

УДК 551.009

Мезомасштабная модель MM5 для прогнозирования погоды**Шарапов Р.В.**

Для оперативного прогнозирования погоды на небольших территориях (до 10 км) применяются мезомасштабные математические модели. Мезомасштабная модель – математическая модель для расчета погоды над ограниченной территорией с достаточно высоким разрешением. Метеорологическая моделирующая система пятого поколения MM5 активно используется в различных задачах составления прогнозов изменения погоды. Существование в открытом доступе программного обеспечения позволяет ученым разных стран применять модель для решения различных научных задач и обеспечивает возможности ее развития и совершенствования. По этой причине использование модели MM5 для прогнозирования погоды на ограниченных по размерам территориях вполне оправдано и может принести хорошие результаты. Возможности использования различных способов параметризации основных подсеточных процессов позволяет применять модель для решения широкого круга задач.

Ключевые слова: MM5, погода, моделирование, мезомасштабная модель, прогноз погоды.

Введение

Прогнозирование изменения погоды – актуальная задача, над решением которой ученые бьются с момента зарождения человечества. В настоящее время для составления прогнозов погоды активно используются различные методы математического моделирования. Для составления укрупненных прогнозов погоды и прогнозирования изменения климата используются глобальные модели (ECMWF, GFS, UKMet и т.д.). Для оперативного прогнозирования погоды на небольших территориях (до 10 км) применяются мезомасштабные математические модели (MD5, RAMS, TAPM, COSMO, WRF) [1]. Мезомасштабная модель – математическая модель для расчета погоды над ограниченной территорией с достаточно высоким разрешением.

Цель работы – рассмотреть возможности мезомасштабной модели MM5 для прогнозирования изменений погоды.

Метеорологическая моделирующая

Метеорологическая моделирующая система пятого поколения MM5 (Mesoscale Model 5) разработана в Национальном центре атмосферных исследований NCAR (National Center for Atmospheric Research) совместно с университетом штата Пенсильвания (Penn, University of Pennsylvania) [2]. В основу модели легла мезомасштабная модель Anthes, которая использовалась в университете штата Пенсильвания в начале 70-х годов. Модель

предназначена для исследования локальных и региональных атмосферных процессов.

Область применения модели MM5 достаточно обширна. Она может использоваться для решения широкого спектра проблем атмосферного пограничного слоя, составления прогнозов метеорологических ситуаций заданного региона. В области мезо-бета- и мезо-гамма- масштабов (в диапазоне 2-220км) модель может применяться для изучения различных процессов в атмосфере - развития мезомасштабных конвективных систем, прохождения фронтов, горно-долинной циркуляции, динамики береговых бризов, влияния городского острова тепла [3].

Модель MM5 имеет гидростатическую и негидростатическую версии. В них используется координатная система, следящая за поверхностью.

В негидростатической версии модели горизонтальное разрешение может варьироваться в широком диапазоне – от сотен метров до десятков километров.

Особенностью модели MM5 является возможность проведения расчетов во вложенных областях (до 9 вложений) с односторонним или двухсторонним влиянием. Модель поддерживает работу с четырехмерным представлением данных наблюдений [3].

Модель MM5 позволяет рассчитывать различные метеорологические поля – вертикальную и горизонтальные компоненты вектора скорости ветра, температуру, влажность

воздуха, давление, характеристики облачности и осадков, потоки тепла, влаги, потоки длинноволновой и коротковолновой радиации и т.п.

Модель MM5 представляет собой систему уравнений в трехкоординатной (x, y, σ) системе. Она содержит уравнения движения для компонент скорости u, v, w , для давления p' , и притока тепла [3, 4, 5].

$$\begin{aligned} \frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \mathbf{V} &= \\ &= -\mathbf{v} \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left(\frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_b \right), \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{p} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p'} \frac{\partial p'}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) &= \\ &= -\mathbf{v} \nabla u + v \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) - \\ &\quad - e w \cos \alpha - \frac{u w}{r_{earth}} + D_u, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{m}{p} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p'} \frac{\partial p'}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) &= \\ &= -\mathbf{v} \nabla v - u \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) + \\ &\quad + e w \sin \alpha - \frac{v w}{r_{earth}} + D_v, \\ \frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\rho_0 g}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{g p'}{\gamma p} &= \\ &= -\mathbf{v} \nabla w + g \frac{p_0 T'}{p T_0} - g \frac{R_d p'}{c_p p} + \\ &\quad + e(u \cos \alpha - v \sin \alpha) + \frac{u^2 + v^2}{r_{earth}} + D_w, \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= -\mathbf{v} \nabla T + \frac{1}{\rho c_p} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla p' - \rho_0 g w \right) + \\ &\quad + \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_b, \\ \alpha &= \varphi - \varphi_c, \\ e &= 2\Omega \cos \lambda, \\ p' &= p - p_0, \\ p' &= p_s - p_T, \\ \sigma &= \frac{p - p_T}{p_s - p_T}. \end{aligned}$$

