

Глобальный прогноз полей
метеоэлементов в свободной
атмосфере на стандартных
изобарических поверхностях и поля
давления на уровне моря на срок до 10
суток с помощью модели ПЛАВ20

М.А.Толстых, А.Ю. Юрова, Р.Ю. Фадеев,
В.В. Шашкин, Т.В. Красюк, В.Г. Мизяк,
В.С.Рогутов

(ФГБУ «Гидрометцентр России» и ИВМ
РАН)



Зачем нужна глобальная прогностическая модель?

Метеорологическая безопасность страны
(в т.ч. аэронавигация !)

- Детерминистический прогноз на 2-7 суток (максимально возможное разрешение)
- Обеспечение боковых граничных условий для моделей в ограниченной области
- Ансамблевый прогноз на срок 3-10 суток (25-50 участников, умеренное разрешение)
- Ансамблевые долгосрочные прогнозы на 1-6 месяцев (10-20 участников, низкое разрешение)

Forecast Centre (Country)	2015	2016	2017	2018	2019
ECMWF (Europe)	T _L 1279L137	T _L 2047 L137	T _L 2047 L137	T _L 2047 L137	
Met Office (UK)	17 km L70	17 km L70	Coupled O-A 12/25?km L120-200	Coupled O-A 12/25?km L120-200	Coupled O-A 12/25?km L120-200
Météo France (France)	T799c2.4 L70	T1198c2.2 L105	T1198c2.2 L105	tbd	tbd
DWD (Germany)	13 km L90 (6.5 km in Europe)	13 km L90 (6.5km in Europe)	13 km L90 (6.5km in Europe)	tbd	tbd
HMC Russia	0.72°x0.9°L28 T169 L31;	0.18°x0.225°L51 T339 L31;	0.18°x0.225°L51 T339 L63;	0.18°x0.225°L51 T339 L63;	tbd
NCEP (USA)	T878 L91 (7.5) T574 L91 (16)	T878 L91 (7.5) T574 L91 (16)			
CMC (Canada)	(0.35°x0.23°) L80 Ying-Yang (0.14°x0.14°) L80	Ying-Yang (0.09°x0.09°) L125	Ying-Yang (0.09°x0.09°) L165	Ying-Yang (0.09°x0.09°) L200	
CPTEC/INPE (Brazil)	20 km L96	20 km L96	10 km L96	10 km L128	
JMA (Japan)	T _L 959 L60	T _L 959 L100	T _L 959 L100		
CMA (China)	T _L 639 L60 GRAPES 50 km L31	GRAPES 25 km L70	GRAPES 0.25 L70	GRAPES 0.25 L90	
KMA (Korea)	25 km L70	17 km L70	17 km L70		
BoM (Australia)	ACCESS 25 km L70	17 km L85	17 km L85		

Глобальные оперативные модели

- Всего 15 (13 в таблице + Индия и ВМС США)
- Всего 8 оригинальных (собственной разработки)
- Модель NCEP используется в Индии, модель UKMO – в Австралии и Ю.Корее, модель EЦСПП – в Китае (пока). Модель EЦСПП и Метео-Франс – общий код, динамический блок совместной разработки (различные параметризации)
- За 5 лет – на 3 спектральные модели меньше (Австралия, Бразилия, Ю.Корея), Китай планирует перейти на неспектральную модель собственной разработки в 2015 г.
- **EЦСПП объявил о переходе на неспектральную модель после 2020г.**
- 7 оригинальных моделей – полулагранжевы (недавно NCEP)
- Типичное разрешение на 2015 г - 20-30 км
- Лидер – EЦСПП, 15 км 137 уровней (в 2015 году планируется 10 км)

Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ

(ПолуЛагранжева, на основе уравнения Абсолютной Завихренности)

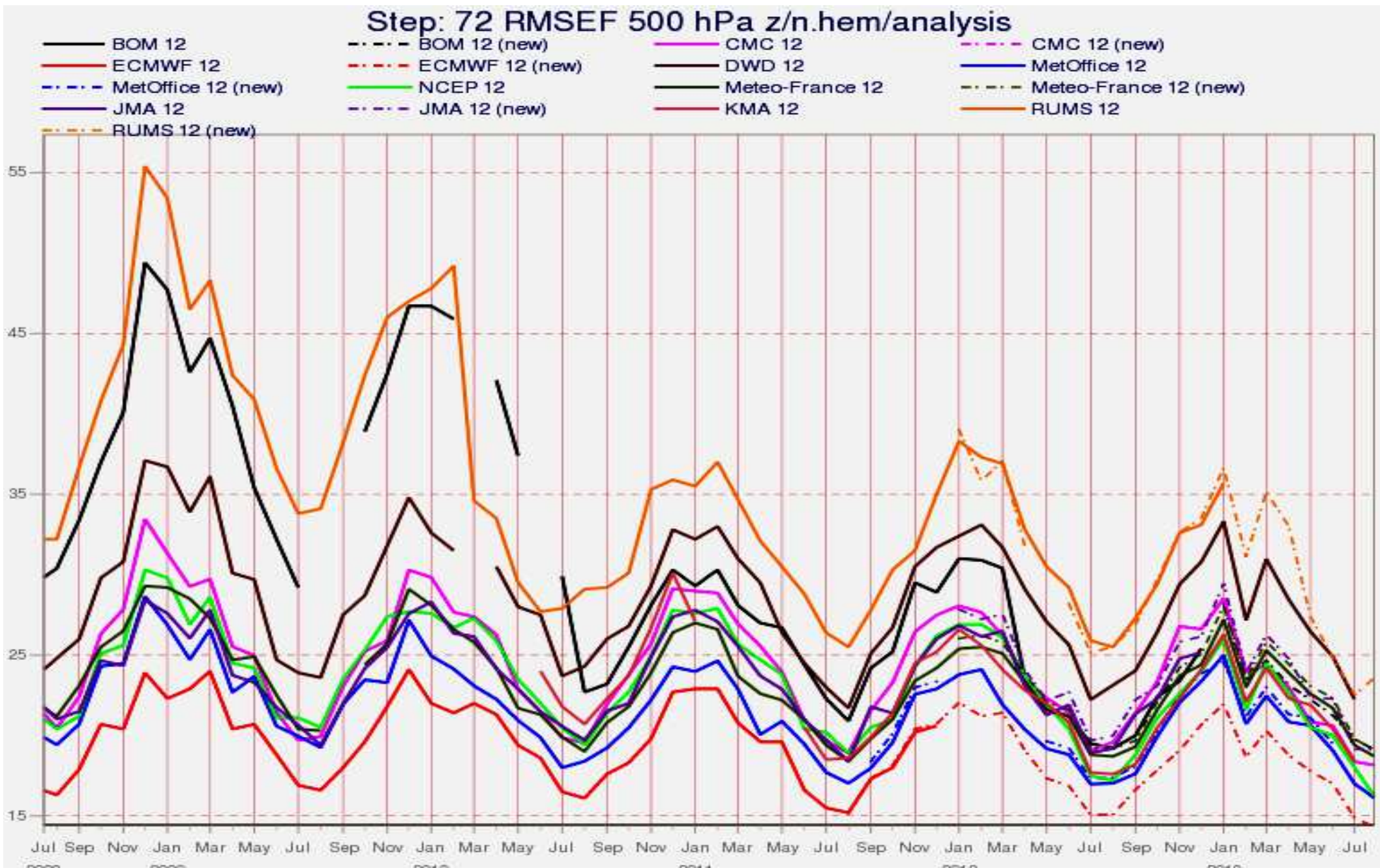
- Конечно-разностный полунеявный полулагранжев блок решения уравнений динамики атмосферы собственной разработки: формулировка «вихрь-дивергенция», несмещенная сетка (Z grid), конечные разности 4го порядка (Tolstykh J Comput Phys 2002)
- + набор параметризаций процессов подсеточного масштаба ALADIN/ALARO. В новых версиях – свободно распространяемые параметризации КВ- и ДВ радиации (CLIRAD, RRTM) +....
- **Практический пример сотрудничества РАН и Росгидромета!**
- Соавторы: + А.В. Шляева, Н.Н. Богословский



