Модель прогноза сезонных аномалий метеорологических полей и результаты исторических сезонных прогнозов по данным реанализа NCEP/NCAR

Д.Б.Киктев (1), М.А.Толстых (2, 1)
(1) Гидрометцентр России
(2) Институт вычислительной математики РАН

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

НАСТАВЛЕНИЕ ПО ГЛОБАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
ТОМ 1
ГЛОБАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ
ВМО-№ 485

1.3 Ответственность ММЦ

1.3.1 *Выходная продукция*

1.3.1.1 Каждый ММЦ, применяющий сложные глобальные модели ЧПП высокого разрешения, включая системы ансамблевого предсказания, должен подготавливать для распространения среди стран-членов и других центров ГСОД следующую продукцию, основываясь на перечне в пунктах 1.1–1.1.3 выше:

a) продукцию глобального (для полушария) анализа;

b) кратко-, средне-, увеличенной заблаговременности и долгосрочные прогнозы погоды на основе применения детерминистических и ансамблевых систем ЧПП с глобальным охватом, но предоставляемые, если это необходимо, отдельно для:

i) тропического пояса;

ii) средних и высоких широт или любого другого географического района в соответствии с потребностями стран-членов;

c) диагностическую продукцию, относящуюся к климату, в особенности для тропических регионов;

d) продукцию мониторинга качества окружающей среды, анализы, прогнозы и предсказания ее состояния.

1.3.1.2 Продукция глобальных моделей, требующаяся для удовлетворения нужд всех программ ВМО, должна предоставляться национальным и региональным центрам с наивысшим возможным разрешением с учетом технологических и других ограничений.

Полулагранжева модель атмосферы

Единый программный комплекс в трех версиях (вертикальное разрешение – 28 уровней):

- Постоянное разрешение 0,9° по долготе, 0,72° по широте – Глобальный среднесрочный прогноз до 5-10 дней (размерность задачи 400x250x28)
- Переменное разрешение по широте, изменяющееся от 30 до 70 км с севера на юг. Разрешение по долготе 0,5625° - Краткосрочный прогноз по России на срок до 3-4 дней (640x400x28)
- Постоянное разрешение 1,40625°x1,125° - сезонные прогнозы (определение среднесезонной аномалии по отношению к климату) (256x160x28)

Полулагранжева модель прогноза погоды: особенности

- **Полулагранжев подход** (обратный метод характеристик) позволяет использовать шаг по времени в 3-6 раз выше, чем у классических эйлеровых моделей (де-факто стандарт для глобальных моделей).
- **Завихренность и дивергенция** в качестве прогностических переменных.
- **Компактные разности четвертого порядка** для дискретизации производных по горизонтали.
- **Параметризации** процессов подсеточного масштаба (солнечная радиация, приземный пограничный слой и т. п.) из модели **Метео-Франс** ARPEGE/IFS.

1.1 Уравнения гидротермодинамики атмосферы

$$(\frac{d\vec{\mathbf{V}}}{dt} + 2\mathbf{\Omega} \times \frac{d\mathbf{r}}{dt})_H = -\nabla\Phi - R_d T_v \nabla \ln p_s + \vec{\mathbf{F}}_V, \tag{1.1}$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial \ln \sigma} = -R_d T_v. \tag{1.2}$$

$$\frac{d \ln p_s}{dt} + D + \frac{\partial\dot{\sigma}}{\partial\sigma} = 0. \tag{1.3}$$

$$\frac{dT}{dt} - \frac{R_d T_v}{c_{pd}[1 + (\delta - 1)q]}(\frac{\dot{\sigma}}{\sigma} + \frac{d \ln p_s}{dt}) = F_T. \tag{1.4}$$

$$\frac{dq}{dt} = F_q. \tag{1.5}$$

Полная производная вдоль траектории движения частицы записывается как

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{u}{a\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial\lambda} + \frac{v}{a}\frac{\partial}{\partial\varphi} + \dot{\sigma}\frac{\partial}{\partial\sigma}.$$

Система уравнений замкнута с использованием периодических граничных условий по долготе, при этом задаются следующие граничные условия на нижней и верхней границах атмосферы

$$\dot{\sigma} = 0 \qquad \text{при} \qquad \sigma = \sigma_T \qquad \text{и} \qquad \sigma = 1,$$

где σ_T - значение σ на верхней границе модельной атмосферы.

В нашей модели используется альтернативная формулировка уравнений движения, а именно, путем применения оператора вихря к (1.1) получаем уравнение для абсолютной завихренности следующего вида:

$$\frac{d}{dt}(\zeta+f) = -(\zeta+f)D - \frac{R_d}{a^2\cos\varphi}\left(\frac{\partial T_v}{\partial\lambda}\frac{\partial\ln p_s}{\partial\varphi} - \frac{\partial T_v}{\partial\varphi}\frac{\partial\ln p_s}{\partial\lambda}\right) -$$
$$- \frac{1}{a\cos\varphi}\left(\frac{\partial\dot\sigma}{\partial\lambda}\frac{\partial v}{\partial\sigma} - \cos\varphi\frac{\partial\dot\sigma}{\partial\varphi}\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right) + F_\zeta. \tag{1.6}$$

В случае эйлерова метода однородное уравнение переноса на сфере записывается в дивергентном виде как

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{a\cos\varphi}\left(\frac{\partial uq}{\partial\lambda} + \frac{\partial v\cos\varphi q}{\partial\varphi}\right) = 0,$$

а в полулагранжевом случае оно записывается как

$$\frac{Dq}{Dt} = 0.$$

Здесь q - переносимая величина, D/Dt - полная производная вдоль (двумерной) траектории движения частицы. В свою очередь, исходная точка траектории определяется уравнением

$$\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} = \mathbf{V},$$

где $\mathbf{r}$ - радиус-вектор точки. Это уравнение обычно решается итерационным методом.

Современные полулагранжевы схемы устраняют ограничение величины шага по времени условием Куранта, особенно жестким вблизи полюсов вследствие сходимости меридианов. На практике, шаг по времени в полулагранжевых моделях атмосферы может быть в 3-5 раз больше, чем в эйлеровых моделях. Ошибка аппроксимации составляет

$$O((\Delta x)^4/\Delta t)$$

(при постоянной скорости ветра).

1.3.1 Дискретизация дифференциальных операторов на несмещенной сетке

$$\nabla f = \frac{\mathbf{i}}{a\cos\varphi}\frac{\partial f}{\partial\lambda} + \frac{\mathbf{j}}{a}\frac{\partial f}{\partial\varphi},$$

$$\nabla^2 f = \frac{1}{a^2\cos^2\varphi}\frac{\partial^2 f}{\partial\lambda^2} + \frac{1}{a^2\cos\varphi}\Big(\frac{\partial}{\partial\varphi}\cos\varphi\frac{\partial f}{\partial\varphi}\Big), \tag{1.10}$$

$$D = \nabla\cdot\mathbf{V} = \frac{1}{a\cos\varphi}\Big(\frac{\partial u}{\partial\lambda} + \frac{\partial v\cos\varphi}{\partial\varphi}\Big),$$

$$\zeta = \mathbf{k}\cdot(\nabla\times\mathbf{V}) = \frac{1}{a\cos\varphi}\Big(\frac{\partial v}{\partial\lambda} - \frac{\partial u\cos\varphi}{\partial\varphi}\Big),$$

$$\frac{1}{6}\Big(\frac{\partial f}{\partial x}\Big)_{i-1} + \frac{2}{3}\Big(\frac{\partial f}{\partial x}\Big)_{i} + \frac{1}{6}\Big(\frac{\partial f}{\partial x}\Big)_{i+1} = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\triangle x} + O(\triangle x^4). \tag{1.11}$$

$$\frac{1}{24}\Big(\frac{\partial f}{\partial x}\Big)_{i-1} + \frac{11}{12}\Big(\frac{\partial f}{\partial x}\Big)_{i} + \frac{1}{24}\Big(\frac{\partial f}{\partial x}\Big)_{i+1} = \frac{f_{i+1/2} - f_{i-1/2}}{\triangle x} + O(\triangle x^4). \tag{1.12}$$

1.3.2 Решение уравнений Пуассона на сфере

$$\langle k \rangle = \frac{\sin(k\triangle\lambda)}{\triangle\lambda(1 - 2/3\sin^2(k\triangle\lambda/2))},$$

