

Модель бесшовного прогноза погоды ПЛАВ

М.А.Толстых, Р.Ю.Фадеев, В.В.Шашкин,
С.В.Махнорылова, В.Г.Мизяк, В.С. Рогутов, Г.С.Гойман



Глобальные модели численного прогноза

- Сейчас в мире всего 15 глобальных моделей (13 в таблице + Индия и ВМС США)
- Из них всего 9 собственной разработки:
 - Россия, Европейский центр, США, Великобритания, Франция, Германия, Канада, Япония, Китай.
- Только Франция и Великобритания самостоятельно развивают свои модели, ориентированные как на прогноз погоды так и на климат.
- 7 оригинальных моделей – полулагранжевы.
- Типичное разрешение на 2016 г - 13-30 км.

Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения
Абсолютной Завихренности)



Модель ПЛАВ использует в качестве
прогностических переменных абсолютную
завихренность и горизонтальную дивергенцию.

- Цели разработки: высокая точность при
минимальных вычислительных затратах =>
- Численные методы высокого порядка
- Полулагранжев метод, полунеявный алгоритм
интегрирования по времени

Люди, без которых модель не была бы создана



Г.И.Марчук

08.06.1925-24.03.2013

Отечественная школа
моделирования атмосферы и
океана.

Модель Земной системы
INMCM является единственной
отечественной совместной
моделью атмосферы и океана
с 2003 года, участвующей в
международном проекте IPCC.

Люди, без которых модель не была бы создана

Знакомство с численным
прогнозом погоды

Параметризации
процессов подсеточного
масштаба



Жан-Франсуа Желен
16.01.1950-08.01.2015

Мотивация

- Вычислительная эффективность – время расчета прогноза с заданной точностью на данном количестве процессоров.
- Randall (1994) – формулировка уравнений «вихрь-дивергенция» на несмещенной сетке – свойства распространения волн лучше, чем «обычные уравнения» (U-V) на сетке C.
- Конечные разности высокого порядка

Несмещенная сетка

- Does not need multiple trajectories for SL
- Does not need additional interpolations between U, V and T points (hence it is easier to apply high-order finite differences).
- But: U-V formulation is bad in this case (properties of Rossby and gravity waves propagation).

Формулировка «вихрь-дивергенция»

- Requires fast and accurate solver to reconstruct U-V from vorticity and divergence.
- $O(h^3)$ –accurate solver based on FFT in longitude and compact differences in latitude (Tolstykh, Shashkin JCP2012). It does not require solving Poisson eqns on the sphere.

Характеристики блока динамики

- Полулагранжева схема – SETTLS (Hortal, QJRMS 2003)
- Полуявная схема - (Bates et al, MWR 1993) с применением другой схемы интегрирования по вертикали.
- Гибридная координата по вертикали.
- Конечные разности 4го порядка.
- Редуцированная широтно-долготная сетка.
- Переменное разрешение по широте.
- Точность на тестах для мелкой воды (Tolstykh JCP 2002; Tolstykh, Shashkin JCP 2012).
- Статья в Geosci. Model Development

<http://www.geosci-model-dev.net/10/1961/2017/>

Глобальная полулагранжева модел атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения
Абсолютной Завихренности)



- Конечно-разностный полунявный полулагранжев блок решения уравнений динамики атмосферы собственной разработки, несмещенная сетка (Z grid), конечные разности 4го порядка (Tolstykh J Comput Phys 2002).
- 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

Глобальная полулагранжева модел атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения
Абсолютной Завихренности)



Соавторы (кроме авторов доклада):

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

А.Ю. Юрова, 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, М.А.Трубина

Защищено 3 кандидатские диссертации, готовятся еще 4.

Глобальная полулагранжева модел атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения
Абсолютной Завихренности)

<http://nwplab.inm.ras.ru>

Над развитием модели работают:



С развитием модели связаны
дипломы 2 студентов ВМК МГУ,
2 студентов МФТИ и 1 студента
МЭИ.



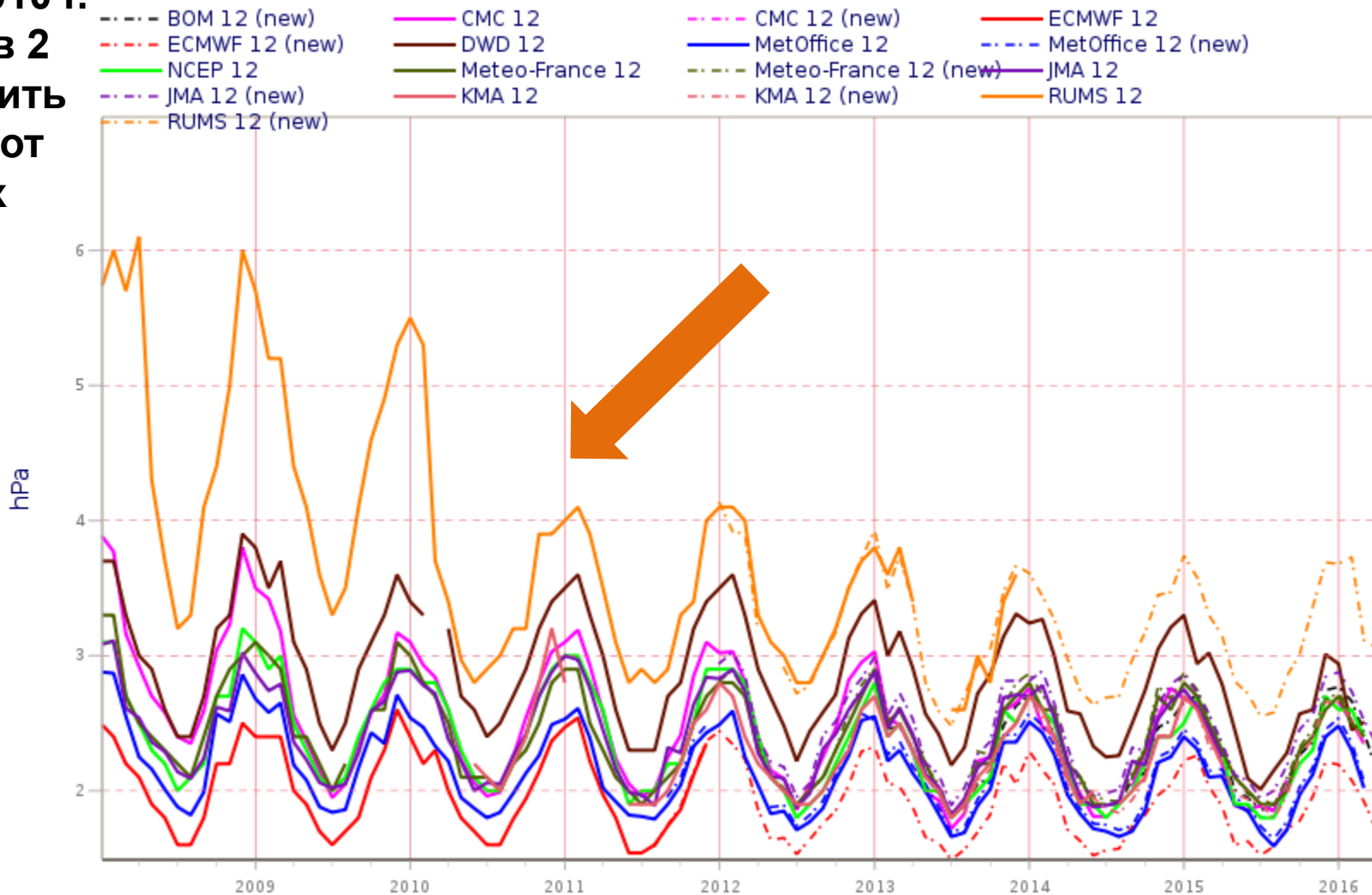
Среднеквадратическая ошибка прогноза H500 на 3 суток. Период: январь 2008 – март 2016.

