

УДК 501.509.5

*Е.В. Пицальникова, А.Д. Крючков***ПРОГНОЗ ОСАДКОВ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ ПО МОДЕЛИ WRF РАЗНЫХ ВЕРСИЙ**

Показана успешность прогноза осадков разной интенсивности в холодное время года на Среднем Урале по мезомасштабной модели WRF версий 3.2.1 и 3.6.1 для внедрения её в оперативную практику синоптиков. Выполнена оценка качества численного прогноза при разной заблаговременности в зависимости от особенностей рельефа региона и типа барического поля. Показано, что мезомасштабная модель успешнее прогнозирует наличие и суммы осадков в холодный период года для территории Предуралья. Установлено, что модель WRF версии 3.6.1 стала более точно рассчитывать суммы осадков при выпадении сильных снегопадов на Среднем Урале, что проявилось в уменьшении числа ложных тревог и пропусков явления. Приведен пример, когда мезомасштабная модель выдает прогноз осадков низкого качества. Выявлено, что в начальных данных мезомасштабной модели WRF содержатся ошибки, устранение которых напрямую зависит от совершенствования глобальной модели GFS.

Ключевые слова: модель WRF, сильный снегопад, численный прогноз, Урал.

Прогноз осадков, выполненный с помощью гидродинамических моделей атмосферы, является неотъемлемой частью прогностической практики синоптиков на местах. Верная интерпретация полученного модельного результата зачастую определяет успешность оперативного краткосрочного прогноза не только общего назначения, но и опасных природных явлений. В настоящее время численные прогнозы осадков сроком до трех суток, связанные с крупными синоптическими системами, являются достаточно надежными, особенно в холодный период года [1].

К числу наиболее распространенных инструментов моделирования атмосферных процессов относится мезомасштабная модель WRF-ARW. Применение данной модели для прогноза возникновения опасных явлений погоды в холодный период года можно найти в работах [2-6]. Для территории России исследованы возможности модели WRF на примере отдельных случаев возникновения осадков в твердом виде [7-10]. Верификация модельных данных показала, что модель WRF адекватно воспроизводит синоптические процессы и может быть использована для численного прогноза осадков разной интенсивности и в разные сезоны года на Урале [11; 12].

В настоящей работе представлены результаты прогноза осадков на территории Урала в марте 2016 г. с использованием модели WRF разных версий. Оценка качества прогнозов осадков выполнена по совокупности параметров, рекомендованных РД 52.27.284-91 [13] и РД 52.27.724-2009 [14]. Для оценки качества прогноза сильных (6-19 мм/12 ч) снегопадов дополнительно рассчитывались число ложных тревог и пропусков явления.

Материалы и методы исследования

Основным инструментом прогноза осадков разной интенсивности (от небольшой до сильной) на территории Среднего Урала является модель WRF-ARW, установленная на вычислительном кластере «ПГУ-Тесла» научно-образовательного центра «Параллельные и распределенные вычисления» двух версий: 3.2.1 и 3.6.1. Применяемые настройки модели представлены в табл. 1. Версия 3.6.1. модели WRF была установлена с целью настройки и адаптации данной модели к условиям Среднего Урала и дальнейшего переноса ее на вычислительный кластер с гибридной архитектурой «ПГНИУ-Кеплер» научно-образовательного центра «Параллельные и распределенные вычисления».

Исходными данными для обеих версий модели служит прогноз модели GFS и реанализ климатической модели CFS в коде GRIB2. Для дальнейшего анализа использовались результаты счета модели на срок 15 и 27 ч от начала прогноза (0 ч ВСВ) с тем, чтобы обеспечить совпадение со сроками измерения выпавших осадков на метеорологических станциях.

Для оценки достоверности прогноза осадков по модели были использованы данные за март 2016 г. с 53 метеорологических станций, расположенных на территории Пермского края, Республики Удмуртия, Свердловской и Кировской областей. Сравнение модельных и фактических значений сумм осадков проводилось на полусуточном интервале. Модельные значения осадков для каждой метеостанции были получены путем интерполяции между узлами модельной сетки.

