

## Изучение интенсивной конвекции в Пермском крае с помощью модели WRF

Н. А. Калинин\*, А. Л. Ветров\*,

Е. М. Свиязов\*, Е. В. Попова\*

*Проанализировано развитие существовавшей непродолжительное время облачной конвективной системы, которая сопровождалась сильными грозами, выпадением ливневых осадков, шквалистым усилением ветра до 22 м/с и градом диаметром 20 мм и более, днем 9 июня 2012 г. на территории Пермского края. Выполненная оценка процесса развития конвекции с помощью модели WRF-ARW показала, что последняя адекватно воспроизводит возникновение конвективных систем на территории Пермского края, однако области интенсивных осадков не всегда совпадают с их фактическим расположением. Наилучшие результаты дает схема параметризации конвекции Грэлла — Девени. Модель не воспроизводит градовые процессы. Несмотря на факт развития этого явления на территории Пермского края 9 июня 2012 г., согласно расчетам модели, образования града в пределах расчетного полигона не обнаружено.*

### 1. Введение

Численному моделированию интенсивной конвекции с помощью мезомасштабных моделей посвящен целый ряд исследований, проведенных как в России, так и за рубежом. Возможность выбора способа параметризации конвекции и микрофизики привела к широкому распространению мезомасштабной модели WRF (Weather Research and Forecasting), с использованием которой проведены численные эксперименты возникновения опасных явлений погоды на Дальнем Востоке [6], в Сибири [11, 12] и на европейской территории России [1—3, 13]. Случай возникновения опасных явлений погоды с помощью модели WRF за рубежом рассмотрены в работах [15—18]. Альтернативные численные эксперименты проводятся с использованием модели Consortium for Small-scale Modeling (COSMO) [4, 5], поскольку осенью 2009 г. Росгидромет вошел в состав этого научного консорциума.

Территория Пермского края ежегодно находится под воздействием конвективных образований разной степени организации: кратковременно наблюдаемых облачных конвективных систем, существующих длительное время облачных систем переменной интенсивности и разрушительных суперъячейковых облаков [7—10].

\* Пермский государственный национальный исследовательский университет; e-mail: [kalinin@psu.ru](mailto:kalinin@psu.ru).

В настоящей статье представлены результаты моделирования интенсивной конвекции на территории Пермского края 9 июня 2012 г.

## **2. Условия погоды при выпадении крупного града на территории Пермского края**

Днем 9 июня 2012 г. на территории Пермского края развивалась существовавшая непродолжительное время облачная конвективная система, которая сопровождалась выпадением ливневых осадков, формированием шквалов и града. Вечером 9 июня, по данным стационарной сети метеорологических станций, в большинстве районов Пермского края прошли сильные грозы, в отдельных районах со шквалистым усилением ветра до 22 м/с и градом диаметром 20 мм и более (критерий опасного природного (гидрометеорологического) явления [14]). В Перми после 16 ч (время местное) в восточной части города (Свердловский, Мотовилихинский и Орджоникидзевский районы) отмечались грозы с усилением ветра и градом. В результате были поломаны ветви деревьев, градом повреждены сотни автомобилей. Грозы 9 июня в районе Перми стали самыми интенсивными за последние несколько лет, крупный град отмечен впервые с 2008 г. Произошедшие неблагоприятные и опасные явления погоды обусловлены выходом южного циклона на европейскую территорию России с формированием конвективных процессов в его теплом секторе.

## **3. Синоптические условия**

Днем 5 июня циклон зародился на антициклональной стороне высотной фронтальной зоны (ВФЗ) в благоприятных для циклогенеза условиях. У поверхности земли наблюдалось малоградиентное поле с падением давления до 2,7 гПа/3 ч. На приземной карте над районами Болгарии 5 июня 2012 г. в 0 ч ВСВ сформировался циклон с замкнутой изобарой 1005 гПа и давлением в центре 1004,8 гПа (табл. 1). На изобарической поверхности 500 гПа над приземным центром располагалась передняя часть ложбины с расходимостью потоков, уменьшением циклонической кривизны с переходом к антициклонической. На изобарической поверхности 850 гПа отмечалась двухсторонняя адвекция. При этом адвекция холода в тылу составила 5°C, адвекция тепла в передней части — 5°C, а контраст температуры в ВФЗ на карте  $\Delta T_{1000}^{500}$  — 8 гп. дам/1000 км.