где $\mathbf{v} = (u, v, w)$ – вектор скорости ветра, ρ – плотность воздуха, p – давление, T – абсолютная температура воздуха, θ – потенциальная температура воздуха, g – ускорение силы тяжести, γ – показатель адиабаты, Q – приток тепла, c_p – теплоемкость воздуха при

постоянном давлении, R_d – газовая постоянная для сухого воздуха, m – масштабный коэффициент, учитывающий неоднородность рельефа подстилающей поверхности, Ω – угловая скорость вращения Земли, λ – широта, f – параметр Кориолиса, φ – текущая долгота, φ_c – центральная долгота в области исследования, p_s – давление на поверхности, p_T – давление на верхней границе области, D_u, D_v, D_w, D_b – источники члены.

Переменные с индексом «0» означают базовые значения для стандартной атмосферы.

В модели могут применяться прогностические уравнения для водяного пара, облачности и осадков. Такие уравнения содержат адвективно-диффузионные и источники члены.

Модель MM5 имеет большой набор схем параметризации подсеточных физических процессов. Схемы могут выбираться на основе требований решаемых задач, а также пространственного масштаба моделируемых процессов. Конвективные процессы моделируются с использованием восьми схем параметризации. Для процессов, протекающих в пограничном слое, предусмотрены шесть схем параметризации. Эти схемы связаны с количеством вертикальных слоев, применяемом при моделировании. При расчете температуры и влажности почвы применяются четыре схемы параметризации. При моделировании микрофизика влаги используются восемь схем параметризации с различной областью применения и степенью детализации. Моделирование переноса излучения в атмосфере осуществляется с применением пяти схем параметризации.

Модель MM5 является региональной моделью и для ее выполнения необходимо начальное условие и условие боковой границы. Для задания боковых граничных условий модели требуются данные с координатной привязкой, что позволяет охватить весь период времени работы модели.

Модель MM5 реализована на языке Фортран в виде набора программ: TERRAIN, REGRID, LITTLE_R, NESTDOWN, INTERPF, INTERPB и GRAPH/RIP [6, 7, 8].