Таблица 1

Настройки модели WRF

Характеристика модели	Принятая настройка	
	версия 3.2.1	версия 3.6.1
Шаг сетки	10 км	9 км и 4 км
Число узлов	200×200	224×224 и 400×400
Число вертикальных уровней	32	42
Модель рельефа	U.S. Geological Survey (USGS) DEM (30s)	U.S. Geological Survey (USGS) DEM (30s)
Заблаговременность прогноза	48 ч, с предварительным усвоением данных объективного анализа за 12 ч	48 ч, с предварительным усвоением данных объективного анализа за 12 ч
Временной шаг вывода данных	3 ч	1 ч
Динамическое ядро	ARW	ARW
Начальные и граничные условия	Прогноз GFS с шагом сетки 0,5°	Прогноз GFS с шагом сетки 0,5°
Микрофизика облачности	Схема Томпсона	Схема Томпсона
Планетарный пограничный слой	Схема университета Yonsei	Схема университета Yonsei
Подстилающая поверхность	Модель Noah	Модель Noah
Коротковолновая и длинноволновая радиация	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)
Приземный слой	схема Меллора-Ямады-Янича	Схема Монины-Обухова с вязким подслоем Карлсона-Боланда и стандартными функциями подобия
Конвекция	схема Грелла-Девени	Прямое моделирование (без параметризации)

В рамках версии 3.6.1 модели WRF-ARW есть возможность производить расчет сумм осадков с вариативным шагом пространственной сетки: 4 и 9 км. В качестве эксперимента случай продолжительного сильного и очень сильного снегопада, зафиксированного 8–9 октября 2015 г., был спрогнозирован с разным пространственным шагом. Существенных различий в количестве и локализации осадков не выявлено [15], поэтому в данной статье представлены результаты успешности прогноза осадков по модели WRF-ARW версии 3.2.1 с шагом по пространству 10 км и версии 3.6.1 – 9 км.

Результаты и их обсуждение

Величина критерия Пирси-Обухова (T), характеризующая успешность совпадения прогностических и фактических зон осадков, зависит от заблаговременности: значение критерия больше при заблаговременности 15 ч. С переходом к новой версии модели этот показатель демонстрирует в целом улучшение прогностических данных (табл. 2).

Сопоставление оправдываемости осадков, полученных на основе модели WRF разных версий по Наставлению (OPR) [9], позволяет отметить повышение качества прогностических данных. Существенно лучше модель WRF версии 3.6.1 стала рассчитывать сумму осадков с заблаговременностью 27 ч. Так, средняя оправдываемость с 54,9 % увеличилась до 78 %. При заблаговременности 15 ч средняя оправдываемость осадков увеличилась до 75,2 %.

Общая оправдываемость прогнозов (U), которая учитывает факт наличия/отсутствия осадков по обеим версиям модели весьма низкая. Тем не менее при переходе к новой версии модели отмечилось увеличение процента успешных прогнозов, особенно при заблаговременности на 15 ч. Также отметим, что в общем увеличился процент успешных прогнозов отсутствия осадков (U_{00}) и их наличия (U_0). Предупрежденность наличия осадков (Π_0) несколько снизилась, что частично обеспечило

возрастание предупрежденности прогноза отсутствия осадков ($P_{\text{бо}}$), значения которой остаются крайне низкими. Таким образом, проблема завышения площади распространения осадков остается не решенной и в новой версии мезомасштабной модели.

Таблица 2

Успешность прогноза осадков по модели WRF разных версий (3.2.1/3.6.1)

Показатели успешности	Заблаговременность прогноза, ч	
	15	27
T	0,40 / 0,52	0,25 / 0,32
OPR	62,3 / 75,2	54,9 / 78,0
U	54,4 / 64,0	50,9 / 52,1
U_o	53,7 / 60,5	50,9 / 51,4
$U_{\text{бо}}$	75,6 / 84,7	53,3 / 56,7
P_o	98,6 / 96,0	99,1 / 88,2
$P_{\text{бо}}$	4,9 / 26,3	1,1 / 15,6
δ	0,24 / 0,23	0,24 / 0,14
σ	1,18 / 1,16	2,19 / 2,15
$P_{<3}$	95,7 / 95,9	97,1 / 99,1
$N_{\text{лт}}$	18 / 9	28 / 22
$N_{\text{пя}}$	5 / 4	15 / 11

Вне зависимости от заблаговременности прогноза осадков величины среднеквадратичной (σ) и абсолютной (δ) ошибок уменьшились, что свидетельствует о повышении количественной точности модельных данных. Также этот факт подтверждается возрастанием надежности количественного прогноза осадков ($P_{<3}$) до 2 %.