По мере углубления циклона давление в его центре понизилось с 1004,8 до 997,2 гПа. Циклон перемещался по ведущему потоку с юго-запада на северо-восток с западных районов Болгарии через Украину с выходом на Тульскую область. По мере развития циклона по вертикали скорость его перемещения уменьшилась с 27 до 15 км/ч. Динамическое падение на изобарической поверхности 500 гПа над приземным центром циклона составило 4—9 гп. дам за 24 ч, что способствовало его развитию по высоте. Таким образом, циклон, находящийся в стадии молодого, днем 7 июня стал средним барическим образованием, а через сутки — высоким барическим образованием (табл. 1). Термическая неоднородность усиливалась — контраст температуры в ВФЗ над приземным центром на карте  $\Delta T_{1000}^{500}$  увеличился до 18 гп. дам/1000 км. Интенсивный циклогенез

Таблица 1  
Параметры эволюции циклона

Дата, 2012 г.	Время, ч ВСВ	Стадия развития циклона	Вертикальное развитие барического образования	Барическая тенденция		Скорость перемещения, км/ч	Контраст температур над приземным центром на карте OT <sub>500</sub> , гр. дам/1000 км	Адвекция, °С
				Давление в центре, гПа	в центре циклона в передней части циклона			
5 VI	0	Начальная	Низкое	1004,8	-0,9	-1,5	—	8 -5,0
	12	Молодой циклон	>>	1003,7	-1,4	-1,4	—	0 0
6 VI	0	То же	>>	1003,0	-1,4	-1,5	27 -2,5	16 2,5
	12	>>	>>	1002,3	-1,5	-2,3	24 0	12 0
7 VI	0	>>	>>	1002,9	-0,1	-1,3	24 0	10 2,5
	12	>>	Среднее	1000,0	-1,4	-1,5	23 -2,5	12 0
8 VI	0	>>	>>	998,7	-2,1	-1,6	25 -2,5	14 5,0
	12	>>	Высокое	997,2	-0,2	-0,4	20 -5,0	18 7,5
9 VI	0	Максимальное развитие	>>	997,8	-0,2	-0,6	18 —	— —
	12	То же	>>	999,3	0,6	-0,1	15 —	— —
9 VI	0	Начальная	Низкое	997,1	—	—	16 -5,0	16 -2,5
	12	Молодой циклон	>>	998,6	-2,7 -1,1	-3,4 -3,7	— —	2,5 5,0
Новый циклон								

8 июня привел к углублению высотной ложбины, деформации ВФЗ и к смене юго-западных потоков на южные. Скорость перемещения циклона уменьшилась, а направление перемещения изменилось на северное. В эллиптически вытянутой замкнутой изобаре 1000 гПа у точки окклюзии арктической фронтальной системы 8 июня в 21 ч ВСВ образовался новый циклон с давлением в центре 997,7 гПа и падением давления до 2,7 гПа/3 ч, который стал основным (табл. 1). Южный циклон 9 июня в 0 ч ВСВ, находясь в стадии максимального развития, представлял собой обширный циклонический вихрь с квазивертикальной осью. Будучи холодным малоподвижным образованием, в дальнейшем он заполнился. Вновь образовавшийся циклон оказался в благоприятном термобарическом поле: на изобарической поверхности 500 гПа над приземным центром располагалась передняя часть высотной ложбины с расходимостью потоков и с переходом к антициклонической кривизне, величина динамического падения составила 8 гПа за сутки, а контраст температуры на карте  $\text{OT}_{1000}^{500}$  — 16 град. дам/1000 км. Циклон смешался по ведущему потоку с юго-запада на северо-восток со скоростью 13 км/ч. На карте погоды за 9 июня в 12 ч ВСВ центр циклона наблюдался северо-западнее Сыктывкара. На рис. 1 приводится снимок теплого сектора этого циклона, сделанный ИСЗ “NOAA-15”.