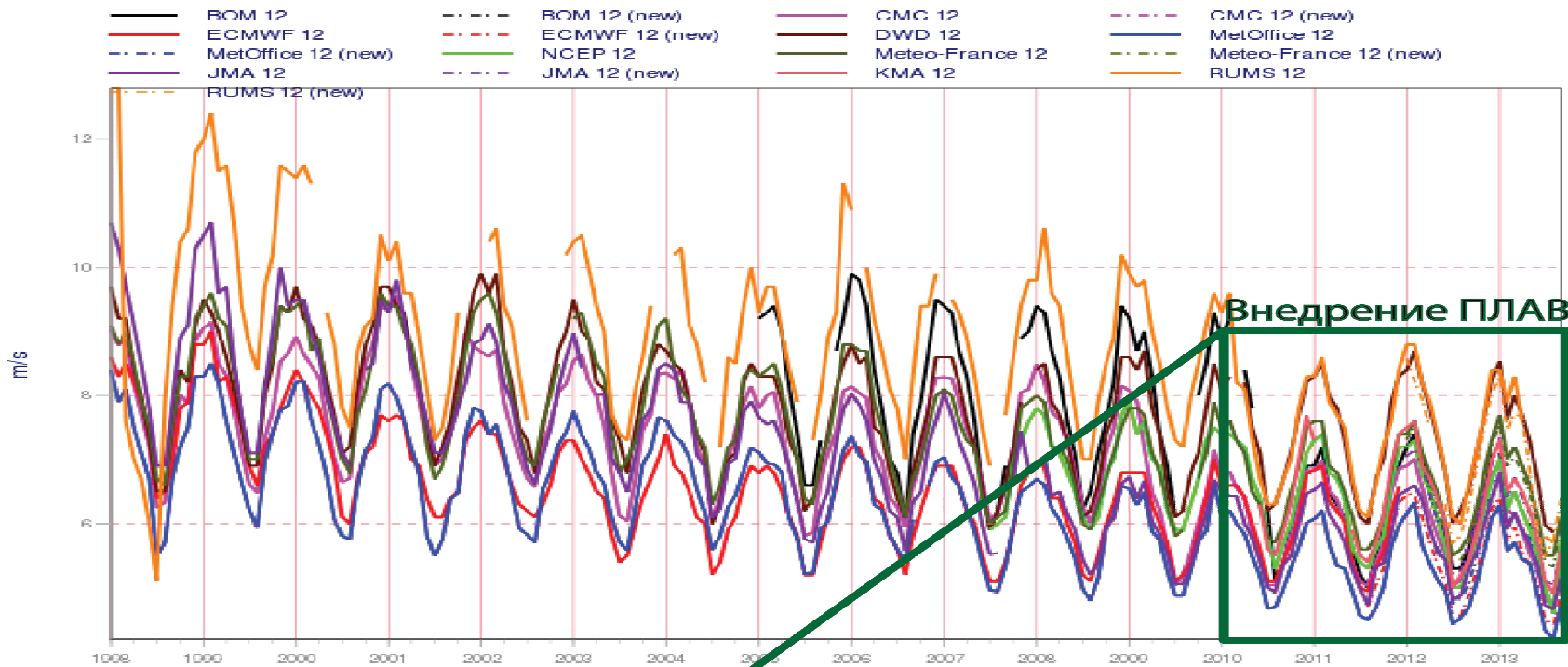
Среднеквадратическая ошибка прогноза H500 на 3 суток. Период: июль 2008 – август 2013.

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

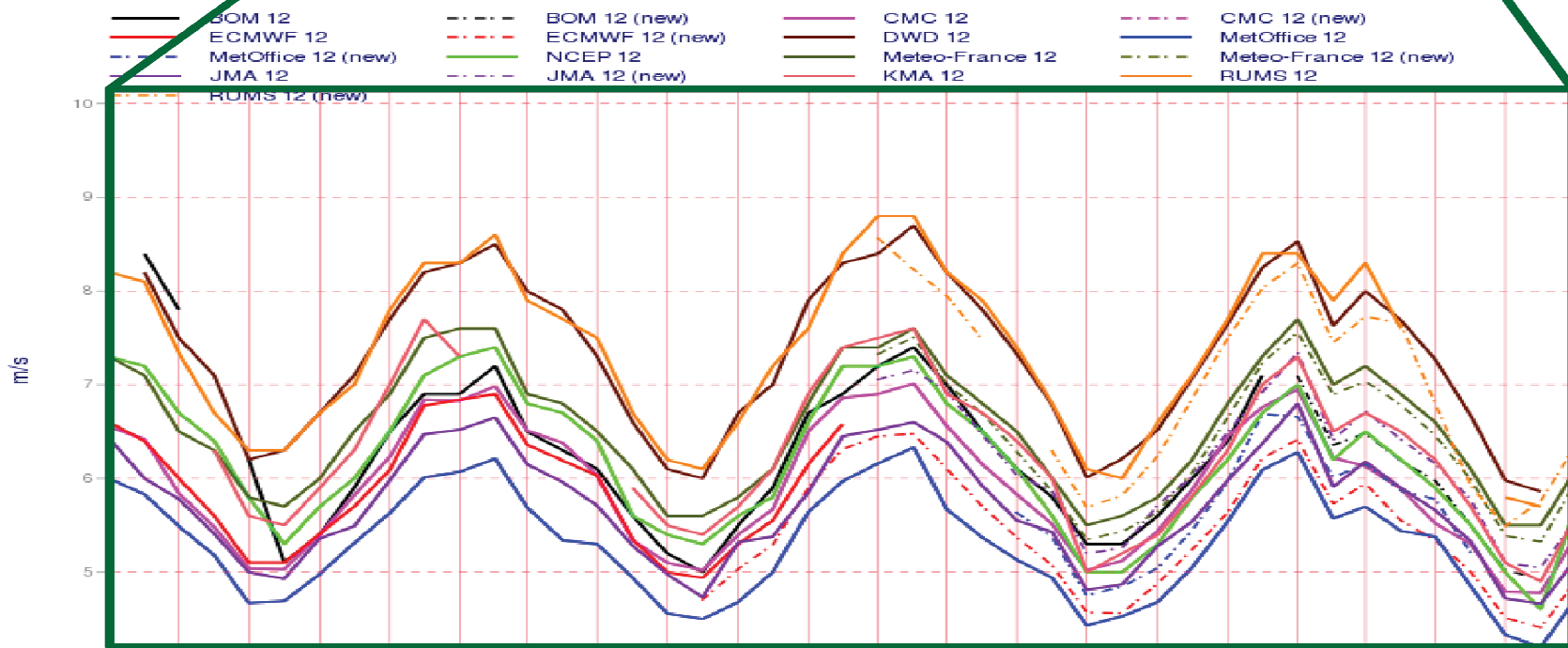
Июнь-июль 2013: догнали DWD. Источник: <http://apps.ecmwf.int/wmolcdnv/>



Step: 72 RMSEF 500 hPa ff/n.hem/analysis



Step: 72 RMSEF 500 hPa ff/n.hem/analysis



Выводы

- Модели-клоны (Корея и Австралия на предыдущих графиках; Бразилия, Индия и Китай, которые вообще не сообщают своих ошибок прогнозов) всегда уступают (чаще – существенно) оригиналу по уровню ошибок.
- Внедрение модели ПЛАВ в начале 2010 г. позволило примерно 2 раза уменьшить отставание от ведущих прогностических центров.
- В 2013 году (после оперативного внедрения усвоения 3D-Var) по ряду оценок догнали модель немецкой метеослужбы (DWD).

Научный отклик

- Статьи про модель атмосферы ПЛАВ и ее динамический блок – ссылки в системе индексирования Scopus (скорее всего, и в Web of Science), очищенные от самоцитирования: 36

Пути уменьшения ошибок численного прогноза погоды

1) Повышение горизонтального и вертикального разрешения моделей. Возможно только на основе массивно-параллельных вычислений

=> разработка новых динамических блоков (новые формулировки уравнений, новые численные методы)

2) Разработка новых, усовершенствование существующих параметризаций процессов подсеточного масштаба

