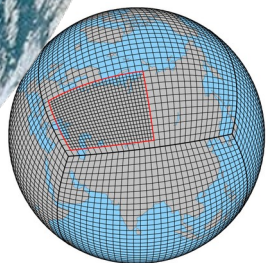


Конференция «Национальная система мониторинга климатически активных веществ:
проблемы и решения»

Разработка нового блока динамики
атмосферы для модели Земной системы ИВМ РАН

В. Шашкин (v.shashkin@inm.ras.ru), Г. Гойман, И. Третьяк



Москва, 02.11.2023



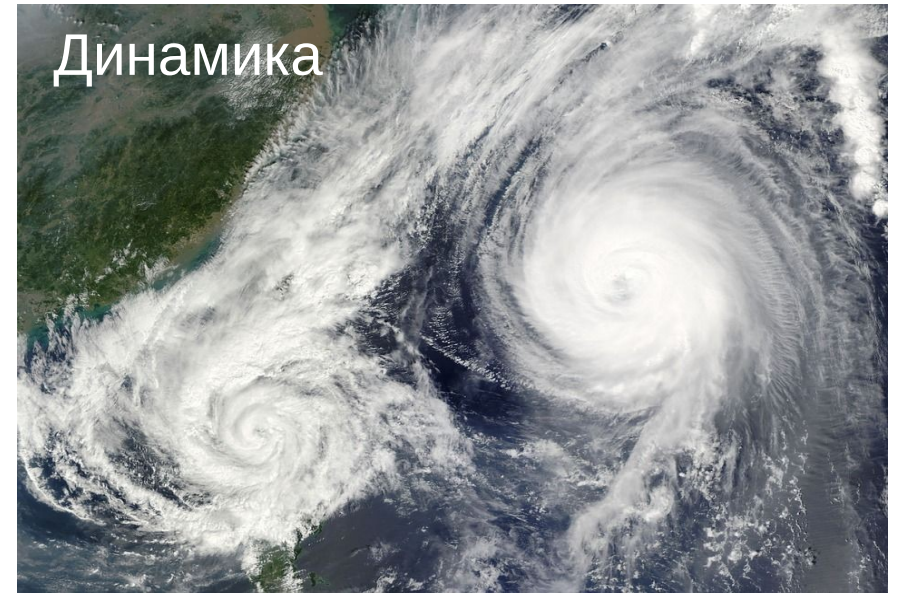


- Мотивация
- Цели, задачи, решения
- Текущие состояние
- Заключение, перспективы развития



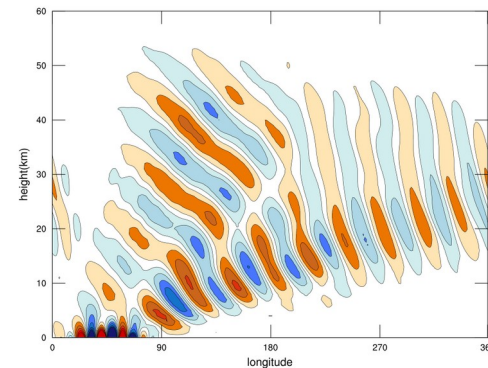
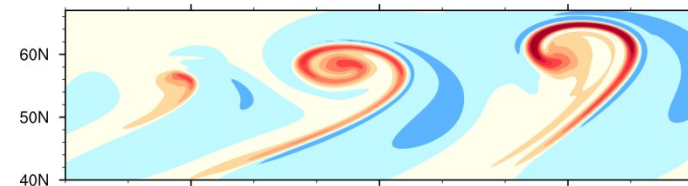
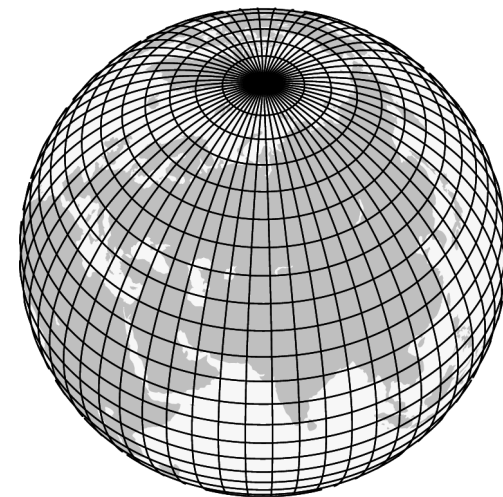
Модель атмосферы:

- **Блок гидротермодинамики**
 - Численное решение уравнений
 - Определяет структуру данных модели
- **Блок физики** процессов подсеточного масштаба
 - Большое количество процессов (+ химия, биология и др.)



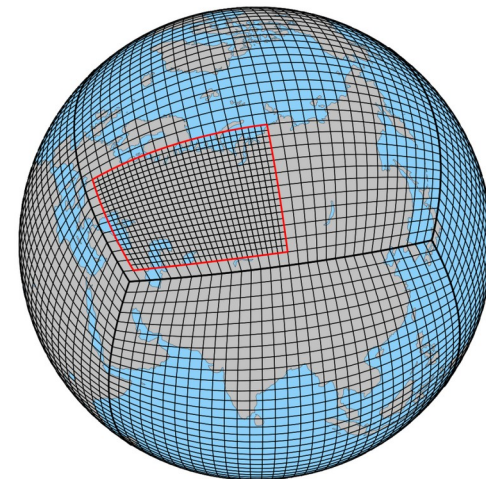
Динамические блоки устаревают:

- Повышение целевого разрешения ($dx < 10$ км прогноз, $dx < 100$ км климат)
 - Нужно менять сетку
 - Нужно менять систему уравнений
 - Нужна мощная ЭВМ (~10-100 тыс. ядер на задачу)
- Эволюция архитектуры ЭВМ
 - Модернизация алгоритмов
- Эволюция программных средств
 - Можно писать более функциональный и понятный код => больше пользователей



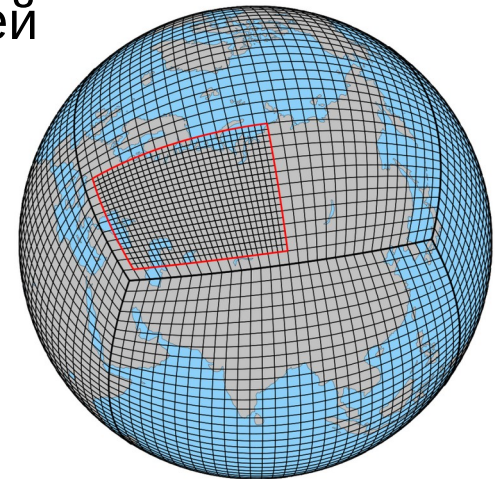
Каким требованиям должен удовлетворять новый динамический блок?

- Универсальность по задаче (моделирование климата, прогноз погоды)
- Универсальность по ЭВМ (CPU, GPU, ARM и т.д.)
- Гибкость и конфигурируемость
- Квазиравномерная сетка на сфере
- Вычислительная эффективность (в т.ч. масштабируемость)
- Возможность локально повысить разрешение



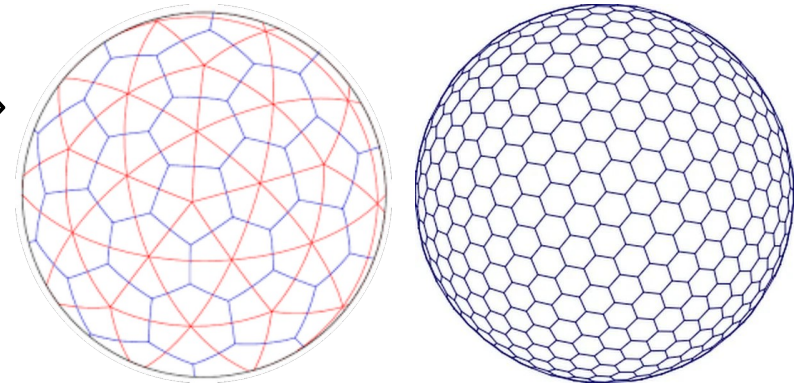
Особенности динамического ядра:

- Сетка кубическая сфера
- Не один численный метод, а коллекция разных
- Разные системы уравнений (гидростатическая, негидростатическая)
- Инструменты для переноса атмосферных примесей
- Интерфейс(ы) к подсеточной физике
- Методы локального сгущения сетки
- Иерархическая объектная структура



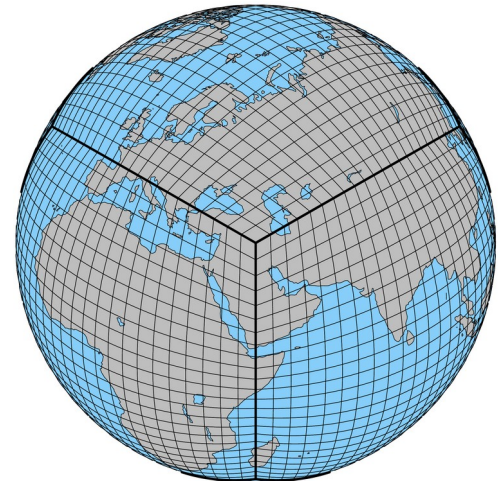
Сетка с квазиравномерным разрешением на сфере

- Все квазиравномерные сетки «плотные»
- Выбор между квадратными, треугольными и шестиугольными ячейками



Кубическая сфера:

- Куб, «надутый» до сферы
- Удобство программирования — скорость выполнения
- Квадратные ячейки — соответствуют свойствам пространства
- Сложности на ребрах куба



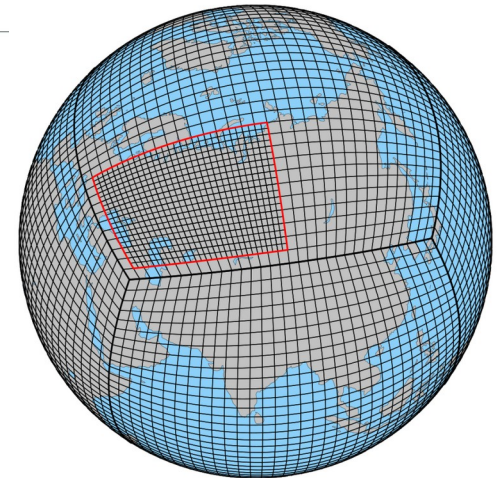
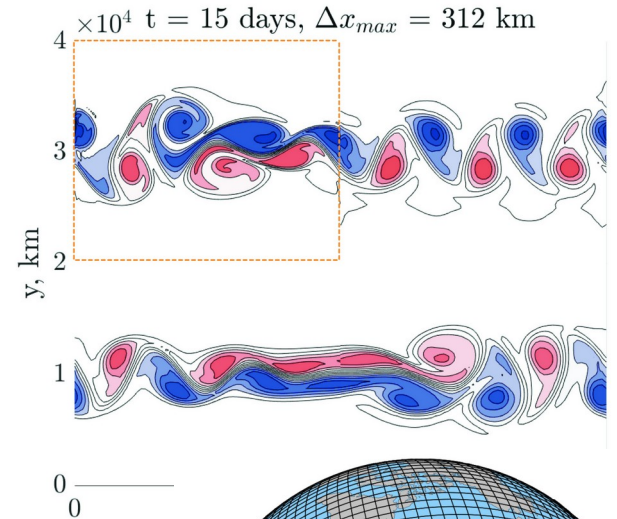
Локальное повышение разрешения

Методы (планируются):

- Вложение и наложение
- Одно- и дву- направленное наложение (nesting)

Цели:

- Повышение качества решения в регионе
- Повышение качества решения глобально
- Повышение согласованности боковых граничных условий



Объектная структура - пример



Только самый последний уровень взаимодействует с «железом»

