



Тестирование нового блока переноса примеси для модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН

С.В.Кострыкин

Институт Вычислительной Математики РАН

kostr@inm.ras.ru

Testing of the new advection scheme for the general circulation model of INM RAS

Modern level of numerical modelling of atmospheric processes lays down some requirements on the numerical advection schemes used in general circulation models. Among the most important requirements are conservation, monotonicity and numerical effectivity including good parallelization properties. Investigation of some advection schemes shows that one of the best schemes satisfying above criteria is CABARET scheme. Multidimensional modification of the CABARET scheme was used to construct the new advection module for the general circulation model of INM (INM GCM). Testing of this module on some common benchmarks shows a good accuracy in comparison with other advection schemes used in modern GCMs. This new module was incorporated in the INM GCM and preliminary calculations with modified model shows a better simulation of some climate characteristics than its previous version.

Мотивация: Разработка динамического ядра для климатической модели нового поколения.

Основные требования на схему переноса, предназначенную для использования в климатических моделях:

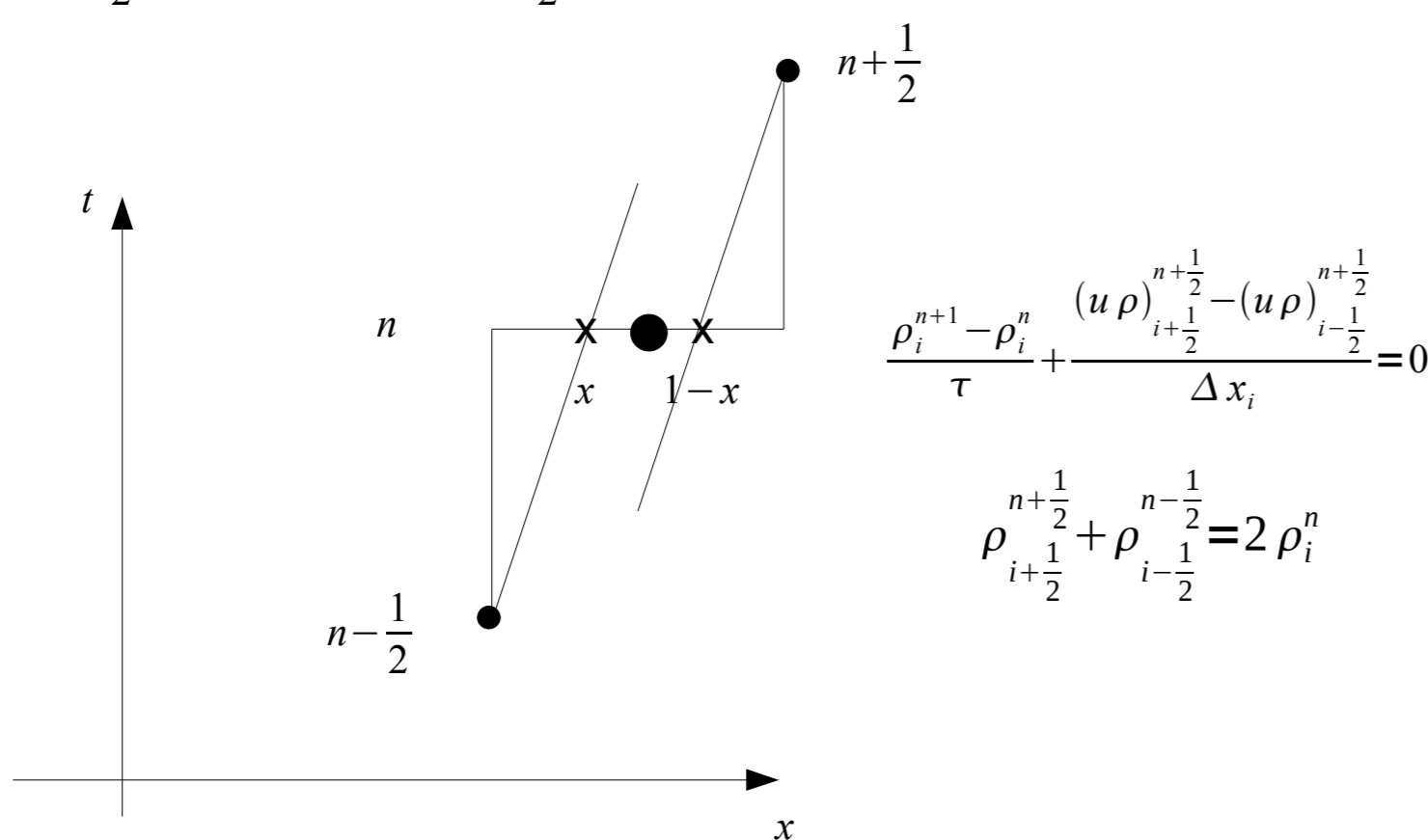
- Консервативность (сохранение глобальной массы трасера при длительных расчетах)
- Монотонность (в области больших пространственных градиентов не возникают ложные экстремумы -> положительность концентрации трасера)
- Высокая численная эффективность (простота реализации, высокая параллелизуемость алгоритма)