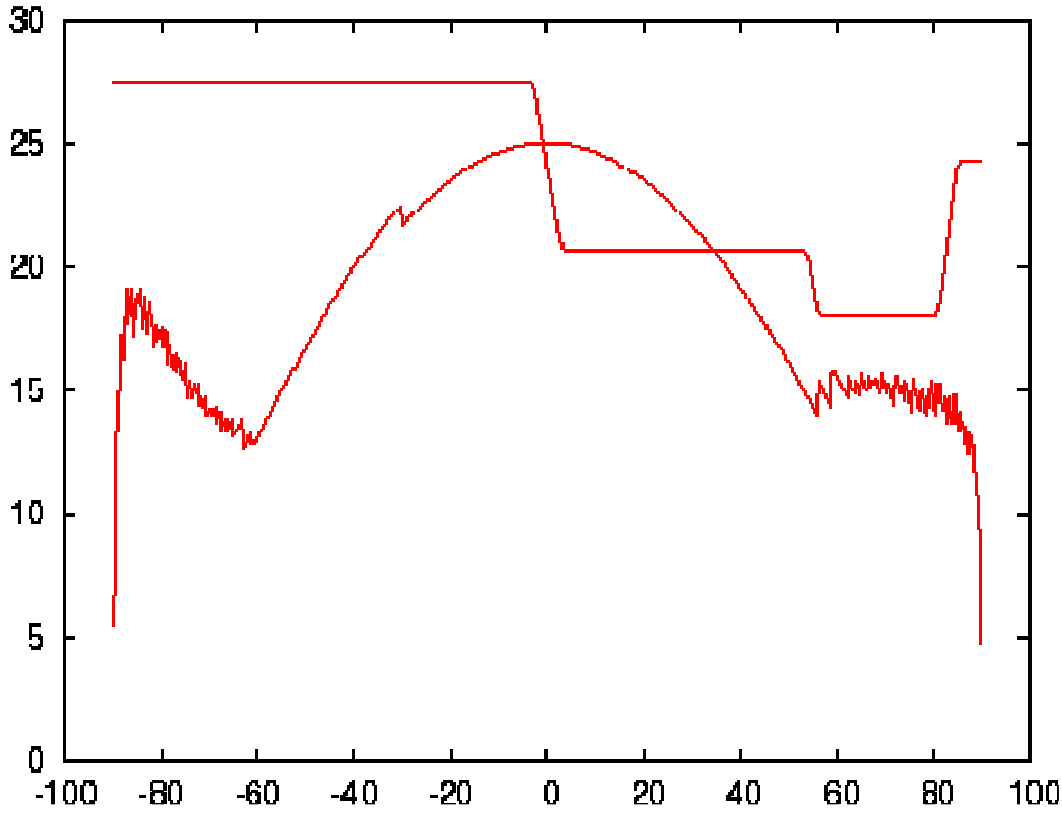
3) Улучшение оценки начального состояния

4) *Ансамблевые прогнозы*

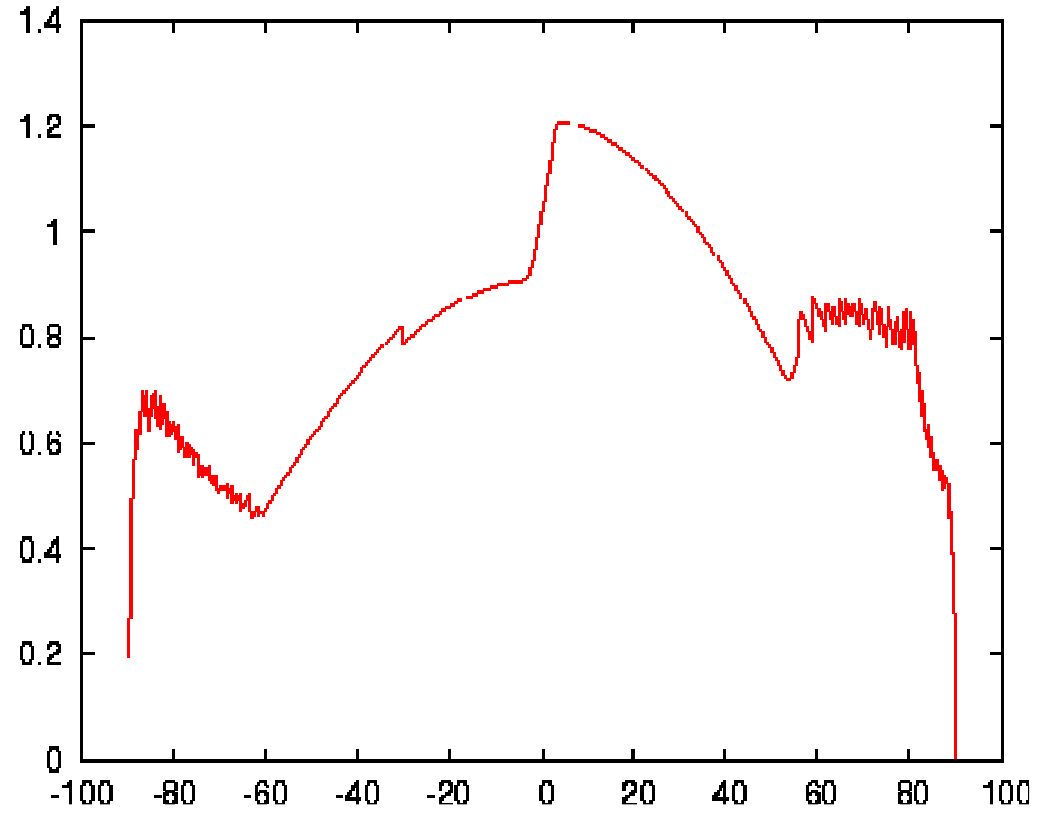
Новая версия модели ПЛАВ

- * Разрешение по долготе 0.225° , разрешение по широте от 27 км в юж. полушарии до 18 км в Северном. Сетка построена Р.Ю.Фадеевым (ЖВМиМФ 2013).
- Орография подготовлена на редуцированной сетке
- 51 уровень по вертикали до 5 мб (пока).
- **Впервые в России достигнут средний мировой уровень пространственного разрешения модели.**
- Поддержка грантов (РФФИ, Минобрнауки, РФФИ).
- Время расчета прогноза на 24 часа на РСК Торнадо
 - 27(24) мин на 224 процессорных ядрах,
 - 20(18.5) мин на 288 ядрах
 - 6.5(6) мин на 864 ядрах.

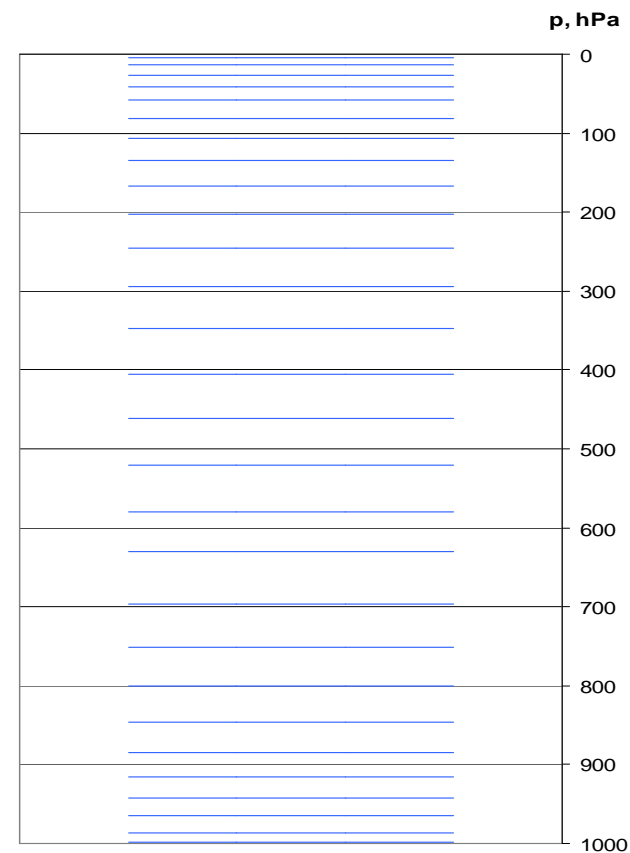
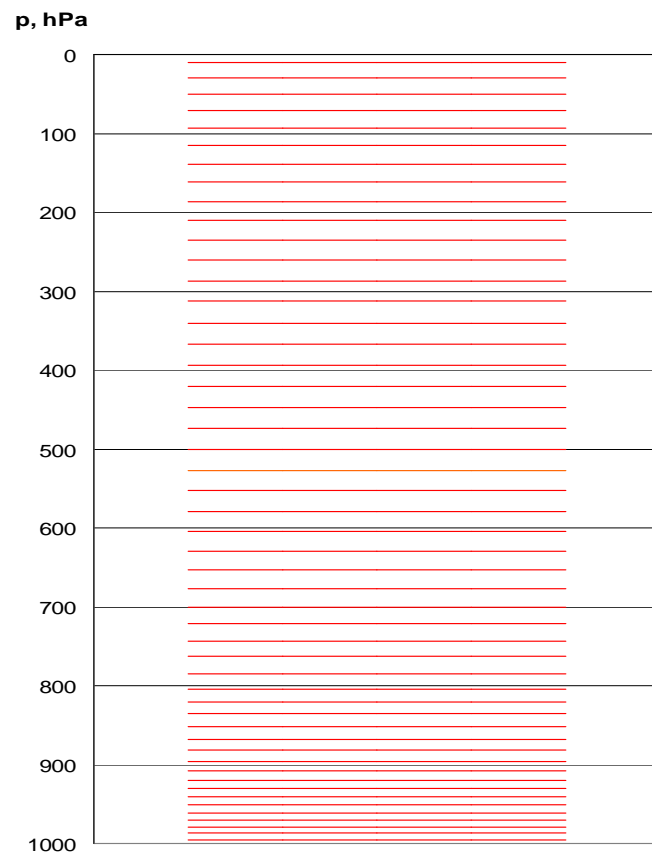
**Grid step in latitude (upper curve)
and longitude (lower curve), in km**