$i = \sqrt{-1}$, $\triangle\lambda$ шаг сетки по долготе.

$$\langle k^2 \rangle = \frac{4\sin^2(\frac{k\triangle\lambda}{2})}{\triangle\lambda^2(1 - 1/3\sin^2(k\triangle\lambda/2))}.$$

$$\nabla^2\psi = \zeta, \qquad \nabla^2\chi = D. \tag{1.14}$$

$$u = -\frac{1}{a}\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} + \frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\chi}{\partial\lambda}, \qquad v = \frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\psi}{\partial\lambda} + \frac{1}{a}\frac{\partial\chi}{\partial\varphi}. \tag{1.15}$$

$$\frac{1}{a^2\cos^2\varphi}\frac{\partial^2 g}{\partial\lambda^2} + \frac{1}{a^2\cos\varphi}\left(\frac{\partial}{\partial\varphi}\cos\varphi\frac{\partial g}{\partial\varphi}\right) = F.$$

$$-\frac{\langle k^2 \rangle}{\cos\varphi_j}\hat{g}_j^k + M^{-1}\delta(\cos\varphi_j M^{-1}\delta\hat{g}_j^k) = a^2\cos\varphi_j\hat{F}_j^k. \tag{1.16}$$

Введем вспомогательную переменную $\hat{z}^k = \frac{1}{\Delta\varphi}M^{-1}\delta\hat{g}^k$. Тогда

$$
\begin{cases}
-M\left(\frac{\langle k^2\rangle}{\cos\varphi_j}\right)\hat{g}_j^k & +\delta(\hat{z}_j^k\cos\varphi_j) & = a^2M(\hat{F}_j^k\cos\varphi_j) \\
\frac{1}{\triangle\varphi}\delta\hat{g}_j^k & -M\hat{z}_j^k & = 0
\end{cases}
\tag{1.17}
$$

или,

$$
A\begin{pmatrix} \hat{g}^k \\ \hat{z}^k \end{pmatrix}_{j-1} + B\begin{pmatrix} \hat{g}^k \\ \hat{z}^k \end{pmatrix}_{j} + C\begin{pmatrix} \hat{g}^k \\ \hat{z}^k \end{pmatrix}_{j+1} = \begin{pmatrix} \hat{G}^k \\ 0 \end{pmatrix}_{j}
\tag{1.18}
$$

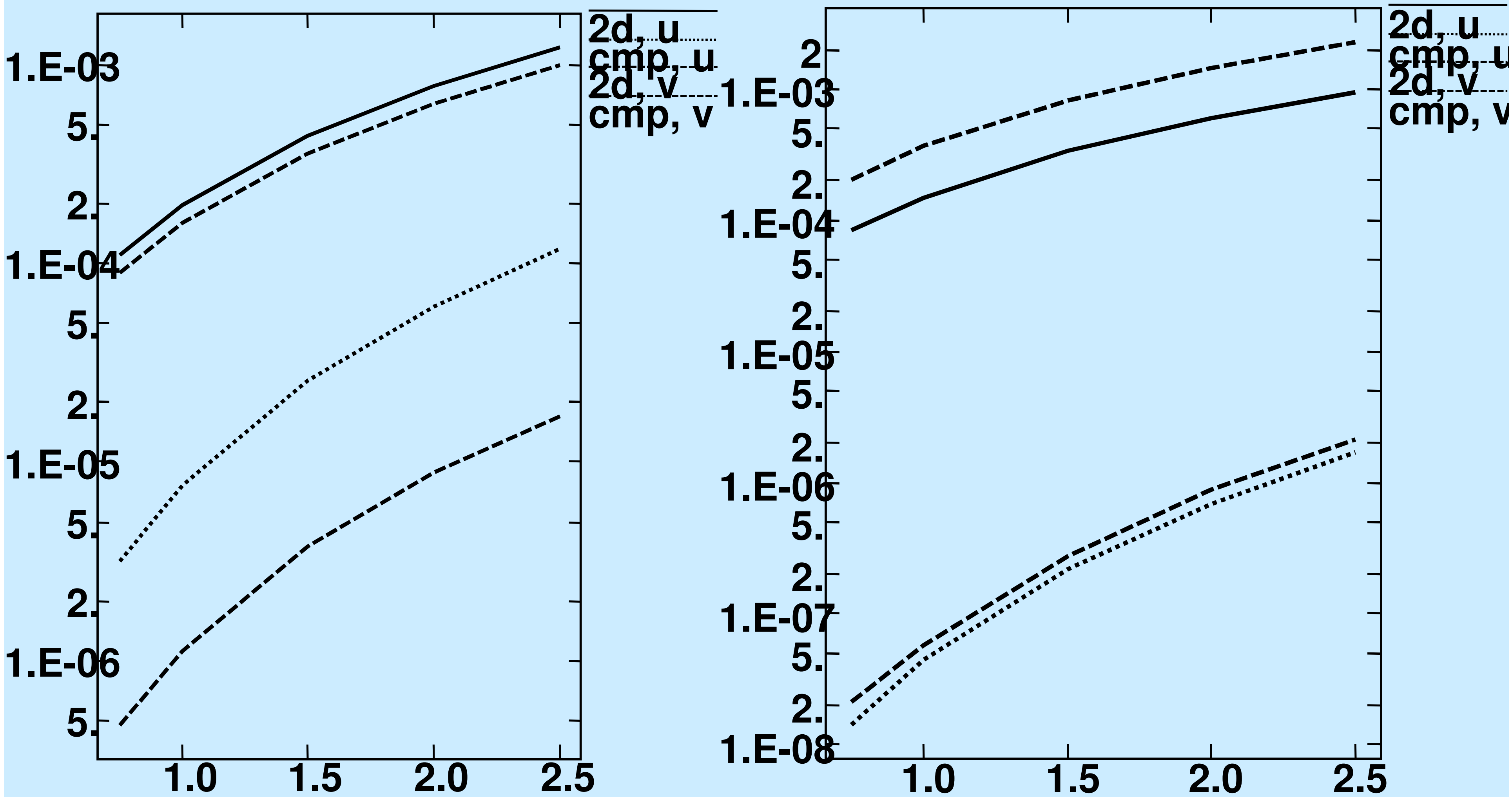
где

$$
A = \begin{pmatrix} \frac{-\langle k^2\rangle\triangle\varphi}{24\cos\varphi_{j-1}} & -\cos\varphi_{j-1/2} \\ 0 & \frac{1}{24} \end{pmatrix}, \qquad B = \begin{pmatrix} \frac{-11\langle k^2\rangle\triangle\varphi}{12\cos\varphi_j} & \cos\varphi_{j+1/2} \\ \frac{-1}{\triangle\varphi} & \frac{11}{12} \end{pmatrix}
$$