В пределах циклонического вихря располагалась двойная фронтальная система, разделяющая воздушные массы, которые существенно различались по своим свойствам. В начальной стадии циклона на границах разделяла воздушных масс наблюдались небольшие и умеренные ливневые дожди, в центральной части циклона — с грозами. По мере развития циклона происходило обострение фронтов (табл. 2). Максимальная температура воздуха перед теплым участком полярного фронта составляла 20—25°C, за холодным — 14—19°C, а в теплом секторе — 30—35°C. Облачная система теплого фронта расширялась, интенсивность дождей увеличивалась до сильных. В свою очередь, облачность холодного фронта сужалась и уплотнялась, вследствие чего образовывались мощные кучевые облака.

На контрастном холодном фронте, который в то время проходил через Среднее Поволжье, отмечалась активная грозовая деятельность со шквалистым усилением ветра до 20 м/с. На стадии максимального развития циклона холодные фронты арктической и полярной систем приобрели меридиональную направленность. На высоте полярному фронту соответствовали параллельные южные потоки, что определило уменьшение скорости его

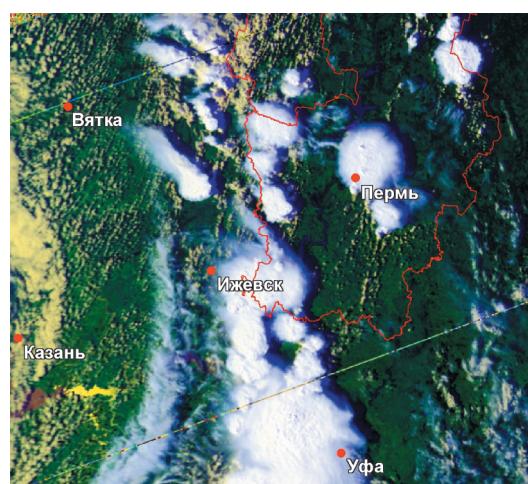


Рис. 1. Спутниковый снимок в видимом диапазоне, полученный с ИСЗ “NOAA-15” 9 июня 2012 г. в 11 ч 37 мин ВСВ.

Таблица 2  
Характеристика фронтальных разделов

Фронтальная система	Стадия развития циклона	Контраст температуры				Скорость перемещения, км/ч	
		на карте ОТ <sub>1000</sub> <sup>500</sup> , гп. дам /1000 км		на приземной карте, °C			
		над холодным фронтом	над теплым фронтом	над холодным фронтом	над теплым фронтом	холодного фронта	теплого фронта
Арктический фронт	Начальная	20	16	8	6	—	—
	Молодой циклон	12	18	10	6	16	12
	Максимальное развитие	16	20	10	10	18	20
	Начальная	10	12	8	7	—	—
	Молодой циклон	10	12	8	6	12	16
	Максимальное развитие	16					
Полярный фронт							

смещения. Малоподвижность циклонического вихря обеспечивала заток холода, который способствовал фронтогенезу холодного участка арктического фронта и его сближению с полярным. В результате холодный участок полярной системы утром 9 июня слился с холодным фронтом арктической системы, располагаясь вдоль западных границ Пермского края и медленно смещаясь на северо-восток.

С южным ветром на Средний Урал начал распространяться тропический воздух с Нижнего Поволжья. Так, минимальная температура воздуха в Пермском крае ночью 9 июня не опустилась ниже 15—20°C. В течение дня 9 июня Пермский край находился под влиянием теплого сектора циклона, во влажной неустойчивой воздушной массе. Во второй половине дня энергии неустойчивости оказалось достаточно для формирования кучево-дождевых облаков. По данным утреннего радиозондирования, высота тропопаузы составляла 13 км. По данным МРЛ-5 аэропорта Большое Савино (г. Пермь), на востоке от Перми наблюдались мощные конвективные облака, верхняя кромка которых располагалась на высоте 11—13 км, что свидетельствовало об их градоопасности.

