

Исследование глобальной полулагранжевой модели средне- и долгосрочного прогноза погоды на кластерных системах Intel® Xeon Phi™

М.А.Толстых (1,2), Р.Ю.Фадеев (1,2),

1) Институт вычислительной математики РАН;

2) Гидрометцентр России



Зачем нужна глобальная модель атмосферы?

- Прогноз погоды на различных масштабах времени.
- Метеорологическая безопасность страны (аэронавигация!)
- Боковые граничные условия для моделей в ограниченной области;
- **Потенциальное применение Xeon Phi – долгосрочный прогноз , детерминистический прогноз; в перспективе - среднесрочный ансамблевый прогноз**

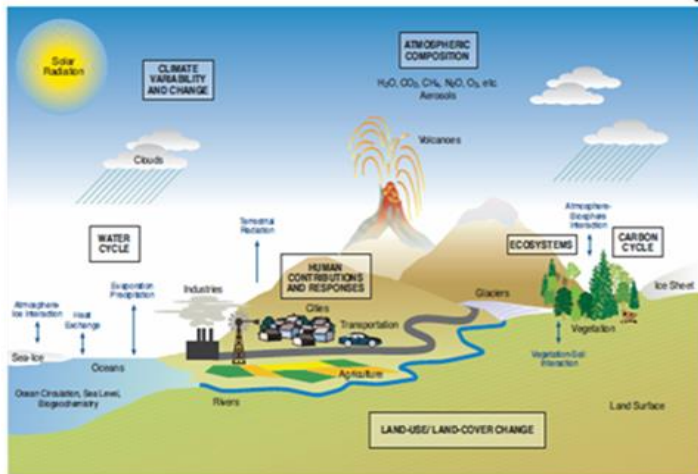
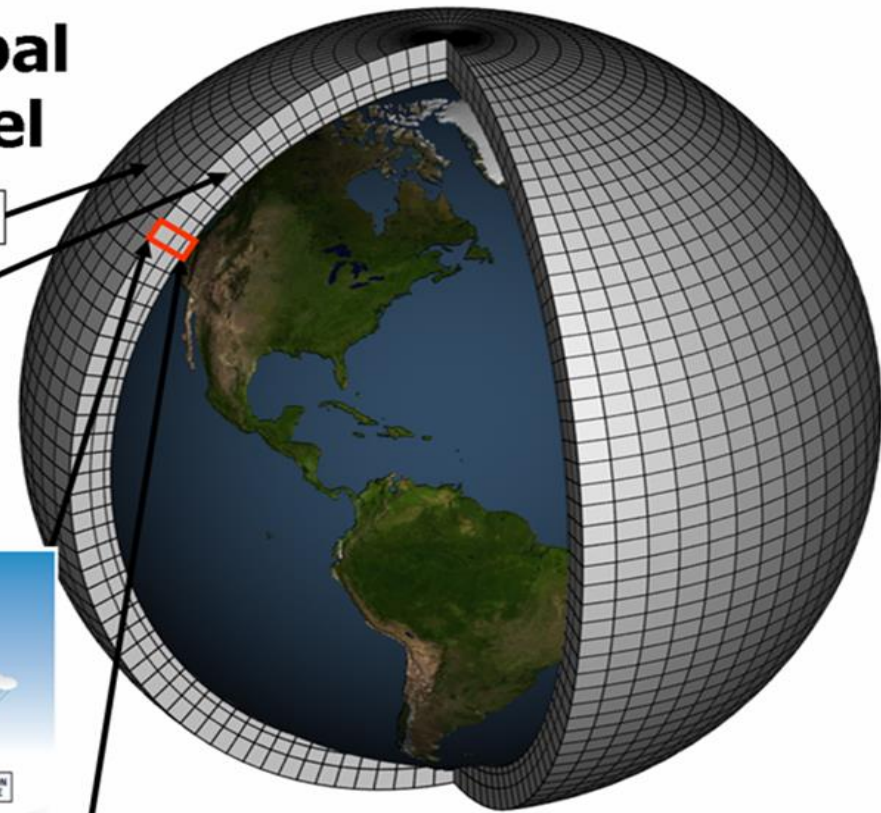
Тип прогноза	Срок прогноза	Разрешение модели
Детерминистический прогноз	2-7 суток	Максимально возможное разрешение
Ансамблевый прогноз с 25-50 участниками ансамбля	3-10 суток	Умеренное разрешение
Долгосрочный прогноз	1-6 месяцев	Низкое разрешение
Моделирование изменений климата	Годы и десятилетия	Низкое и умеренное разрешение