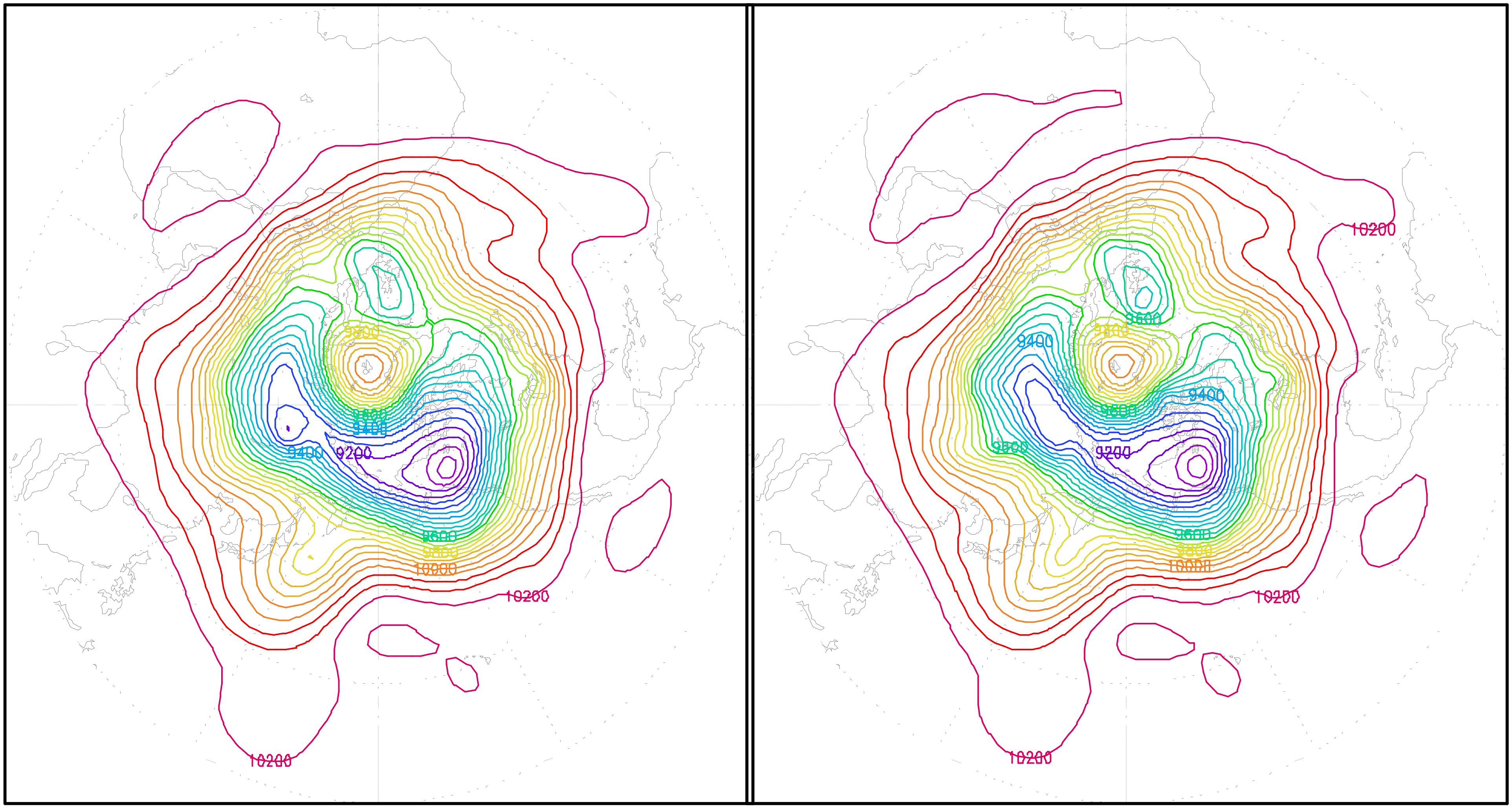
$$
C = \begin{pmatrix} \frac{-\langle k^2\rangle\triangle\varphi}{24\cos\varphi_{j+1}} & 0 \\ \frac{1}{\triangle\varphi} & \frac{1}{24} \end{pmatrix},
$$

$$
\hat{G}_j^k = a^2\triangle\varphi\left(\frac{1}{24}\hat{F}_{j-1}^k\cos\varphi_{j-1} + \frac{11}{12}\hat{F}_j^k\cos\varphi_j + \frac{1}{24}\hat{F}_{j+1}^k\cos\varphi_{j+1}\right).
$$

Нормализованная среднеквадратичная ошибка полей *u* и *v* как функции горизонтального разрешения: слева - для кросс-полярного течения, справа - для волны Россби-Гурвица. 2d - алгоритм второго порядка точности, cmp - алгоритм на компактных схемах



Решение по спектральной модели высокого разрешения (слева) и решение модели на пятый день для случая 21 декабря 1978 года - Тест 7, а (справа).
(M. Tolstykh, J. Comput. Phys. 2002, v. 179, 180-200)



Проверка динамического блока модели при долгопериодном интегрировании

(Тест Хелда-Суареца)

Для уравнения притока тепла задана релаксация температуры

$$\mathbf{F_T=C(\varphi,\sigma)(T-T_{eq}(\varphi,\sigma))},$$

где профиль равновесной температуры определен как

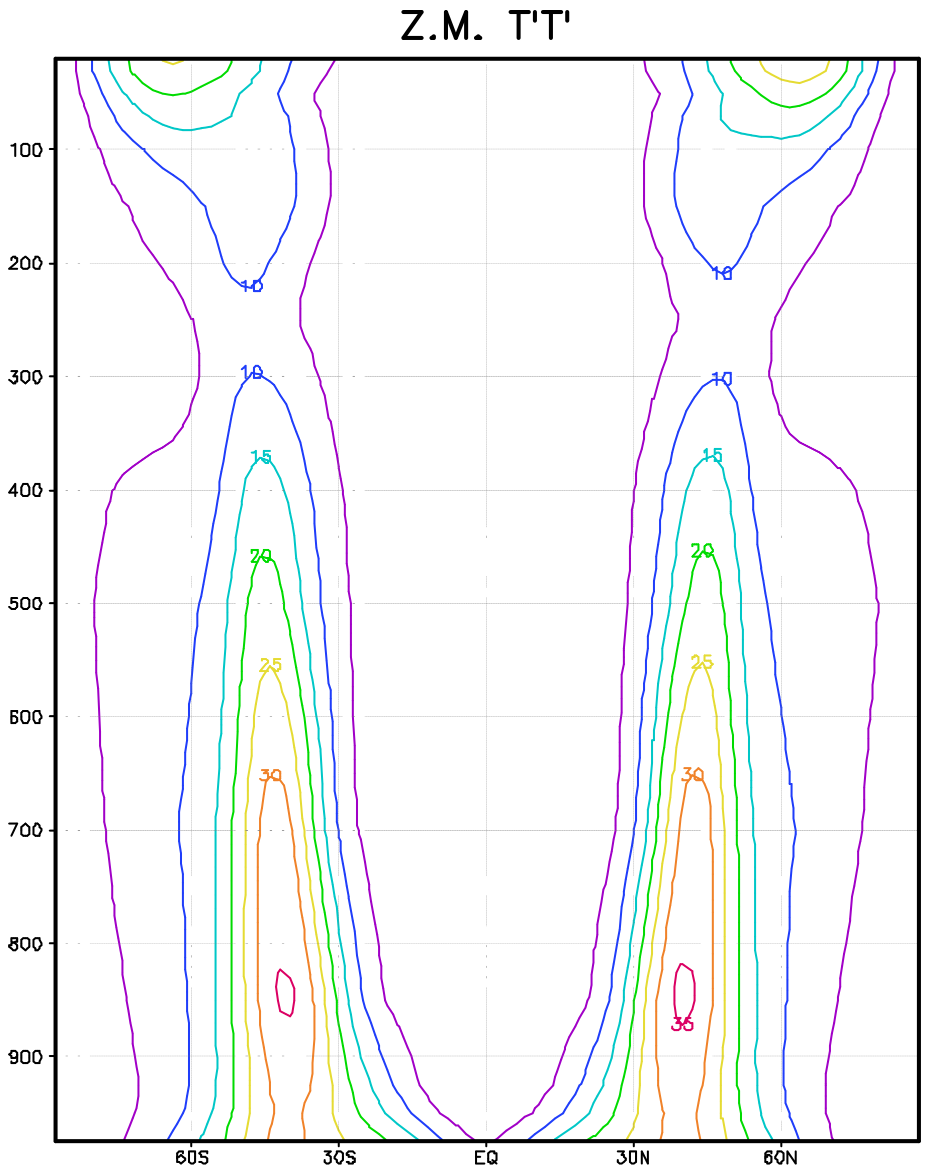
$$\mathbf{T_{eq}(\varphi,\sigma)}=\max(\mathbf{200,[315}-60\sin^2\varphi-10\log(\boldsymbol{\sigma}\mathbf{p_s})\cos^2\varphi]\mathbf{(p_s\sigma)^{R/c_p}}),$$