#### 4. Результаты численного моделирования процесса выпадения сильного града

Инструментом исследования являлась мезомасштабная модель WRF. Прогнозы составляли с использованием динамического ядра ARW по двум вариантам. В первом варианте параметризации конвекции не производилось, и она моделировалась непосредственно. Поскольку прямой расчет конвекции целесообразен при пространственном разрешении 3 км и менее [3], результаты моделирования при пространственном разрешении 10 км помогли бы оценить вклад в формирование осадков крупномасштабных синоптических процессов и процессов мезомасштаба. Для параметризации пограничного слоя и турбулентности использовалась схема Меллора — Ямады — Янича, для параметризации процессов на поверхности суши и в почве — схема Noah. Потоки длинноволновой радиации рассчитывались

лись по схеме RRTM, а коротковолновой радиации — по схеме RRTMG, параметризация микрофизики в облаках производилась по схеме Томпсона [19]. Во втором варианте все параметризации оставались неизменными, а параметризация конвекции последовательно менялась. Всего было испытано четыре параметризации конвекции: оригинальная и модифицированная (на основе экспериментов с моделью Eta) схемы Каина — Фритша, а также схемы Беттса — Миллера — Янича и Грелла — Девени.

Расчет производился на 24 ч — с 0 до 24 ч ВСВ 9 июня. В качестве начальных и граничных условий использовали результаты объективного анализа и прогноз GFS. Расчет производился для полигона 200 × 200 км с шагом интегрирования по пространству 10 км.

Совместный анализ результатов моделирования и данных наблюдений выявил следующее. Модель адекватно воспроизводит поле давления — центр циклона в 12 ч ВСВ 9 июня находится северо-западнее г. Сыктывкара. Поле изогипс на поверхности 500 гПа соответствует передней части высотной ложбины. Хорошее соответствие поля давления обусловлено, прежде всего, качественными начальными данными глобальной модели GFS.

Модель адекватно воспроизводит конфигурацию поля осадков и время максимального развития мезомасштабной конвективной системы. На рис. 2 приведены данные моделирования без параметризации конвекции. Хорошо заметны конвективные системы, связанные с двумя фронтами — арк-

