

# Параллельный программный комплекс глобальной полулагранжевой модели численного прогноза погоды





## 21 Параллельный программный комплекс глобальной полулагранжевой модели численного прогноза погоды

В данной работе представлено краткое описание параллельного программного комплекса глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды, разработанной в Институте вычислительной математики РАН совместно с Гидрометцентром России. Приводятся достигнутые результаты масштабируемости вычислений с помощью данного программного комплекса.

### АВТОР:

М.А. Толстых — докт. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник. Института вычислительной математики РАН и зав. лабораторией ГУ «Гидрометцентр России», *email: tolstykh@inm.ras.ru*

### Необходимость параллельных вычислений в задаче прогноза погоды

Одним из основных общепринятых способов повышения качества прогноза является повышение пространственного разрешения численных моделей. Это позволяет явно описывать процессы все более мелкого масштаба, особенно взаимодействие с неоднородной подстилающей поверхностью и передачу энергии по спектру. Численный гидродинамический прогноз погоды с пространственным разрешением, необходимым для соответствующего описания конвективных и мезомасштабных процессов, является проблемой, которая требует огромных компьютерных ресурсов. Кроме того, оперативный прогноз налагает ограничение на допустимое время счета модели (как правило, не более 20 мин астрономического времени для прогноза на 24 часа). Таким образом, требуется применение параллельных вычислений для ускорения расчетов. Глобальные модели прогноза погоды в ведущих мировых центрах имеют горизонтальное разрешение порядка 20 км (<http://www.wmo.int/pages/about/sec/rescrosscut/documents/wgne24rpt.pdf>) и для их применения необходима вычислительная система, имеющая как минимум несколько сотен процессоров при эффективности реализации программного комплекса модели не ниже 50 %.

### Глобальная полулагранжевая модель атмосферы

Полулагранжевый метод (обратный метод характеристик) для описания адвекции (переноса) позволяет использовать шаг по времени в модели атмосферы в несколько раз больше, чем определяемый условием Куранта. Это повышает эффективность моделирования атмосферной циркуляции при высоком разрешении более чем на порядок по сравнению с эйлеровыми моделями (Hortal, Procs. ECMWF Seminar 1998). В настоящее время полулагранжевый метод преобладает в глобальных моделях численного прогноза погоды, а также применяется в некоторых моделях климата. Полулагранжевый подход позволяет сократить время расчета прогноза на однопроцессорном компьютере, однако при параллельной реализации требует существенно большего объема пересылаемой между процессорами информации. Это и мотивировало разработку параллельной реализации данной модели на основе сочетания технологий OpenMP и MPI. Рассматриваемая модель, разработанная ИВМ РАН совместно с Гидрометцентром России, подробно изложена в [1], а применяемые численные методы — в [2]. В модели используется набор параметризаций процессов подсеточного масштаба из французской оперативной модели ARPEGE/IFS.

Модель ПЛАВ в версии с разрешением 0,9 градуса по долготе, 0,72 градуса по широте, 28 уровнями по вертикали успешно прошла оперативные испытания в Гидрометцентре России и рекомендована к внедрению. Оперативные прогнозы

модели доступны на сайте Гидрометцентра России (<http://meteoinfo.ru/plav-forc-rus>). На рис. 1 приведен пример представленного на этом сайте прогноза приземной температуры с заблаговременностью 84 часа (слева), а также осадков и давления на уровне моря (справа).

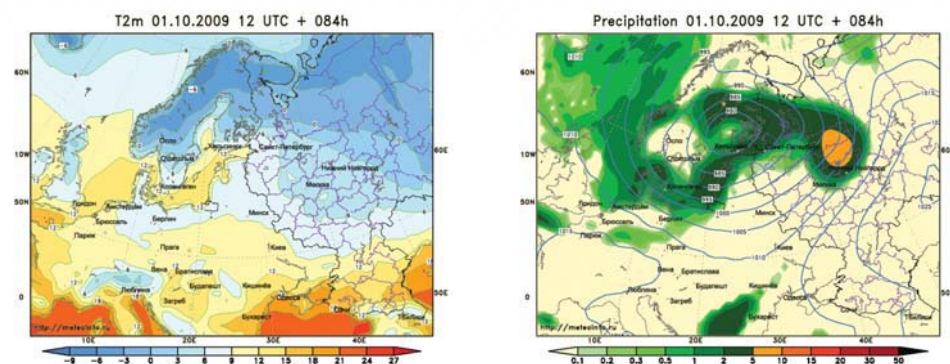


Рис. 1. Прогноз приземной температуры с заблаговременностью 84 (слева), осадков и давления (справа)