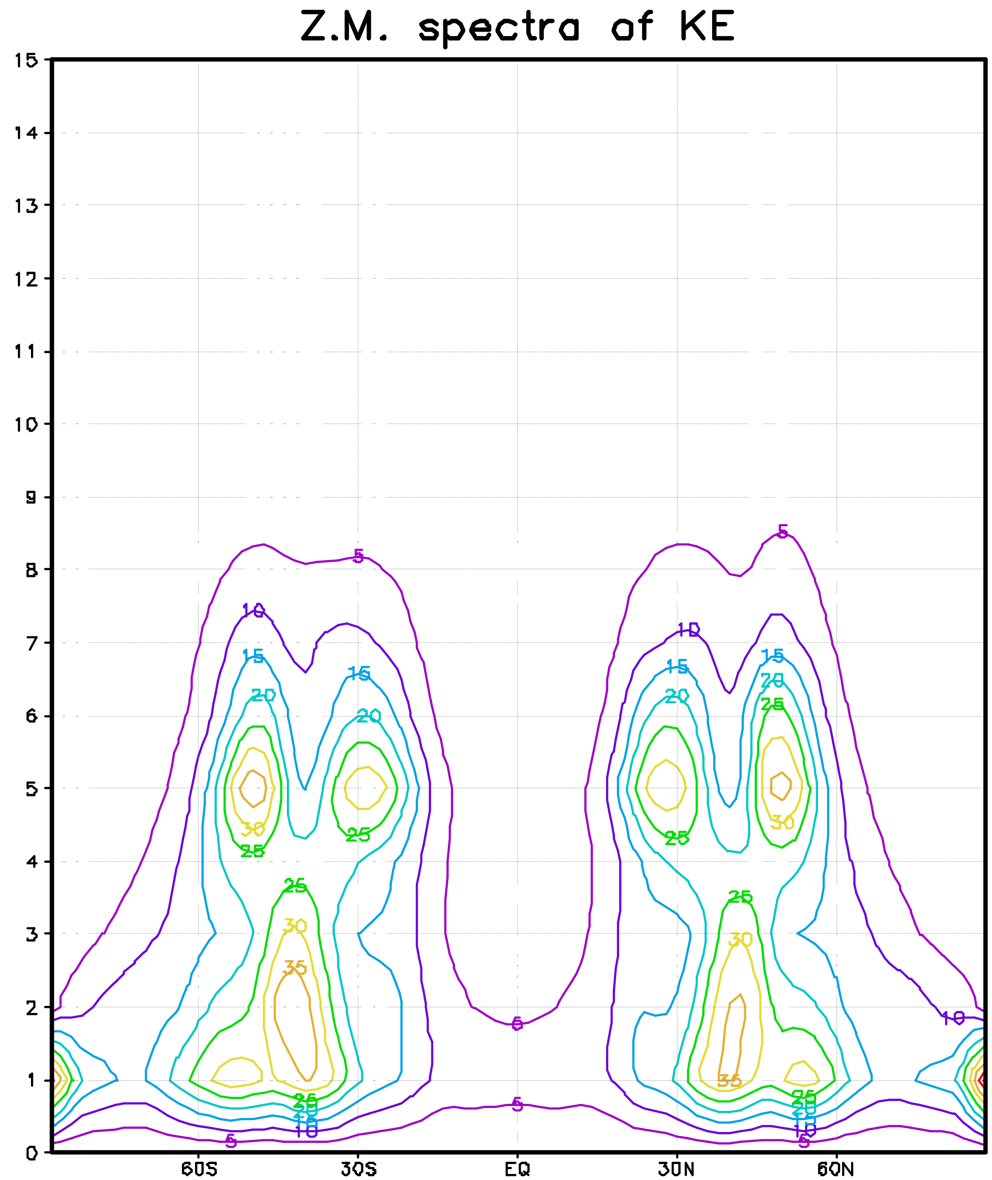
$$\mathbf{C(\varphi,\sigma) = (p_{ka}+(p_{ks}-p_{ka})}\ \max(\mathbf{0,}(\sigma-0,7)/0,3)\ \cos^4\varphi)/86400$$

$$\mathbf{p_{ka}=1/40,\ p_{ks}=1/4.}$$

$$\mathbf{F_v} = \max\ (\mathbf{0,}(\sigma-0,7)/0,3)/86400.$$

Проверка динамического блока модели при долгопериодном интегрировании





Параметризации процессов подсеточного масштаба

Модель включает в себя набор параметризаций процессов подсеточного масштаба:

- коротко- и длинноволновая радиация;
- глубокая и мелкая конвекция;
- планетарный пограничный слой;
- торможение гравитационных волн;
- параметризация тепло- и влагообмена с подстилающей поверхностью,

разработанный в Метео-Франс для французской модели оперативного прогноза ARPEGE/IFS.

Схема обложных осадков

- Вычисление крупномасштабных осадков основано на диагностически определенном влагосодержании с использованием функции распределения размера капель Маршала-Палмера и предписанную концентрацию капель. Скорость падения капель зависит от их диаметра. Таяние/замерзание выпадающих осадков происходит в параметризации в то же самое время, что и их выпадение. Все перенасыщение удаляется как выпадение воды или льда. Различие между жидкой и твердой фазами воды состоит в следующем:

  (i) для термодинамических эффектов фазовых переходов налагается ступенчатый переход осадков из одной фазы другую в тройной точке для согласованности с функциями насыщения;

  (ii) для скорости испарения и/или таяния-замерзания, которая зависит от скорости выпадения, при генерации осадков делается различие между фазами воды, которое зависит только от температуры.

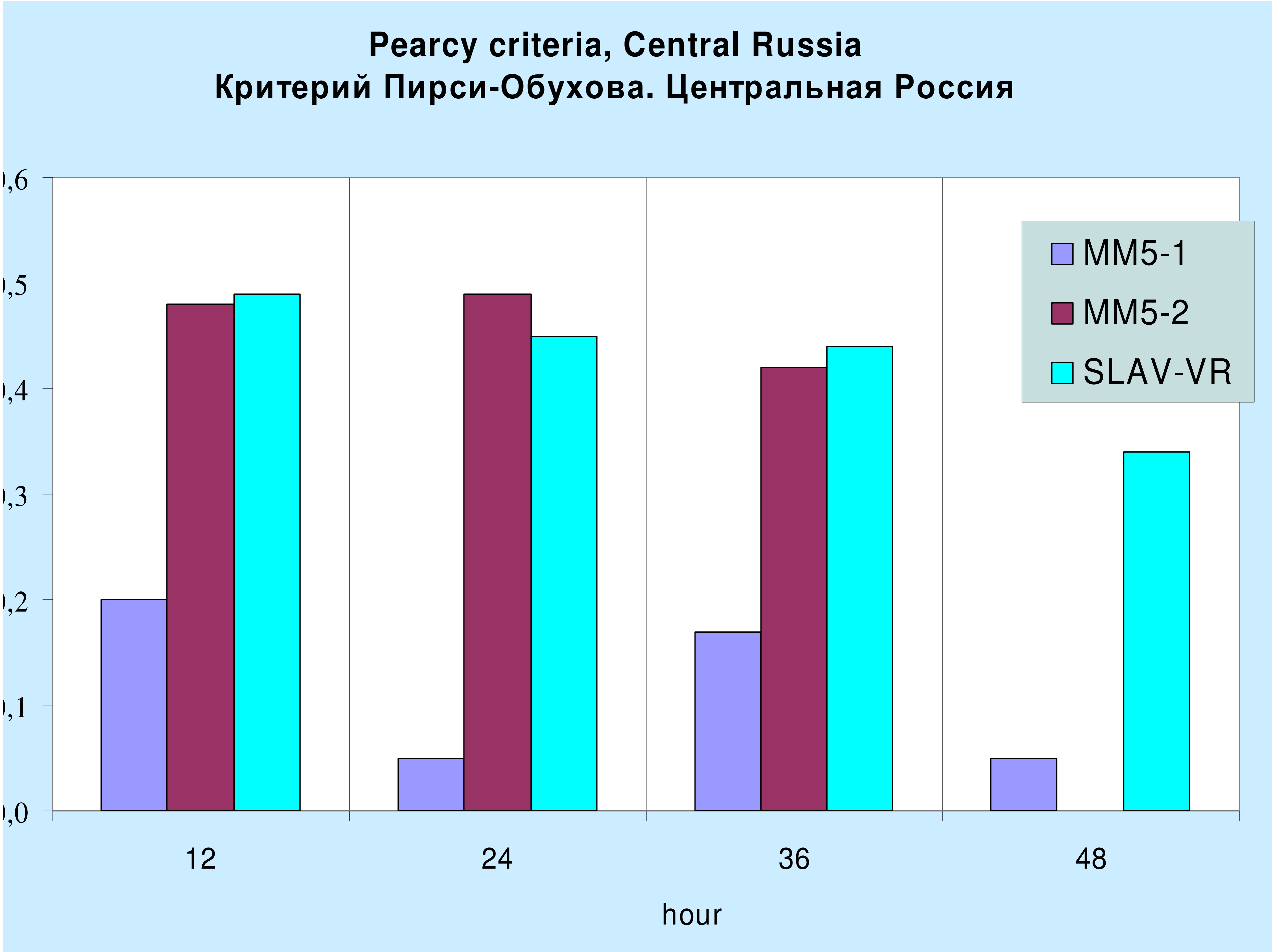
- Коэффициент испарения осадков в ненасыщенных нижележащих уровнях вычисляется по модифицированной формуле типа Кесслера.