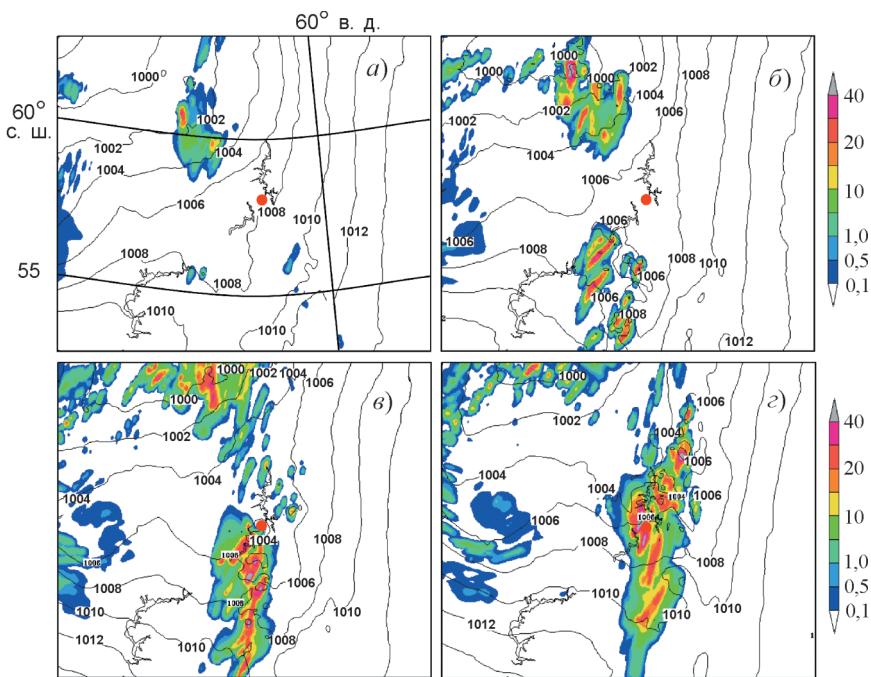


Рис. 2. Интенсивность осадков (цветовая шкала; мм/3 ч) и поле давления (изолинии; гПа) в 9 (а), 12 (б), 15 (в) и 18 ч ВСВ 9 июня 2012 г. по модельным расчетам без параметризации конвекции.

Красным кругом помечено положение г. Пермь.

тическим и полярным. Обе системы вытянуты с юга на север, что также соответствует фактическому процессу. При этом в ходе развития модельного процесса формируются области, где за 3 ч выпадает более 40 мм осадков. Однако конкретные пятна осадков указанной интенсивности не совпадают с данными наземных станционных наблюдений (табл. 3).

Из данных табл. 3 следует, что на станции Пермь модель без параметризации конвекции в интервале от 0 до 15 ч не дает конвективных осадков из-за того, что происходит запаздывание на 3 ч выхода модельной конвекции на территорию Перми. Напротив, в период с 15 до 24 ч данный подход демонстрирует хорошее совпадение результатов. При этом все модели конвекции характеризуются значительным разбросом значений сумм осадков. Так, станции с большими суммами модельных осадков фактически существенных осадков не имеют. Компромиссным вариантом для выбранной территории является схема Грелла — Девени, хотя и согласно ей доля завышенных осадков велика. Следует отметить, что ни в одном из вариантов модели случаи с градом в течение 9 июня не воспроизводятся.

Анализ результатов моделирования со схемой параметризации Грелла — Девени показал, что вклад крупномасштабных процессов в формирова-

Таблица 3  
Осадки фактические и модельные (мм) за период  
с 0 до 15 ч + с 15 до 24 ч ВСВ 9 июня 2012 г.