Как устроена модель атмосферы

Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (Latitude-Longitude)

Vertical Grid (Height or Pressure)



Алгоритмы модели атмосферы

- Блок решения уравнений динамики атмосферы
 - расчет уравнений типа Рейнольдса (осредненные уравнения Навье-Стокса) на вращающейся сфере в приближениях гидростатики и несжимаемости;
 - 25-45 % общего времени счета.
- Параметризации процессов подсеточного масштаба
 - расчет правых частей уравнений: источники и стоки импульса, тепла и влаги вследствие неадиабатических процессов;
 - 55-75 % общего времени счета.

Глобальные оперативные модели

- В мире сейчас существует 15 глобальных моделей атмосферы используемых в оперативном режиме для прогноза погоды.

Из них только 10 являются оригинальными (собственной разработки). Так, например, модель NCEP (США) используется в Индии, модель UKMO – в Австралии и Ю.Корее, модель EЦСПП – в Китае.

- За 5 лет – на 3 спектральные модели меньше (Австралия, Бразилия, Ю.Корея). Китай планирует перейти на неспектральную модель собственной разработки в 2015-2016 гг.
- 8 оригинальных моделей - полулагранжевы
- Типичное разрешение на 2016 г - 13-25 км.

Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения
Абсолютной Завихренности)



Модель ПЛАВ использует в качестве
прогностических переменных абсолютную
завихренность и горизонтальную дивергенцию.
Такая постановка отличает модель ПЛАВ от всех
других моделей динамики атмосферы.

Основные особенности модели ПЛАВ (1996- 2016)

- Цели разработки: высокая точность при минимальных вычислительных затратах =>
- Численные методы высокого порядка
- Формулировка уравнений «вихрь-дивергенция»
- Полулагранжев метод, полунеявный алгоритм интегрирования по времени
- Векторизация
- Распараллеливание MPI и OpenMP

Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения
Абсолютной Завихренности)



Соавторы (кроме авторов доклада):

J.-F. Geleyn + ALARO team, А.В. Шляева,

А.Ю. Юрова, В.Г.Мизяк, В.С.Рогутов , Г.С.Гойман, Н.Н.