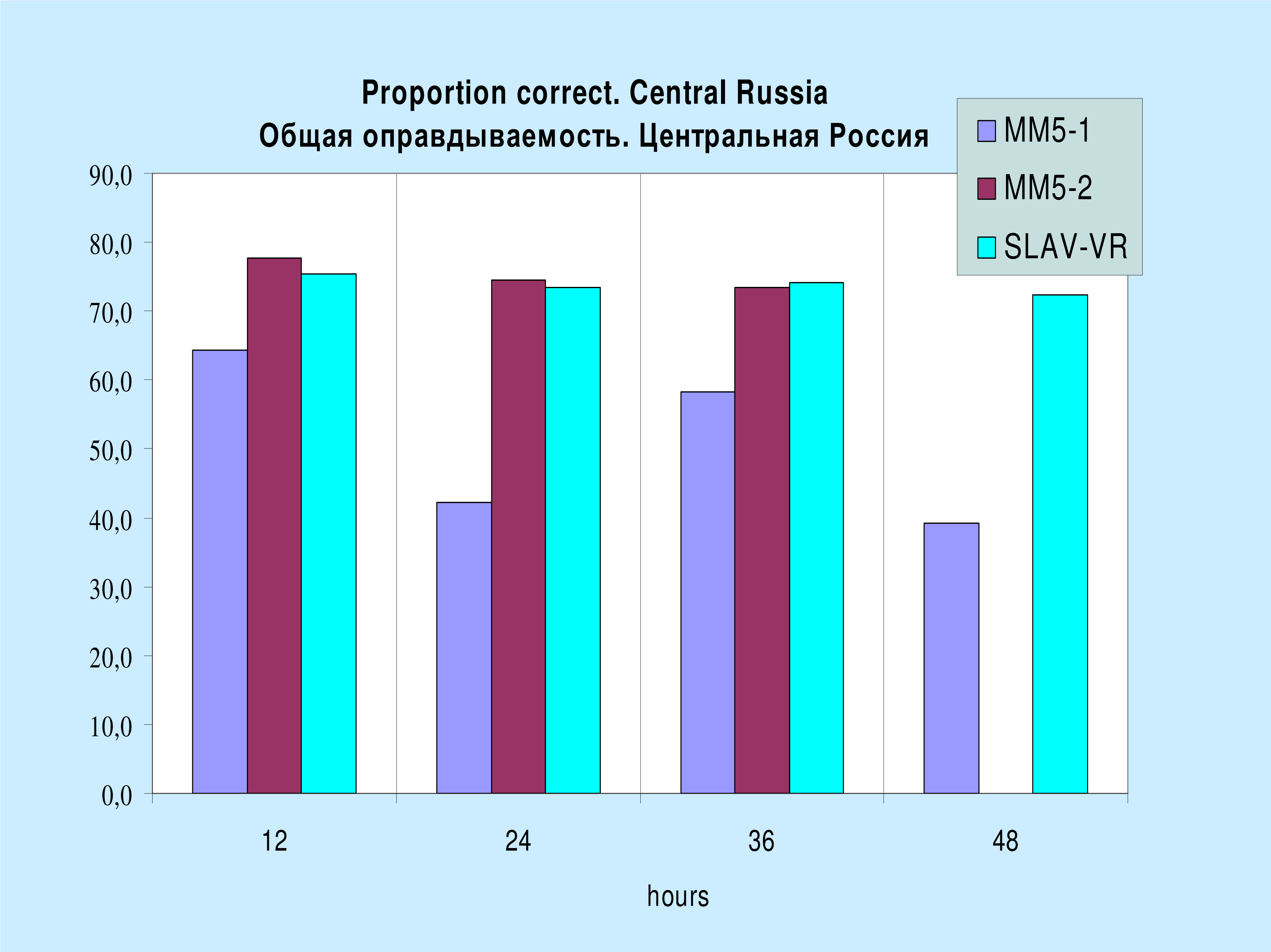
Схема глубокой конвекции

- Схема (Bougeault 1985) с многочисленными усовершенствованиями.
- Скорость выпадения конвективных осадков определяется разностью между общей конвергенцией влаги и увлажнению окружения благодаря перемешиванию с ним облака. Под основанием облака возможно испарение осадков. Облачный конденсат преобразуется в осадки, когда эквивалентная толщина насыщенного облачного слоя превосходит некую критическую величину.
- Пропорция снега в осадках на данном вертикальном уровне зависит от пропорции снега на предыдущем уровне и температуры.
- В отличие от оригинальной схемы, введено изменение скорости вовлечения с высотой, которая равна максимальному значению E_{ntrx} в основании облака и затухает по экспоненте к стандартному значению E_{ntr} по мере подъема облака. E_{ntr} и E_{ntrx} зависят от интегральной плавучести облака таким образом, что в глубоких облаках (тропики) скорость вовлечения меньше, чем в неглубоких (средние широты).
- В схеме учитываются нисходящие потоки по краям облака (Ducroque-Bougeault), а также перераспределение момента вследствие конвекции согласно (Gregory-Kershaw).
- **Используется гибридное замыкание: CAPE если T_{NLEV}<29 C, иначе - замыкание типа Куо (Tolstykh 2003).**

Оценки прогнозов осадков для центральной России 1/07-24/09/2006

- Сравнивались две версии ММ5, работающие в Гидрометцентре РФ и Московском гидрометеобюро (18 и 15 км), и модель с переменным разрешением ПЛАВ-ПР.
- Обе версии ММ5 стартовали с анализов NCEP, ПЛАВ-ПР стартовала с анализа СУД ИОИ Гидрометцентра.
- Сравнение должно рассматриваться только как демонстрация возможностей модели ПЛАВ-ПР (оценки доступны пока за небольшой период).

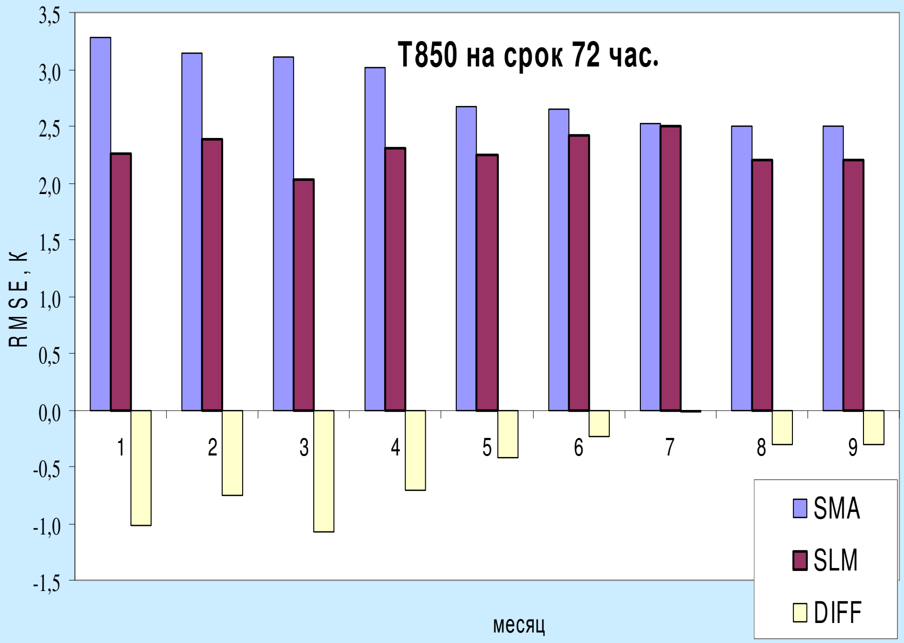

Pearcy criteria, Central Russia
Критерий Пирси-Обухова. Центральная Россия
MM5-1
MM5-2
SLAV-VR
12
24
36
48
hour

