# Сравнение вычислительной эффективности двух методик расчета уровня океана в климатической модели

Благодатских Д.В.[1], Оноприенко В.А.[1], Мортиков Е.В.[2,1], Яковлев Н.Г.[1] ([1]ИВМ РАН, [2]НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

# Актуальность задачи

Современные климатические модели требуют большого количества вычислительных ресурсов (от нескольких сотен до нескольких тысяч ядер), что обусловлено:

- использованием высокого пространственного разрешения: 1/2°×1/4° - эксперимент CORE2 (Володин Е.М. и др., 2018), 1/3° × 1/3° - HiGEM (L.C. Shaffrey, 2009), 1/4° × 1/4° CM2.5 GDFL; по вертикали от 30 до 50 уровней
- требованием проведения расчетов на длительное модельное время (порядка сотен лет)

Увеличение производительности путем использования алгоритмов, обладающих высокой масштабируемостью на параллельных вычислительных кластерах

# Основные уравнения блока динамики океана климатической модели INMCM5

$$\frac{\partial\left[\vec{U}\right]_h}{\partial t} = -\left[\left(\nabla\times\vec{U}\right)\times\vec{U} + \frac{1}{2}\nabla\left(\vec{U}^2\right)\right]_h - l\vec{k}\times\left[\vec{U}\right]_h - \frac{1}{\rho_0}\left[\nabla p\right]_h + D^{\vec{U}},$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho g,$$

$$\nabla\cdot\vec{U} = 0,$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = -\nabla\cdot\left(\theta\vec{U}\right) + D^\theta + R^\theta,$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\nabla\cdot\left(S\vec{U}\right) + D^S,$$

$$\rho = \rho\left(T, S, p\right)$$

# Описание первой методики

$$\begin{cases} \dfrac{\tilde{u}^{n+1} - u^{n+1/2}}{\Delta t} = -\dfrac{1}{\rho_0} P_x \\ \dfrac{\tilde{v}^{n+1} - v^{n+1/2}}{\Delta t} = -\dfrac{1}{\rho_0} P_y \end{cases}$$

$$\tilde{u}^{n+1} = \bar{u} + u', \qquad \tilde{v}^{n+1} = \bar{v} + v'$$

$$\bar{u} = \int_0^1 \tilde{u}^{n+1} d\sigma, \qquad \bar{v} = \int_0^1 \tilde{v}^{n+1} d\sigma$$

$$\begin{cases} \dfrac{(u')^{n+1} - u'}{\Delta t} - l(v')^{n+1} = 0 \\ \dfrac{(v')^{n+1} - v'}{\Delta t} + l(u')^{n+1} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\bar{u}^{n+1} - \bar{u}}{\Delta t} - l\bar{v}^{n+1} = g\dfrac{\delta\zeta^{n+1}}{\Delta x}, \\ \dfrac{\bar{v}^{n+1} - \bar{v}}{\Delta t} + l\bar{u}^{n+1} = g\dfrac{\delta\zeta^{n+1}}{\Delta y}, \\ \dfrac{\bar{\zeta}^{n+1} - \bar{\zeta}}{\Delta t} = \dfrac{\delta\left(\bar{u}^{n+1}H\right)}{\Delta x} + \dfrac{\delta\left(\bar{v}^{n+1}H\right)}{\Delta y}. \end{cases}$$

7- диагональная матрица
размер вектора решения $3 \times N_x \times N_y$

# Описание второй методики

$$\begin{cases} \dfrac{u^{n+1} - \tilde{u}^{n+1/2}}{\Delta t} = g\,\dfrac{\delta\zeta^{n+1}}{\Delta x} \\[2ex] \dfrac{v^{n+1} - \tilde{v}^{n+1/2}}{\Delta t} = g\,\dfrac{\delta\zeta^{n+1}}{\Delta y} \end{cases}$$

$$w^{n+1} = \int_{1}^{0} \left[ \frac{\delta\left(u^{n+1}H\right)}{\Delta x} + \frac{\delta\left(v^{n+1}H\right)}{\Delta y} \right] \cdot \Delta\sigma$$