Богословский, Р.Б.Зарипов, С.В.Кострыкин, И.Н.Эзау,

А.В.Лобанова, Т.В.Красюк

Диагностика модели: А.Р.Иванова, Е.Н.Скриптунова, А.Н.Багров,

Д.Б.Киктев, Е.Н.Круглова, И.Н.Куликова, П.Ю.Пережогин,

И.В.Тросников, Л.Р.Дмитриева

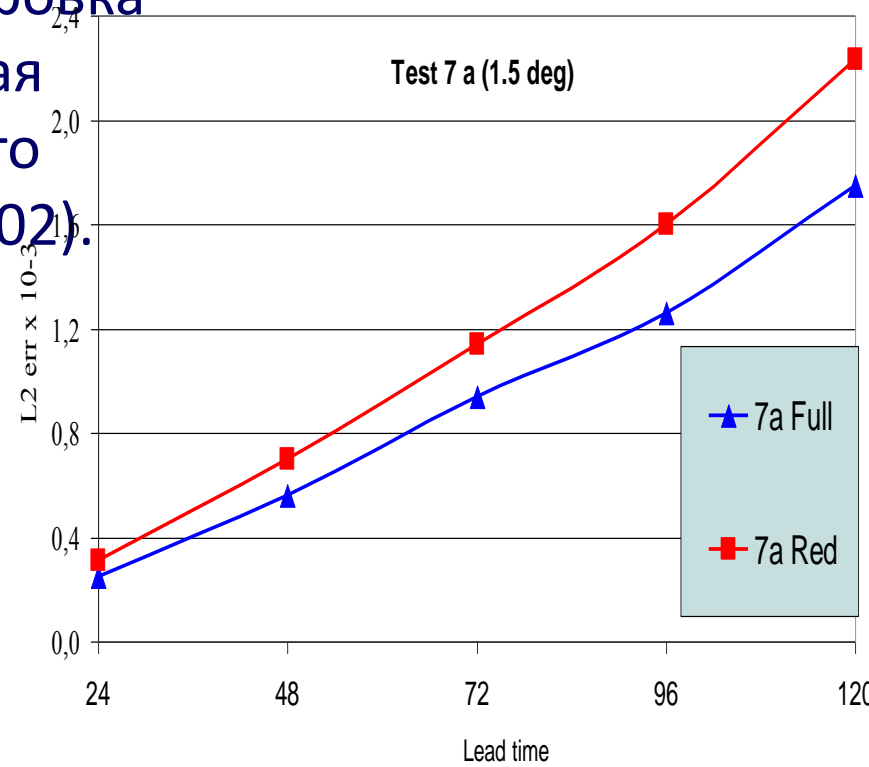
Защищено 3 кандидатские диссертации, готовятся еще 4.

Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения Абсолютной Завихренности)



- Конечно-разностный полунявный полулагранжев блок решения уравнений динамики атмосферы собственной разработки: формулировка «вихрь-дивергенция», несмещенная сетка (Z grid), конечные разности 4го порядка (Tolstykh J Comput Phys 2002).
- На ряде стандартных тестов для моделей мелкой воды на сфере достигнута точность спектральной модели



Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ: параметризации

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения Абсолютной Завихренности)



- Набор параметризаций процессов подсеточного масштаба ALADIN/ALARO,
- Свободнораспространяемые блоки расчета коротко- и длинноволновой радиации CLIRAD SW + RRTMG LW,
- модель деятельного слоя суши ИВМ РАН –НИВЦ МГУ (в процессе)

GPC predictions of DJF'12-13 mean SLP

(from WMO LC LRF-MME)

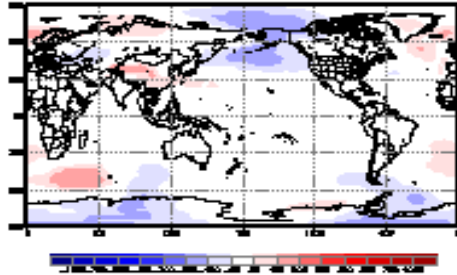
lat=-90 90
lon=0 360

Mean Sea Level Pressure : 02012

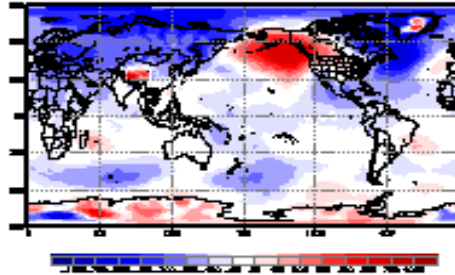
(issued on Nov)

[Unit: Pa]

