

ВЛИЯНИЕ НА ПРОГНОЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ И РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РАСЧЕТА ОСАДКОВ НАД РЕГИОНАМИ ЕВРОПЫ*

Р. Ю. ИГНАТОВ

Гидрометцентр России, Москва

e-mail: ignatovroman@mail.ru

The results of two numeric experiments with non-hydrostatic model MM5 are analyzed. The forecast of precipitation employing the non-hydrostatic model is shown to be more robust than the forecast relying on the hydrostatic model. The horizontal resolution in the calculations does not affect the forecast of precipitation.

Введение

В настоящее время во всех крупных прогностических центрах мира основой технологии прогноза погоды является крупномасштабная (как правило, глобальная) гидродинамическая модель. Несмотря на успехи в гидродинамическом моделировании и системе усвоения данных в последние десятилетия, крупномасштабные модели имеют в ряде регионов различные систематические ошибки, природу которых установить непросто. Наиболее вероятным источником подобных ошибок могут являться недостатки в описании свойств подстилающей поверхности в сетке с большими пространственными шагами. Возможны также ошибки в описании физических процессов в атмосфере, например в описании облачности, связанные с недостаточным пространственным разрешением моделей. Во всех ведущих прогностических центрах развиваются различные подходы по уменьшению этой систематики, прежде всего за счет увеличения пространственного разрешения моделей. Одним из методов увеличения пространственного разрешения является использование региональных моделей. При этом начальные данные и краевые условия получаются из анализов и прогнозов по крупномасштабной модели.

В данной работе описываются эксперименты с использованием региональной негидростатической мезометеорологической модели пятой версии (MM5), разработанной в США. Эта модель свободно распространяема через Интернет, хорошо документирована и внедрена для решения большого числа прикладных метеорологических задач и оперативной

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке INTAS (грант № 03-51-5296), Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-05-64151), ОФИ (грант № 05-05-08081), NATO ESP CLG (грант № 981842).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2006.

работы. Исходный код модели на Фортране и сопутствующих программ доступен по адресу [1], описание самой модели, а также системы подготовки данных и обработки результатов доступны по адресу [2].

В модели имеется обширная библиотека процедур параметризаций основных физических процессов. Это дает возможность проводить эксперименты с различными комбинациями методов описания физических процессов, сравнивать качество различных алгоритмов и процедур и отбирать для дальнейшего использования наилучшие из них для местных условий и характерных процессов, а при наличии вычислительных ресурсов строить ансамбль прогнозов, члены которого отличаются, например, набором используемых параметризаций.