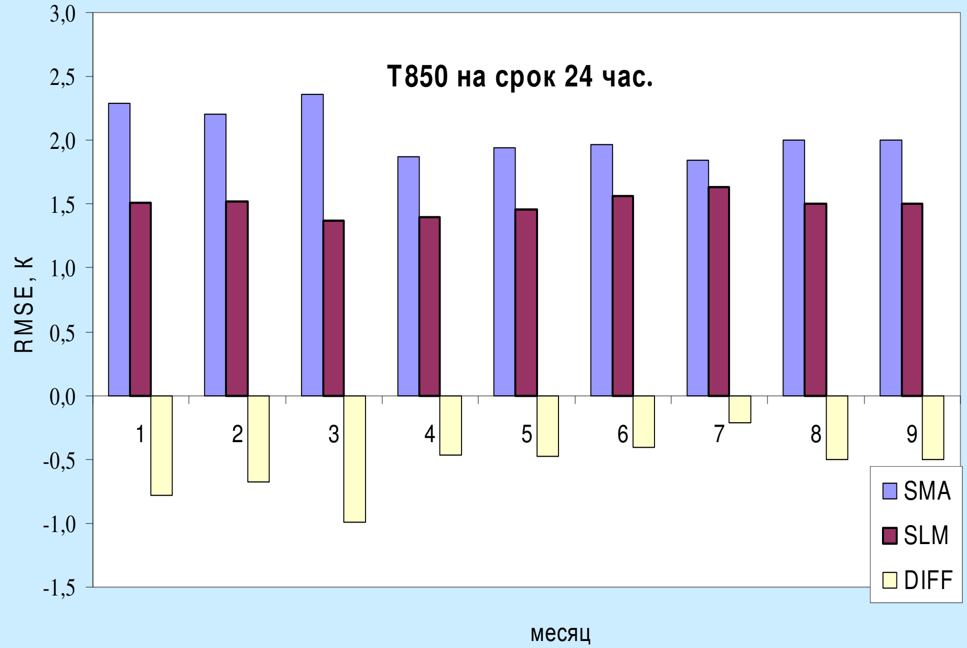


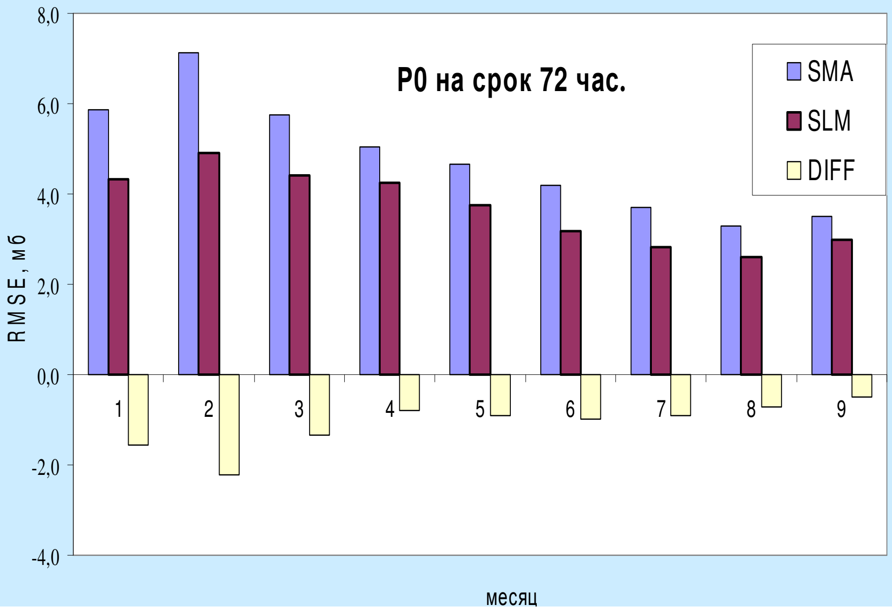
Proportion correct. Central Russia
Общая оправдываемость. Центральная Россия
MM5-1
MM5-2
SLAV-VR
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
12
24
36
48
hours

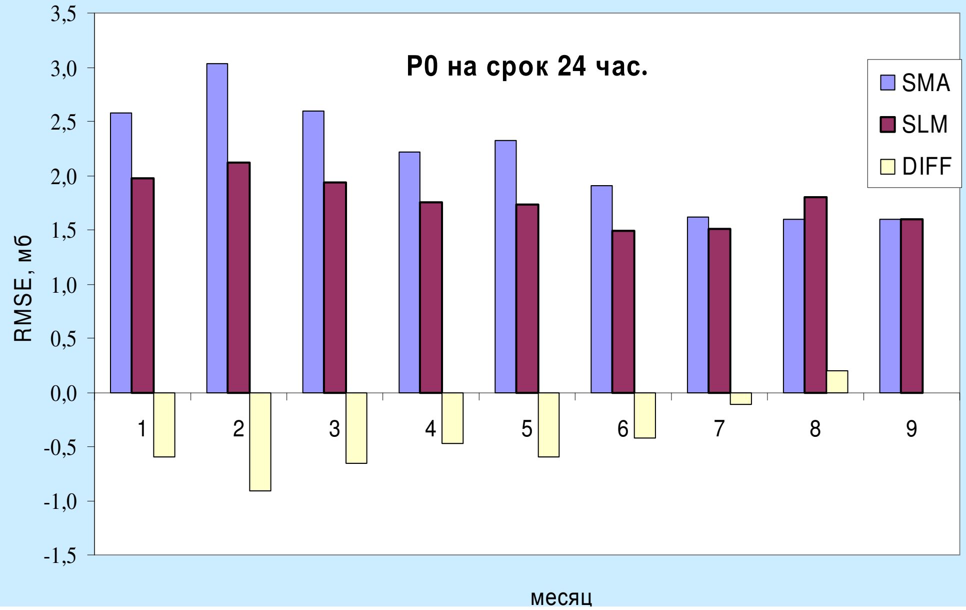
Среднемесячные ошибки прогноза за декабрь 2004 - август 2005 г.

Исходный срок 12 UTC, регион Европа. Оценка по оперативному ОА.

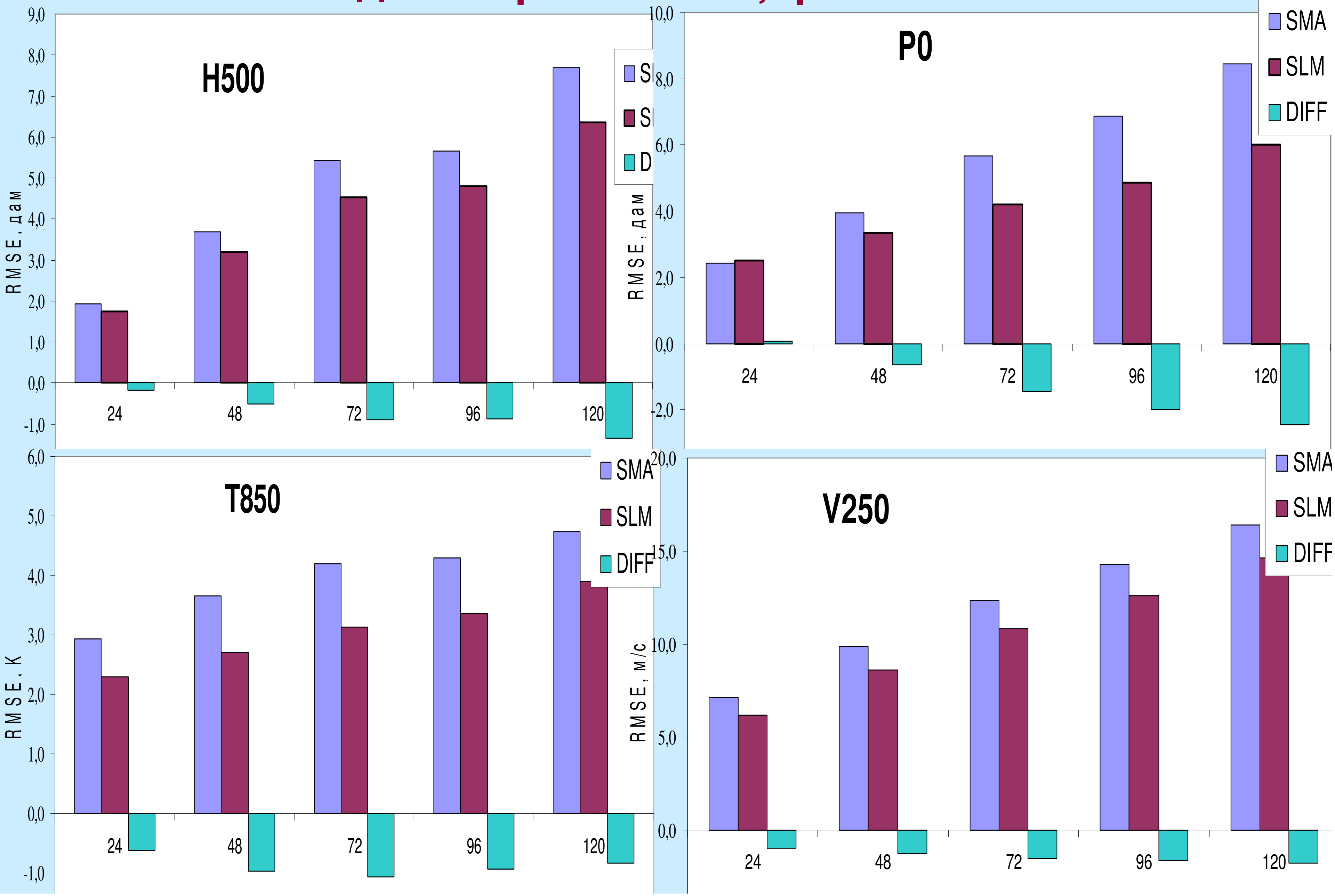








Средние RMS ошибки прогноза за 12/2005 – 09/2006 г.
Исходный срок 12 UTC, регион Азия.