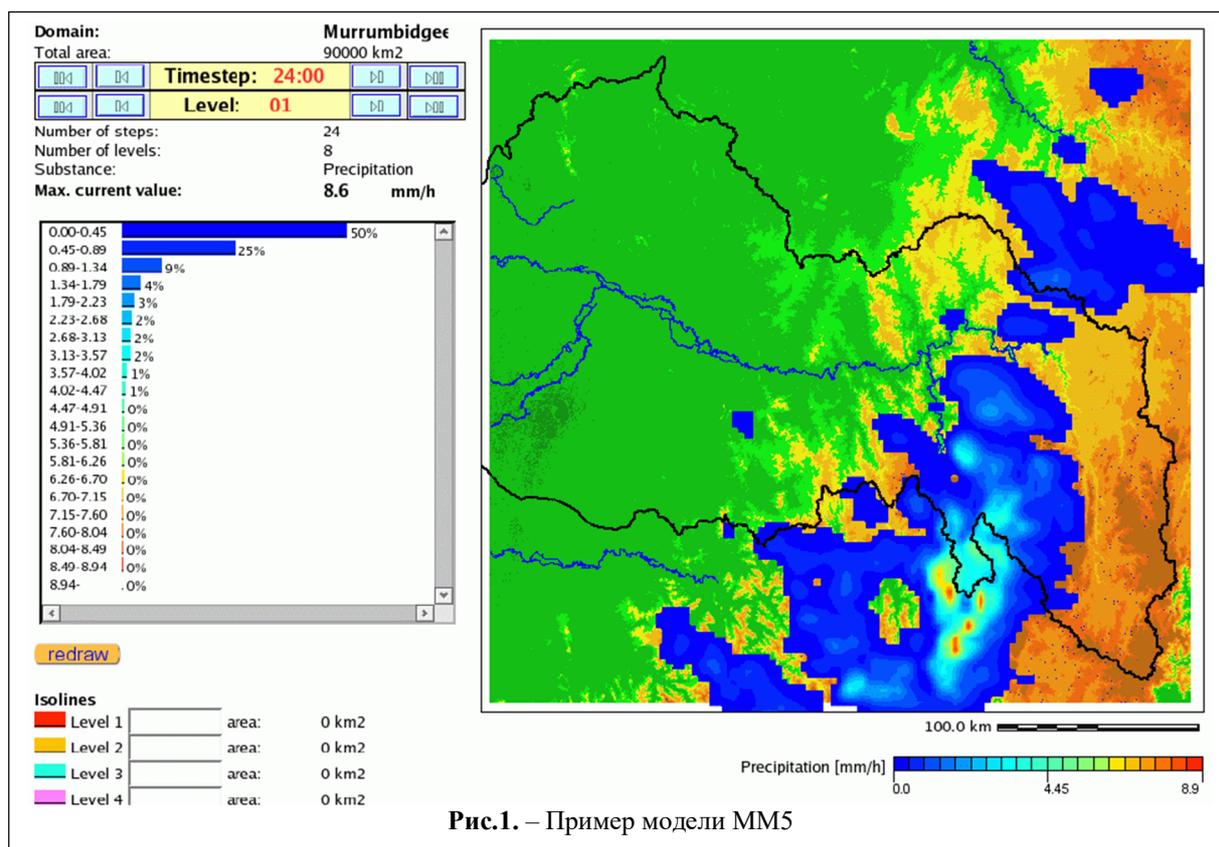


Рис.1. – Пример модели MM5

С помощью программы TERRAIN производится интерполяция наземных и изобарических метеорологических данных по горизонтали из сетки широты и долготы в переменную область высокого разрешения на проекции Меркатора, конформной проекции Ламберта или полярной стереографической проекции. После этого модель рассчитывает различные давления, существующие в атмосфере на рассматриваемой территории с помощью REGRID. Так как интерполяция не обеспечивает детализации на мезомасштабе, интерполированные данные программами RAWINS и LITTLE_R улучшаются данными наблюдений сети наземных станций и станций необработанного зондирования с использованием метода последовательного сканирования Крессмана или с помощью многоквадрической схемы [9]. RAWINS – это более старая версия LITTLE_R, поэтому LITTLE_R используется чаще.

Программа INTERPF берет данные из RAWINS/LITTLE_R и REGRID и выполняет вертикальную интерполяцию от уровней давления до сигма-системы координат MM5 [10]. Сигма-поверхности вблизи земли точно

повторяют рельеф, а сигма-поверхности более высокого уровня имеют тенденцию приближаться к изобарическим поверхностям. Программа NESTDOWN используется для изменения вертикальных сигма-уровней.

INTERPB позволяет генерировать первую гипотезу для RAWINS и собирает файлы, используемые для создания гипотез для REGRID. Программа GRAPH/RIP позволяет создавать графическое представление (визуализацию) всех полученных результатов моделирования.

Заключение

Мезомасштабная модель MM5 достаточно активно используется в различных задачах составления прогнозов изменения погоды. Существование в открытом доступе программного обеспечения позволяет ученым разных стран применять модель для решения различных научных задач и обеспечивает возможности ее развития и совершенствования. По этой причине использование модели MM5 для прогнозирования погоды на ограниченных по размерам территориях вполне оправдано и может принести хорошие результаты [11].

Возможности использования различных способов параметризации основных подсеточных процессов позволяет применять модель для решения широкого круга задач.

Литература

1. Шаранов П.В. Мезомасштабная модель WRF для прогноза погоды // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2017, №4, С. 20-24.
2. Dudhia J., Bresh J.F. A global version of the PSU-NCAR mesoscale model. // *Monthly Weather Review*, 2002, vol. 130. P. 2989-3007.
3. Старченко А.В., Барашикова 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.
4. 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.
5. Старченко А.В., Беликов Д.А., Вражнов Д.А., Есаулов А.О. Применение мезомасштабных

Поступила 27 сентября 2020 г.

моделей MM5 и WRF к исследованию атмосферных процессов // *Оптика атмосферы и океана*, 2005, Т. 18, № 5. – С. 455-461.

6. Dudhia J. MM5 Version 3.7 (The Final Version). WRF/MM5 Users' Workshop – June 2005. Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research.

7. MM5 Modeling System Overview [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www2.mmm.ucar.edu/mm5/overviewFeatures.html>

8. MM5 Modeling System Overview [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www2.mmm.ucar.edu/mm5/overviewProgram.html>

9. LITTLE_R Tutorial: Introduction [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www2.mmm.ucar.edu/mm5/On-Line-Tutorial/little_r/little_r.html

10. Zangl G. A generalized sigma coordinate system for the MM5. // *Monthly Weather Review*, 2003, vol. 131. P.2875-2884.

11. Шаранов П.В. Адаптивное прогнозирование погоды с учетом локальных характеристик территории // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2020, №1, С. 55-60.

Mesoscale mathematical models are used for rapid weather forecasting in small areas (up to 10 km). Mesoscale model – a mathematical model for calculating the weather over a limited area with a sufficiently high resolution. The meteorological modeling system of the fifth generation MM5 is actively used in various tasks of making forecasts of weather changes. The existence of open access software allows scientists from different countries to apply the model to solve various scientific problems and provides opportunities for its development and improvement. For this reason, the use of the MM5 model for weather forecasting in limited areas is quite justified and can bring good results. The possibility of using various methods of parameterization of the main subgrid processes allows us to apply the model to solve a wide range of problems.

Key words: MM5, weather, simulation, mesoscale model, weather forecast.

Шаранов Руслан Владимирович – доцент кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: info@vanta.ru.

602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.