

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*

### Глобальные модели для составления прогнозов

В основе работы математических моделей составления прогнозов лежит численное решение системы уравнений гидротермодинамики атмосферы [1]. Эти уравнения расширяются описаниями атмосферных процессов, которые не связаны с гидротермодинамикой, и процессов, имеющих масштаб меньше, чем размер ячейки сетки. Качество прогнозов зависит от детальности расчетной сетки и параметризации процессов подсеточного масштаба.

Исследования показали, что при повышении пространственного разрешения в традиционной широтно-долготной расчетной сетке из-за сходимости меридианов к полюсам наблюдается проблема неоднородности пространственного разрешения по широте и долготе. Для устранения этих проблем создаются различные альтернативные сетки [1, 2]:

- редуцированная широтно-долготная,
- икосаэдральная треугольная,
- икосаэдральная шестиугольная,
- проекция куба на сферу,
- Инь-Янь
- и другие.

Они позволяют также снизить вычислительную сложность моделей за счет исключения «лишних» точек сетки.

После расчета прогнозов по глобальным моделям часто рассчитываются индексы неустойчивости (CAPE, CIN, LI, K, SRH и др.). Они часто используются совместно с данными мезомасштабных моделей.

Модель ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) создана Европейским Центром Среднесрочных прогнозов погоды [3, 4]. Эта модель является одной из лучших для составления среднесрочных прогнозов. В ECMWF применяется кубическая сетка, имеющая горизонтальное разрешение в 9 км и 137 уровней вертикального разрешения. Модель предоставляет сведения об атмосферном давлении, приведенном к уровню моря, температуре и ветре на изобарической поверхности 850 гПа, высоте изобарической поверхности 500 гПа. Прочие параметры модели отсутствуют в открытом доступе.

Модель ECMWF взята за основу для создания проекта реанализа ERA5. Первый сегмент набора данных ERA5 доступен для всеобщего использования (с 1979 г. с точностью до 5 дней в реальном времени). ERA5 предоставляет ежечасные оценки большого количества параметров климата, атмосферы, суши и океана. К 2020 году должны быть доступны данные с 1950 г. Данные ERA5 доступны в хранилище климатических данных с разрешением  $0,25 \times 0,25^\circ$  градуса, с использованием 137 уровней от поверхности до высоты 80 км [5].

Модель GFS (Глобальная система прогнозов, Global Forecast System) создана в Национальном центре экологического прогнозирования (NCEP, National Centers for Environmental Prediction), США. В модели применяется редуцированная широтно-долготная сетка с разрешением по горизонтали около 13 км. Расчет прогноза запускается 4 раза в сутки и дает прогнозы на 16 дней. Выходные данные выдаются в формате GRIB-2. Модель предоставляет файлы расчета с шагом 1 час и разрешением  $0,25^\circ$ ,  $0,5^\circ$ ,  $1^\circ$  и  $2,5^\circ$ . Ряд параметров (температура воздуха на высоте 2 м над землей, количество и интенсивность выпавших осадков и т.д.) выдаются с разрешением около 13 км. Доступен архив данных объективного анализа начиная с 2007 года.

В NCEP создана Система прогнозов климата CFS (Climate Forecast System). Доступны данные реанализа начиная с 1979 года с горизонтальным разрешением  $0,5^\circ$ ,  $1^\circ$  и  $2,5^\circ$  и шагом в

1 час. Ряд параметров передаются на сетке с разрешением около 20 км. Модель выдает выходные данные в формате GRIB-2.

Модель GEM (Мультимасштабная глобальная среда, Global Environment Multiscale) создана Канадским метеорологическим центром (CMC, Canadian Meteorological Center). В модели применяется сетка Yin-Yang с горизонтальным разрешением около 15 км [7]. Расчет прогноза запускается 2 раза в сутки и дает прогнозы на 10 дней. Выходные данные выдаются в формате GRIB-2. Модель предоставляет файлы расчета с шагом 3 часа и разрешением 0,24 и 0,6°.

ПолуЛагранжева модель, основанная на уравнении Абсолютного Вихря Модель ПЛАВ создана в Институте Вычислительной Математики РАН [8, 9]. Модель используется Гидрометцентром России в качестве оперативной. Модель основана на применении широтно-долготной сетки с разрешением 0,18°×0,225° (в Северном полушарии). Расчет прогноза запускается 2 раза в сутки и дает прогнозы на 10 дней. Выходные данные выдаются в формате GRIB-1. Расчетные данные модели сохраняются на ftp-сервере Пермского государственного национального исследовательского университета.

Модель ICON (Икосаэдрическая негидростатическая модель, ICOSahedral Non-hydrostatic) создана Немецкой Метеорологической Службой (DWD, Deutscher WetterDienst) [10]. В модели применяется треугольная икосаэдральная сетка с горизонтальным разрешением 6,5 км для Европы и 13 км для всего мира. Модель выдает выходные данные в формате GRIB-2 с нерегулярной сеткой.

Модель GSM (Глобальная спектральная модель, Global Spectral Model) создана Японским метеорологическим агентством (Japan Meteorological Agency, JMA). В модели применяется расчетная сетка с горизонтальным разрешением около 20 км. Расчет прогноза запускается 4 раза в сутки и дает прогнозы на 10 дней. Имеется доступ к данным счета модели начиная с 2007 года с пространственным разрешением 0,5° и шагом 6 часов. Модель выдает выходные данные в формате GRIB-2 [11].

### Литература

1. Быков А.В. Моделирование и прогноз опасных метеорологических явлений конвективного происхождения на Урале: диссертация ... кандидата Географических наук. Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018.
2. Working Group on Numerical Experimentation. NWP systems (WGNE table). [Электронный ресурс]: <http://wgne.meteoinfo.ru/nwp-systems-wgne-table/>
3. Толстых М.А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 359. – С. 5–32.
4. Jung T., Miller M.J., Palmer T.N. et al. High-resolution global climate simulations with the ECMWF model in Project Athena: Experimental design, model climate, and seasonal forecast skill // J. Climate. 2012. Vol. 25. No. 9. – P. 3155–3172.
5. ERA5 data documentation. [Электронный ресурс]: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>
6. Global Forecast System (GFS) | National Centers for Environmental Information (NCEI) formerly known as National Climatic Data Center (NCDC). [Электронный ресурс]: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>
7. Qaddouri A. Nonlinear shallow-water equations on the Yin-Yang grid. Quart. J. Roy // Meteor. Soc. 2011. Vol. 137. – P. 810–818.
8. Толстых М.А., Шашкин В.В., Фадеев Р.Ю., Шляева А.В., Мизяк В.Г., Рогутов В.С., Богословский Н.Н., Гойман Г.С., Махнорылова С.В., Юрова А.Ю. Система моделирования атмосферы для бесшовного прогноза. – М.: Триада-ЛТД. 2017. – 166 с.
9. Tolstykh M.A., Volodin E.M., Kostykin S.V., et al. Development of the multiscale version of the SL-AV global atmosphere model // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40(6). – P. 374–382.
10. Zängl G., Reinert D., Ripodas P., Baldauf M. The ICON (ICOSahedral Non-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the nonhydrostatic dynamical core // Q. J. Roy. Meteorol. Soc. 2015. Vol. 141. – P. 563–579.
11. Шарапов Р.В. Адаптивное прогнозирование погоды с учетом локальных характеристик территории // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №1, 2020. С. 55-60.