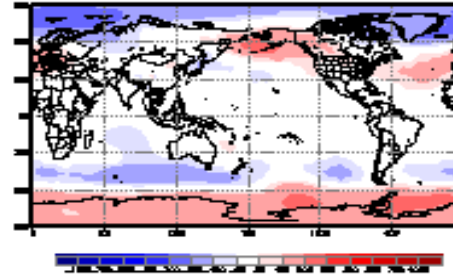
GPC_Beijing



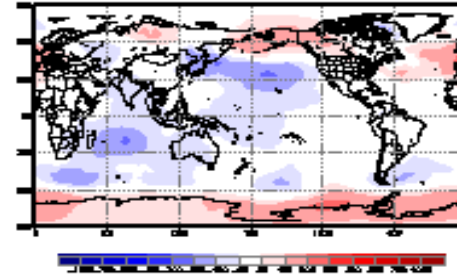
GPC_CPTC



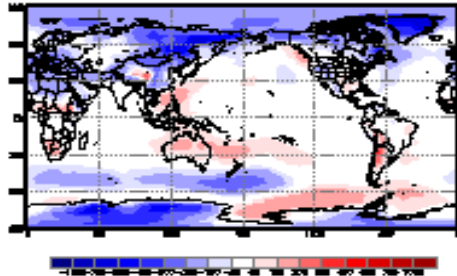
GPC_ECMWF



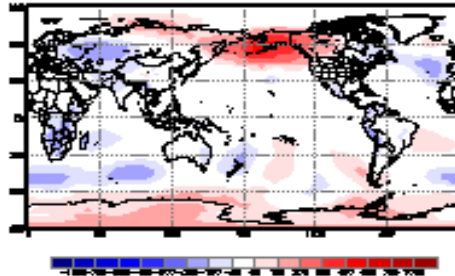
GPC_Exeter



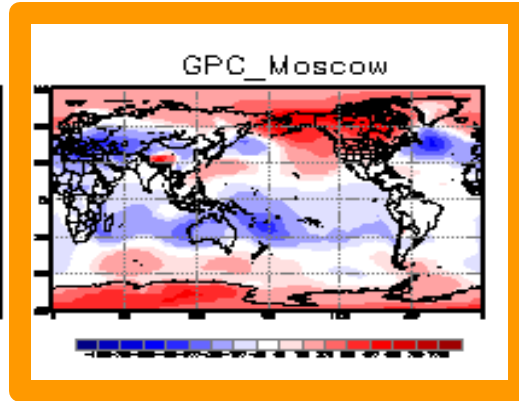
GPC_Melbourne



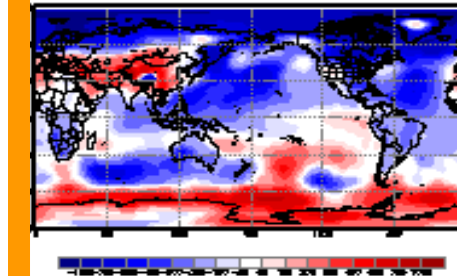
GPC_Montreal



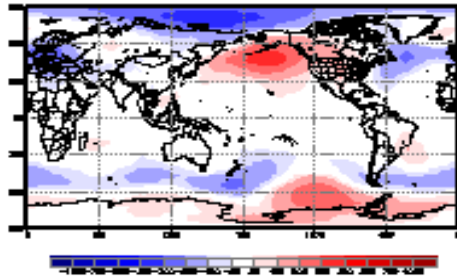
GPC_Moscow



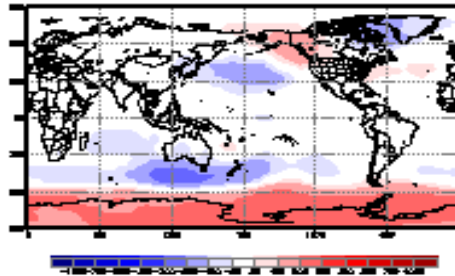
GPC_Pretoria



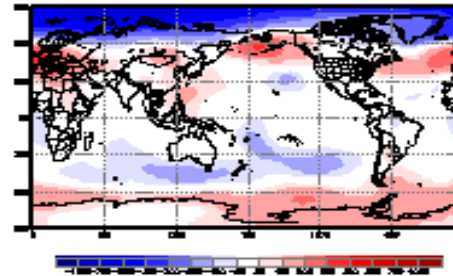
GPC_Seoul



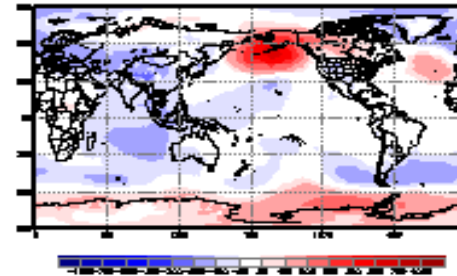
GPC_Tokyo



GPC_Toulouse



GPC_Washington



Предсказан отрицательный индекс Северо Атлантического Колебания!