Метеостанция	Фактическая сумма осадков	Модельные осадки без параметризации конвекции	Схемы параметризации			
			Кайна — Фритша		Беттса — Миллера — Янчча	Грелла — Девени
			модифици- рованная	оригинальная		
Пермь	6,3 + 12,1	0,0 + 16,9	1,8 + 27,0	0,9 + 36,4	1,9 + 2,0	8,8 + 5,1
Ныроб	0,0 + 9,1	0,0 + 15,4	7,6 + 24,3	1,3 + 16,6	2,9 + 0,8	5,5 + 25,9
Вая	9,3 + 6,8	0,0 + 30,7	17,4 + 14,1	9,6 + 17,4	3,5 + 3,4	7,3 + 21,9
Чердынь	0,0 + 9,5	0,0 + 15,2	7,3 + 25,8	0,6 + 30,4	3,5 + 6,9	4,7 + 9,3
Усть-Черная	0,5 + 0,0	8,8 + 2,4	21,1 + 0,0	13,0 + 0,1	12,8 + 0,0	7,8 + 0,0
Коса	0,0 + 3,4	0,0 + 5,5	12,1 + 5,3	7,1 + 14,9	3,3 + 4,8	13,6 + 0,0
Гайны	0,5 + 0,4	6,2 + 5,8	6,9 + 0,3	2,6 + 3,2	5,2 + 5,7	4,6 + 0,0
Березники	0,0 + 20,6	0,0 + 34,7	4,0 + 26,8	0,4 + 43,0	1,6 + 0,9	4,5 + 15,2
Кочево	7,5 + 0,3	0,0 + 0,5	15,6 + 0,7	1,5 + 2,1	3,5 + 5,8	8,9 + 0,0
Губаха	0,0 + 13,4	0,1 + 23,2	9,0 + 2,4	2,3 + 24,1	1,8 + 1,4	7,0 + 18,6
Кудымкар	0,0 + 0,3	0,6 + 0,9	3,1 + 2,7	3,0 + 2,1	5,0 + 2,5	4,3 + 1,1
Добрянка	2,2 + 4,2	0,0 + 16,4	0,0 + 22,1	0,3 + 39,8	1,4 + 1,2	10,0 + 7,4
Чермоз	0,0 + 26,2	0,0 + 4,7	0,5 + 31,6	1,0 + 36,1	0,2 + 3,0	8,3 + 22,3
Верещагино	0,0 + 0,0	0,6 + 1,5	0,1 + 1,9	0,3 + 1,9	1,7 + 0,8	4,2 + 0,1
Бисер	0,0 + 0,4	0,0 + 5,1	11,8 + 1,4	6,1 + 3,0	2,2 + 1,3	8,0 + 11,7
Лысьва	0,0 + 6,2	0,3 + 7,2	23,9 + 1,7	0,8 + 2,5	5,6 + 2,3	14,2 + 4,3
Кын	0,0 + 1,4	0,0 + 3,3	17,1 + 2,7	2,6 + 1,3	3,5 + 1,9	10,1 + 1,7
Оханска	0,0 + 0,0	13,0 + 25,5	7,8 + 10,3	13,4 + 16,0	4,1 + 9,1	5,8 + 10,6
Б. Соснова	0,5 + 0,0	4,1 + 1,0	0,2 + 0,4	3,0 + 0,1	2,5 + 0,7	9,8 + 0,3
Кунгур	0,0 + 4,6	0,1 + 20,3	12,5 + 2,4	4,0 + 16,0	9,8 + 0,0	11,9 + 4,1
Оса	0,0 + 3,6	9,8 + 6,8	18,0 + 15,6	26,1 + 2,2	5,9 + 2,9	11,6 + 2,9
Ножовка	0,7 + 1,2	22,8 + 0,1	14,0 + 0,4	23,3 + 0,7	6,9 + 3,7	11,8 + 0,6
Чайковский	4,3 + 0,0	16,9 + 0,0	2,5 + 0,0	18,1 + 0,0	4,9 + 0,0	13,1 + 0,0
Чернушка	6,0 + 6,0	6,4 + 16,8	21,5 + 2,1	11,3 + 15,3	6,9 + 1,5	15,5 + 3,0
Октябрьский	0,0 + 3,7	0,0 + 9,0	1,1 + 2,7	0,0 + 6,2	7,1 + 9,9	6,7 + 2,9

