

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: sharapov76@gmail.com

Мезомасштабная модель WRF для прогнозирования погоды

Модель для исследования и прогноза погоды WRF (Weather Research and Forecast) разработана в Национальном центре атмосферных исследований NCAR (National Center for Atmospheric Research). Она применяется при решении широкого круга задач в масштабах от сотен метров до тысяч километров, для исследования возможности использования разных схем параметризации, сравнения с данными наблюдений, численного предсказания изменения погоды.

Модель WRF включает эластические негидростатические уравнения, которые учитывают неоднородность поверхности. Имеется возможность осуществлять расчеты во вложенных областях с односторонним или двухсторонним влиянием. Модель WRF использует зависящую от поверхности систему координат, сгущающиеся к поверхности Земли сетки, консервативные разностные схемы 2-го и 3-го порядков аппроксимации для нестационарных членов и 2-6 порядка – для адвективных.

В основе WRF-модели лежат прогностические уравнения, которые для (x, y, z) – координатной системы можно представить в виде [1]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho'}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{V} &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot (vU) + \frac{\partial p'}{\partial x} &= F_U \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \nabla \cdot (vV) + \frac{\partial p'}{\partial y} &= F_V \\ \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (vW) + \frac{\partial p'}{\partial z} + g\rho' &= F_W \\ \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \nabla \cdot (v\Theta) &= F_\Theta\end{aligned}$$

где $U = \rho u, V = \rho v, W = \rho w, \Theta = \rho \theta$

$$\mathbf{V} = (U, V, W) = \rho(u, v, w) = \rho \mathbf{v}$$

F_U, F_V, F_W, F_Θ – источниковые члены, $\mathbf{v} = (u, v, w)$ – вектор скорости ветра, ρ – плотность воздуха, p – давление, Θ – потенциальная температура воздуха, g – ускорение силы тяжести.

Индексом «0» обозначаются базовые значения для «стандартной» атмосферы.

Величина давление рассчитывается на основе уравнения состояния:

$$p = p_0 \left(\frac{R\Theta}{p_0} \right)^{\gamma}$$

Возмущения термодинамических переменных представляют собой отклонения от инвариантного по времени гидростатического состояния:

$$\begin{aligned}p &= p_0(z) + p' \\ \rho &= \rho_0(z) + \rho' \\ \Theta &= \rho_0(z)\Theta_0(z) + \Theta'\end{aligned}$$

В модели WRF заложены различные схемы параметризации. Эти схемы могут совмещаться друг с другом в любых вариациях. Модель может работать с разными схемами представления процессов подсеточного масштаба. Например, температура и влажность почвы вычисляются с использованием одной из трех многослойных моделей тепло- и влагообмена в почве. При моделировании микрофизики влаги используются восемь схем параметризации, которые различаются детализацией представления фазовых состояний атмосферной влаги и областью применения. Для расчетов параметров планетарного пограничного слоя и конвективных процессов применяются по три схемы параметризации. Для моделирования потоков,

коротковолновой радиации используются три схемы параметризации, для длинноволновой – две схемы.

Для географической привязки WRF моделей применяются глобальные топографические данные с разрешением от одного градуса до 30 секунд. Для того, чтобы задать первое приближение метеорологических полей используются архивные данные и данные предшествующих прогнозов. Архивные данные получаются из данных реанализа Национального центра охраны окружающей среды NCEP и Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ECMWF, данных регионального анализа и прогноза. Начальные и граничные условия WRF моделей формируются на основе данных объективного анализа. Объективный анализ метеорологических полей производится путем обработки начального приближения метеорологических полей и синоптических данных, данных о геопотенциале, ветре, температуре и относительной влажности воздуха на изобарических поверхностях.

В настоящее время используются два варианта реализации динамического ядра модели WRF: WRF-ARW и WRF-NMM. Динамическое ядро WRF-ARW (Advanced Research WRF) разработано в NCAR (National Center for Atmospheric Research). Динамическое ядро WRF-NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) разработано в NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Эти динамические ядра различаются набором зависимых переменных, вертикальной координатой, системой дифференциальных уравнений и численными методами для их интегрирования.

В WRF-ARW набора зависимых переменных включает отклонения потенциальной температуры, геопотенциала и давления от своих значений в гидростатическом равновесии, компоненты скорости в декартовых координатах. Система уравнений модели представляет собой негидростатические уравнения движения для сжимаемой жидкости (с возможностью вычислений и в гидростатическом режиме). Вертикальной координатой является сигма-координата, соответствующая рельефу местности. Уравнения дискретизируются на пространственной сетке Аракавы класса «С». Производится интегрирование уравнений по времени методами Рунге-Кутты третьего и второго порядка с использованием метода расщепления (с разным шагом интегрирования для быстрых и медленных процессов).

В WRF-NMM используется система уравнений для полностью сжимаемой жидкости с явным разделением составляющих, отвечающие за динамику в гидростатическом равновесии и вклад негидростатической динамики. Эти уравнения дискретизируются на сетке Аракавы класса «Е». Производится интегрирование уравнений по времени методом Адамса-Башфорта с использованием для ряда величин неявного метода Кранка-Николсона для обеспечения численной устойчивости. В WRF-NMM используется гибридная вертикальная координата: до определённой пользователем изобарической поверхности используется следующая рельефу местности сигма-координата, а выше – традиционная изобарическая координата.

Литература

1. Старченко А.В., Барашкова Н.К., Беликов Д.А. Вражнов Д.А., Кижнер Л.И., Лаврентьев Н.А. Информационно-вычислительная система для коллективного исследования проблем атмосферного пограничного слоя с использованием вычислительного кластера. Томск, 2006.
2. Беликов Д.А. Вражнов Д.А. Лаврентьев Н.А. Старченко А.В, Фазлиев А.З. Использование моделирующих систем MM5 и WRF в веб-портале ATMOS // Измерения, моделирование и информационные ресурсы для изучения окружающей среды, Томск, Из-во ЦНТИ, 2006. – С. 36-41.
3. Старченко А.В., Беликов Д.А., Вражнов Д.А., Есаулов А.О. Применение мезомасштабных моделей MM5 и WRF к исследованию атмосферных процессов // Оптика атмосферы и океана, 2005, Т. 18, № 5. – С. 455-461.
4. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 / W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X. Huang, W. Wang, J.G. Powers // NCAR Technical Note. – 2008. – 32 NCAR/TN-475+STR. http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf
5. User's Guide for the NMM Core of the Weather Research and Forecast (WRF) Modeling System Version 3 http://www.dtcenter.org/wrfnmm/users/docs/user_guide/V3/index.htm