

РЕАЛИЗАЦИЯ МАССИВНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

М.А. Толстых, А.В. Терехов, Н.С. Поливанов

Моделирование изменений климата, как и прогноз погоды, является задачей, требующей больших вычислительных ресурсов. В настоящее время в мире развиваются модели земной системы, которые, помимо описываемых в традиционных моделях климата тропосферы, стратосферы, океана, морского льда и процессов на поверхности суши, включают также модели мезосферы, малых газовых составляющих, углеродного и метанового циклов. Все эти модели должны взаимодействовать между собой. Для получения статистически надежного результата требуются многочисленные численные эксперименты с моделями земной системы продолжительностью более столетия модельного времени. Современные вычислительные системы пока позволяют практически реализовать модели земной системы с разрешением в атмосфере порядка 0,5-1 градуса, 50 уровней и 0,15 градуса в океане при вертикальном разрешении в несколько десятков уровней.

Известно, что модели земной системы с грубым пространственным разрешением неточно по сравнению с наблюдениями описывают статистику синоптических процессов в тропиках и средних широтах и в силу этого ограничения не в состоянии воспроизвести региональные особенности климата. Более того, такие модели могут включать лишь параметрическое описание крайне важного процесса глубокой конвекции в тропиках. Перспективные модели земной системы, свободные от этих недостатков, должны иметь разрешение в атмосфере порядка 1-10 км [1]. Разрешение океанической компоненты модели должно позволять явное описание синоптических вихрей в океане, что означает разрешение порядка 0,1 градуса. Не менее важным является вертикальное разрешение атмосферной и химической компоненты модели земной системы, которое должно быть порядка 100 уровней.

Таким образом, для реализации модели земной системы, способной описывать региональные изменения климата, необходимо повысить разрешение всех компонент модели земной системы более чем на порядок по горизонтали и в несколько раз по вертикали. При этом станут неверными многие из упрощений исходных уравнений, описывающих динамику атмосферы и океана. В частности, необходим переход к негидростатическим полностью сжимаемым уравнениям атмосферы. Необходим пересмотр всех параметризаций процессов подсеточного масштаба, включенных в модель земной системы. Некоторые из них станут не нужны (например, параметризация глубокой конвекции в атмосферной компоненте), однако другие потребуют разработки алгоритма практически с нуля (например, трехмерные параметризации приземного пограничного слоя и коротко- и длинно-волновой радиации вместо одномерных).

Подмножество модели земной системы с высоким разрешением (например, совместная модель атмосферы, океана, суши и морского льда) может быть использовано и для прогноза состояния атмосферы с заблаговременностью от дня до сезона, тем самым реализуя концепцию т.н. «бесшовного прогноза».

Институт вычислительной математики РАН является лидером в России в области моделирования климата. Оригинальная модель климатической системы (атмосфера-океан-поверхность суши-морской лед), полулагранжева модель атмосферы для численного прогноза погоды, конечно-объемная модель океана, являются единственными в своем классе в России. Модель климатической системы является единственной российской моделью, участвующей в международных экспериментах в рамках Международной группы экспертов по изменениям климата (МГЭИК).

В настоящее время ведется разработка т.н. вычислительного ядра нового поколения – блока решения уравнений динамики атмосферы, основанного на негидростатической формулировке, реализованного на сферической сетке с квазиоднородным горизонтальным разрешением. Этот блок планируется применить как в модели глобального среднесрочного прогноза погоды нового поколения, так и в перспективной версии модели земной системы ИВМ РАН.

В качестве основы для разработки вычислительного ядра нового поколения применяется глобальный полулагранжев блок решения уравнений динамики атмосферы модели ПЛАВ [2], представленной на конференции в предыдущие годы. Модель ПЛАВ принята в Гидрометцентре России в качестве основного численного метода глобального среднесрочного прогноза погоды. Программный комплекс модели, ориентированной на численный прогноз погоды, был ранее распараллелен с использованием технологий MPI и OpenMP на основе одномерной декомпозиции расчетной области по широте [3]. Применяется двукратная транспозиция данных.

В докладе представлен ход работ по реализации усовершенствованных вычислительных алгоритмов модели. В частности, вместо двукратной транспозиции данных и решения систем линейных алгебраических уравнений методом векторной прогонки теперь для решения этих систем применяется метод дихотомии [4], не требующий глобальных пересылок данных между процессорами. Описывается модификация алгоритма

[4] на случай решения набора систем с блочно-трехдиагональными матрицами. Показано, что применение метода дихотомии ведет к повышению параллельного ускорения в этой части модели.

Выполнен ряд работ по повышению эффективности параллельной реализации модели. На конференции будут показаны результаты, полученные для новой версии модели ПЛАВ.

Работа выполняется при поддержке Программ 14 и 17 Президиума РАН, гранта РФФИ 10-05-01066.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Workshop Report: World Modelling Summit for Climate Prediction, Reading, UK, 6-9 May 2008, 2009, WCRP Report No. 131 WMO/TD No. 1468, http://www.wmo.ch/pages/prog/wcrp/documents/WCRP_WorldModellingSummit_Jan2009.pdf.
2. М.А. Толстых, Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. М, Обнинск: ОАО ФОР, 111 стр.
3. Володин Е.М., Толстых М.А. Параллельные вычисления в задачах моделирования климата и прогноза погоды // Вычислительные методы и программирование. 2007. Т. 8. С. 113-122.
4. Terekhov A., Parallel Dichotomy Algorithm for solving tridiagonal system of linear equations with multiple right-hand sides // Parallel Computing 2010 V. 36 P. 423–438