Двухслойная схема «кабаре»

Одномерный случай

(Головизнин, Карабасов, Кобринский, 2003)

$$2\rho(\frac{1}{2}) = \rho(x) + \rho(1-x) + O((\frac{1}{2}-x)^2)$$



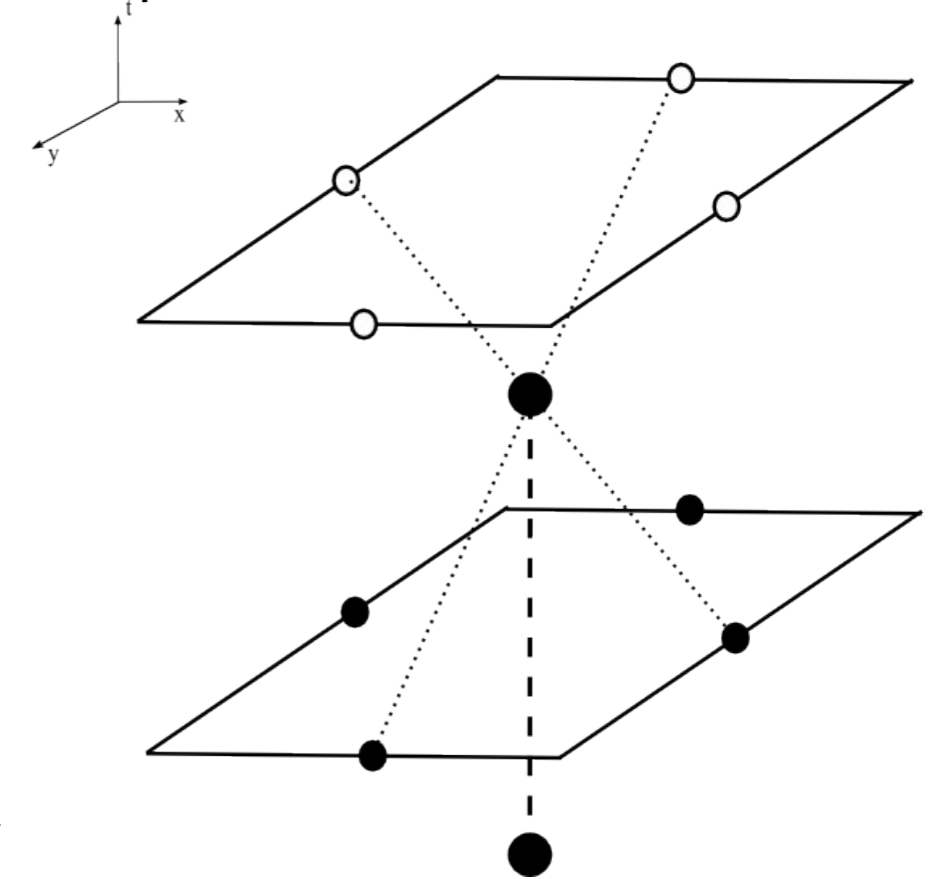
Двумерный случай

Схема с центральным «коромыслом»

$$1) \quad \begin{aligned} F_{i+\frac{1}{2}j}^n &= (u\rho)_{i+\frac{1}{2}j}^n, \\ G_{ij+\frac{1}{2}}^n &= (v\rho)_{ij+\frac{1}{2}}^n. \end{aligned}$$

$$\frac{\rho_{ij}^{n+\frac{1}{2}} - \rho_{ij}^{n-\frac{1}{2}}}{\tau} + \frac{F_{i+\frac{1}{2}j}^n - F_{i-\frac{1}{2}j}^n}{\Delta x_i} + \frac{G_{ij+\frac{1}{2}}^n - G_{ij-\frac{1}{2}}^n}{\Delta y_j} = 0$$