Гидрометцентр: желтый. **Внедрение ПЛАВ**: февраль 2010; **внедрение ЗДВар**: апрель 2013.

Источник: <http://apps.ecmwf.int/wmolcdnv/>

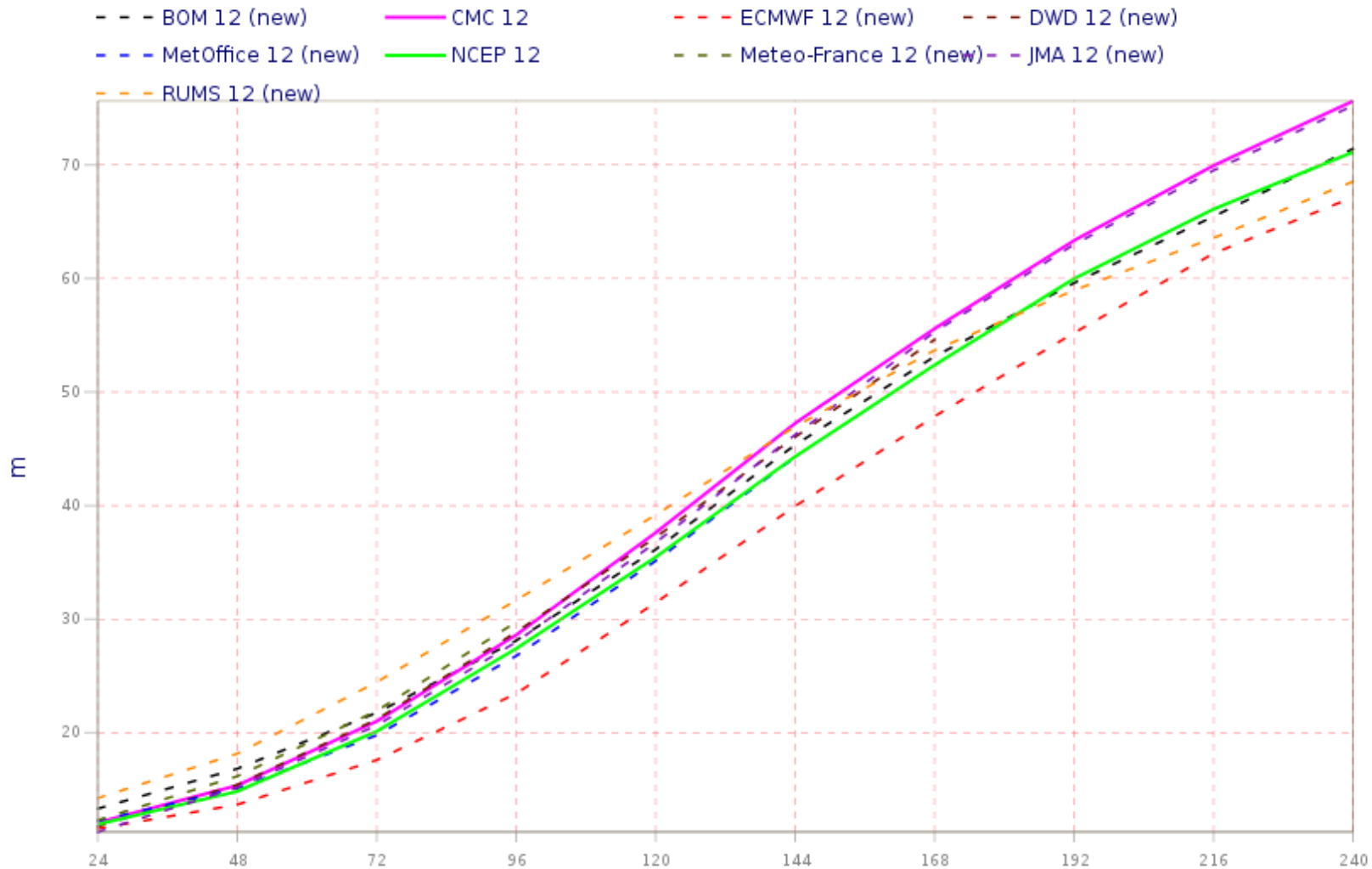
Внедрение модели в 2010 г. позволило в 2 раза сократить отставание от зарубежных центров

Step: 72 RMSEF/msl/n.hem/analysis



Средняя за лето 2016 г ошибка прогноза высоты поверхности 500 гПа как функция времени (RUMS=Россия)

Date: 201606-201608 RMSEF 500 hPa z/n.hem/observations

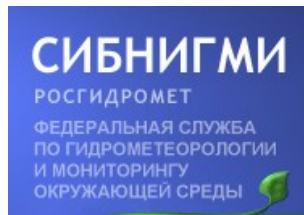


Актуальные версии модели ПЛАВ: «бесшовный» прогноз



Гидрометцентр России

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



СибНИГМИ

- Краткосрочный прогноз погоды до 3 суток.



S2S Prediction project (WMO)

- Ансамблевый прогноз до 60 дней.



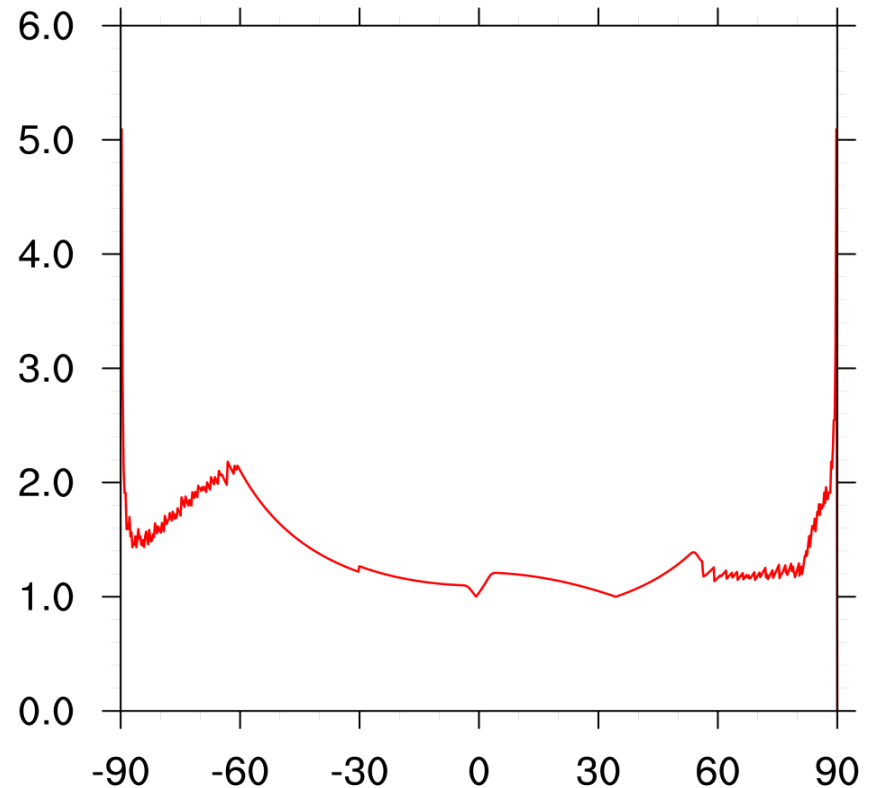
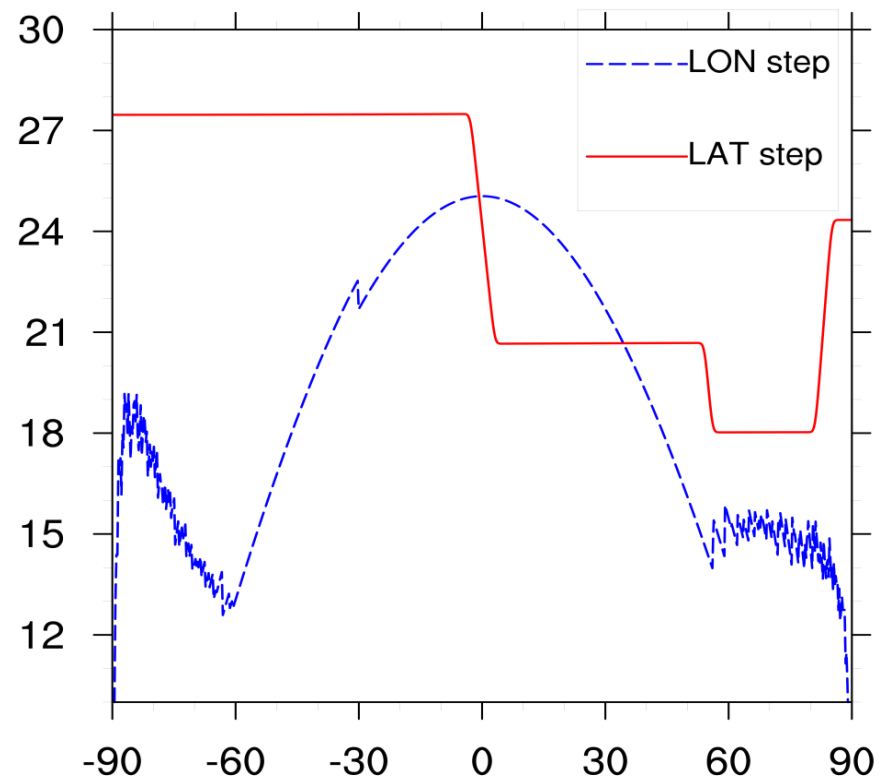
ПЛАВ-20

