

# Положительно-определённая численная схема второго порядка для уравнения переноса

Для численного решения уравнения переноса в задачах гидро- и термодинамики могут применяться разностные схемы с различными свойствами. При переносе знакоопределённых величин (масса, концентрация) важными свойствами становятся положительная определённость, консервативность и высокий порядок аппроксимации. Ими обладает схема Multidimensional Positive Definite Advection Transport Algorithm (MPDATA), предложенная в работе [1], устойчивая при числе Куранта  $U = \frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq 1$ . Особенность этой схемы состоит в применении специальной процедуры уменьшения ошибки аппроксимации за счёт проведения внутришаговых итераций для учёта нелинейной поправки (подобная процедура используется, например, в одношаговой схеме Лакса-Вендроффа). Численные эксперименты с известными аналитическими решениями подтверждают возможность достижения порядка аппроксимации, близкого ко второму, при сохранении массы и положительной определённости [2].

Численные схемы подобного рода часто используются в региональных и глобальных моделях климата и прогноза погоды. В таких моделях вычисления на GPU в настоящее время применяются лишь для нескольких составляющих, например, учёта солнечного излучения, когда как блоки расчёта атмосферной динамики по-прежнему используют CPU. Демонстрация эффективных GPU-реализаций схем, входящих в динамическое ядро может стать мотивирующим фактором для адаптации моделей к выполнению существенно большей доли вычислений на GPU.

В данном проекте предполагается взять за основу одну из двух существующих реализаций численной схемы и исследовать её применимость на гибридных параллельных вычислительных системах. Анализ может включать изучение зависимостей по данным во внутришаговых итерациях, тайлинг (tiling), оптимизацию для архитектур GPU, в том числе с поддержкой кеша данных (Fermi).

## Основные цели

- Профилирование и анализ существующей реализации схемы
- Разработка параллельного алгоритма для GPU
- Разработка гибридной реализации для кластера с использованием MPI и CUDA

## Учебные цели

- Изучение некоторых численных схем для уравнения переноса

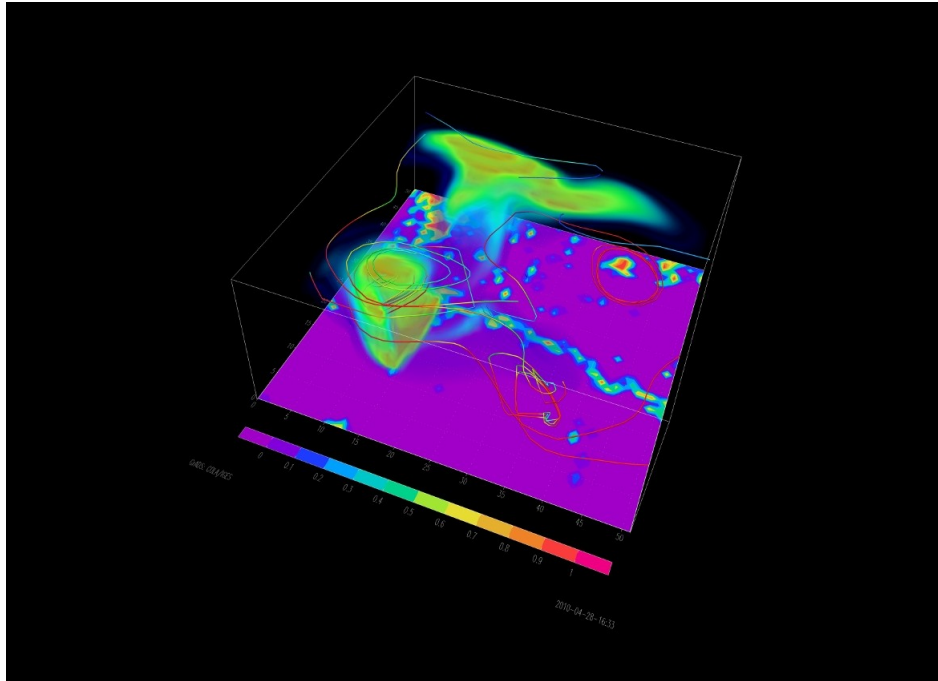


Рис. 1: Пространственное распределение концентрации в численном эксперименте по моделированию переноса аэрозоля от точечного источника, визуализация UCAR Vapor

- Изучение технологии CUDA и архитектуры GPU
- Использование кластерных систем и GPU
- Получение актуальной практики анализа и оптимизации программного кода

## Кураторы проекта

к. ф.-м. н. А. В. Боресков [steps3d@narod.ru](mailto:steps3d@narod.ru)

Д. Н. Микушин (НИВЦ МГУ) [dmikushin@srcc.msu.ru](mailto:dmikushin@srcc.msu.ru)

## Материалы

Прототип численной схемы на языке C

Модель EULAG (включает авторскую реализацию схемы на языке Фортран)

## Список литературы

- [1] Smolarkiewicz P. K. and Margolin Len G. MPDATA: A finite-difference solver for geophysical flows. *Journal of Computational Physics*, 140:459–480, 1998.
- [2] Микушин Д. Н. Численное моделирование мезомасштабного переноса примеси над гидрологически неоднородной поверхностью. *Дипломная работа*, 2008.