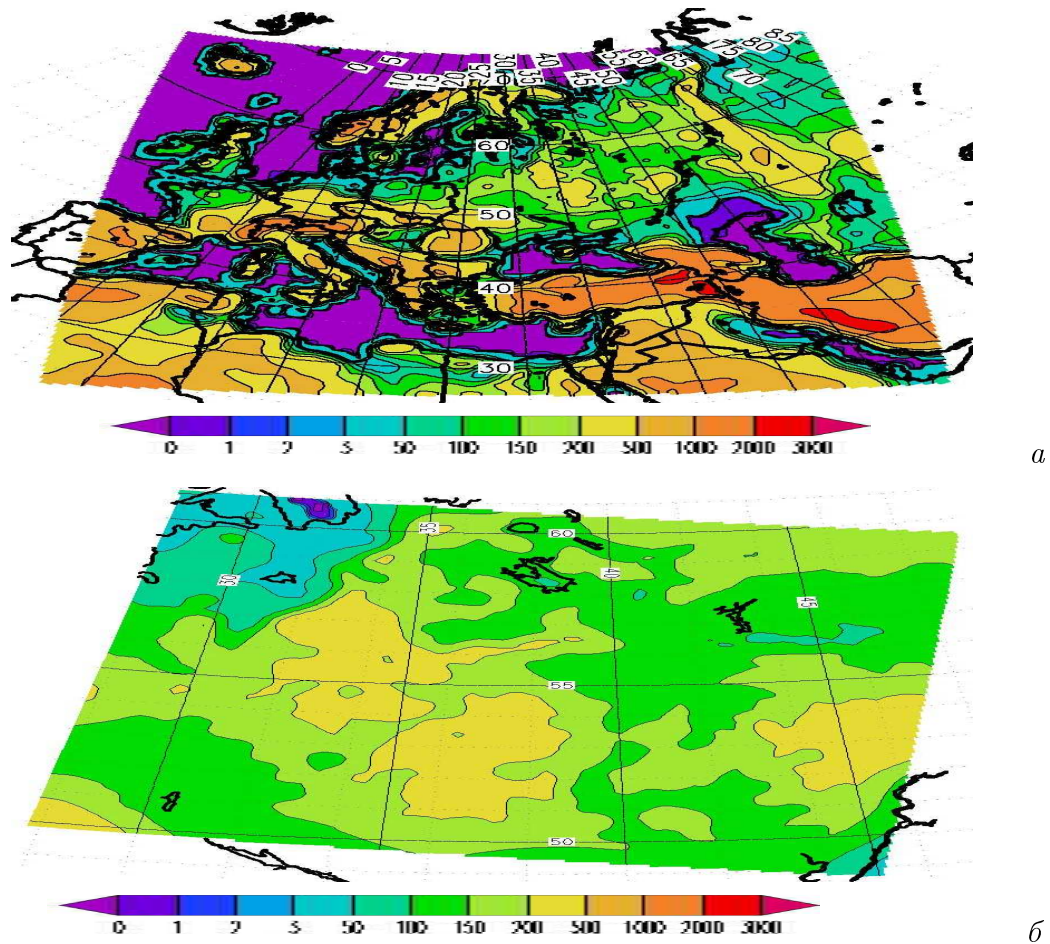
1. Постановка экспериментов

Проведено два численных эксперимента с моделью ММ5. Исследовалось влияние пространственного разрешения на прогноз осадков различной заблаговременности, проводилось сравнение прогностических осадков, рассчитанных с использованием двух различных параметризаций конвекции. Исследовалась также зависимость качества прогнозов от его заблаговременности (24, 48 и 72 ч).

В базовом эксперименте модель ММ5 стартовала четыре раза в сутки (в 00, 06, 12 и 18 СГВ) в течение центральных месяцев сезонов 1999 г. (январь, апрель, июль и октябрь). В качестве начальных и граничных условий задавались поля реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [3]. Использовались данные по геопотенциалу, температуре, влажности, зональному и меридиональному компонентам ветра на 23 изобарических поверхностях (1000, 925, 850, 775, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7, 5, 3, 2, 1 ГПа). Кроме того, использовались приземные характеристики атмосферы и свойства подстилающей поверхности. Горизонтальный шаг сетки в данных реанализа составлял 2.5° по широте и долготе. Граничные условия обновлялись каждые 6 ч. Расчет проводился на 72 ч, данные сбрасывались в файл каждые 12 ч. Таким образом, для каждого месяца произведено 124 модельных прогноза. Из полученных результатов для всех случаев выбраны прогнозы на 24, 48 и 72 часа, результаты которых усреднялись и анализировались. Расчеты велись на двух расчетных сетках. В англоязычной литературе самая грубая сетка, в которую вложены сетки с более высоким разрешением, называется материнской. Для удобства будем придерживаться этой терминологии. В базовом эксперименте материнская область охватывает большую часть Европы, другая, вложенная в нее, покрывает среднюю полосу Европейской территории России. Представление о расположении областей можно получить из рисунка, где приведена орография (абсолютные высоты) материнской и вложенной областей. Горизонтальный шаг в материнской области составляет 54 км, во вложенной — 18 км.

Подстилающая поверхность представлена в модели достаточно подробно, все основные типы природных зон расположены в соответствии с имеющимися детальными атласами.

Для подготовки информации об орографии и свойствах подстилающей поверхности для области с пространственным шагом 54 км использовались глобальные наборы данных с 30-минутным разрешением (около 56 км), для области с 18-километровым шагом — наборы с 10-минутным разрешением (около 19 км). Эти данные переводились на расчетные сетки модели.



