

Реализация параллельного алгоритма решения эллиптических уравнений в глобальной модели атмосферы ПЛАВ

Г.С. Гойман, М.А. Толстых

Cites 2017

Численный прогноз погоды

- ▶ Увеличение пространственного разрешения моделей атмосферы – один из основных способов улучшения качества прогноза
- ▶ Современные модели используют $\sim 10^8 - 10^9$ расчётных точек сетки, модели следующего поколения вплоть до 10^{10}



- ▶ Оперативный прогноз погоды требует использования массивно-параллельных вычислительных систем

Описание численных методов

Модель атмосферы ПЛАВ

- Полунявный метод интегрирования по времени

$$(K^2 - \Delta)\psi = R$$

K^2 - коэффициент, зависящий от вертикального уровня;

Δ – горизонтальный оператор Лапласа на сфере

- Формулировка уравнений в терминах вертикальной компоненты абсолютного вихря и горизонтальной дивергенции

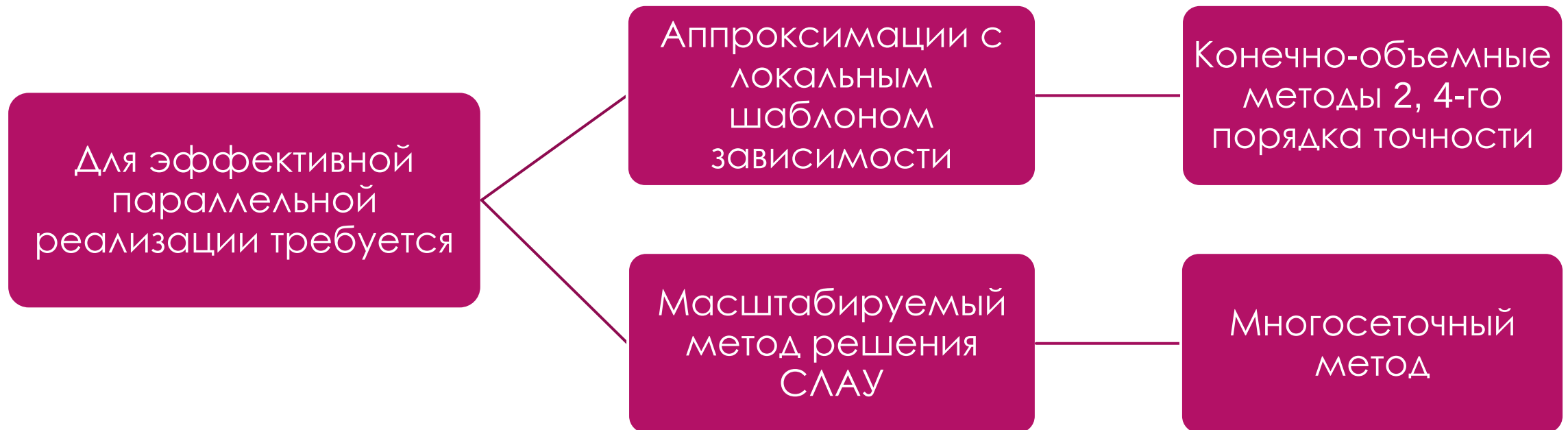
$$\begin{cases} \mathbf{k} \cdot \nabla \times \mathbf{V} = \omega \\ \nabla \cdot \mathbf{V} = D \end{cases}$$

D, ω – поле горизонтальной дивергенции и вертикальной компоненты завихренности; $\mathbf{k}$ – единичный вертикальный вектор; $\mathbf{V}$ – горизонтальное поле скорости

Описание текущего метода решения

- ▶ Представление переменных в пространстве Фурье по долготе
 - ▶ Компактные разности для аппроксимации широтной части оператора Лапласа
 - ▶ Метод векторной прогонки для решения возникающей СЛАУ
- 
- ▶ 1d декомпозиция по MPI-процессам
 - ▶ Глобальная транспозиция данных между процессами