**Proportion of 'physical' grid steps
 $\text{Max}(dx/dy, dy/dx)$**



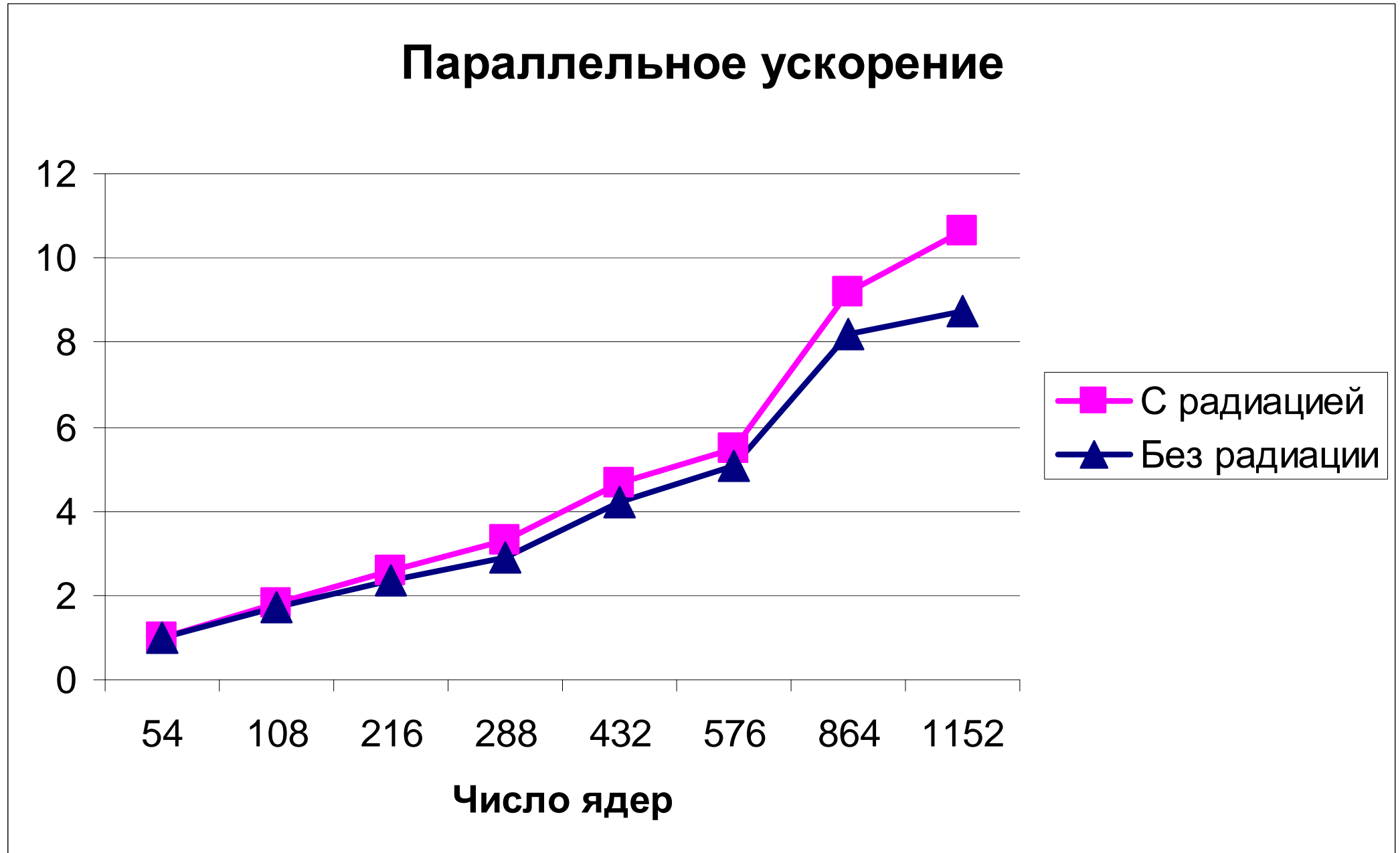
Распределение уровней по вертикали в варианте модели с 50 уровнями (слева) и 28 уровнями (справа)



Отличия модели ПЛАВ 20 от ПЛАВ2008

- Локально-консервативные аппроксимации градиента, дивергенции; повышена точность у полюсов до 4го порядка
- Коротковолновая радиация CLIRAD SW (freeware)
- Длинноволновая радиация RRTM LW (freeware)
- Климатическое помесячное трехмерное распределение озона (ERA Interim) и аэрозоля (морская соль, песок) (климатология GISS).
- Параметризация микрофизических процессов в неконвективных облаках (ALARO).
- Явный учет разрешения в параметризации облачности (ALARO).

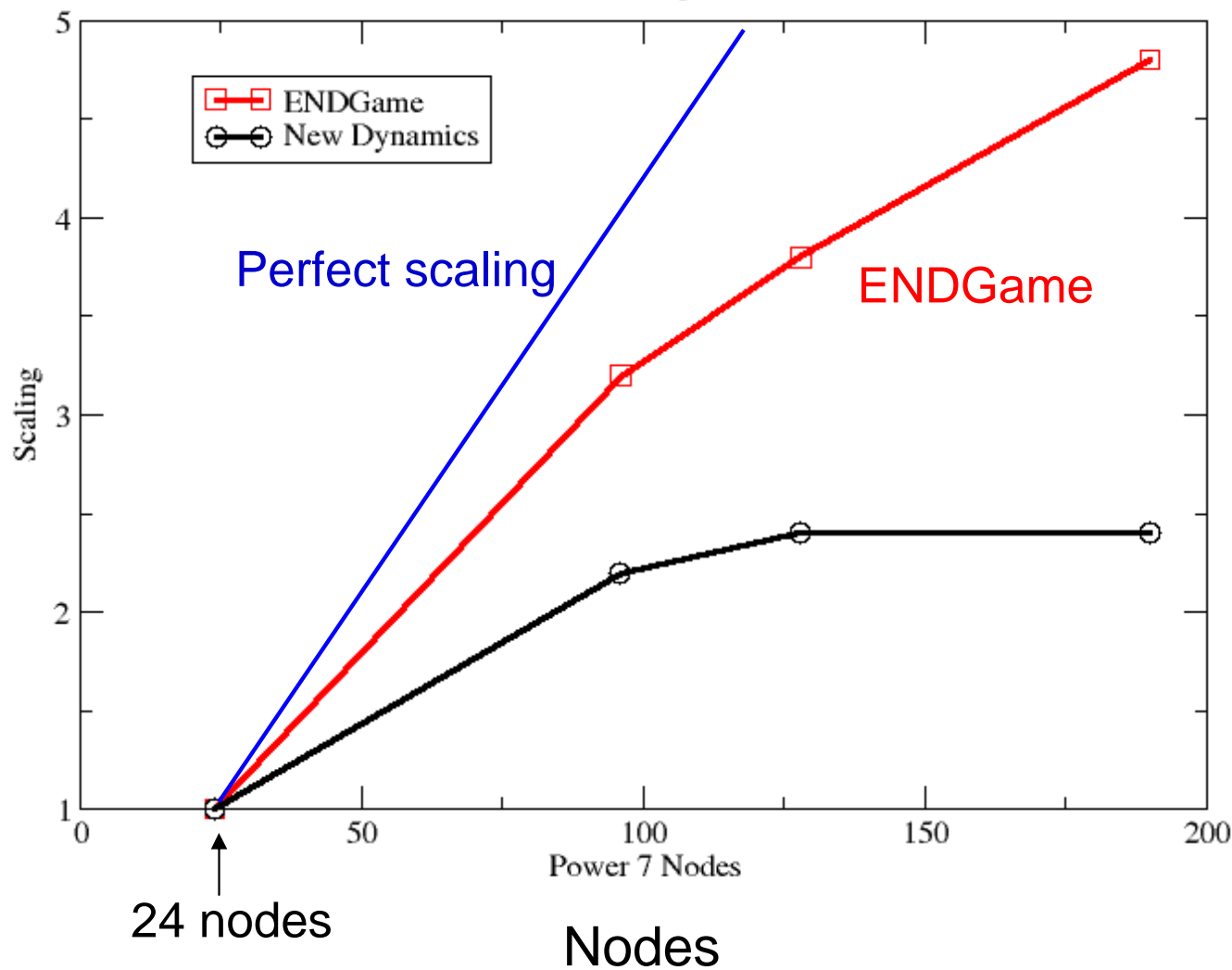
Параллельное ускорение модели ПЛАВ с разрешением $(0.16-0.24)^\circ \times 0.225^\circ$, 51 уровнями (по отношению к времени счета на 54 процессорах). РСК Торнадо