$$2) \quad \begin{aligned} \rho_{i+\frac{1}{2}j}^{n+1} &= 2\rho_{i-pj}^{n+\frac{1}{2}} - \rho_{i-\frac{1}{2}-2pj}^n, \\ \rho_{ij+\frac{1}{2}}^{n+1} &= 2\rho_{ij-q}^{n+\frac{1}{2}} - \rho_{ij-\frac{1}{2}-2q}^n, \\ p &= \frac{1}{2}(\text{sign}(u_{i+\frac{1}{2}j}^{n+1}) - 1), \quad q = \frac{1}{2}(\text{sign}(v_{ij+\frac{1}{2}}^{n+1}) - 1). \end{aligned}$$



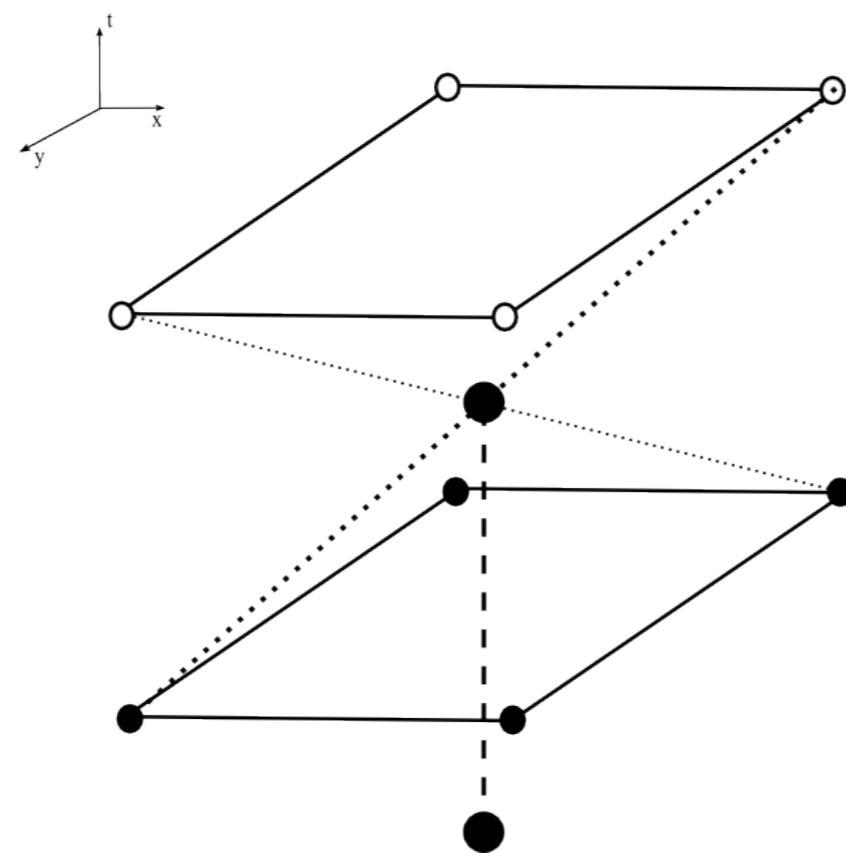
Двумерный случай

Схема с диагональным «коромыслом»