Важно отметить, что модель WRF версии 3.6.1 стала более точно рассчитывать сумму осадков при выпадении сильных снегопадов на Среднем Урале, что проявилось в уменьшении числа ложных тревог ($N_{\text{лт}}$) и пропусков явления ($N_{\text{пя}}$).

Рассматриваемый регион – Урал – относится к районам со сложной орографией. В западной части – Предуралье, расположенной на восточной окраине Русской равнины, и в восточной части региона – Зауралье, занимаемой западную окраину Западно-Сибирской равнины, преобладает низменный и равнинный рельеф. Горная часть региона представлена Северным и Средним Уралом. Высота расположения метеорологических станций изменяется от 62 до 463 м над уровнем моря.

Таблица 3

Оценка прогноза осадков по модели WRF (версии 3.2.1/ 3.6.1) в зависимости от особенностей рельефа региона

Показатели успешности	Предуралье		Зауралье	
	Заблаговременность прогноза, ч			
	15	27	15	27
T	0,61 / 0,65	0,20 / 0,38	0,33 / 0,45	0,14 / 0,19
OPR	74,9 / 80,9	63,4 / 65,4	70,8 / 77,0	57,9 / 61,3
U	64,5 / 69,5	53,1 / 56,9	55,9 / 63,1	41,6 / 49,1
U_o	62,7 / 67,3	53,7 / 56,1	50,7 / 56,6	41,3 / 45,1
$U_{\text{бо}}$	82,3 / 80,6	39,4 / 60,8	89,6 / 82,6	41,7 / 70,4
P_o	96,4 / 94,3	95,4 / 90,6	97,5 / 92,5	91,6 / 84,7
$P_{\text{бо}}$	19,6 / 34,8	3,8 / 17,3	21,3 / 40,7	4,4 / 24,5
δ	0,22 / 0,16	0,15 / 0,14	0,33 / 0,16	0,28 / 0,23
σ	1,12 / 1,06	1,91 / 1,92	2,11 / 1,93	1,08 / 0,94
$P_{<3}$	97,1 / 97,4	89,7 / 91,8	76,8 / 82,1	91,0 / 92,1
$N_{\text{лт}}$	12 / 6	11 / 8	6 / 3	17 / 14
$N_{\text{пя}}$	3 / 2	7 / 5	2 / 2	8 / 6

Показатели успешности прогноза осадков по модели WRF в зависимости от рельефа территории представлены в табл. 3. Модельный прогноз осадков в холодный период года для территории Предуралья имеет более высокую успешность, чем для Зауралья. При переходе на новую версию модели повысилось качество прогностических данных, но значительное улучшение наблюдается только по одному показателю: процент успешных прогнозов отсутствия осадков при заблаговременности 27 ч, который увеличился с 39,4 до 60,8 % для Предуралья и с 41,7 до 70,4 % для Зауралья. Надежность количественного прогноза для Предуралья выше при заблаговременности 15 ч, а для Зауралья – при заблаговременности 27 ч, что подтверждается и аналогичным распределением среднеквадратичной и абсолютной ошибок.

Интересно отметить, что минимальные числа ложных тревог и пропусков явления отмечаются в Зауралье при заблаговременности прогнозов 15 ч. При этом переход на новую версию модели обеспечивает сокращение «ложных тревог» на 50 %. Максимальные числа ложных тревог и пропусков явления отмечаются также в Зауралье, но при времени прогнозирования 27 ч. В этом случае новая версия модели обеспечивает лишь их незначительное уменьшение.

Точность прогноза осадков по мезомасштабным моделям атмосферы зависит не только от параметризации физических процессов и пространственного разрешения [4; 5; 10], но и от синоптической обстановки, учет которой позволяет устранить часть неопределенностей выходной продукции, вызванных несовершенством параметризации. В данной работе в качестве наиболее простого и понятного параметра, учитывающего синоптическое положение пункта прогноза, используется приземное барическое поле. Так, в табл. 4 представлены показатели успешности прогноза осадков на Среднем Урале в зависимости от типа барического поля.