Вычислительные свойства алгоритма

- В «динамической» части **(расчет уравнений типа Навье-Стокса на вращающейся сфере в приближениях гидростатики и несжимаемости)** значение на новом шаге по времени в точке сетки (i,j,k) зависит от значений в области [i-5:i+5]x[j-5:j+5]x[1:K] (К – число узлов сетки по вертикали).
- В «физической» части **(расчет правых частей - источники и стоки импульса, тепла и влаги вследствие неадиабатических процессов)** значение на новом шаге по времени в точке сетки (i,j,k) зависит только от значений по вертикали [1:K] в точке (i,j).

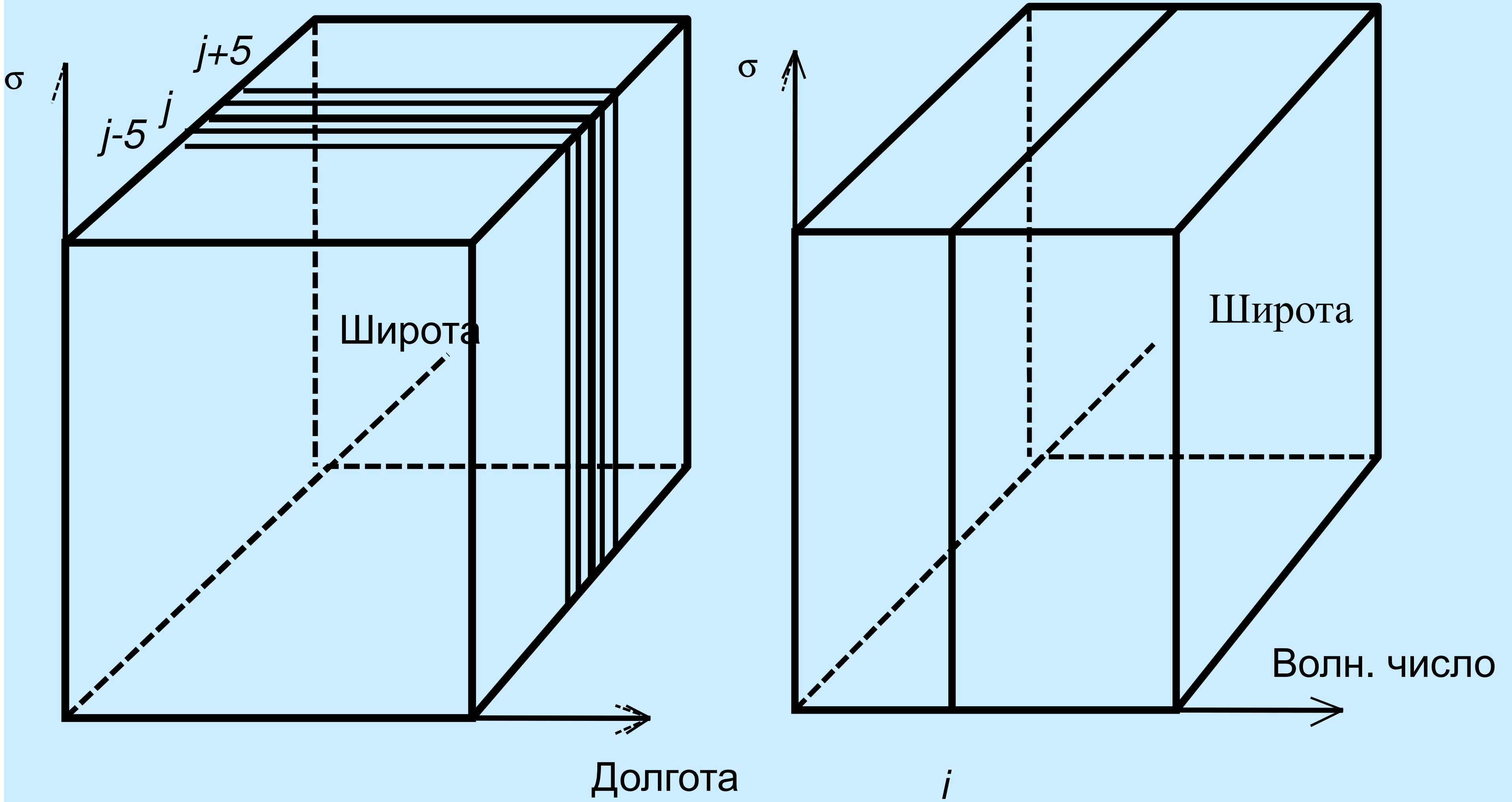
Вычислительные свойства алгоритма (2)

- Отмечена высокая эффективность кода на одном процессоре на разных вычислительных системах: до 25% от пиковой производительности на скалярном процессоре Itanium 2 (с использованием векторных стандартных функций MKL); ~40-55% на векторных процессорах.