Новый блок решения

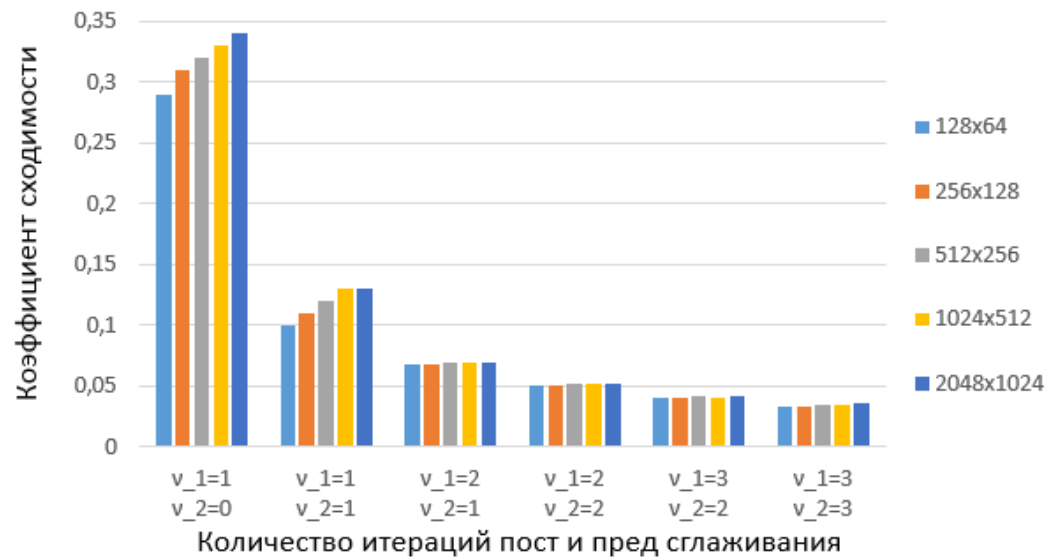


Компоненты многосеточного метода

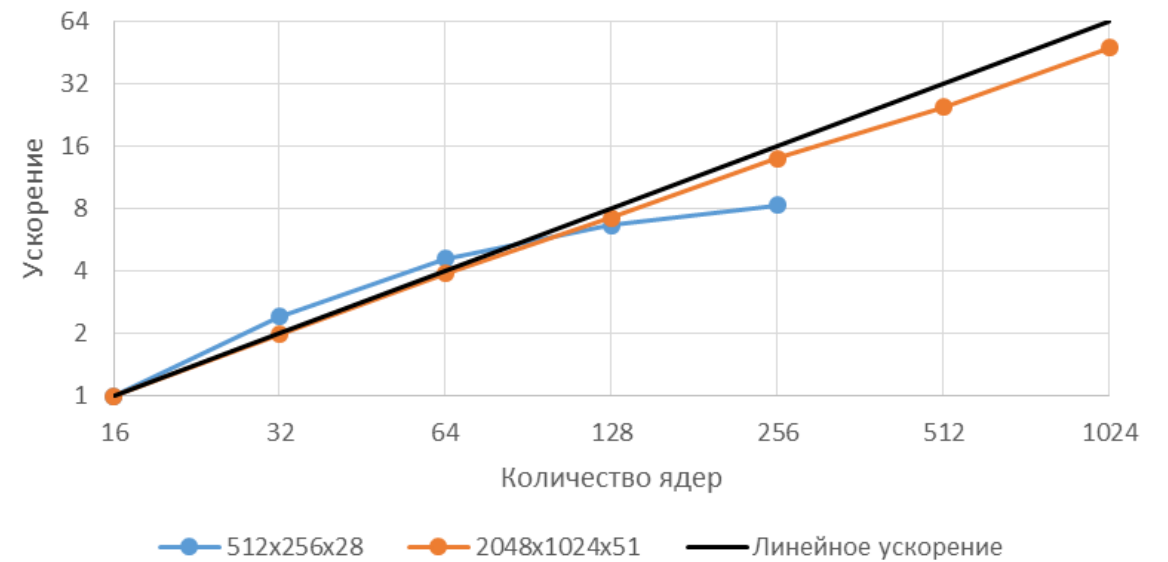
- ▶ Многосеточный метод с V-циклом
- ▶ Операторы перехода между сетками:
 - Оператор продолжения – билинейная интерполяция
 - Оператор сгрубления – 9-ти точечное осреднение
- ▶ Метод сглаживания ошибки – метод Гаусса-Зейделя с красно-черным упорядочиванием
- ▶ Генерация последовательности грубых сеток – метод условного сгрубления сетки (Larsson 2005)