Таблица 4

**Оценка качества прогноза осадков по модели WRF разных версий (3.2.1/3.6.1)
в зависимости от типа барического поля**

Показатели успешности	Тип приземного барического поля					
	малоградиентное		циклоническое		антициклоническое	
	Заблаговременность прогноза, ч					
	15	27	15	27	15	27
T	0,45 / 0,57	0,18 / 0,22	0,36 / 0,48	0,25 / 0,25	0,42 / 0,55	0,23 / 0,35
OPR	67,9 / 73,6	55,2 / 55,5	79,4 / 79,7	64,4 / 69,7	69,9 / 75,9	59,5 / 62,7
U	38,5 / 49,7	31,3 / 33,7	76,5 / 80,8	69,9 / 70,3	50,0 / 60,1	38,4 / 44,8
U ₀	26,6 / 34,5	30,9 / 33,6	80,4 / 83,5	69,9 / 75,3	45,7 / 48,0	37,7 / 37,9
U ₆₀	91,8 / 72,2	100,0 / 50,0	16,3 / 52,5	–* / 34,6	86,3 / 94,4	58,8 / 69,2
Π ₀	93,6 / 64,8	100,0 / 99,0	93,7 / 94,9	100,0 / 89,3	96,6 / 96,0	96,5 / 81,1
Π ₆₀	21,8 / 42,6	0,9 / 0,5	5,1 / 23,3	–* / 16,1	15,9 / 39,1	3,0 / 24,1
δ	0,12 / 0,08	0,73 / 0,73	0,35 / 0,38	0,04 / 0,34	0,06 / 0,10	0,23 / 0,16
σ	0,57 / 0,43	1,94 / 1,95	1,55 / 1,53	2,76 / 1,53	0,06 / 0,79	0,23 / 1,61
P _{<3}	99,7 / 99,7	91,2 / 91,3	94,8 / 94,8	86,8 / 90,0	98,4 / 98,5	94,7 / 95,0
N _{лт}	0 / 0	7 / 6	17 / 8	18 / 14	1 / 1	3 / 2
N _{ня}	0 / 0	2 / 2	4 / 3	12 / 8	1 / 1	1 / 1

Примечание: *– расчет не производился, так как модель не прогнозировала отсутствие осадков.

Сравнивая показатели успешности прогноза осадков по модели WRF при разных типах барических полей, можно отметить в основном повышение качества прогностических данных при переходе к новой версии модели. Наиболее высокая оправдываемость прогноза осадков наблюдается при циклоническом поле с заблаговременностью 15 ч, самая низкая предупрежденность прогноза отсутствия осадков отмечается при малоградиентном поле с заблаговременностью 27 ч, и при переходе к новой версии модели данный показатель ухудшился. Надежность количественного прогноза осадков, полученного по новой версии модели, возросла, особенно для циклонических полей при заблаговременности 27 ч.

Сильные снегопады выпадали на территории Среднего Урала в марте 2016 г. при всех типах барического поля. Модельный прогноз сильных осадков над Средним Уралом менее успешен при циклоническом поле, что подтверждается самым большим числом ложных тревог и пропусков явления. В целом число ложных тревог значительно превосходит число пропусков явления, то есть модель WRF обеих версий переоценивает интенсивность выпадающих осадков. Тем не менее переход на новую версию модели обеспечивает сокращение числа ложных тревог более чем на 50 %, а числа пропусков явления – до 33 %.

В тех случаях, когда на исследуемой территории наблюдается антициклоническое поле, выпадение сильных снегопадов связано с теплым фронтом, как правило, полярной системы, которая развивается по западной периферии антициклонов с центром над Западной Сибирью. В подобных ситуациях ложные тревоги характерны для Зауралья, пропуски явления – для Предуралья, поэтому можно предположить, что модель WRF недостаточно учитывает сложный рельеф региона.

При малоградиентном барическом поле, когда формируются сильные осадки на Среднем Урале, обнаруживается хорошо выраженный фронтальный раздел, при этом его прогностическое положение чаще всего оказывается смещено на север.

Рассмотрим в качестве примера случай, когда в условиях малоградиентного поля успешность прогноза сильного снегопада оказалась самой низкой (рис.). Показатели успешности прогноза осадков по модели WRF версии 3.2.1/3.6.1 от 0 ч ВСВ 23.03.2016 на срок 27 ч следующие: величина критерия Пирси–Обухова составила 0,16/0,04, надежность количественного прогноза 83/81 %, величины абсолютных ошибок – 0,9/0,7 мм и относительных – 72/55 %, числа ложных тревог 5/5 и пропусков явления 1/2.