Актуальные версии модели ПЛАВ: «бесшовный» прогноз



Гидрометцентр России

- Среднесрочный прогноз погоды на срок от 2 до 10 суток.
- **Вероятностный сезонный прогноз.**



СибНИГМИ

- Среднесрочный прогноз погоды до 3 суток.



S2S Prediction project (WMO)

- **Ансамблевый прогноз до 60 дней.**

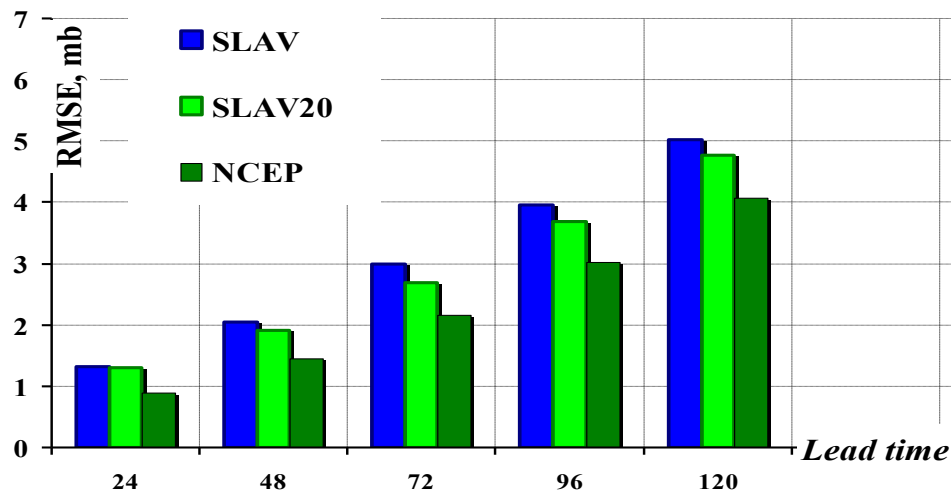


RMS forecast errors for 11.04.2014-14.06.2015 with respect to analysis .

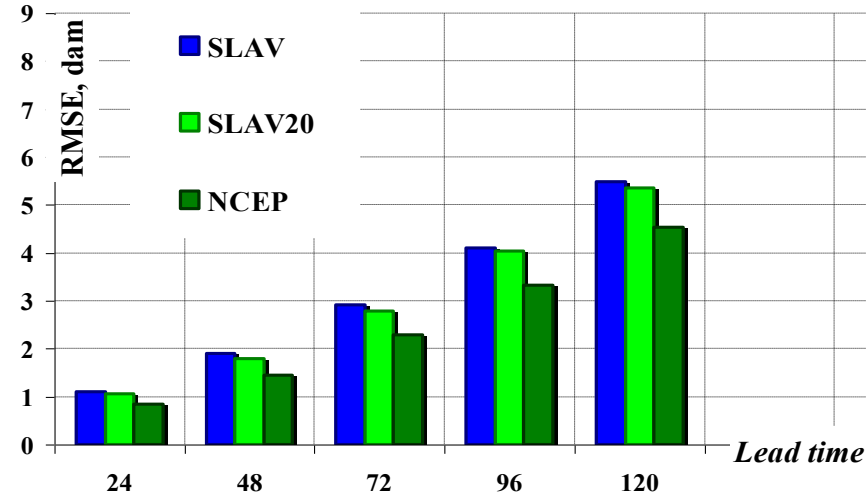
Region: Europe, 12 UTC

(SLAV – operational version, SLAV20 – new version)