### Параллельный программный комплекс и достигнутые результаты

Модель реализована на вычислительной системе SGI Altix 4700 с пиковой производительностью 10,8 Тфлопс, установленной в ГВЦ Росгидромета. Эта вычислительная система содержит 832 двухъядерных процессора Itanium 2 Montvale. Система скомпонована как набор узлов, каждый из которых содержит 128 ядер и имеет архитектуру ccNUMA (cache coherent non-uniform memory access), обеспечивающую, с точки зрения пользователя, однородный доступ ко всей памяти узла как к общей памяти.

Тестовые расчеты выполнялись для перспективного варианта модели с разрешением 0,225 градуса по долготе, 0,18 градусов по широте (примерно 20 км в средних широтах), 28 неравномерно расположенных вертикальных уровней в немонополюльном режиме (запуск через систему очередей). На рис. 2 представлены значения параллельного ускорения в зависимости от числа используемых вычислительных ядер.

Для моделей численного прогноза погоды в мире считается хорошим результатом параллельная эффективность больше 50 %. Таким образом, в настоящее время программный комплекс глобальной полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ при сочетании технологий MPI и OpenMP позволяет эффективно использовать до

216 процессоров при горизонтальном разрешении около 20 км. В целом можно сделать вывод о достаточной масштабируемости программного комплекса для данного разрешения модели — прогноз на 24 часа может быть рассчитан на 216 ядрах за 8 минут. Запланированное в ближайшем будущем повышение вертикального разрешения с 28 до 50 уровней увеличит эту цифру до 13 минут, что меньше предела в 20 минут, налагаемого оперативной технологией выпуска прогнозов.

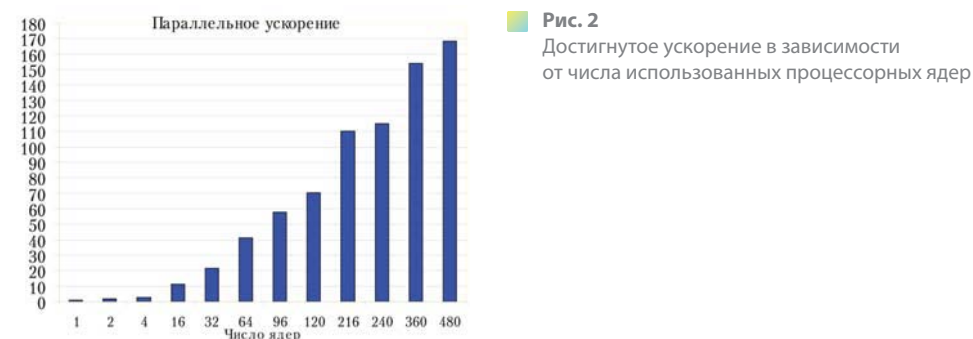


Рис. 2. Достигнутое ускорение в зависимости от числа использованных процессорных ядер

В Институте вычислительной математики РАН и Гидрометцентре России ведется разработка глобальной полулагранжевой модели атмосферы нового поколения с горизонтальным разрешением 1–10 км и вертикальным разрешением 100–200 уровней по вертикали, которая позволит достичь уровня развития моделей атмосферы, ожидаемого через несколько лет. Эту модель можно будет применять не только для прогноза погоды, но и моделирования климата. Практическая реализация такой модели потребует порядка 5000 процессоров.

Разработка модели выполнялась при поддержке грантов РФФИ. Реализация параллельного программного комплекса модели выполнялась в рамках Программы 14 Президиума РАН (2005–2008 гг.) при поддержке гранта РФФИ 05-07-90355. Оперативная технология расчета прогнозов на основе данной модели и настройка модели выполнены в рамках НИОКР Росгидромета.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстых М.А. Полулагранжевая модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. 2001. №4. С. 5–16.
2. Tolstykh M. Vorticity-divergence semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere based on compact finite differences. J. Comput. Phys. 2002. V. 179. P. 180–200.