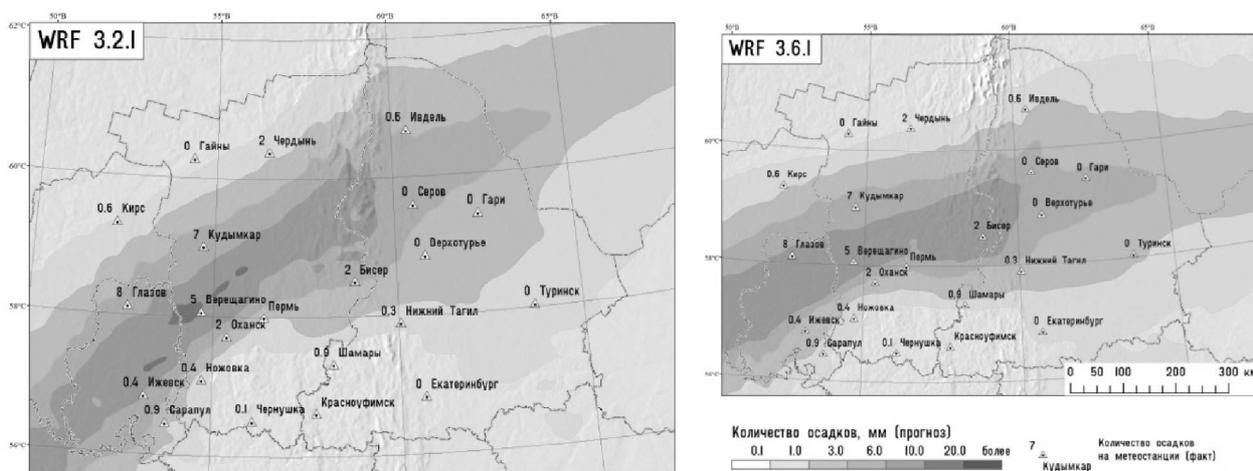


Рис. Фактические и прогностические суммы осадков на 3 ч ВСВ 24.03.2016 г.

Цифры у метеостанций – суммы фактически выпавших осадков за полусутки, мм.

Цветные поля – суммы прогностических осадков по модели WRF версии 3.2.1 и 3.6.1.

В ночные часы 24 марта 2016 г. на территории Среднего Урала – в Предуралье в большинстве районов, в Зауралье местами – отмечались небольшие и умеренные осадки до 5 мм, и только на метеостанциях Кудымкар и Глазов зафиксировано выпадение сильных снегопадов с количеством 7 и 8 мм соответственно. Максимальная величина количества осадков, рассчитанная мезомасштабной моделью, оказалась точнее по версии 3.2.1., составила 8,5 мм и относилась к метеостанции Губаха, в то время как по версии 3.6.1 сумма осадков прогнозировалась 10,0 мм и ожидалась на метеостанции Верещагино. Модельная зона осадков наибольшей интенсивности оказалась спрогнозирована точнее с помощью мезомасштабной модели новой версии, хотя и на расстоянии более 100 км от фактического положения. Анализ прогностических полей позволил выявить ошибки в начальных данных модели WRF, то есть глобальная модель GFS неверно прогнозировала зону значительных осадков, обозначив её по центральной части Среднего Урала. Работа над устранением ошибок в начальных данных мезомасштабной модели WRF ведется постоянно за счет совершенствования глобальной модели GFS.

Заключение

Переход на новую версию модели WRF имеет большую практическую значимость, так как позволяет выпускать более точный прогноз осадков в холодное время года, особенно сильной интенсивности. Рекомендуется применять полученные на основе модели WRF суммы осадков в качестве дополнительной информации при составлении краткосрочного прогноза осадков в холодный период года на Среднем Урале с учетом синоптического положения и рельефа в пункте прогноза.