- Горизонтальное разрешение $0.18-0.25^\circ$ по долготе и 0.225° по широте (около 20 км над территорией России), 51 вертикальный уровень.
- Решением Центральной методической комиссии по метеорологическим и гелиофизическим прогнозам Росгидромета от 25.05.2015 рекомендована к оперативному внедрению.

Reduced grid for SLAV20

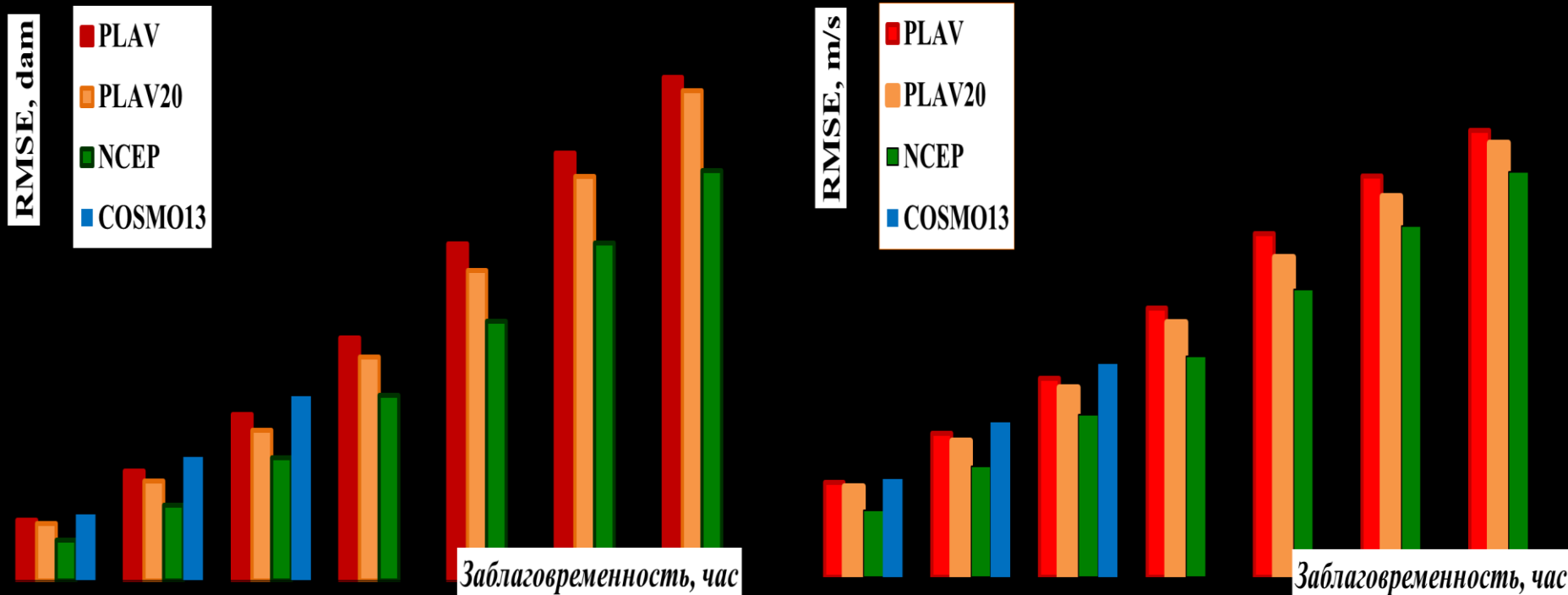
(current operational version is the same but without reduced grid):

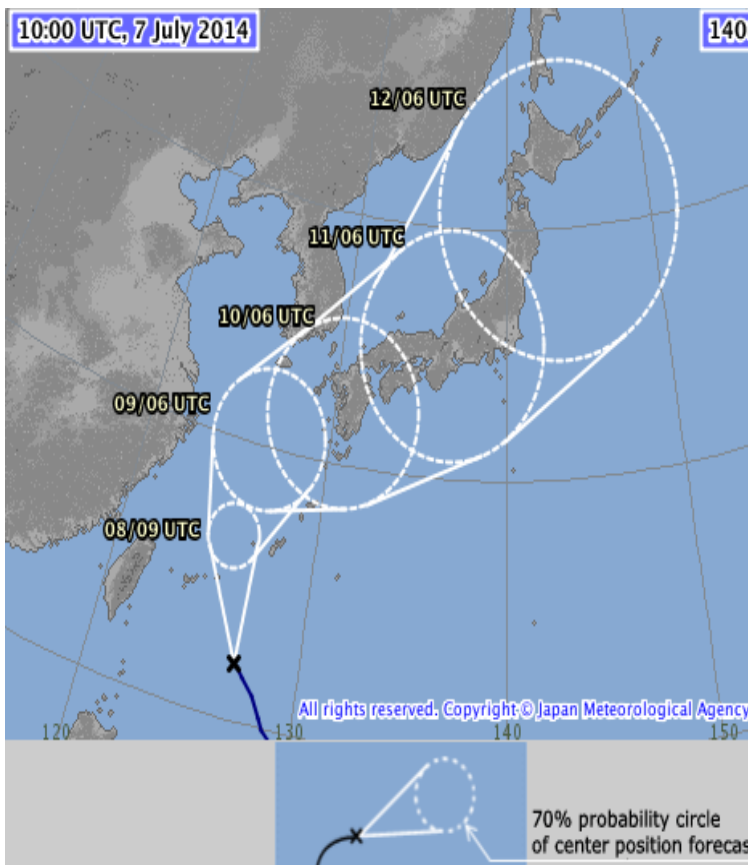
left – longitude (blue) and latitude (red) steps in km vs latitude; right – ratio of steps lat/lon