Improved Scalability – UKMO, 2014

(17km) N768 - New Dynamics vs ENDGame

Scaling



$$T_{24}/T_N$$

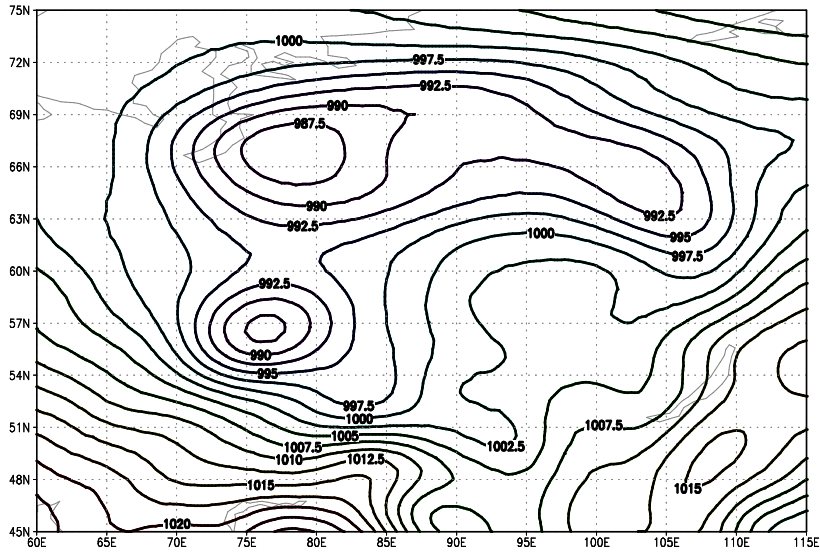
(1 node=32 processors)

Начальные данные

- ОА Гидрометцентра (разрешение 0.5° , разрешение инкрементов 1.5° в 2015 году) – поля в свободной атмосфере и давления на уровне моря.
- Данные температуры и влагосодержания на поверхности и в глубине почвы – впервые в России усвоение почвенных переменных; на основе ОА T2м и RH2м собственной разработки.
- Впервые в России в 2007 году вариационное усвоение T2м в оперативном режиме (2D Var). В новой версии – ОИ.

Анализ на 27.04.2015 срок 00 и прогнозы на 24 ч с 26.04.2015 срок 00

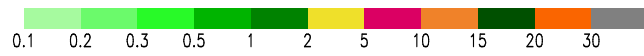
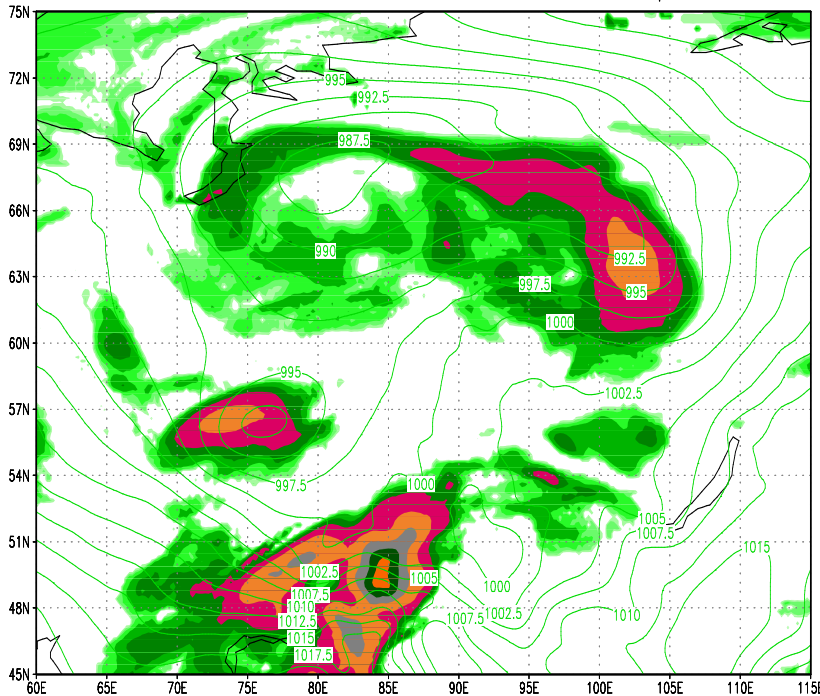
OA MSLP 042700



GRADS: COLA/IGES

2015-04-27-07:20

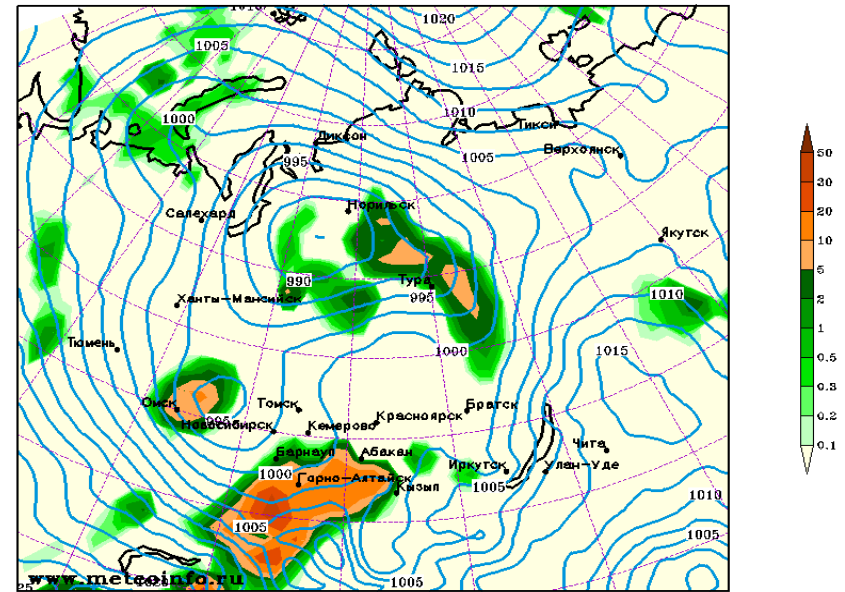
SLAV20 2015042600+024 MSLP+Precip



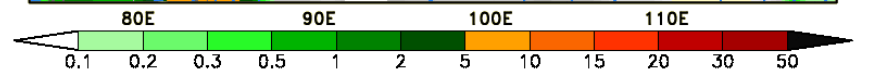
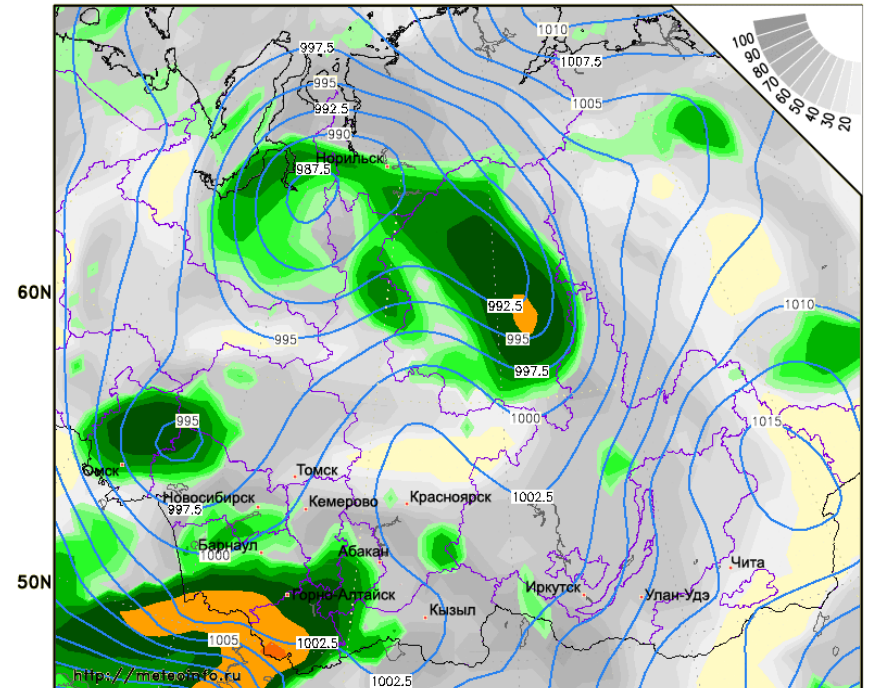
OA

T339

Осадки и давление на уровне моря
Зчас. МСК 27.04.2015 (от 26.04.2015 00 ВСВ на 24час.)