Авторы выражают благодарность сотрудникам научно-образовательного центра «Параллельные и распределенные вычисления» Пермского государственного национального исследовательского университета за предоставленные вычислительные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методический кабинет Гидрометцентра России. URL: <http://method.meteorf.ru> (дата обращения: 7.08.2017).
2. Торопов П.А., Шестакова А.А. Оценка качества моделирования новороссийской боры с помощью модели WRF-ARW // Метеорология и гидрология. 2014. № 7. С. 38-51.
3. Ширяев М.В., Рубинштейн К.Г. Прогноз категорий опасности метеорологических явлений // Тр. Гидрометцентра России. 2012. Вып. 347. С. 144-158.
4. Gascón E., Sanchez J.L., Charalambous D., Fernández-González S., Lopez L., Garcia-Ortega E., Merino A. Numerical diagnosis of a heavy snowfall event in the center of the Iberian Peninsula // Atmos. Res. 2015. Vol. 153. P. 250-263.
5. Milrad S.M., Gyakum J.R., Lombardo K., Atallah E.H. On the dynamics, thermodynamics, and forecast model evaluation of two snow-burst events in Southern Alberta // Wea. Forecasting. 2014. Vol. 29. N. 3. P. 725-749.
6. Wang H., Yu E., Yang S. An exceptionally heavy snowfall in Northeast China: Large-scale circulation anomalies and hindcast of the NCAR WRF model // Meteorol. and Atmos. Phys. 2011. Vol. 113. Iss. 1. P. 11-25.
7. Бычкова В.И., Рубинштейн К.Г. Предварительные результаты испытания алгоритма краткосрочного прогноза метелей // Метеорология и гидрология. 2013. № 6. С. 30-42.
8. Гончуков Л.В., Ламаш Б.Е. Численный прогноз опасных явлений погоды по северу Приморского края // Вестн. Дальневосточного отд. РАН. 2010. № 6. С. 17-23.
9. Калинин Н.А., Попова Е.В. Численный прогноз опасных и неблагоприятных снегопадов в Пермском крае 15–16 марта 2013 года // Учен. записки РГГМУ. 2013. № 32. С. 7-17.
10. Мартынова Ю.В., Зарипов Р.Б., Крупчатников В.Н., Петров А.П. Оценка качества прогноза динамики атмосферы в Сибирском регионе мезомасштабной моделью WRF-ARW // Метеорология и гидрология. 2014. № 7. С. 14-24.
11. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 308 с.
12. Калинин Н.А., Ветров А.Л., Пищальникова Е.В., Связов Е.М., Шихов А.Н. Оценка качества прогноза очень сильного снегопада на Урале с помощью модели WRF // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 55-62.
13. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД № 52.27.284-91. Комитет Гидрометеорологии при Кабинете министров СССР. М., 1991. 149 с.
14. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Руководящий документ РД 52.27.724-2009. Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. 62 с.
15. Пищальникова Е.В., Калинин Н.А., Ветров А.Л., Шихов А.Н., Связов Е.М., Быков А.В. Прогноз сильного и очень сильного снегопада на Урале на основе модели WRF // Тр. ГМЦ. 2016. № 359. С. 58-72.

Поступила в редакцию 27.04.2018

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

Крючков Андрей Дмитриевич, ассистент кафедры метеорологии и охраны атмосферы
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: Candy55man@ya.ru

E.V. Pischalnikova, A.D. Kryuchkov

THE FORECAST OF PRECIPITATION IN COLD SEASON BY THE WRF MODEL OF DIFFERENT VERSIONS IN THE URALS

The success of the forecast of precipitation of different intensity in cold season by the mesolarge-scale WRF model of versions 3.2.1 and 3.6.1 in the Urals is shown in this article. Assessment of quality of the numerical forecast at different advance time depending on features of a relief of the region and type of the field of pressure is executed. The mesolarge-scale model predicts the existence and the amount of precipitation during a cold period of a year more successfully for the territory of the Cis-Urals. It is established that the WRF model of version 3.6.1 began to calculate more precisely the amount of precipitation at heavy snowfalls in the Urals that was shown in reduction of number of false alarms and admissions of the phenomenon. An example when the mesolarge-scale model issues the forecast of rainfall of poor quality is given. It is revealed that initial data of the mesolarge-scale WRF model contain mistakes which elimination directly depends on the improvement of the global GFS model.

Keywords: WRF model, heavy snowfall, numerical forecast, Urals.