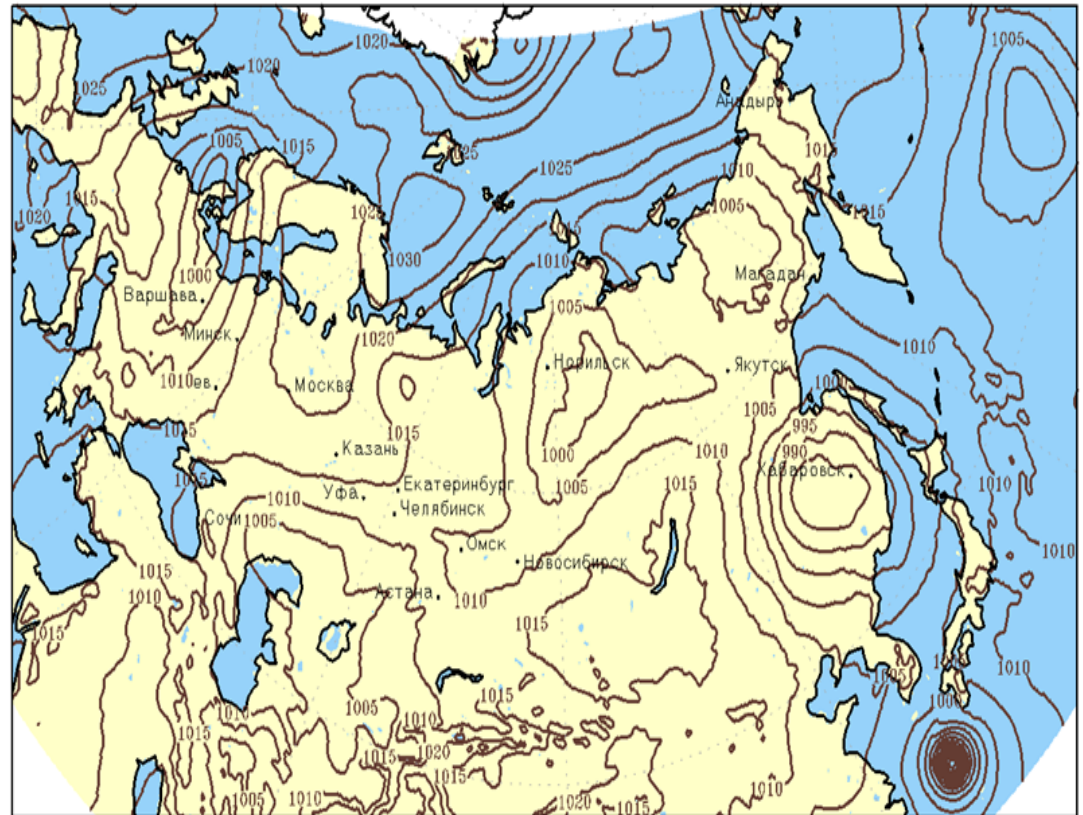
Среднеквадратические ошибки прогнозов 01.07.2015-01.03.2016 по отношению к объективному анализу. Европа, 12 ВСВ

(SLAV – старая версия, SLAV20 – новая версия)





00:00 09 июля 2014 (UTC+0): PMSL



Прогноз на 72ч. от 00:00 06 июля 2014 (UTC+0)

COSMO-RU 13км

— PMSL

См. сайт <http://www.meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/9417-07072014-99-08.07.2014>

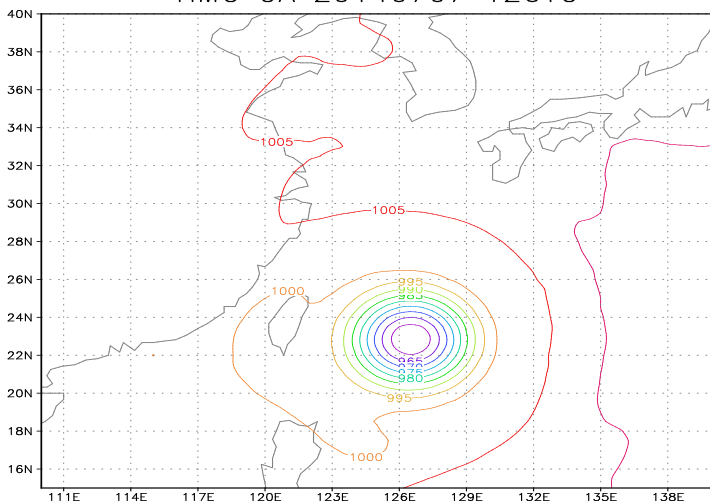
99- 08.07.2014

Метеорологический съезд, 7--
9 июля 2014 СПб

ОА и прогноз ПЛАВ2008 и ПЛА20 на 09.07 срок 00 GISMETEO.RU

09/07/2014: «Неогури» движется в сторону острова Кюсю, постепенно теряя свою мощь. Если во вторник скорость ветра в его центральной части превышала 70 метров в секунду, то сейчас она достигает лишь 50 метров в секунду.

HMC OA 20140707 12UTC



Минимум давл:

ОА 070712: 956

=====

ОА 070900: 972

**Прогнозы на это
время:**

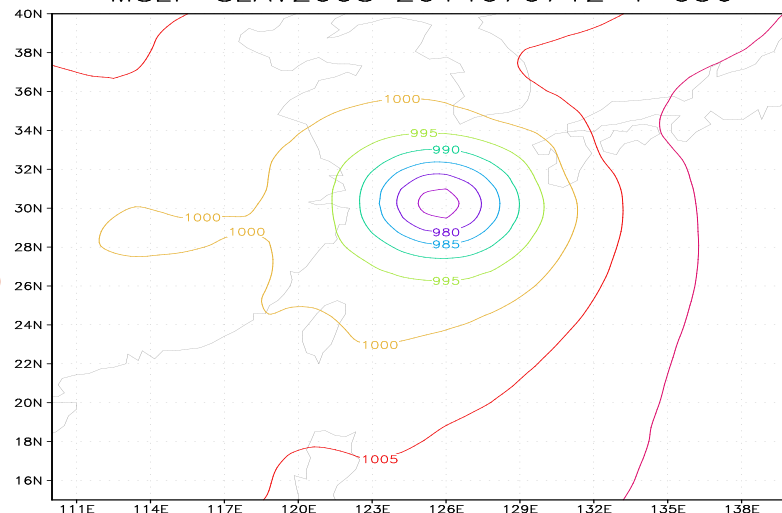
ПЛАВ: 974

ПЛАВ20: 963

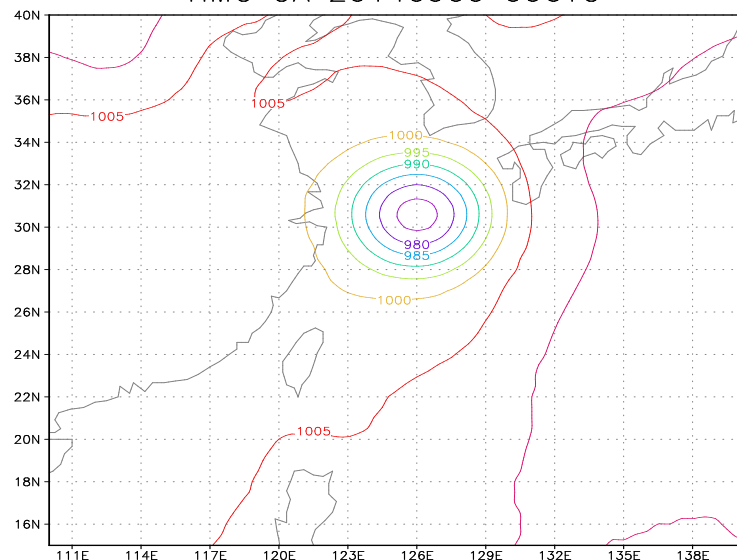
COSMO13: 915

T339: 945

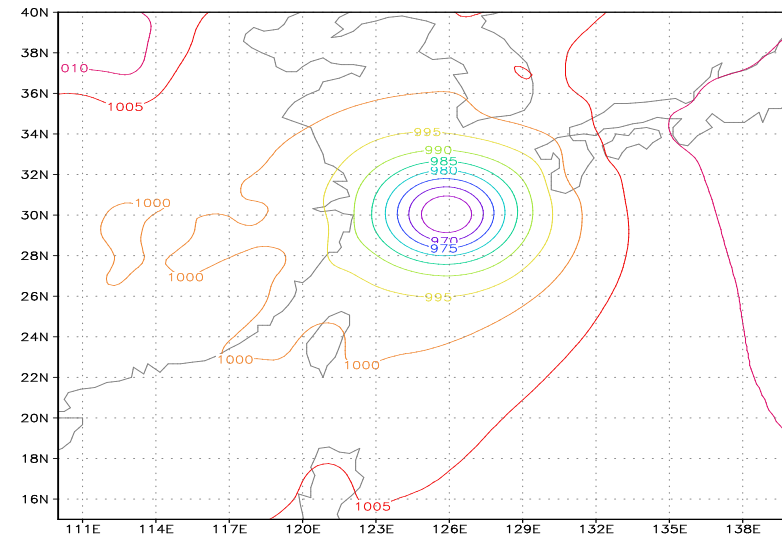
MSLP SLAV2008 2014070712 + 036



HMC OA 20140900 00UTC



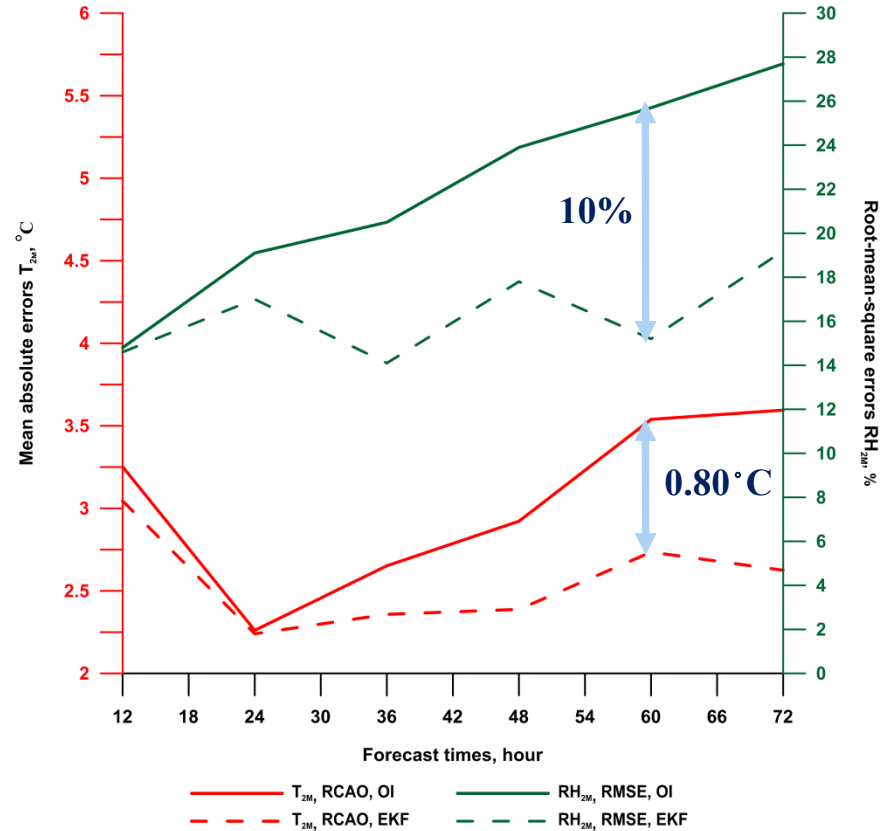
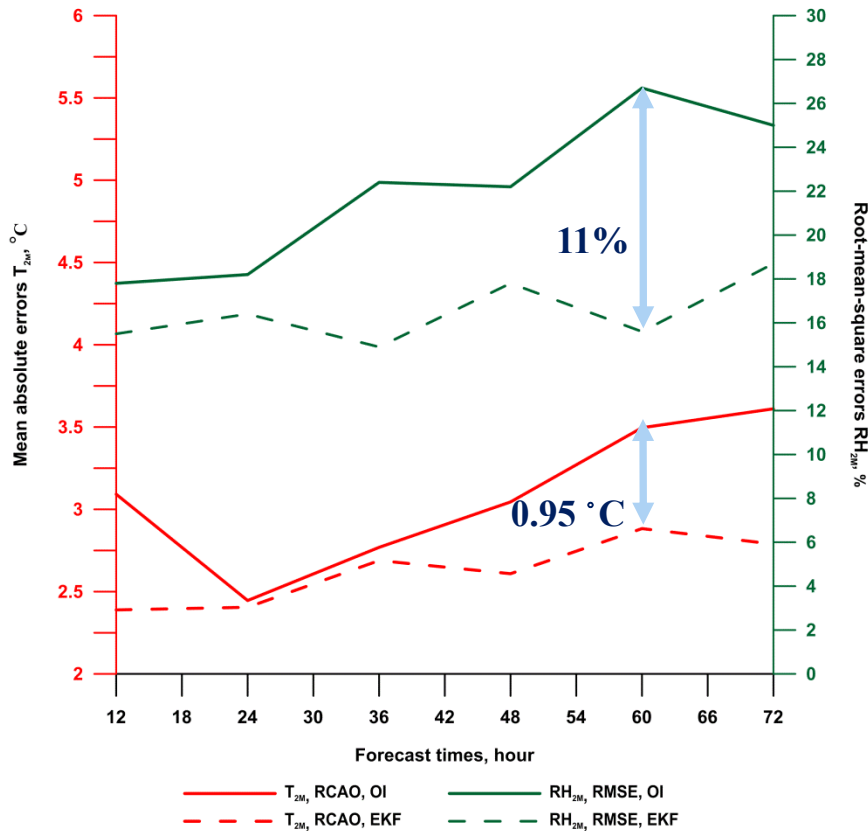
MSLP SLAV20 2014070712UTC +036



Работы по развитию модели (2015-2017)

- Консервативный полулагранжев перенос в рамках модели (для клим. версии) (Shashkin, Tolstykh GMD 2014; Shashkin, Fadeev, Tolstykh JCP 2016)
- Гибридная вертикальная координата
- Новая версия ДВ радиации RRTMG LW v4.85
- Модернизация вычислительной инфраструктуры
- Опытная система ансамблевых прогнозов (LETKF)
- Эксперименты по воспроизведению современного климата ; соединение с моделью океана IBM-ИО
- Развитие локального ансамблевого фильтра Калмана (усвоение спутниковых наблюдений AMV) (Мизяк и др МиГ 2016)
- Усвоение влагосодержания почвы методом упрощенного расширенного фильтра Калмана

Сравнение прогнозов приземной температуры и влажности модели ПЛАВ при использовании оптимальной интерполяции и упрощенного расширенного ансамблевого фильтра Калмана (SEKF) для задания влагосодержания почвы. Среднее за Июль 2014, старт 12 часов ВСВ Европа (0° - 50° E, 35° - 65° N) Азия (50° - 140° E, 40° - 65° N)