04:00 27.04.2015 (МСК) MSLP, precipitation and cloudiness 26.04.2015 00 UTC + 024h



ПЛАВ20

ПЛАВ
2008

Тайфун "Неогури" - из презентации Г.С.Ривина 08.07.2014

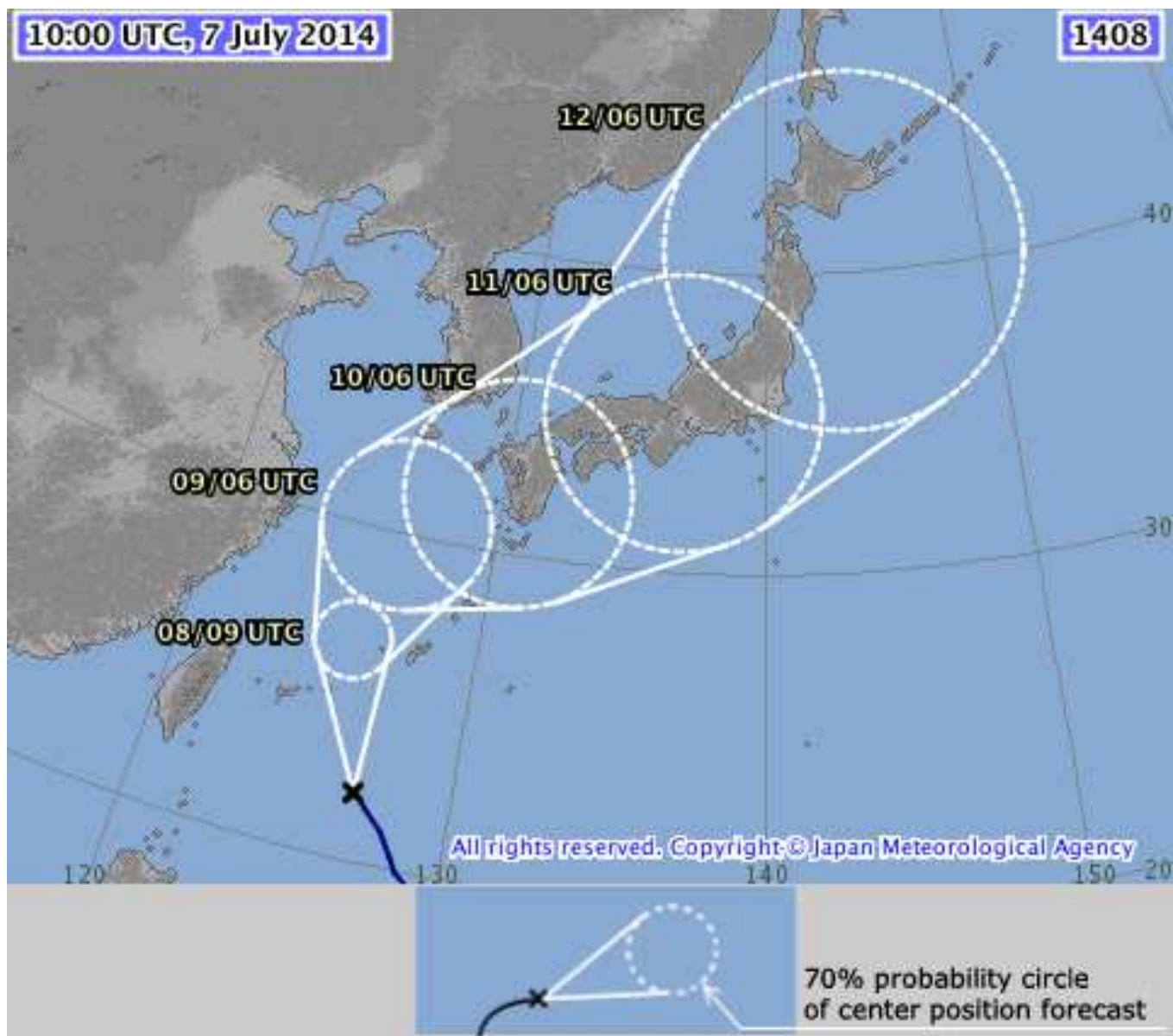
07.07.2014: Тайфун "Неогури" направляется в Японское море

См. сайт <http://www.meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/9417-07072014-qq-> Необычной силы достиг тайфун "Неогури". Скорость ветра вблизи его центра достигла 50 м/с, это почти - супертайфун, давление в центре "Неогури" упало до 930 гПа . В 10 мск "Неогури", ставший 8-ым тропическим циклоном на северо-западе Тихого океана, находился в точке с координатами 21,6° с.ш., 127,3° в.д. Циклон смещается на северо-запад со скоростью 25 км/ч. Накануне сильными ливнями и ураганым ветром он обрушился на южные Японские острова и вышел в Восточно-китайское море. Постепенно траектория циклона будет подворачивать к северу, а 10 сентября он приблизится к южной части Японского моря.

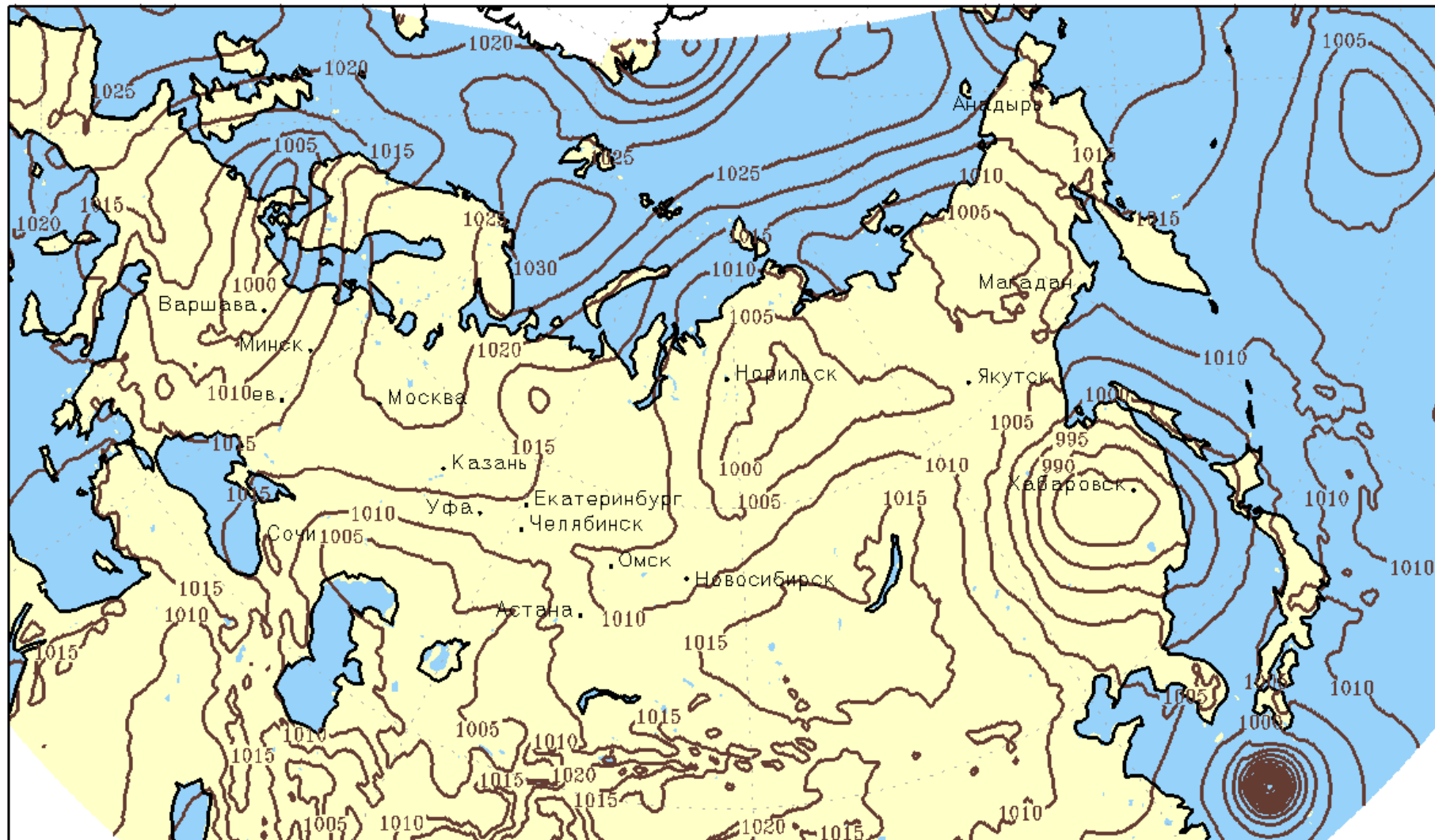
Давление в центре "Неогури" упало до 930 гПа, ожидается, что во вторник оно может составить 915 гПа. При этом дальнейшего усиления ветра не произойдет, и он сохранит прежнюю силу. Постепенное заполнение тайфуна, как ожидается, начнется в среду, по мере продвижения на север и в дальнейшем на северо-восток.