REFERENCES

1. *Metodicheskiy kabinet Gidromettsentra Rossii* [Methodical cabinet of the Hydrometeorological Center of Russia]. Available at: <http://method.meteorf.ru> (accessed: 7.08.2017) (in Russ.).
2. Toropov P.A., Shestakova A.A. [Estimation of the quality of modeling of the Novorossiysk boron by the WRF-ARW model] in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, vol. 7, pp. 38–51 (in Russ.).
3. Shirayayev M.V., Rubinshteyn K.G. [Forecast of hazard categories of meteorological phenomena] *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 2012, iss. 347, pp. 144–158 (in Russ.).
4. Gascon E., Sanchez J.L., Charalambous D., Fernandez-Gonzalez S., Lopez L., Garcia-Ortega E., Merino A. Numerical diagnosis of a heavy snowfall event in the center of the Iberian Peninsula, in *Journal of Atmospheric research*, 2015, vol. 153, pp. 250–263.
5. Milrad S.M., Gyakum J.R., Lombardo K., Atallah E.H. On the dynamics, thermodynamics, and forecast model evaluation of two snow-burst events in Southern Alberta, in *Journal of Weather and Forecasting*, 2014, vol. 29, no. 3, pp. 725–749.
6. Wang H., Yu E., Yang S. An exceptionally heavy snowfall in Northeast china: Large-scale circulation anomalies and hindcast of the NCAR WRF model, in *Journal of Meteorology and Atmospheric Physics*, 2011, vol. 113, iss. 1, pp. 11–25.
7. Bychkova V.I., Rubinshteyn K.G. [Preliminary results of testing the short-range forecast algorithm for snowstorms] in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, vol. 6, pp. 30–42 (in Russ.).
8. Gonchukov L.V., Lamash B.E. [Numerical prediction of hazardous weather phenomena in the north of Primorsky Krai] in *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN*, 2010, vol. 6, pp. 17–23 (in Russ.).
9. Kalinin N.A., Popova E.V. [Numerical forecast of dangerous and unfavorable snowfalls in the Perm region on March 15–16, 2013] in *Uchen. zap. RGGMU. SPb.: Izd. RGGMU*, 2013, vol. 32, pp. 7–17 (in Russ.).
10. Martynova YU.V., Zaripov R.B., Krupchatnikov V.N., Petrov A.P. [Estimation of the quality of the forecast of atmospheric dynamics in the Siberian region by the mesoscale model WRF-ARW] in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, vol. 7, pp. 14–24 (in Russ.).
11. Kalinin N.A. *Monitoring, modelirovaniye i prognoz sostoyaniya atmosfery v umerennykh shirotakh* [Monitoring, modeling and forecasting of the state of the atmosphere in temperate latitudes], Perm: Perm. gos. nats. issled. un-t., 2015, 308 p. (in Russ.).
12. Kalinin N.A., Vetrov A.L., Pischalnikova E.V., Sviyazov E.M., Shikhov A.N. [Estimation of the quality of the forecast of a very heavy snowfall in the Urals using the WRF model] in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2016, vol. 3, pp. 55–62 (in Russ.).
13. *Metodicheskiye ukazaniya. Provedeniye proizvodstvennykh (operativnykh) ispytaniy novykh i usovershenstvovannykh metodov gidrometeorologicheskikh i geliogeofizicheskikh prognozov. RD № 52.27.284-91 / Komitet Gidrometeorologii pri Kabinete ministrov SSSR* [Methodical instructions. Conducting operational (operational) tests of new and improved methods of hydrometeorological and heliogeophysical forecasts. GD № 52.27.284-91/ Committee of Hydrometeorology under the Cabinet of Ministers of the USSR], M., 1991, 149 p. (in Russ.).
14. *Nastavleniye po kratkosrochnym prognozam pogody obshchego naznacheniya / Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet). Rukovodiyashchiy dokument RD 52.27.724-2009* [Manual on short-term weather forecasts for general purposes / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Guideline document GD 52.27.724-2009.] Obninsk: IG-SOTSIN, 2009, 62 p. (in Russ.).

15. Pischalnikova E.V., Kalinin N.A., Vetrov A.L., Shikhov A.N., Sviyazov E.M., Bykov A.V. [Forecast of a strong and very strong snowfall in the Urals on the basis of the WRF model] in Trudy Gidromettsentra Rossii, 2016, iss. 359, pp. 58–72 (in Russ.).

Received 27.04.2018

Pischalnikova E.V., Candidate of Geography, weather forecaster,
Perm center for hydrometeorology and environment monitoring
Novogayvinskaya st., 70, Perm, Russia, 614030;
Associate Professor at Department of Meteorology and Air Protection
Perm State University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990
E-mail: evapopova@rambler.ru

Kryuchkov A.D., Assistant at Department of Meteorology and Atmosphere Protection
Perm State University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990
E-mail: Candy55man@ya.ru