

Шарапов Р.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: info@vanta.ru*

### Математические модели прогнозирования погоды

В основе любой современной модели прогнозирования погоды лежит математическая модель атмосферы, предложенная Вильгельмом Бьеркнесом [1, 2]. Для прогнозирования Бьеркнес предложил использовать систему уравнений: одно уравнение для каждой зависимой переменной, описывающей атмосферу. В частности, он выделил семь основных переменных: давление, температура, плотность (density), влажность, и три компонента скорости воздушных потоков (x, y, z velocity).

Для получения корректных прогнозов необходимо значительное число первичных данных метеоспутников и метеостанций. Наибольшее разрешение самых лучших современных моделей прогнозирования составляет до 3-х километров (в большинстве случаев 25 км) при использовании алгоритмов пространственной интерполяции.

В мире существует три основных центра сбора метеоданных, где реализуются модели прогнозирования представляющие собой различные подходы к решению уравнений динамики атмосферы, ядро которых содержит уравнения Ричардсона [3]:

1. Global Forecast System (GFS) – (Глобальная Система Прогнозирования) оперируется NCEP (National Centers for Environmental Prediction, Национальные Центры для Предсказания Окружающей Среды), которые является подразделением NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, Национальное управление океанических и атмосферных исследований), NWS (National Weather Service, Национальная Служба Погоды), США [4, 5, 6, 7].

GFS модель обновляется четыре раза в день (00:00, 06:00, 12:00 и 18:00 UTC) и выдает прогнозы до 16 суток (на 384 часа). Модель вы-полняется в двух частях: первая часть имеет более высокое разрешение и выходит до 192 часов (8 дней), вторая часть проходит от 192 до 384 часов (16 дней).

NAM (North American Mesoscale, Северо-Американская Мезошкала) региональная мезошкальная модель с расширенными данными о рельефе и улучшенной параметризацией поверхности и процесса предсказания.

Модель WRF (Weather Research and Forecasting, Исследования и Прогнозирование Погоды) является мезошкальной числовой моделью для предсказания погоды следующего поколения созданной с целью обеспечить потребности как в оперативном прогнозировании, так и в исследованиях атмосферы. WRF обновляется 4 раза в день и генерирует прогнозы на 78 часов вперед с шагом в 1 час. Прогнозы включают скорость и направление ветра, порывы ветра, температуру, общую облачность и осадки [8].

2. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), г. Реддинг, Великобритания. На сегодняшний день эта модель является самой новой, быстро развивается и является лидером по точности долгосрочных прогнозов [9].

3. Модель UкMet является детищем самой старой метеорологической службы мира MetOffice – Британской правительственного метеобюро. Считается, что она богаче других по научному потенциалу и дает самый точный краткосрочный прогноз.

В России главной организацией, выполняющей прогнозирование погоды, является Гидрометцентр России, который также использует гидродинамические модели атмосферы, в которых представлены основные погодообразующие механизмы: облачно-радиационные взаимодействия, фазовые переходы влаги, турбулентность в пограничном слое, преобразования тепла и влаги в верхнем слое почвы, взаимодействие с растительным покровом и т.д. Однако часть физических процессов при этом сознательно не учитывается или огрубляется из-за ограниченности ресурсов.

Гидродинамические модели прогнозируют не точечные, а осредненные по ячейкам расчетной координатной сетки характеристики. Все многообразие свойств атмосферы и подстилающей поверхности внутри ячейки представляется пространственно-осредненными сеточными значениями.

Пространственно-временная дискретизация и сглаживание сказываются на способности моделей воспроизводить локальные особенности метеорологических полей и, в первую очередь, экстремальные характеристики и резкие изменения погоды, как правило, представляющие наибольший интерес для потребителей прогнозов.

У всех этих моделей есть существенная ограниченность. Систематические ошибки возникают прежде всего из-за недостатка исходных данных. Например, в Европе среднее расстояние между метеорологическими станциями 25км, то в России это 100 км в лучшем случае для Европейской части (для Сибири, как вы сами понимаете, может быть и 1000км между станциями). Также все эти модели имеют разрешение 50-100 км, слабо учитывают рельеф, акватории, и локальные особенности территории.

Например, для Владимирской области составляются прогнозы для основных населенных пунктов. За основу берутся данные нескольких метеостанций Владимирской (Владимир, Гусь-Хрустальный) и соседних (Выкса, Павловский Посад, Волжская ГМО) областей. Тем не менее, получаемые прогнозы являются достаточно приближенными: они слабо привязаны к населенным пунктам и являются недостаточно точными [1].

#### Литература

1. Шарапов Р.В. Адаптивное прогнозирование погоды с учетом локальных характеристик территории // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, №1, 2020. С. 55-60.
2. Bjerknes V. The problem of weather prediction, considered from the viewpoints of mechanics and physics // *Meteorol. Z.*, 1904, vol. 21. – P. 1-7.
3. Richardson L. *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge, The University press, 1922. 236 p.
4. Skamarock W.C. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 2008, 113 p.
5. Hamill T.M., Whitaker J.S. Increasing NOAA's computational capacity to improve global forecast modeling. A NOAA White Paper, 2010.
6. Deshpande M., Johny C.J., Kanase R. Implementation of Global Ensemble Forecast System (GEFS) at 12km Resolution // *Contribution from IITM Technical Report No.TR-06 ESSO/IITM/MM/TR/ 02(2020)/200*
7. Liu Q., Marchok T., Pan H.-L., Bender M., Lord S. Improvements in hurricane initialization and forecasting at NCEP with global and regional (GFDL) models. TPB 472, National Weather Service, U. S. Dept. of Commerce, 2000, 7 p.
8. Andersson E., Hollingsworth A. Typhoon bogus observations in the ECMWF data assimilation system. ECMWF Tech. Memo. 148, ECMWF, Reading, U. K. 1988.
9. Arakawa A., Mintz Y. The UCLA atmospheric circulation model. Dept. of Meteorology, U. California. 1974.