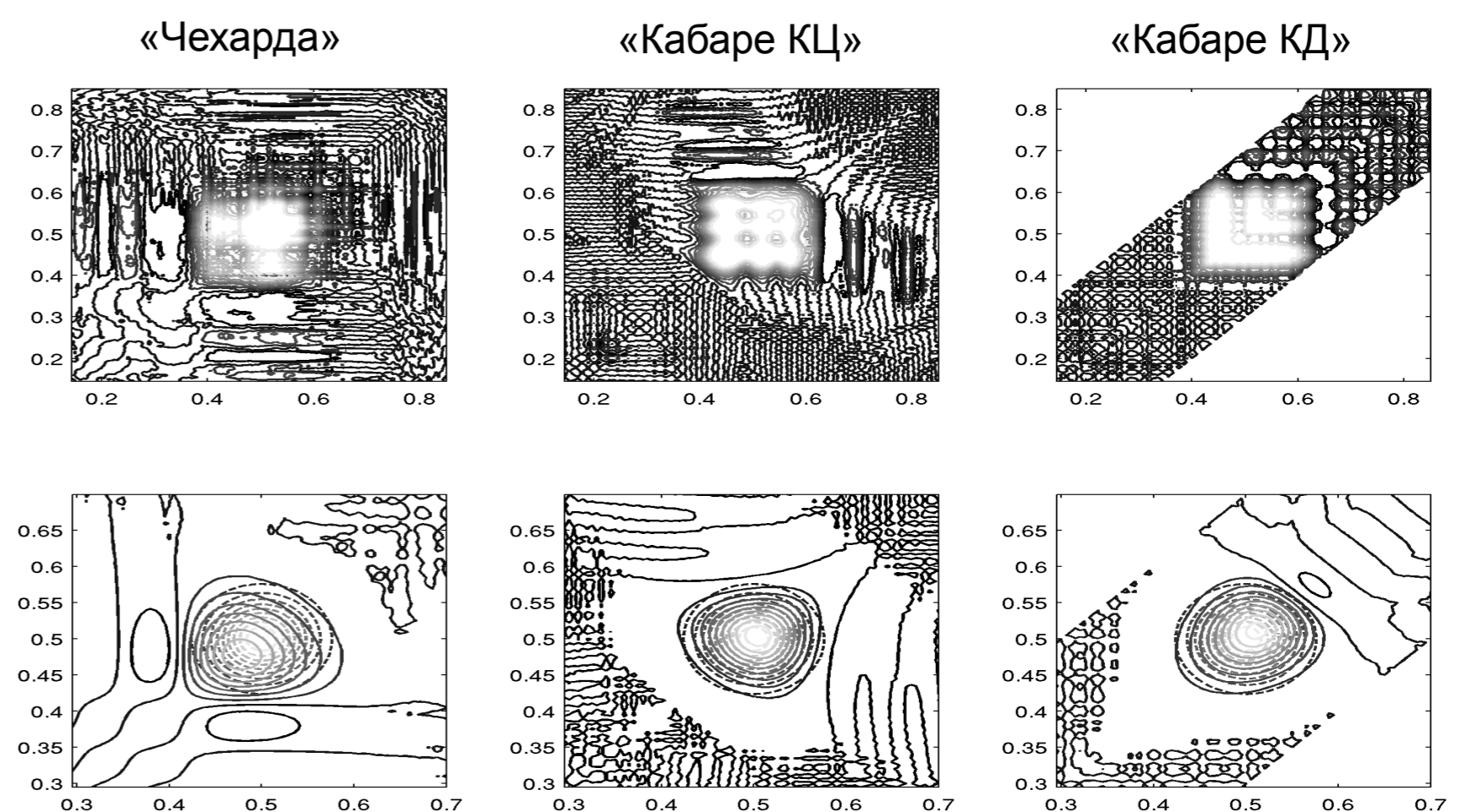
$$1) \quad \begin{aligned} F_{i+\frac{1}{2}j}^n &= \frac{1}{2}[(u\rho)_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^n + (u\rho)_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}}^n], \\ G_{ij+\frac{1}{2}}^n &= \frac{1}{2}[(v\rho)_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^n + (v\rho)_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^n], \end{aligned}$$

$$\frac{\rho_{ij}^{n+\frac{1}{2}} - \rho_{ij}^{n-\frac{1}{2}}}{\tau} + \frac{F_{i+\frac{1}{2}j}^n - F_{i-\frac{1}{2}j}^n}{\Delta x_i} + \frac{G_{ij+\frac{1}{2}}^n - G_{ij-\frac{1}{2}}^n}{\Delta y_j} = 0$$

$$2) \quad \begin{aligned} \rho_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} &= 2\rho_{i-pj-q}^{n+\frac{1}{2}} - \rho_{i-\frac{1}{2}-2pj-\frac{1}{2}-2q}^n, \\ p &= \frac{1}{2}(\text{sign}(u_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1}) - 1), \quad q = \frac{1}{2}(\text{sign}(v_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1}) - 1). \end{aligned}$$