Сходимость/масштабируемость

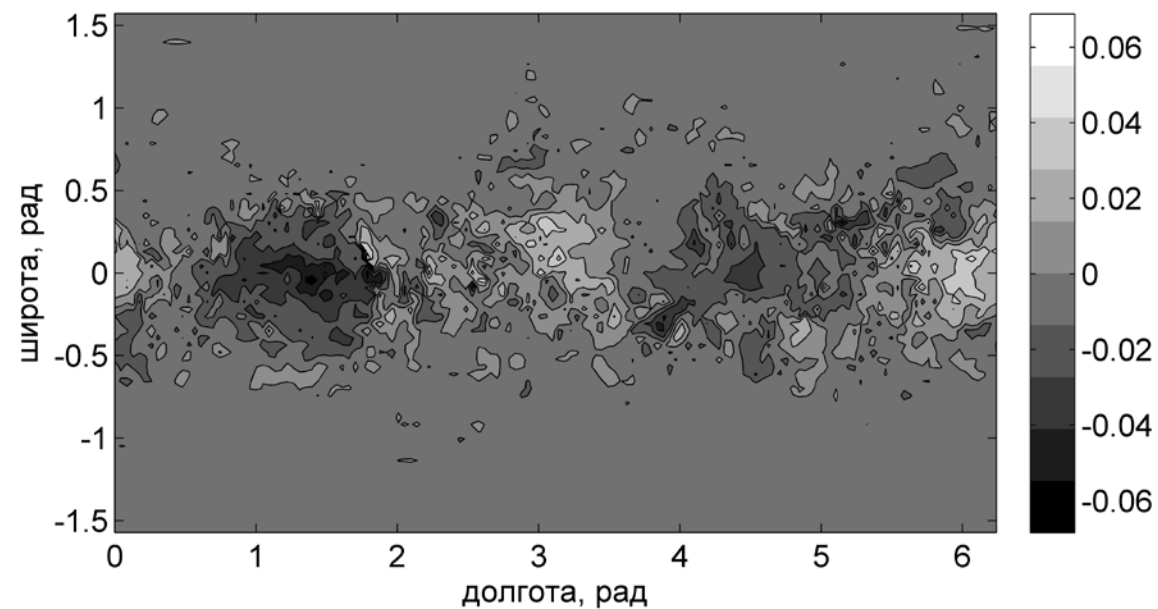
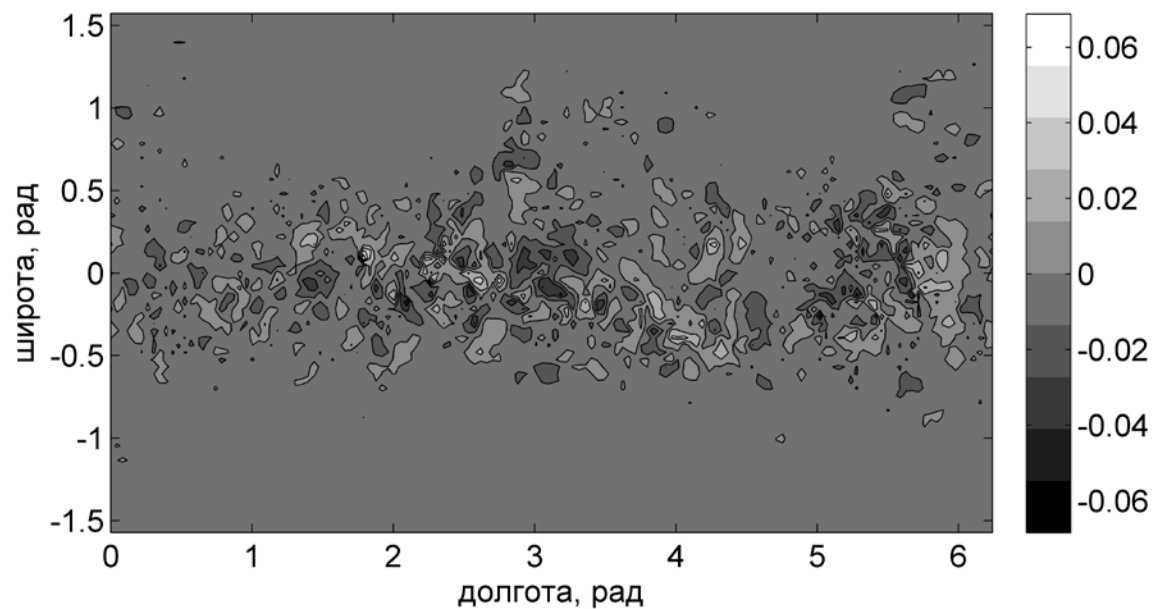
Сходимость алгоритма в зависимости от количества итераций пост и пред сглаживания