Абсолютные высоты (м) для двух сеток, используемых в эксперименте с моделью: *а* — материнская сетка (горизонтальный шаг 54 км), *б* — вложенная сетка (горизонтальный шаг 18 км).

В данном эксперименте в модели были заданы 28 сигма-поверхностей, значения которых представлены в табл. 1. Шаг по времени в материнской области составил 120 с, во вложенной сетке — в три раза меньше (40 с). Радиация в эксперименте рассчитывалась каждые 30 мин.

Второй эксперимент от базового отличался другой параметризацией конвекции в материнской сетке. Прогнозы рассчитывались до 48 ч. Остальные условия двух экспериментов были идентичными.

В первом эксперименте для расчета конвекции в материнской области использована параметризация Каина — Фритса [4, 5], где используется усовершенствованная схема перемешивания для определения вовлечения/оттока воздуха в облачность. В рамках па-

Т а б л и ц а 1. Значения сигма-поверхностей в эксперименте с моделью MM5

Номер поверхности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение σ	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.2	0.3	0.4	0.48	0.56
Номер поверхности	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Значение σ	0.64	0.7	0.76	0.81	0.855	0.875	0.895	0.91	0.925	0.94
Номер поверхности	21	22	23	24	25	26	27	28		
Значение σ	0.95	0.96	0.97	0.98	0.986	0.992	0.999	1		

раметризации рассчитывались свойства атмосферы в областях восходящих и нисходящих движений. При этом учитывалось влияние сдвига ветра на осадки.

Во втором эксперименте на материнской сетке 54 км использована параметризация конвекции Бетса — Миллера [6]. Эту схему в последнее время стали называть также схемой Бетса — Миллера — Янича, поскольку она модифицирована Яничем [7] при ее адаптации к модели Eta. Схема базируется на приспособлении начальных профилей температуры и влажности за определенное время релаксации к некоторым реперным профилям, характеризующим осредненное состояние атмосферы после реализации глубокой конвекции. В схеме хорошо подобраны реперные профили температуры и влажности после реализации конвекции, что позволяет получить неплохие результаты при ее использовании.

2. Анализ результатов экспериментов

Для оценки влияния пространственного разрешения по результатам базового эксперимента построены карты и рассчитаны средние по площади величины среднемесячной интенсивности осадков в июле для осредненных прогнозов на 24, 48 и 72 ч в Центральной России для двух сеток. В каждом из этих трех случаев в осреднении участвовал 31 прогноз. В качестве эталона взят архив среднемесячных осадков проекта GPCP [8]. Дополнительно рассчитывались некоторые оценки осадков ECMWF. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Видно, что осредненные по центральной части Европейской территории России прогнозы от разрешения практически не зависят и что прогнозы осадков по модели ММ5 в июле по сравнению с эталоном завышены, причем чем больше заблаговременность прогноза, тем осадки ближе к эталону.

В пределах материнской сетки с разрешением 54 км выбраны шесть регионов с разными климатическими условиями. Прогнозы осадков усреднены по этим территориям. Результаты представлены в табл. 3.

Какой-либо закономерности, общей для всех регионов, в зависимости осадков от длительности прогноза не просматривается. Есть тенденция завышения моделью ММ5 прогноза осадков в южных широтах, например, в Средиземноморье и в Южном федеральном округе расчетные осадки больше эталонных. Ближе всего к GPCP расчетные осадки оказались над Центральной и Западной Европой и над регионом Северо-Западной Европы, где они составляют от 90 до 110 % в зависимости от заблаговременности. Также весьма

Т а б л и ц а 2. Среднемесячные величины интенсивности осадков (мм/сут.) и их отклонения от эталона в июле 1999 г., осредненные по центральной части Европейской территории России в базовом эксперименте (разрешение 18 и 54 км, прогнозы на 24, 48 и 72 ч), в реанализе ECMWF и осадки по данным GPCP

Шаг сетки, км	24 ч			48 ч			72 ч			ECMWF			GPCP
	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.
18	3.54	1.59	182	2.96	1.02	152	2.21	0.27	114	1.81	-0.13	93	1.94
54	3.57	1.63	182	2.96	1.02	152	2.21	0.27	114	1.81	-0.13	93	1.94

Примечание. Здесь и в табл. 3 Ср. — среднее по области значение, Абсол. — абсолютная разница с GPCP, Отн. — доля (в процентах) от осадков GPCP.