Результаты 2d-теста по линейному переносу



Результаты 3d-теста по переносу на сфере

схемы, используемые в климатических моделях

D. Majewski, NCAR Global Atmospheric Core Workshop, Boulder, June 2008

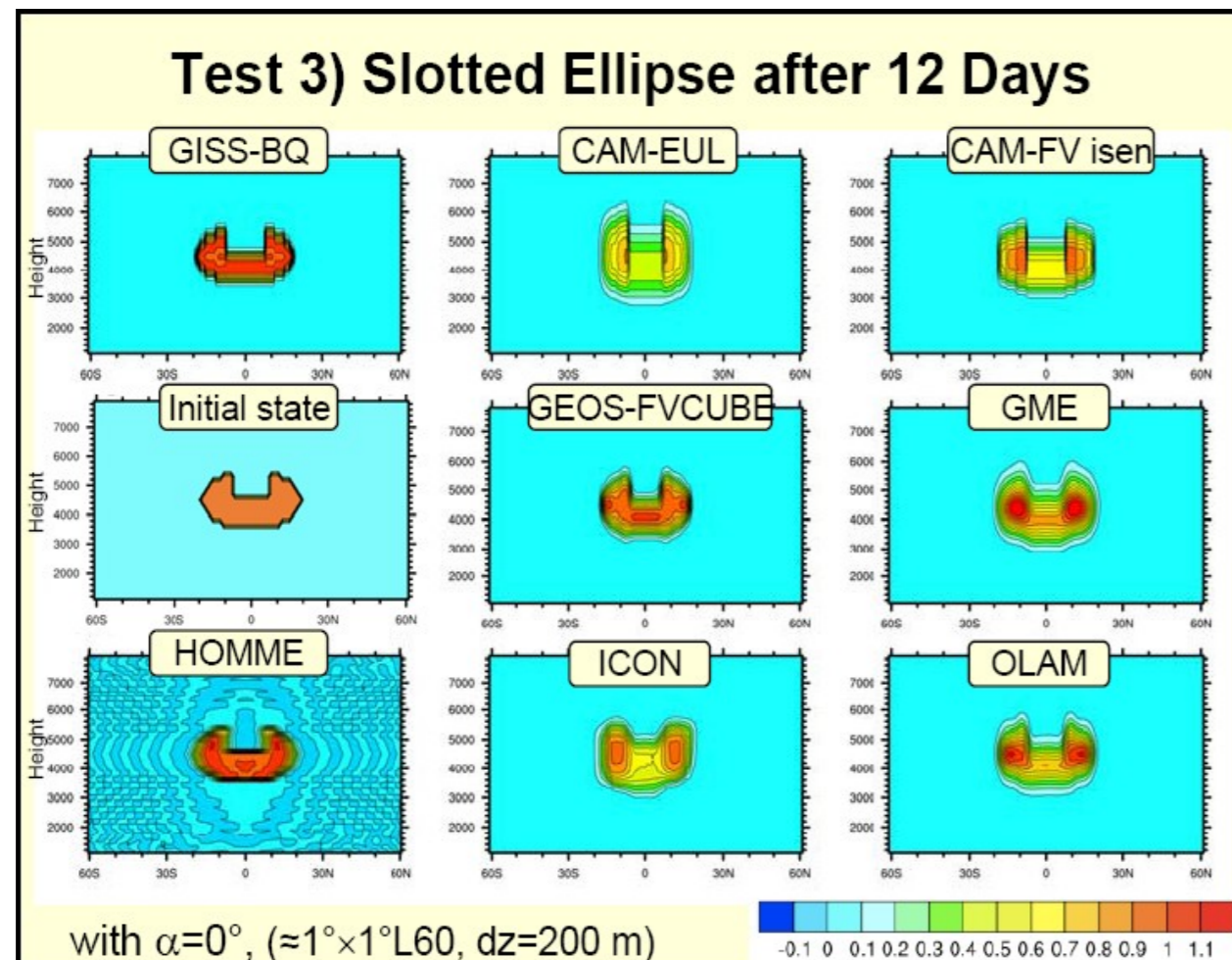
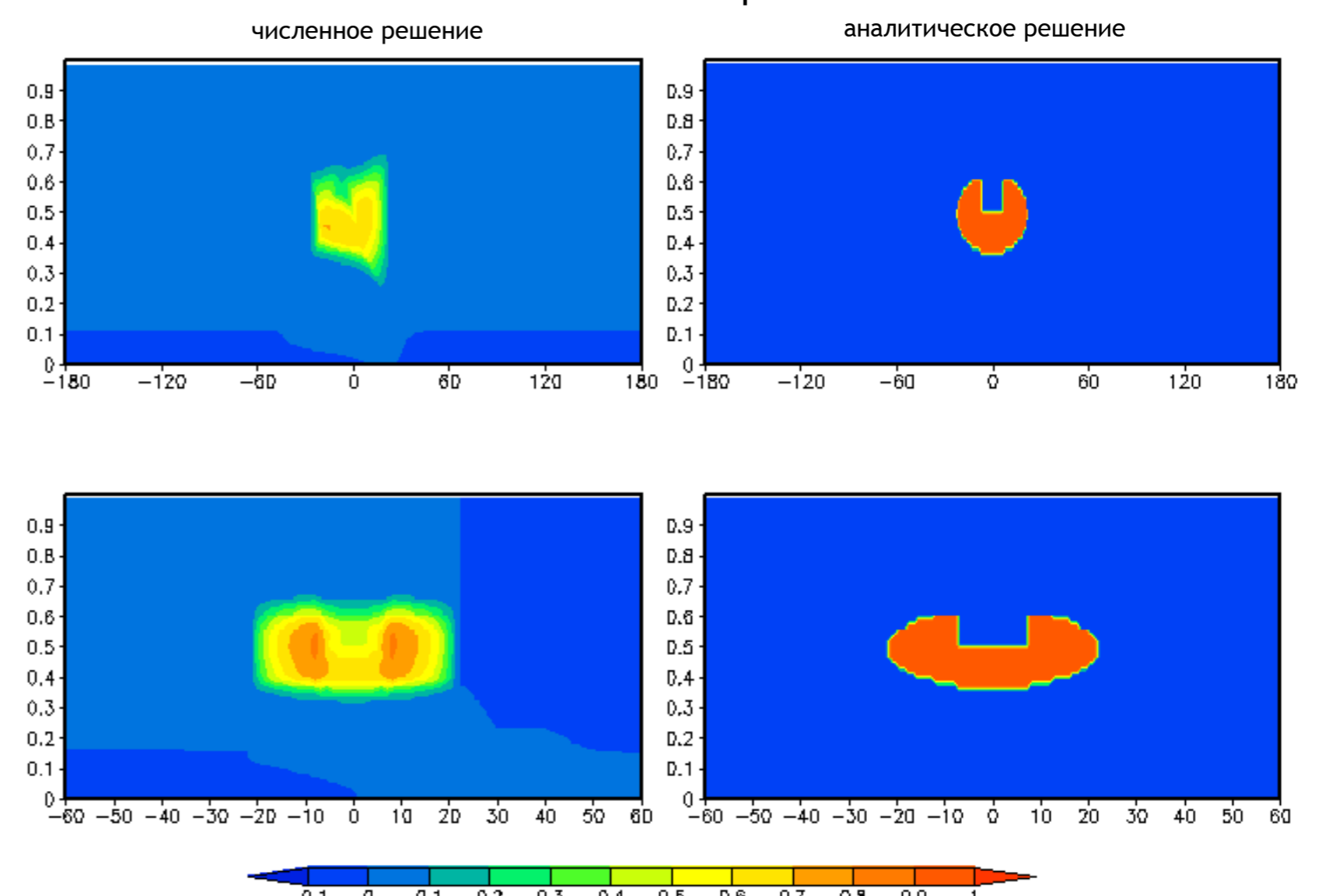