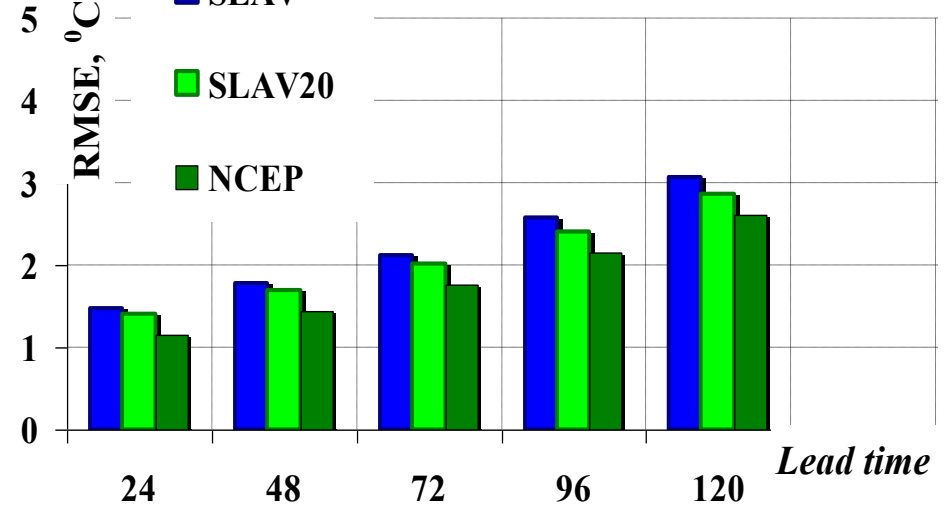
RMSE, Po, Europe



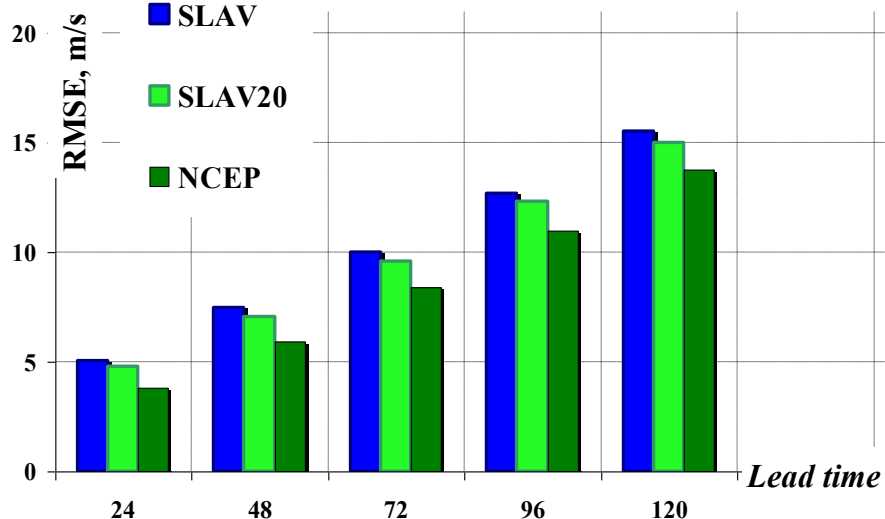
RMSE, H-500, Europe



RMSE, T-850, Europe



RMSE, W-250, Europe

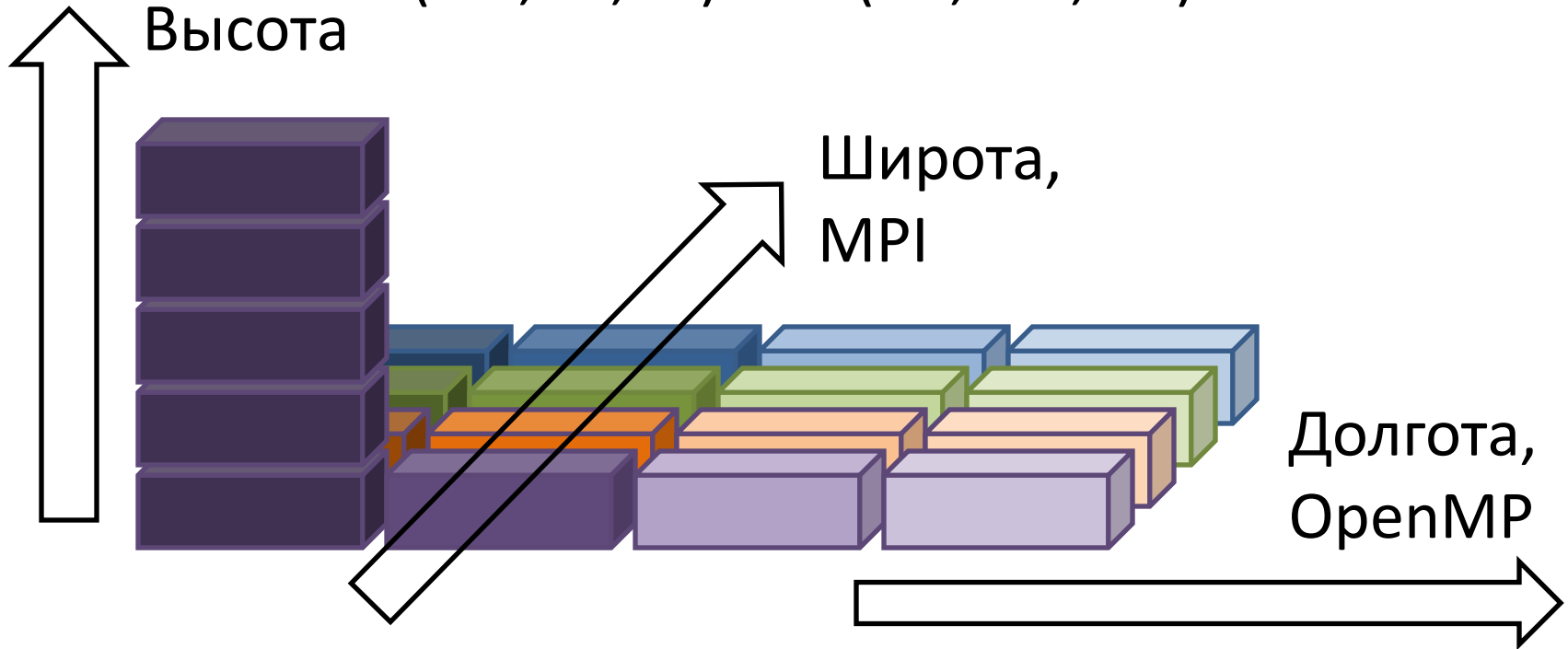


Первый опыт использования Xeon Phi (2015)

- У кода ПЛАВ 2015 г. объем требуемой памяти рос с ростом количества нитей OpenMP.
- Структура данных в коде была недостаточно «локальна».
- Распараллеливание по MPI и OpenMP – ограниченная масштабируемость на «обычных» системах.
- Код модели был запущен на Petastream, но ускорение по сравнению с «обычными» системами не было получено.

Новая структура данных

$F(\text{lon}, \text{lev}, \text{lat}) \rightarrow F(\text{lev}, \text{lon}, \text{lat})$



Такой подход позволил:

1. уменьшить объем используемой памяти (в том числе за счет ликвидации больших массивов `OMP PRIVATE`);
2. повысить локализацию данных в коде.

Использование Intel Xeon Phi для модели ПЛАВ

- Система ансамблевого долгосрочного прогноза (разрешение около 1°) - каждый участник ансамбля занимает один процессор (MPI+OpenMP в рамках одного процессора). Всего нужно 40-60 участников.
- Детерминистический прогноз высокого разрешения – MPI обмены между процессорами (по широте), внутри процессора – OpenMP (по долготе и/или вертикали).

Спасибо за внимание!

Средняя за лето 2015 г ошибка прогноза высоты поверхности 500 гПа как функция времени (RUMS=Россия)

Date: 201506-201508 RMSEF 500 hPa z/n.hem/observations