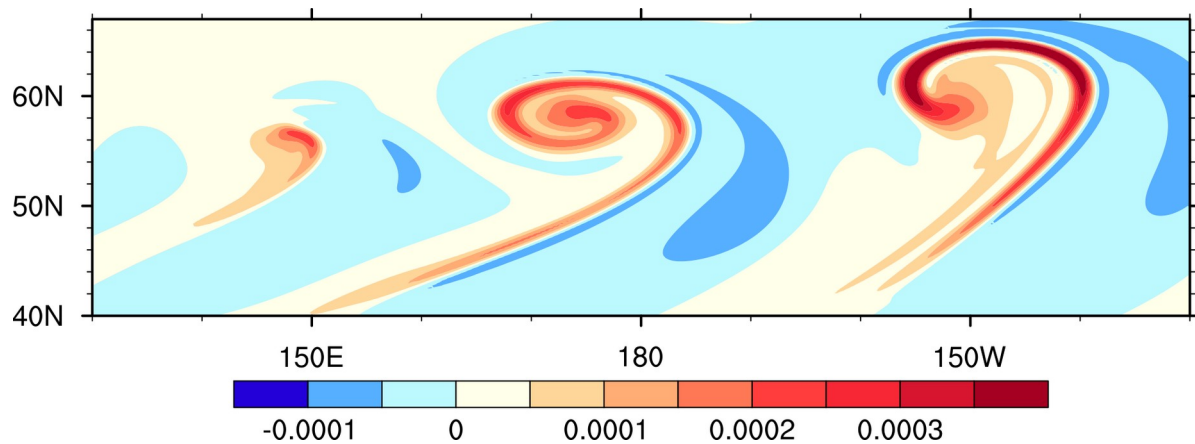
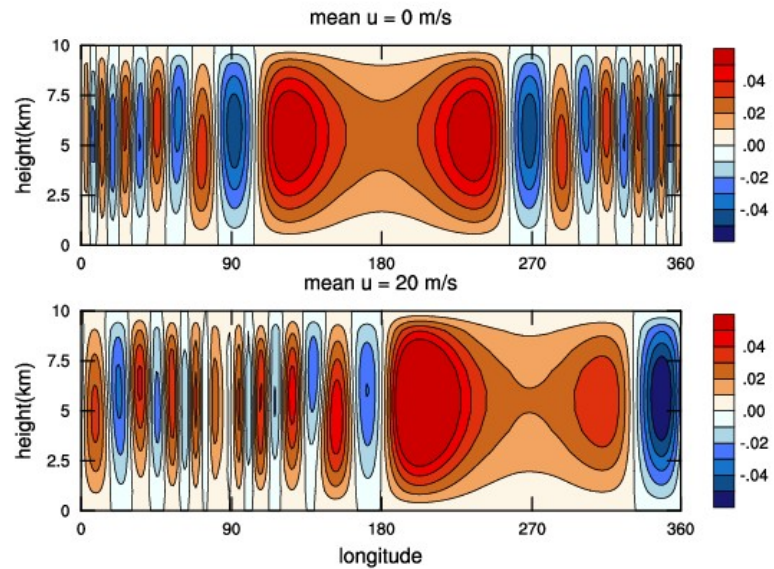
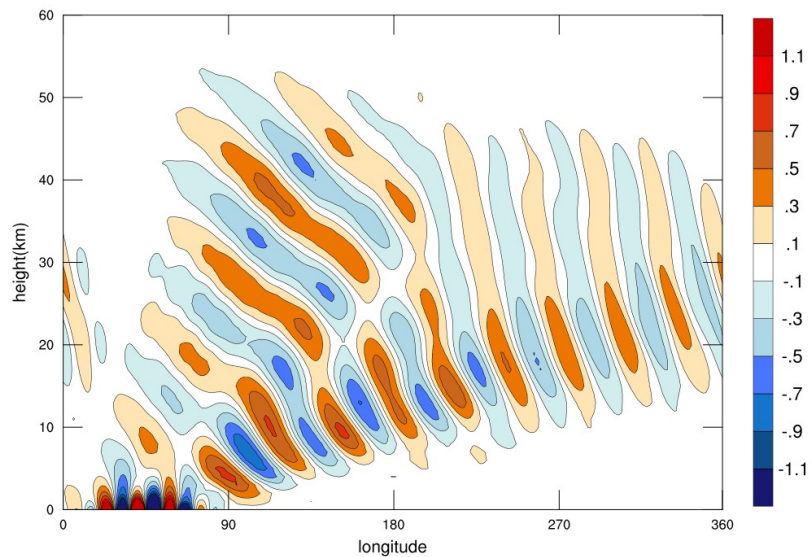
На ноябрь 2023 сделано:

- *Прототипы негидростатического и гидростатического динамических блоков*
- Решают идеализированные тестовые задачи на современном уровне точности

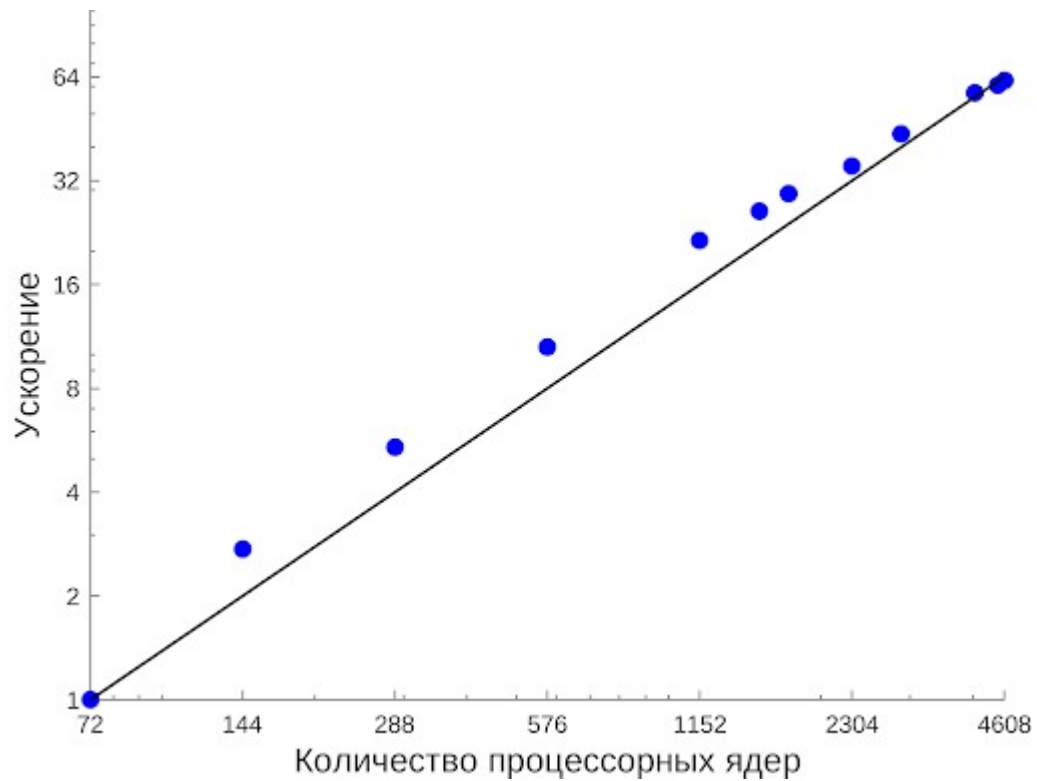
Что нужно доделывать?