"Неогури" принесет сильные дожди и ураганные ветры и на основные острова Японии. По предварительным оценкам, "Неогури" 11 июля начнет трансформироваться в циклон умеренных широт, 12 июля - окажется южнее Хоккайдо.

Специалисты пристально следят за "Неогури", поскольку и 12 июля скорости ветра вблизи его центра могут сохранить ураганные значения, и циклон, смещаясь на северо-восток, может оказать воздействие на Курильские острова и Камчатку.



00:00 09 июля 2014 (UTC+0): PMSL



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

COSMO-RU 13км

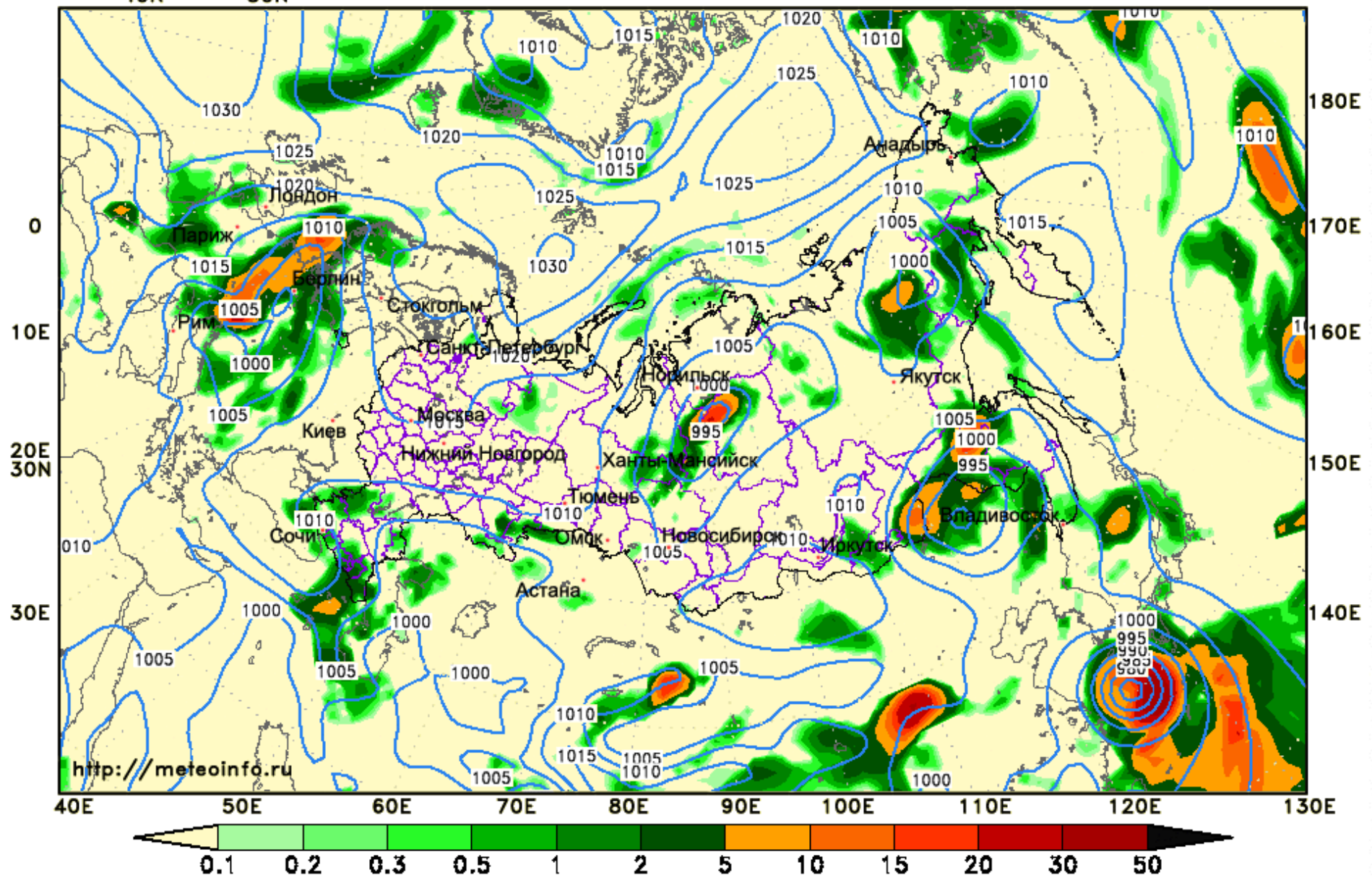
— PMSL

08.07.2014

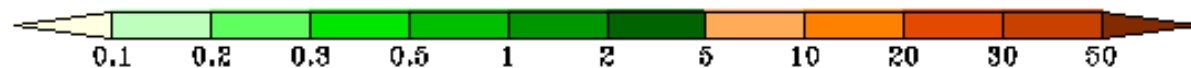
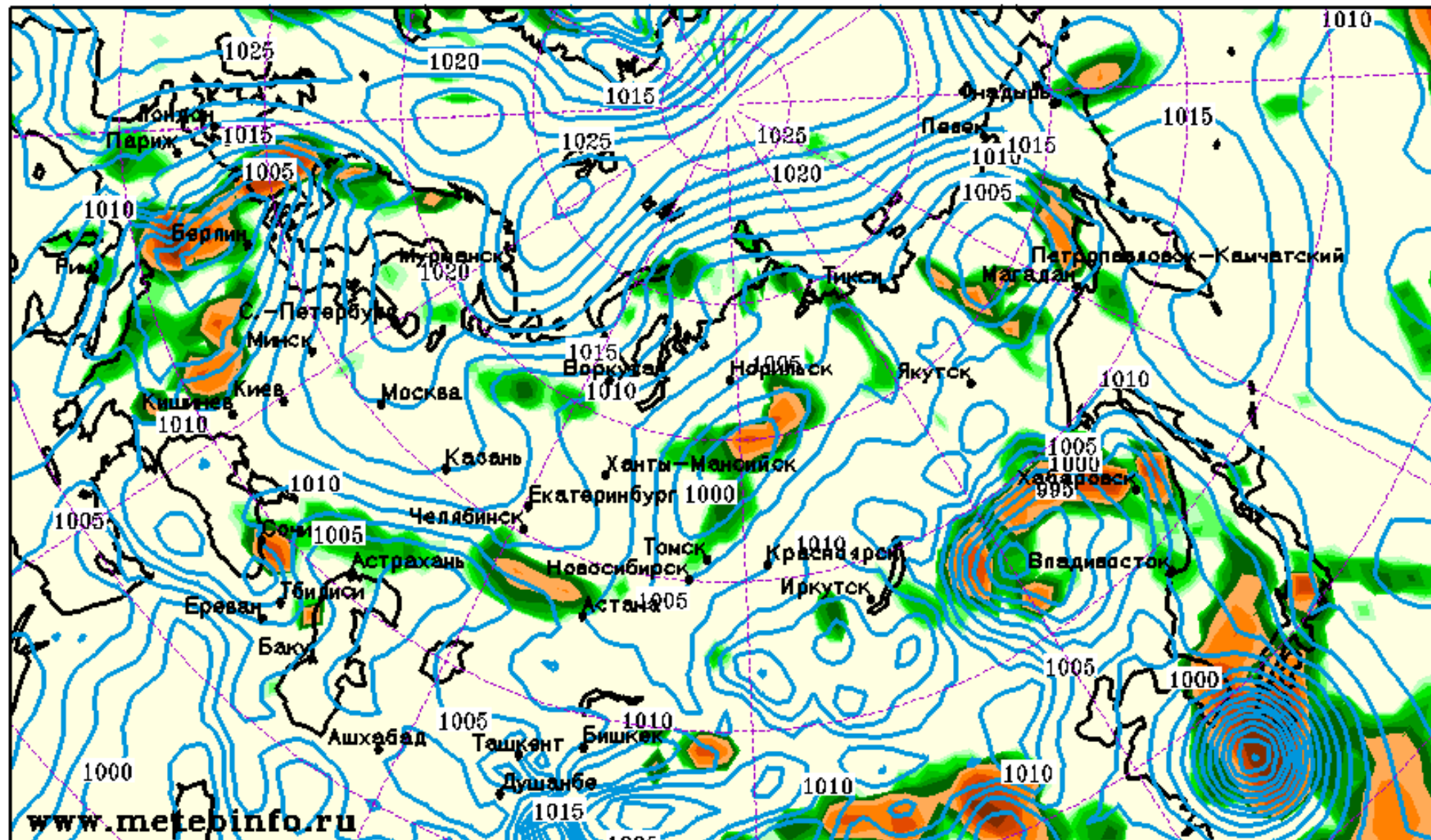
Метеорологический съезд, 7--9
июля 2014 СПб

21

MSLP and precipitation 07.07.2014 12 UTC + 036h



Осадки и давление на уровне моря
4час. МСК 09.07.2014 (от 07.07.2014 12 ВСВ на 36час.)

