

РАЗРАБОТКА ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

М.А. Толстых

Институт вычислительной математики РАН, Гидрометцентр России

Одним из основных инструментов исследования изменений климата является совместная модель Земной системы, состоящая из моделей атмосферы, океана, морского льда, поверхности суши, биосферы и т. д. [1]. Модели атмосферы при более высоком пространственном разрешении используются для численного прогноза погоды.

В решениях Мирового симпозиума по моделированию Всемирной метеорологической организации [2] отмечено, что повышение горизонтального разрешения модели атмосферы до величины порядка 1 км, необходимого для явного описания глубокой конвекции, является стратегической задачей мирового сообщества. Исходя из требований к времени расчетов (3-5 модельных «лет» за астрономические сутки), эта задача потребует вычислительной системы с эксафлопсной производительностью.

В некоторых ведущих центрах уже достигнута масштабируемость модели атмосферы порядка 10^4 процессоров (Национальный центр атмосферных исследований (NCAR), США).

В докладе приводится обзор современного состояния и перспектив среднесрочного численного прогноза погоды по данным Рабочей группы по численному экспериментированию Всемирной метеорологической организации.

Обсуждаются проблемы, возникающие при разработке новых моделей атмосферы и пути их решения. Одной из проблем является выбор схемы интегрирования по времени. При аппроксимации уравнений гидротермодинамики атмосферы с помощью традиционной полуявной схемы интегрирования по времени возникает трехмерное уравнение эллиптического типа. Разработка масштабируемого на системах с десятками тысяч ядер алгоритма решения такого уравнения является значимой задачей. Рассматриваются различные методы решения такого уравнения. Например, в метеослужбе Великобритании тестируется один из вариантов многосеточного метода из пакета DUNE [3]. Альтернативным вариантом является использование явно-неявного метода, когда лишь вертикальная компонента оператора интегрируется по неявной схеме. Это серьезно ограничивает шаг по времени, но зато снимается ограничение масштабируемости кода.

Обсуждаются методы дискретизации по пространству, применяемые в перспективных моделях атмосферы. Предполагается, что требуемое количество арифметических операций не является серьезным ограничением, в отличие от объема межпроцессорных обменов данными. Помимо традиционных конечных разностей и конечных объемов, рассматриваются разрывные методы Галеркина и спектральные элементы, имеющие минимальный шаблон аппроксимации.

В докладе будут представлены работы по разработке новой версии глобальной полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ [4], используемой для глобального среднесрочного прогноза погоды. Эта версия модели будет иметь горизонтальное разрешение около 10 км и около 100 уровней по вертикали. Такое разрешение соответствует планам ведущих прогностических центров на 2015-2016 гг. Рассказывается о первых результатах работ по оптимизации сочетания технологий MPI, OpenMP и использования векторных команд, а также повышения локальности обращений к оперативной памяти. Обсуждаются результаты масштабируемости прототипа будущей версии модели и пути ее повышения.

В докладе также будут представлены промежуточные результаты оперативных испытаний среднесрочных прогнозов модели ПЛАВ с горизонтальным разрешением около 20 км, представленной на конференции в прошлые годы.

Работы выполняются при поддержке Программ фундаментальных исследований Президиума РАН N 1 (по стратегическим направлениям развития науки на 2014 г.) и N 18.

ЛИТЕРАТУРА:

1. М.А. Толстых, Р.А. Ибраев, Е.М. Володин, К.В. Ушаков, В.В. Калмыков, А.В. Шляева, В.Г. Мизяк, Р.Н. Хабеев. Модели глобальной атмосферы и Мирового океана: алгоритмы и суперкомпьютерные технологии. Учебное пособие, Серия «Суперкомпьютерное образование». М.: изд-во МГУ, 2013, 144 стр.
2. WCRP131, 2008. The World Modelling Summit for Climate Prediction, Reading 2008, http://wcrp.wmo.int/documents/WCRP_WorldModellingSummit_Jan2009.pdf
3. E.H. Mueller, R. Scheichl "Massively parallel solvers for elliptic partial differential equations in numerical weather and climate prediction" // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 2014. V. 140 (accepted; early view)
4. М.А. Толстых Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. М.– Обнинск: ОАО ФОП. 2010. 111с.