- Локальное повышение разрешения (план 2024)
- Ряд численных методов, которые повысят скорость (план 2023)
-
- Тестирование на реальных данных
- Формулировка уравнений с учетом водяного пара, капель, льда
- Интерфейсы к физике
- Адаптация к альтернативной архитектуре ЭВМ

Текущее состояние — избранные результаты



Текущее состояние - масштабируемость



Сильная масштабируемость динамического блока на ЭВМ CRAY XC-40 Росгидромета, 4608 ядер, эффективность 100%



Научная группа

- 2 к.ф.-м.н.
- 3 студента
- ИВМ РАН, Гидрометцентр, МФТИ, МГУ
- Поддержка РФ



Владимир Шашкин
ИВМ РАН, ГМЦ



Гордей Гойман
ИВМ РАН, ГМЦ



Илья Третьяк
МФТИ



Дмитрий Марханов
МГУ



Кирилл Дегтярев
МФТИ

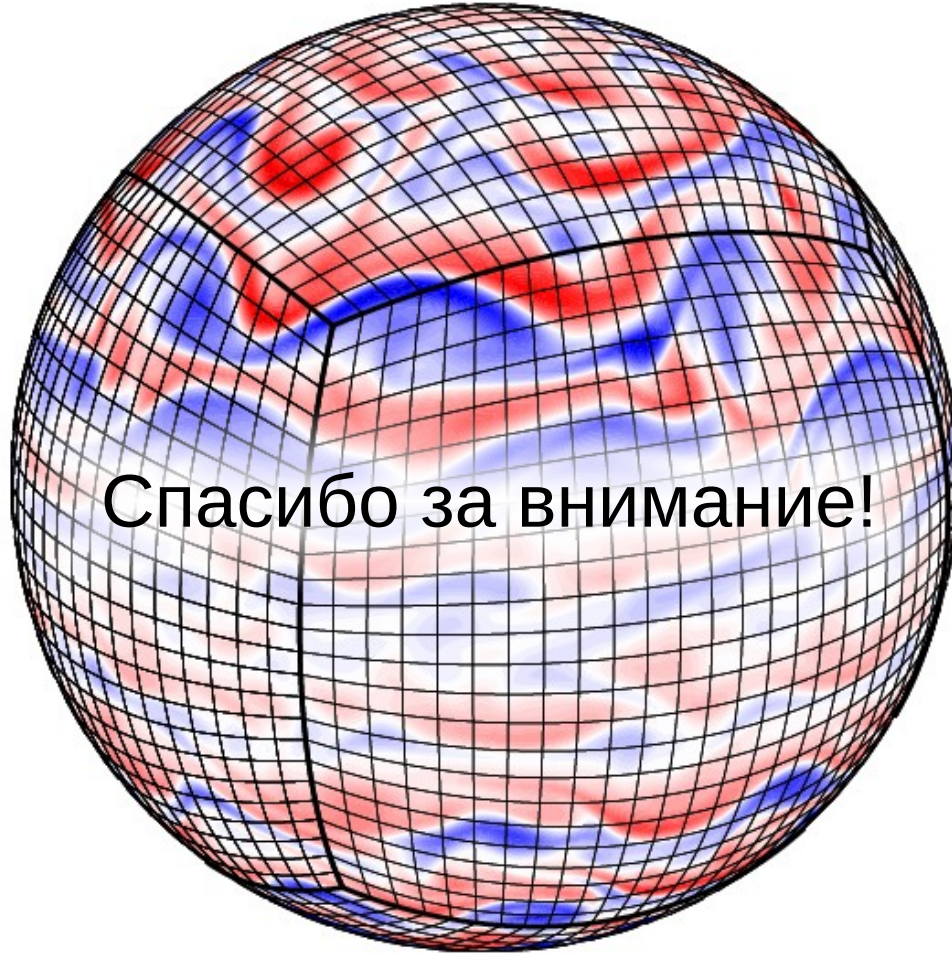
Итог:

- Создан трехмерный прототип динамического блока для модели атмосферы нового поколения
- Проверен на идеализированных тестах

Направления развития:

- Методы локального повышения разрешения (по плану 2024)
- Интерфейсы для подсеточной физики (после 2024)
- Адаптация к альтернативной архитектуре ЭВМ (GPU, после 2024)
- «Влажная» формулировка уравнений динамики (после 2024)
- **Внешнее сотрудничество**





<https://gitlab.inm.ras.ru/vshashkin/ParCS>