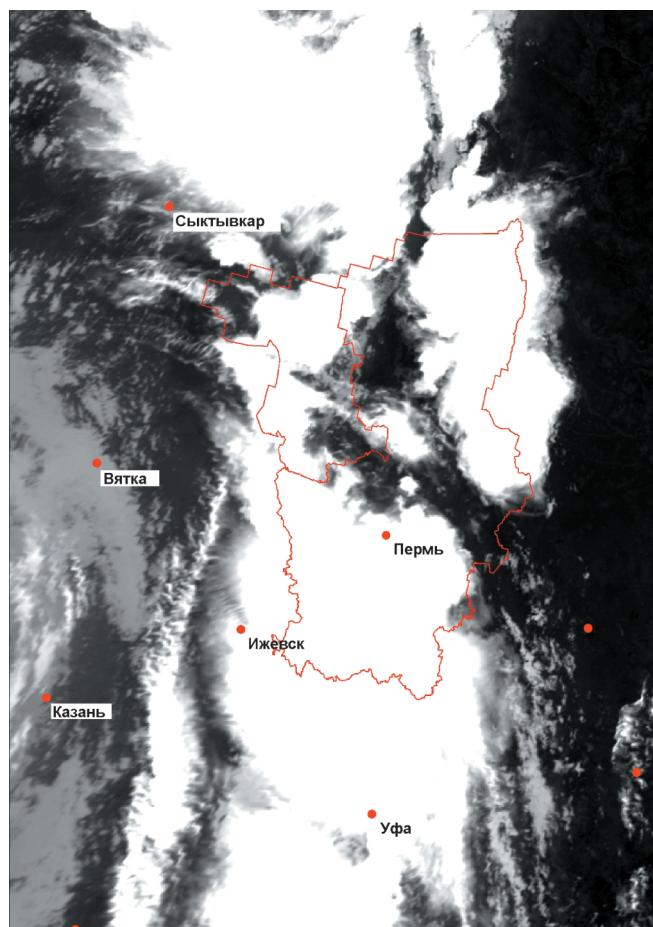


Рис. 3. Спутниковый снимок в инфракрасном диапазоне, полученный 9 июня 2012 г. в 14 ч 37 мин ВСВ с ИСЗ “NOAA-16”.

ние интенсивных осадков был незначителен и менялся по территории Пермского края от 2 до 10%.

Учитывая малую величину ложных тревог при прогнозе осадков прямым расчетом конвекции, авторы считают возможным определять области интенсивных осадков по данным прямого прогноза без учета конвекции, а в последующем уточнять конкретные значения интенсивных осадков в таких точках путем параметризации, причем для этой цели более всего подходит параметризация Грелла — Девени.

При сравнении снимка ИСЗ “NOAA-16” (рис. 3) с полем осадков, полученным по данным моделирования (рис. 2б), видно, что модель в целом правильно воспроизвела мезомасштабные конвективные системы, сформированные на севере Пермского края и южнее Перми, и соответствующие им поля осадков. Однако модель не воспроизвела конвективную систему с соответствующими осадками, развивавшуюся северо-восточнее Перми над Уральскими горами, хотя, по данным метеорологических наблюдений и спутниковых снимков, как система, так и осадки фактически отмечались.

## 5. Заключение

Днем 9 июня 2012 г. на территории Пермского края развивалась существовавшая непродолжительное время облачная конвективная система, которая сопровождалась выпадением ливневых осадков, формированием шквалов и града. Вечером того же дня, по данным стационарной сети метеорологических станций, в большинстве районов Пермского края прошли сильные грозы, в отдельных районах со шквалистым усилением ветра до 22 м/с и градом, диаметр которого достигал 20 мм и более. Выполненная оценка процесса развития конвекции с помощью модели WRF-ARW показала, что последняя адекватно воспроизводит возникновение конвективных систем на территории Пермского края, однако области интенсивных осадков не всегда совпадают с их фактическим распределением. Наилучшие результаты дает схема параметризации конвекции Грэлла — Девени. Однако, согласно модельным расчетам с параметризацией Томпсона [19], образование града в пределах рассматриваемого полигона не обнаружено. Дальнейшие исследования необходимо направить на изучение иных способов параметризации микрофизики облаков и усвоения данных наземных наблюдений и радиолокации.

Авторы благодарят руководителя Межрегионального центра космического мониторинга Пермского края при Пермском государственном национальном исследовательском университете С. В. Пьянкова и инженера А. Н. Шихова за предоставление спутниковых снимков территории Пермского края за 9 июня 2012 г.

Работа выполнена при поддержке ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009—2013 гг. (проект 2011-1.2.1-220-010/86).

## Литература

1. Вельтищев Н. Ф., Жупанов В. Д. Эксперименты по усвоению радиолокационной отражаемости в модели WRF-ARW. — Метеорология и гидрология, 2012, № 3, с. 5—19.
2. Вельтищев Н. Ф., Жупанов В. Д. Эксперименты по численному моделированию интенсивной конвекции. — Метеорология и гидрология, 2008, № 9, с. 30—44.
3. Вельтищев Н. Ф., Жупанов В. Д., Павлович Ю. Б. Краткосрочный прогноз сильных осадков и ветра с помощью разрешающих конвекцию моделей WRF. — Метеорология и гидрология, 2011, № 1, с. 5—18.
4. Вильфанд Р. М., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU. — Метеорология и гидрология, 2010, № 1, с. 5—17.
5. Вильфанд Р. М., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития. — Метеорология и гидрология, 2010, № 8, с. 5—20.
6. Гончуков Л. В., Ламаш Б. Е. Численный прогноз опасных явлений погоды по северу Приморского края. — Вестник Дальневосточного отделения РАН, 2010, № 6, с. 17—23.
7. Калинин Н. А., Смирнова А. А. Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью. — Метеорология и гидрология, 2005, № 1, с. 84—95.

