectral satellite data application to hazardous convection monitoring, in *9th International Conference "Environmental engineering"*, May 22–23 2014. Vilnius, Lithuania, 2014, pp. 1–9.
13. Abdullin R.K., Shikhov A.N. [Estimation of the frequency of hazardous convective weather events using remote sensing data (by the example of Perm Region)], in *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the earth from space], 2017, vol. 14, no 7, pp. 308–318 (in Russ.).
14. Gorbatenko V.P., Dul'zon A.A., Gindullin F.A., Ershova T.V., Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Loginov S.V. *Analiz struktury vremennykh ryadov i faktorov, vliyayuschih na prostranstvennuyu neodnorodnost' grozovoj aktivnosti* [Analysis of the structure of time series and factors affecting the spatial heterogeneity of thunderstorm activity], in *Proektirovaniye i tehnologiya elektronnykh sredst*, 2004, no 1, pp. 61–65 (in Russ.).
15. *Opasnye prirodnye yavleniya Permskogo kraya* [Natural hazards Perm region], Available at: <http://accident.perm.ru> (accessed: 20.03.2021) (in Russ.).
16. *Pogoda v mire* [World weather], Available at: <https://rp5.ru> (accessed: 15.04.2021) (in Russ.).

Received 06.02.2022

Sergeeva E. S., Forecaster of the forecast laboratory of the Central Federal District of the Department of short-term weather forecasts and dangerous phenomena in Russia
Hydrometeorological Research Center of Russian Federation
Bolshoy Predtechensky lane, 13/1, Moscow, Russia, 123376
E-mail: sergeevaxo@icloud.com

Kalinin N. A., Doctor of Geography, Professor, Head of Department of Meteorology and Atmosphere Protection
Perm State University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990
E-mail: kalinin@psu.ru

Pischalnikova E. V., Candidate of Geography, Head of weather forecasts, Associate Professor
at Department of Meteorology and Air Protection
Perm Center for Hydrometeorology and Environment Monitoring
Novogayvinskaya st., 70, Perm, Russia, 614030
Perm State University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990
E-mail: evapopova@rambler.ru