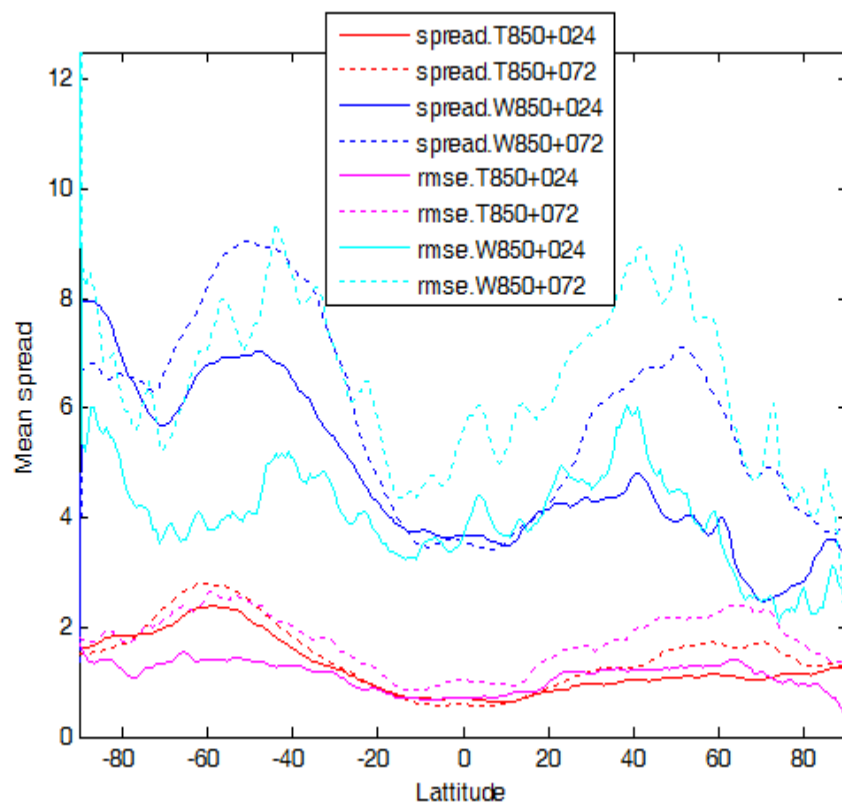
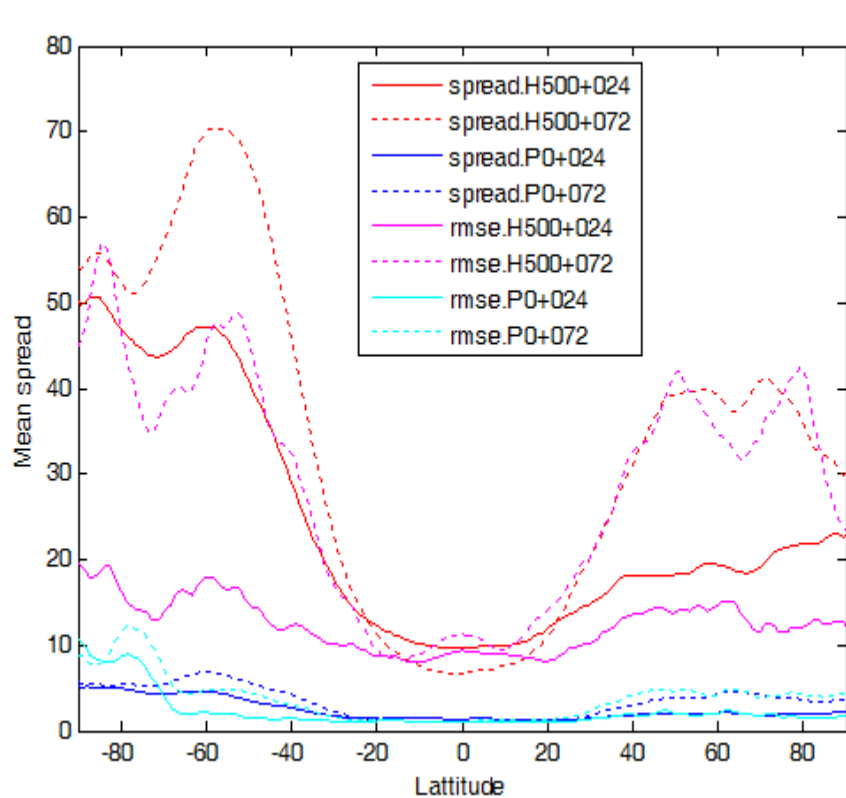


- Абсолютные ошибки **температуры** и среднев. ошибки **отн. влажности**
 - Сплошная линия – ОИ, пунктир – SEKF
- (С.В.Махнорылова)

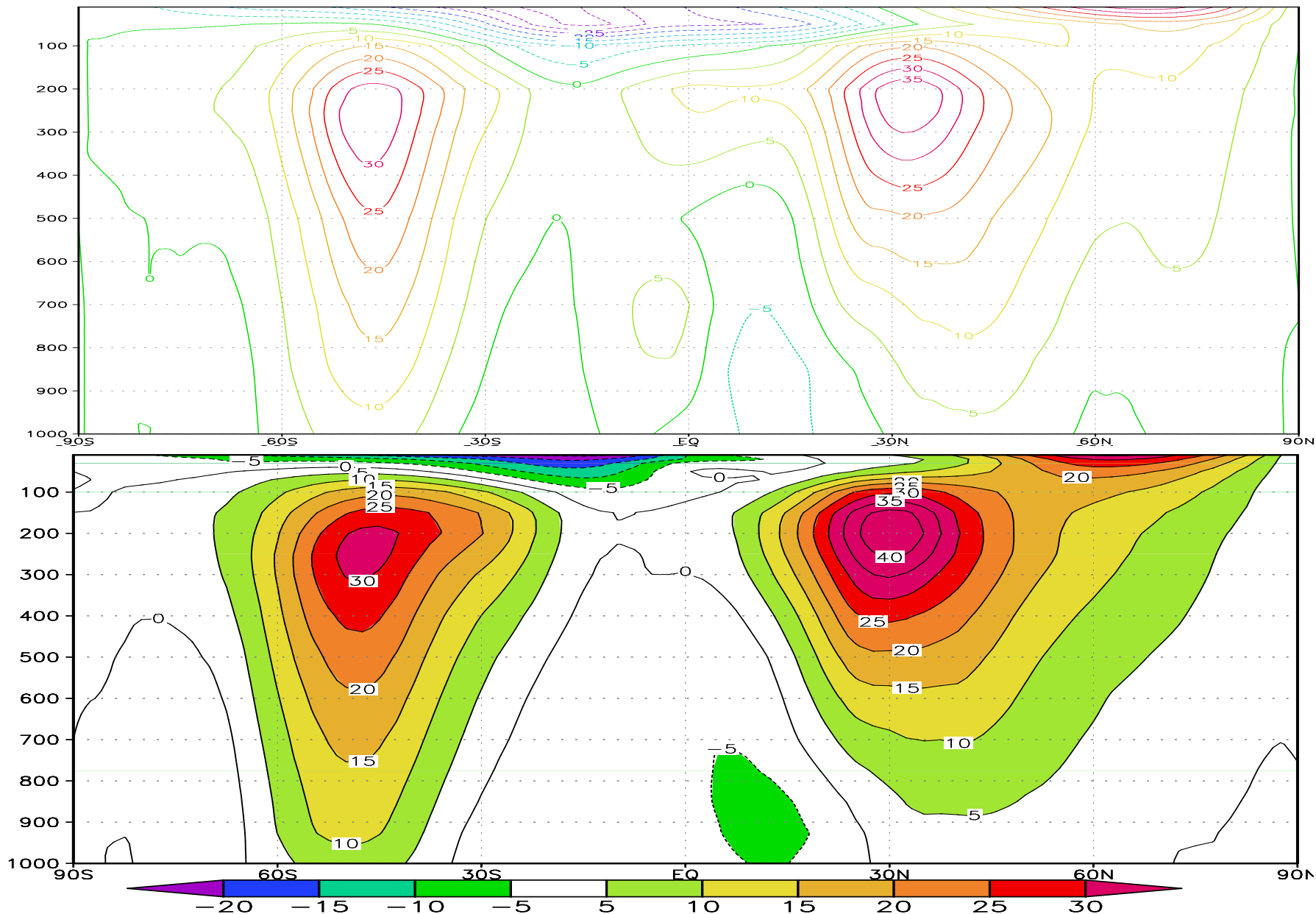
Разброс ансамбля и среднеквадратическая ошибка прогнозов как функция широты.