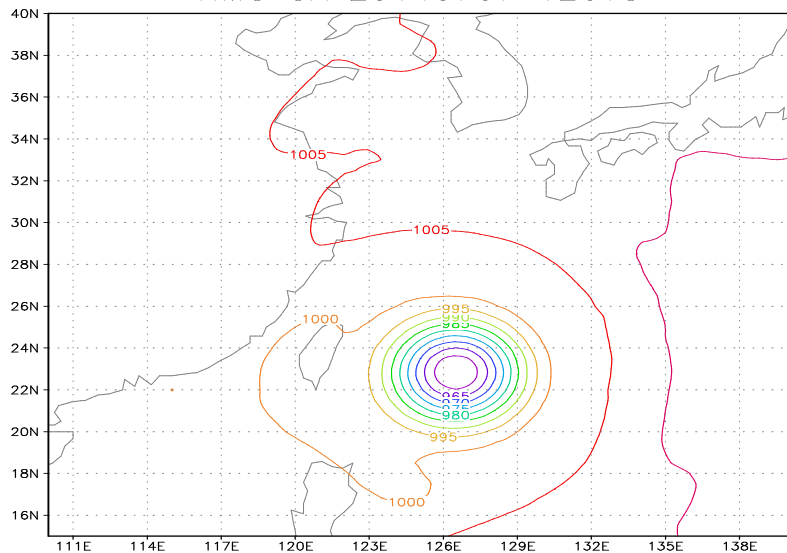


http://193.7.160.230/web/spectrmod/SNG_precip_PMSL_36.png

ОА и прогноз ПЛАВ2008 и ПЛА20 на 09.07 срок 00

GISMETEО.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



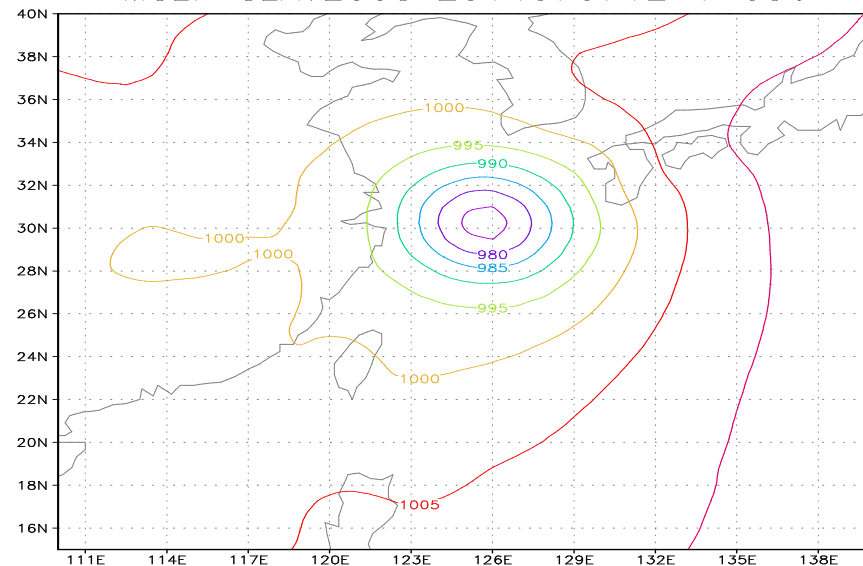
Минимум давл:
ОА 070712: 956

=====

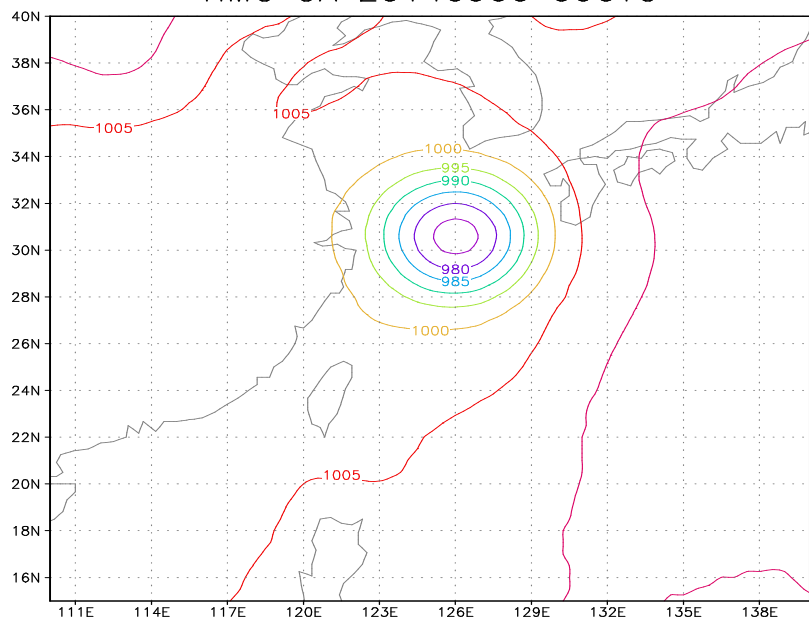
ОА 070900: 972
Прогнозы на это
время:

ПЛАВ: 974
ПЛАВ20: 963
COSMO13: 915
Т339: 945

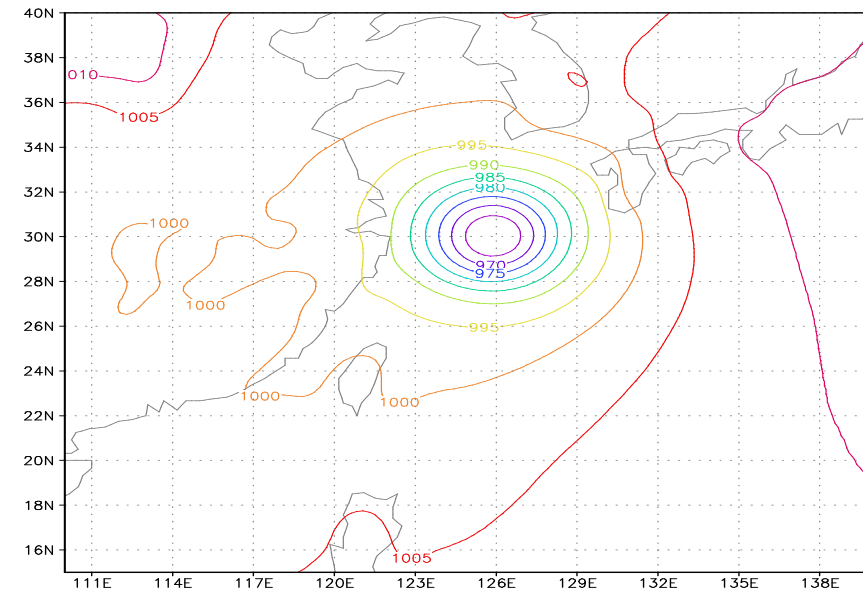
MSLP SLAV2008 2014070712 + 036



HMC OA 20140900 00UTC



MSLP SLAV20 2014070712UTC +036



Недавние уточнения

- Исправление записи осадков в базы АСООИ (ранее конвективные осадки удваивались), исправление вызова коррекции приземной температуры.
- Оптимизация кода (-8 %), теперь прогноз на 24 часа считается 18.5 мин на 288 ядрах
- Реализация параллельного ввода-вывода

(http://nwplab.inm.ras.ru/2015_04_16_inm_fadeev_pario.pdf), завершение унификации всех версий модели и перехода на стандарт Фортран90 и включение элементов Фортран2003.

Апробация модели

- Оценки Отдела авиационной метеорологии: прогноз максимального ветра заметно лучше у ПЛАВ20(по сравнению с ПЛАВ2008), прогноз тропопаузы такой же по качеству
- Хоздоговор с ИБРАЭ
- Использование в НИР ТомГУ, ПермГУ

Планы развития

- Уточнение настроек прогноза осадков
- Настройка прогноза порывов приземного ветра.
- Повышенная дискретность выдачи продукции (3 часа до 72 ч).
- Переход на модель многослойной почвы ИВМ РАН – требуется реализация блока инициализации влагосодержания многослойной почвы (канд. работа соискателя С.В.Махнорыловой)
- Верификация прогноза минимальной и максимальной температуры.
- Реализация ансамблевого прогноза с использованием ансамблевого фильтра Калмана

Спасибо за внимание!

Благодарности: Л.Р. Дмитриевой, Н.П. Шакиной, А.Р. Ивановой, Е.Н.Скриптуновой, А.Н. Багрову, И.И.Жабиной, И.В.Маковской, А.Ю. Недачиной, Ю.А.Степанову, С.В.Лубову