схема «кабаре»



Выводы:

- В результате тестирования различных многомерных реализаций схемы "кабаре" выявлено преимущество схемы КЦ над КД.
- Для обеспечения квазимонотонности схемы возможно применение лимитера потоков
- Трехмерный тест на сфере показал сравнимую точность по сравнению с другими известными схемами переноса, используемыми в климатических моделях.

Литература:

- A. Iserles, Generalized leapfrog methods // IMA Journal of Numerical Analysis, 1986, v.6, n. 4, p. 381-392.
 В.М.Головизнин, А.А.Самарский, Разностная аппроксимация конвективного переноса с пространственным расщеплением временной производной // Журн. Мат. Моделирования, 1998, т.10, н. 1, с. 86-100.
 В.М.Головизнин, С.А.Карабасов, И.М.Кобринский, Балансно-характеристические схемы с разделенными консервативными и потоковыми переменными // Журн. Мат. Моделирования, 2003, т.15, №9, с. 29-48.
 V.M.Goloviznin, V.N.Semenov, I.A.Korotkin, S.A.Karabasov, A novel computational method for modelling stochastic advection in heterogeneous media // Transport in Porous Media, Springer Netherlands, 2007, 66, 3, pp. 439-456.
 С.В.Кострыкин, Об одном варианте многомерного обобщения схемы "кабаре" // Журн. Мат. Моделирования (принято в печать)