Заблаговременности 24 и 72 часа

(среднее для прогнозов от 4-10.12.2015). H500 и MSLP (слева), T850 and W850 (справа)



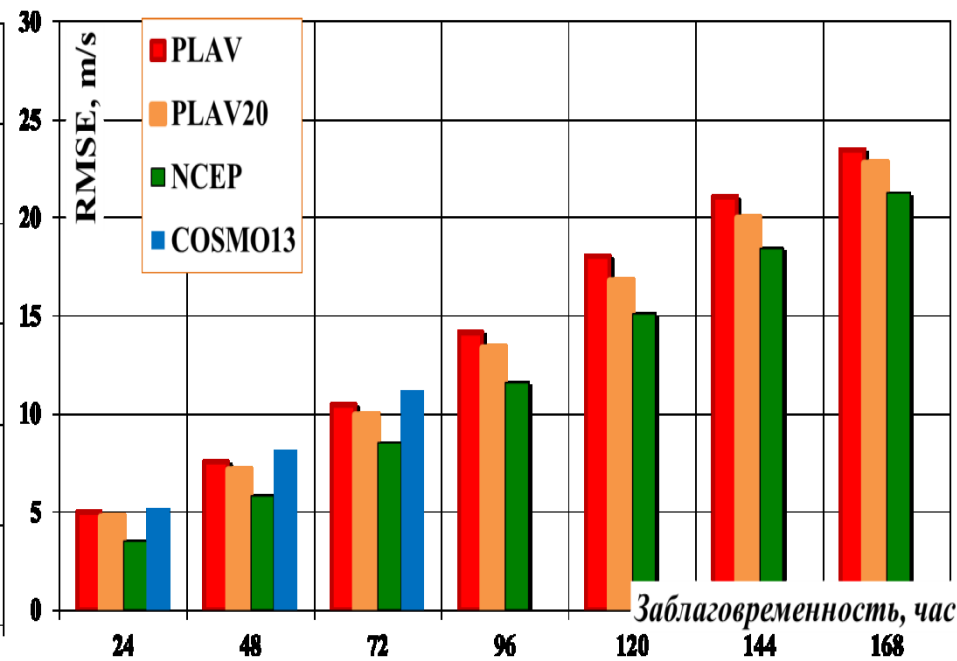
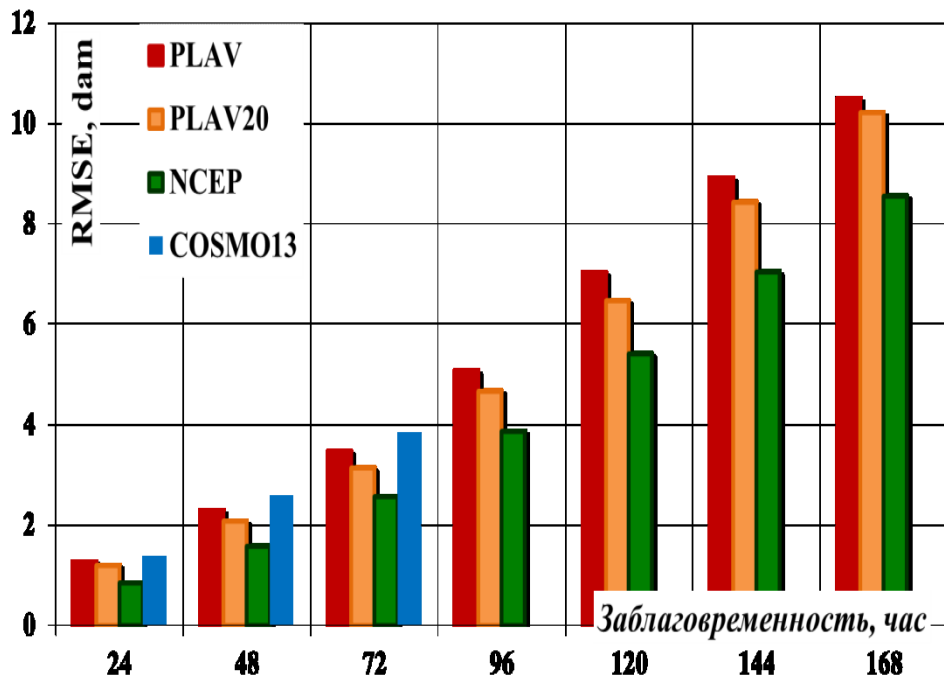
Mean January zonal wind: model (top), ERA (bottom)



Качество прогноза погоды на основе ПЛАВ улучшается с развитием модели

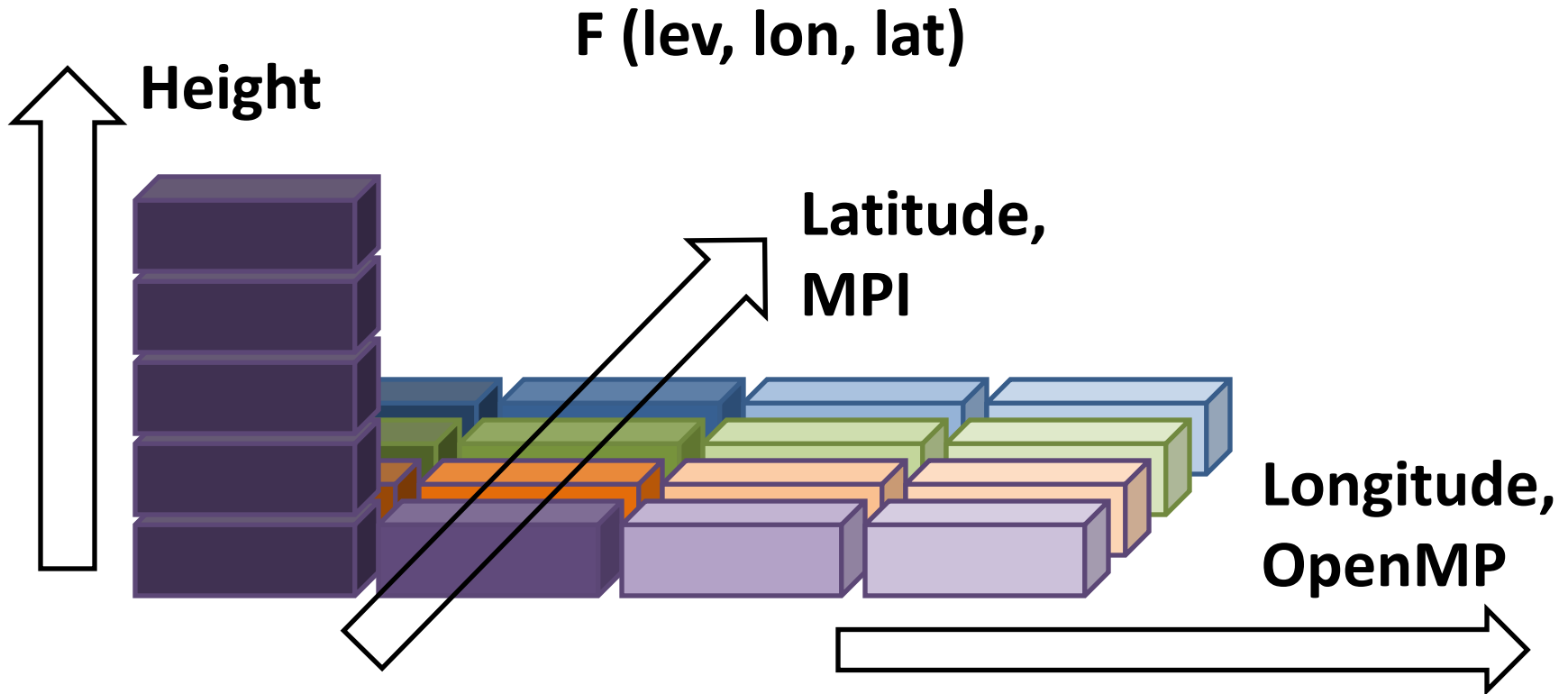
RMSE, H-500, Europe

RMSE, W-250, Europe



Среднеквадратические ошибки прогнозов
01.07.2015-01.03.2016 в зависимости от
заблаговременности прогноза
(PLAV – старая версия, PLAV20 – версия 2016 года).