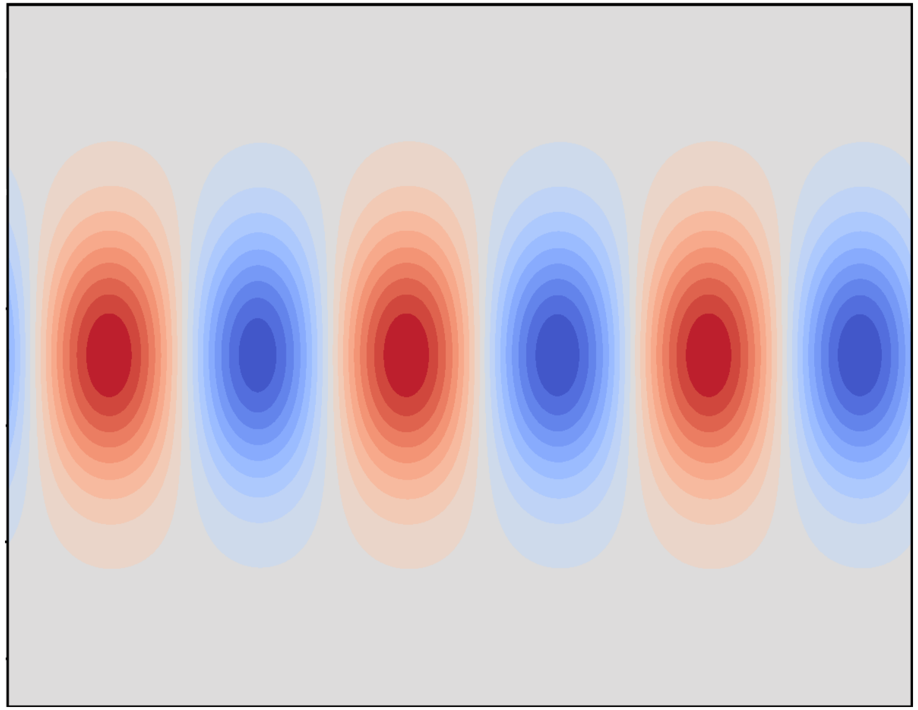
$$w^{n+1} = \frac{\zeta^{n+1} - \zeta^{n}}{\Delta t}$$

5- диагональная матрица

Вектор решения размером $N_x \times N_y$

# Экваториальная волна Кельвина

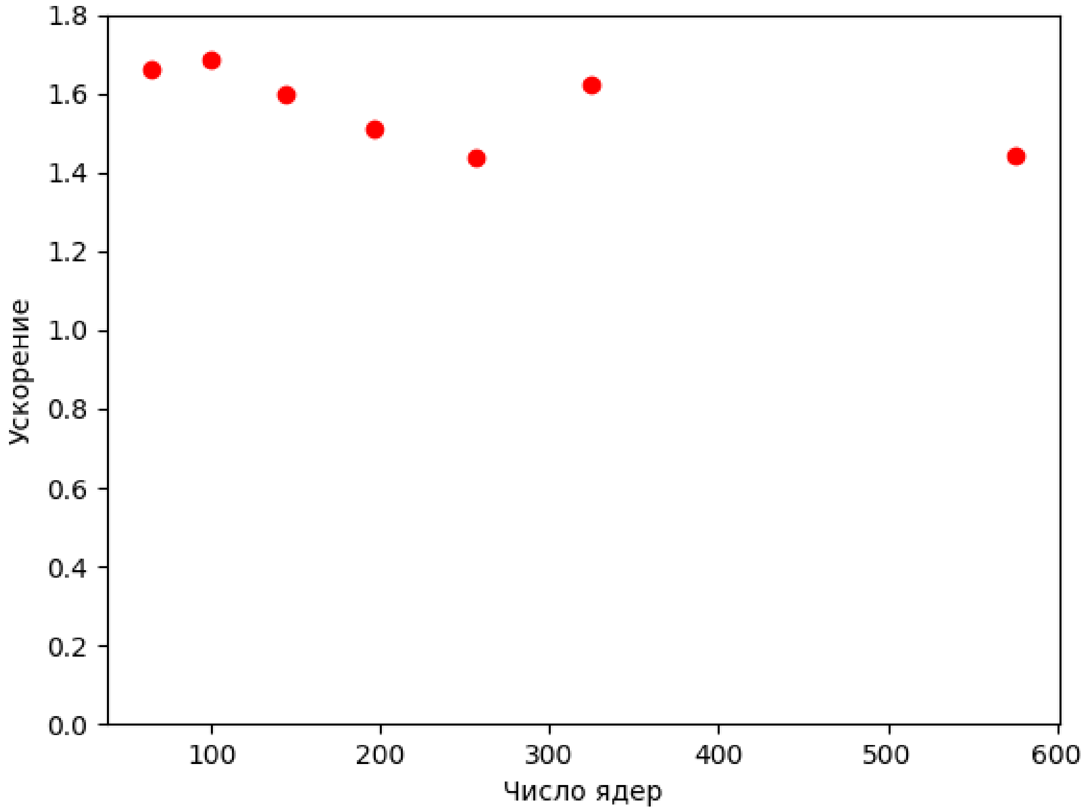
$$u(x,y,z) = A\cdot e^{-\frac{y^2}{R_{экв}^2}}\cdot\cos\left(\pi\frac{z}{H}\right)\cdot\cos\left(\frac{2\pi}{L_{волна}}x\right)$$



# Параметры счета

- Глубина канала 3 км
- Длина канала  12000 км
- Размер шага ≈ 16 км
- Размер шага по времени 12 минут

# Ускорение расчета в новой версии по сравнению со старой



# Выводы

- Методика расчета уровня без использования расщепления на баротропную и бароклинную компоненту дает улучшение вычислительной эффективности на простых тестах

- В данный момент проводятся расчеты по протоколу CORE2 для выяснения степени влияния используемых методик расчета на статистические характеристики получаемых решений

# Уменьшение времени расчета солвера по сравнению с расчетом на 68 процессах