- 8. Калинин Н. А., Смирнова А. А.** Определение водности и водозапаса кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора. — Метеорология и гидрология, 2011, № 2, с. 30—43.
- 9. Калинин Н. А., Смирнова А. А.** Совместное использование данных радиолокационных и станционных наблюдений для анализа облачных полей. — Метеорология и гидрология, 2002, № 8, с. 53—60.
- 10. Калинин Н. А., Смирнова А. А.** Численный анализ данных радиолокационных и станционных измерений облачности. — Метеорология и гидрология, 2003, № 7, с. 31—39.
- 11. Кижнер Л. И., Наутиголова Д. П., Барт А. А.** Использование прогностической модели WRF для исследования погоды Томской области. — Вестник Томского гос. ун-та, 2012, № 358, с. 219—224.
- 12. Лхамжавын Ж., Маналжавын Ц., Аргучинцев В. К.** Исследование конвекции с использованием численной модели Кайна — Фритша. — Известия Иркутского гос. ун-та, сер. Науки о Земле, 2012, т. 5, № 1, с. 186—194.
- 13. Песков Б. Е., Дмитриева Т. Г.** Уточнение мезомасштабного численного прогноза сильных ливней. — Метеорология и гидрология, 2010, № 9, с. 5—16.
- 14. Положение** о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. РД 52.88.699-2008. — М., 2008, 34 с.
- 15. Aligo E. A. and Gallus W. A.** On the impact of WRF model vertical grid resolution on Midwest summer rainfall forecasts. — Wea. Forecasting, 2009, vol. 24, No. 2, pp. 575—594.
- 16. Gallus W. A. and Pfeifer M.** Intercomparison of simulations using 5WRF microphysical schemes with dual-Polarization data for a German squall lineAdv. — Geosci., 2008, vol. 16, pp. 109—116.
- 17. Jankov I., Bao Jian-Wen, Neiman P. J., et al.** Evaluation and comparison of microphysical algorithms in ARW-WRF model simulations of atmospheric river events affecting the California coast. — J. Hydrometeorol., 2009, vol. 10, pp. 847—870.
- 18. Litta A. J., Mohanty U. C., Das S., and Mary Indicula S.** Numerical simulation of severe local storms over east India using WRF-NMM mesoscale model. — Atmos. Res., 2012, vol. 116, pp. 161—184.
- 19. Thompson G. et al.** Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part II: Implementation of a new snow parametrization. — Mon. Wea. Rev., 2008, vol. 136, No. 12, pp. 5095—5115.

Поступила  
5 II 2013

## STUDYING INTENSIVE CONVECTION IN PERM KRAI USING THE WRF MODEL

N. A. Kalinin, A. L. Vetrov,

E. M. Sviyazov, and E. V. Popova

Analyzed is a development of cloud convective system of short duration accompanied by severe thunderstorms, showers, squalls up to 22 m/s, and hail with the diameter reaching 20 mm and more in the afternoon on June 9, 2012 on the territory of Perm krai. An assessment of the convection development using the WRF-ARW model demonstrated that it simulates adequately the formation of convective systems on the territory of Perm krai. However, the zones of intensive precipitation coincide with its actual distribution not always. The Grell–Devenyi parametrization of convection gives the best results. The model does not simulate the hail formation processes. Despite the fact of the development of this phenomenon on the territory of Perm krai on June 9, 2012, no hail formation is predicted by the model computations within the computational domain.