Parallel implementation



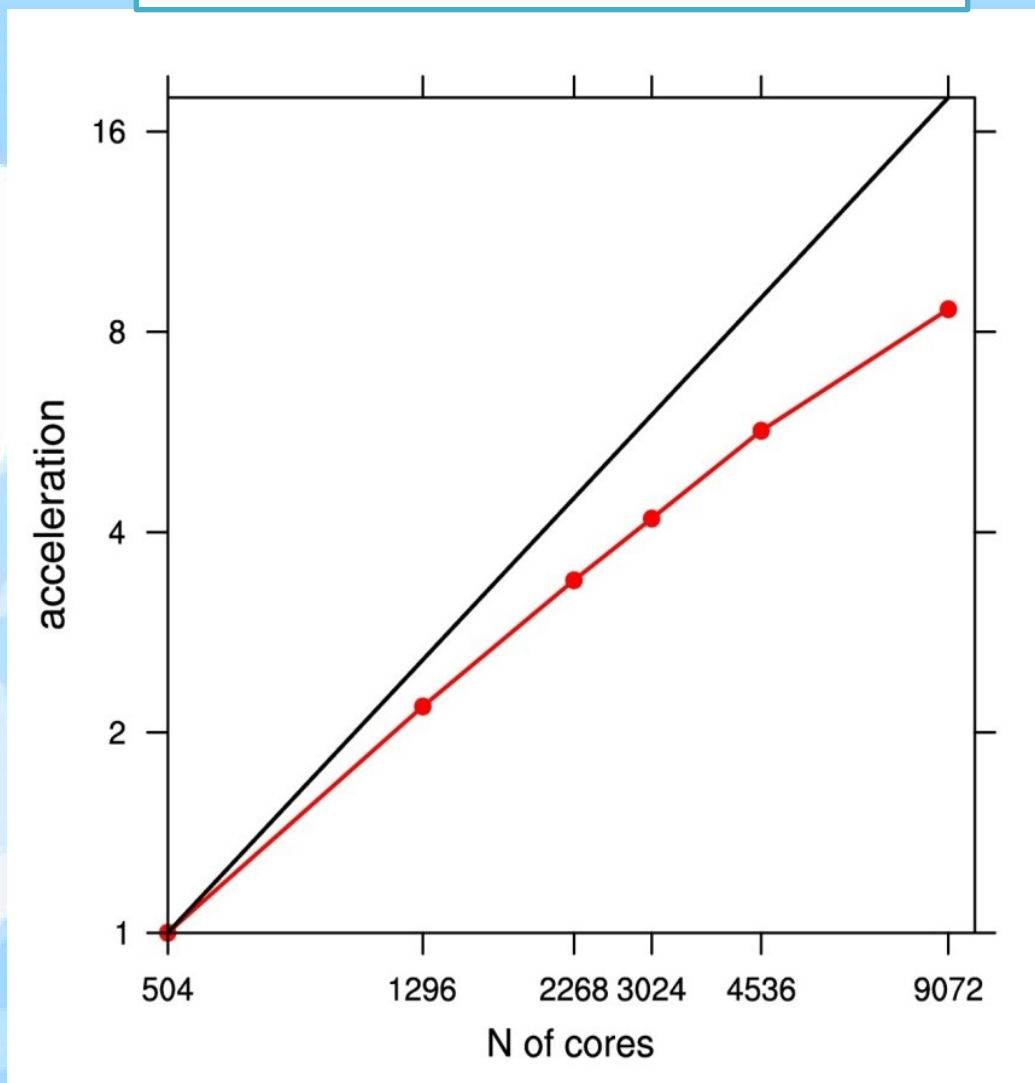
This allows to:

1. Reduce memory volume per thread;
2. Localize data

So far, 1D MPI decomposition thus $\#MPI \leq N_{lat}$

Модель ПЛАВ на суперкомпьютерах

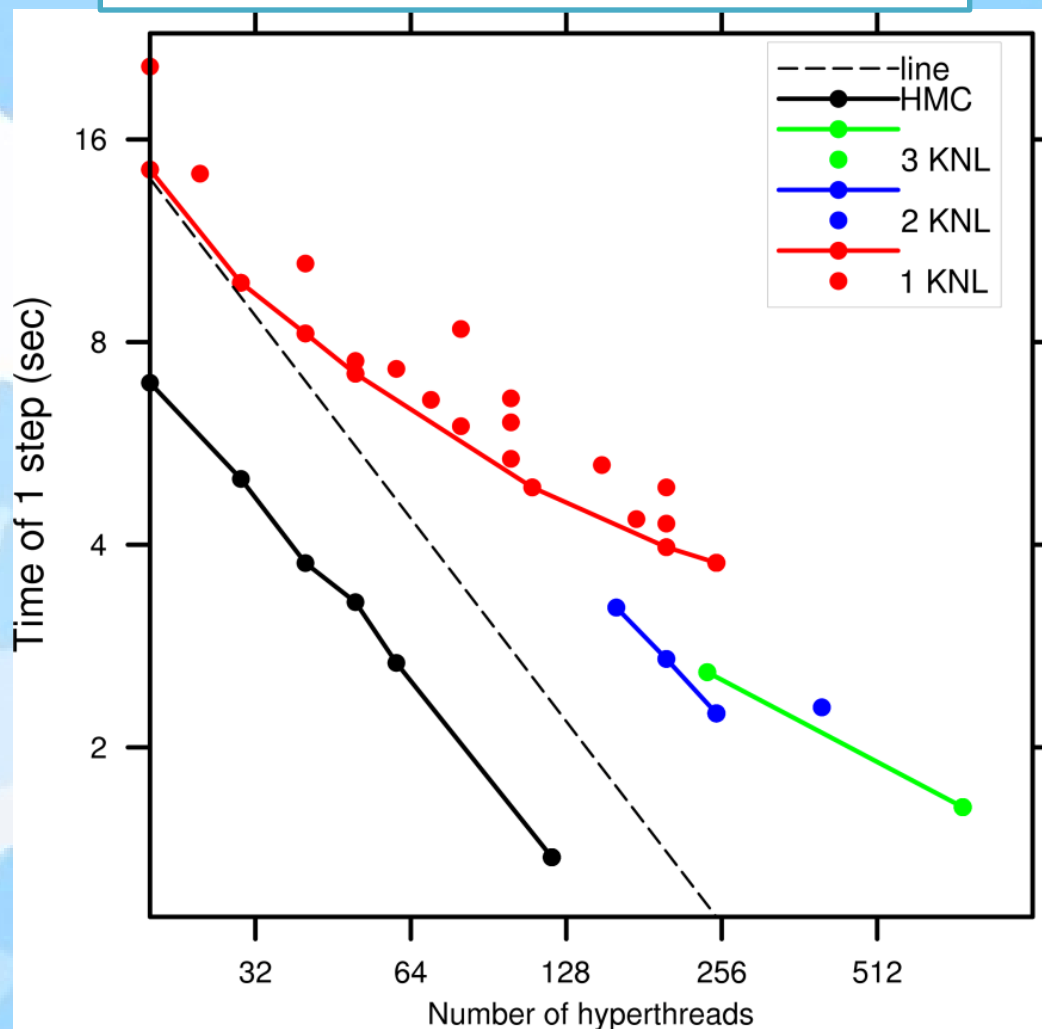
ПЛАВ на традиционных системах



Ускорение модели ПЛАВ на традиционных системах по отношению к времени расчета на 504 ядрах.

Модель ПЛАВ на суперкомпьютерах

ПЛАВ на перспективных системах
Intel Xeon Phi2 (KNL)



Время счета модели ПЛАВ на Knights Landing 7250. Цвет определяет число процессоров, точки - вариант запуска (в т.ч. сочетание MPI и OpenMP)

Заключение

- Наша группа развивает собственную глобальную модель атмосферы
Дополнительная информация –
<http://nwplab.inm.ras.ru>

Спасибо за внимание!