Т а б л и ц а 3. Среднемесячная интенсивность осадков (мм/сут.) и их отклонения от эталона в июле 1999 г., осредненные по пяти регионам в базовом и втором экспериментах (разрешение 54 км, прогнозы на 24, 48 и 72 ч), в реанализе ECMWF и осадки в данных GPCP

Регион	24 ч			48 ч			72 ч			ECMWF			GPCP
	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.	Абсол.	Отн.	Ср.
Северная Европа	2.09	-0.59	78	2.43	-0.24	91	2.53	-0.15	95	1.81	-0.86	68	2.68
	2.47	-0.21	92	2.74	0.06	102							
Центральная и Западная Европа	2.07	-0.22	91	2.24	-0.04	98	2.05	-0.23	90	1.20	-1.09	52	2.28
	2.58	0.30	113	2.45	0.17	107							
Средиземноморье	1.15	0.26	129	1.28	0.39	144	1.17	0.28	132	0.56	-0.33	63	0.89
	1.23	0.34	138	1.24	0.35	139							
Северной Европейской территории России	2.30	0.29	114	2.29	0.28	114	1.77	-0.25	88	1.91	-0.11	94	2.02
	2.64	0.62	131	2.57	0.55	127							
Южный федеральный округ	1.90	0.81	175	1.80	0.71	165	1.42	0.33	131	0.87	-0.22	80	1.09
	1.91	0.82	175	1.70	0.61	156							
Северо-запад Европы	2.26	0.10	105	2.38	0.22	110	1.99	-0.17	92	1.62	-0.54	75	2.16
	2.63	0.47	122	2.64	0.48	122							

Примечание. Результаты, полученные во втором эксперименте, даны жирным шрифтом.

близки к эталону осадки над Северной Европой при заблаговременностях 48 и 72 ч и составляют соответственно 91 и 95% от осадков GPCP. Осадки реанализа ECMWF везде меньше эталонных, ближе всего к ним — над северной частью Европейской территории России (94%).

Сравнивая результаты двух экспериментов (см. табл. 3), можно сказать, что среднемесячные усредненные прогнозы по большинству регионов в базовом эксперименте ближе к эталону (GPCP), чем во втором эксперименте. Только в северной части Европы во втором эксперименте осадки оказались ближе к эталону, чем в базовом.

Список литературы

- [1] <ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3>
- [2] http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/MM5_tut_Web_notes/tutorialTOC.htm
- [3] ENGELEN R.J., SEPHERS G.L. Use of the ECMWF reanalysis data in the assessment of the role of the hydrological cycle in the tropical intraseasonal oscillation // Proc. of the Second WCRP Intern.

Conf. on Reanalyses (Wokefield Park, nr. Reading, UK, 23–27 Aug. 1999), Jan. 2000, WCRP-109, WMO/TD-N 985. P. 201–204.

- [4] KAIN J.S., FRITSCH J.M. Convective Parameterization for Mesoscale Models: the Kain — Fritsch Scheme. The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models / K.A. Emanuel, D.J. Raymond (Eds). Amer. Meteor. Soc., 1993. 246 p.
- [5] KAIN J.S. The Kain — Fritsch Convective Parameterization: an Update
<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5v2/whatisnewinv2.html>
- [6] BETTS A.K., MILLER M.J. A new convective adjustment scheme // ECMWF Techn. Rep. N 43, 1984.
- [7] JANJIC Z.I. The step-mountain eta coordinate model: further development of the convection, viscous sublayer, and turbulent closure schemes // Mon. Wea. Rev. 1994. Vol. 122, N 5. P. 927–945.
- [8] HUFFMAN G.J., ADLER R.F., ARKIN P.A. ET AL. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Data Set // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1997. Vol. 78. P. 5–20.

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.