Масштабируемость алгоритма



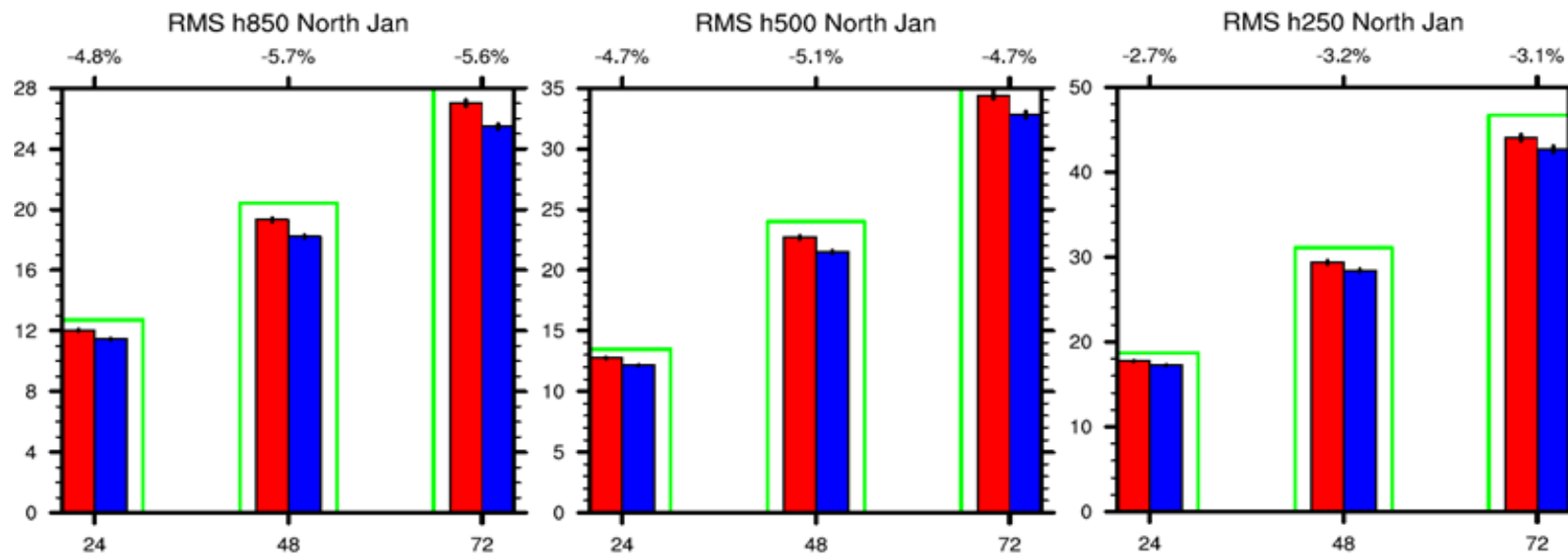
Решение уравнения Гельмгольца



Изображено: Относительное осредненное по серии отклонение поля давления над уровнем моря. Слева – 10 итераций солвера, справа 2 – итерации.

Восстановление поля скоростей

- Серия из 31 численного прогноза погоды с заблаговременностью 72 часа по начальным данным января 2014 года.



Изображено: Среднеквадратическое отклонение поля геопотенциала на уровнях 850, 500 и 250 гПа для северного полушария. Красные столбцы – стандартная версия модели, синие – версия с новым алгоритмом

Результаты

- ▶ Реализован параллельный блок решения уравнений эллиптического типа на сфере
- ▶ Произведено исследование сходимости и сильной масштабируемости алгоритма
- ▶ Полученный алгоритм внедрен в модель атмосферы ПЛАВ

Спасибо за внимание!