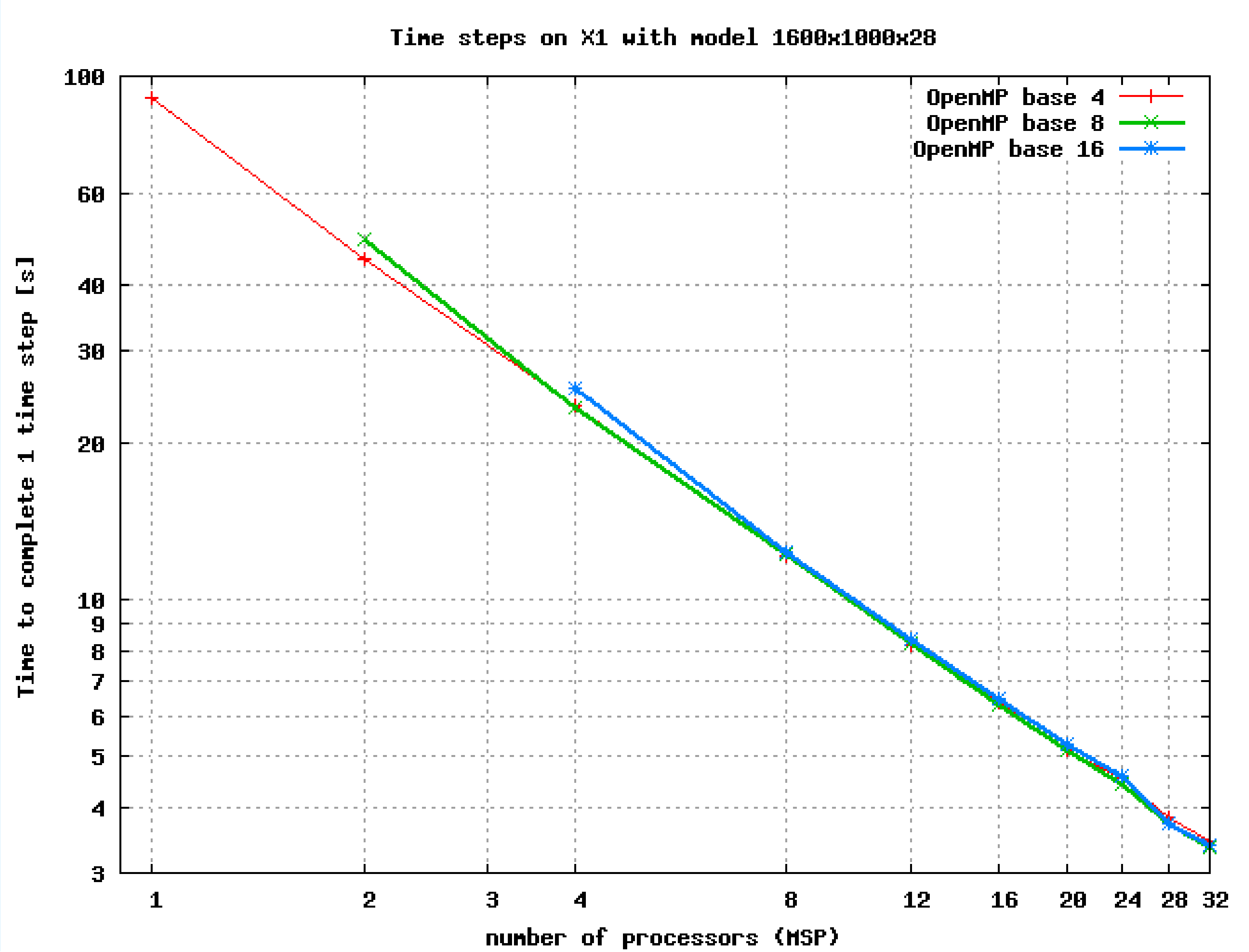
Методология распараллеливания

- Применение двумерной декомпозиции требует 8 обменов **(сложность отладки, низкая эффективность при небольшом числе процессоров под MPI).**
- Поэтому применяется одномерная декомпозиция по широте для распараллеливания в MPI, дальнейшее распараллеливание производится с помощью OpenMP по той же координате.
- Теоретическая масштабируемость ограничена N_{lat}; для будущей версии 0,25°x0,18°x60 это дает 1000 процессоров.

Разбиение вычислительной области при вычислениях в сеточном пространстве (слева) и пространстве коэффициентов Фурье по долготе (справа)



Parallel efficiency of 0,225ºx0,18ºx28 version on CrayX1 (OpenMP + MPI)



Схемы анализа поверхностных переменных

Схема СУД ИОИ Гидрометцентра

- $\Delta T_s = 0.5\Delta T2m$; $\Delta q_s = 0$
- $\Delta T_p = 0$; $\Delta q_p = 0$

Схема ECMWF

- $\Delta T_s = c\Delta T2m$; $\Delta q_s = \alpha\Delta T2m + \beta\Delta q2m$;
- $\Delta T_p = 0$; $\Delta q_p = \gamma\Delta T2m + \delta\Delta q2m$

α, β, c – такие, что $\Delta T2m$ используется для коррекции либо ΔT_s, либо Δq_s (с плавным переходом)

Схемы анализа поверхностных переменных (2)

Схема DWD

- $\Delta T_s = \Delta T2m$, Δq_s определяется итерационным алгоритмом для минимизации ошибки прогноза со срока –6 час

Схема ISBA (ALADIN, HIRLAM, CMC – 25 стран)

- $\Delta T_s = \Delta T2m$; $\Delta q_s = \alpha \Delta T2m + \beta \Delta q2m$;
- $\Delta T_p = \Delta T2m/2\pi$; $\Delta q_p = \gamma \Delta T2m + \delta \Delta q2m$

  α, β,γ,δ - функции локального солнечного времени, облачности, характеристик подстилающей поверхности

Во всех схемах $\Delta q_s=0$ при наличии снега, низкой температуры и некоторых других условиях

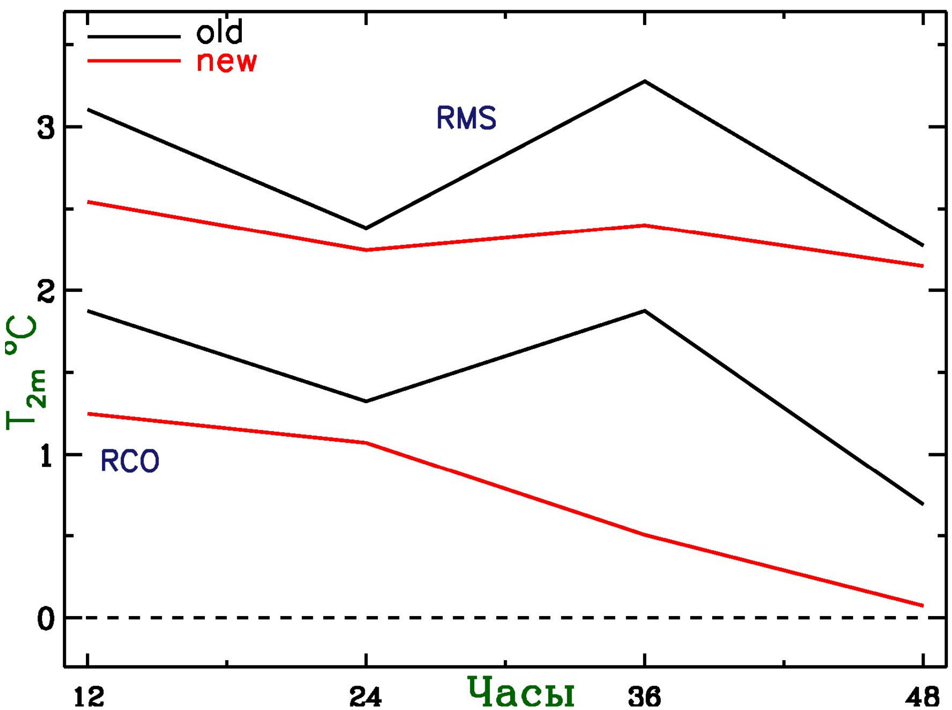
Результаты тестирования новой схемы.

Средние отклонение (RCO) и среднеквадратическая ошибка (RMS) относительно данных наблюдений на наземных станциях (SYNOP), август 2005 г..

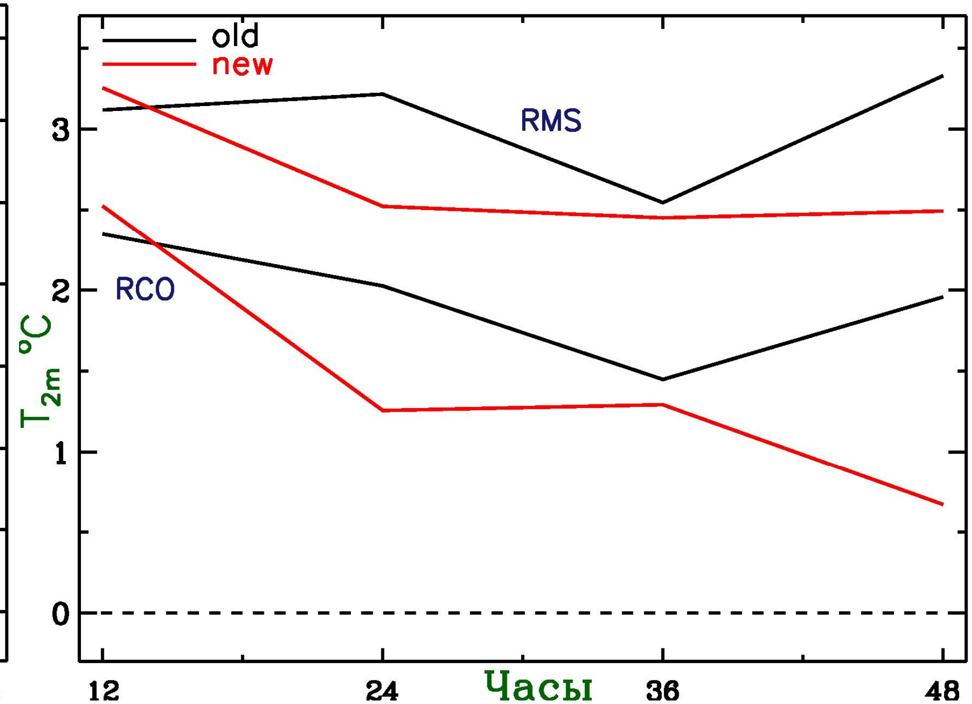
Границы области
- с 45 с.ш. до 65 с.ш
- с 27 в.д до 50 в.д

Оценка по 386 станциям в заданной области

Центрально Европейская Россия, 00 UTC



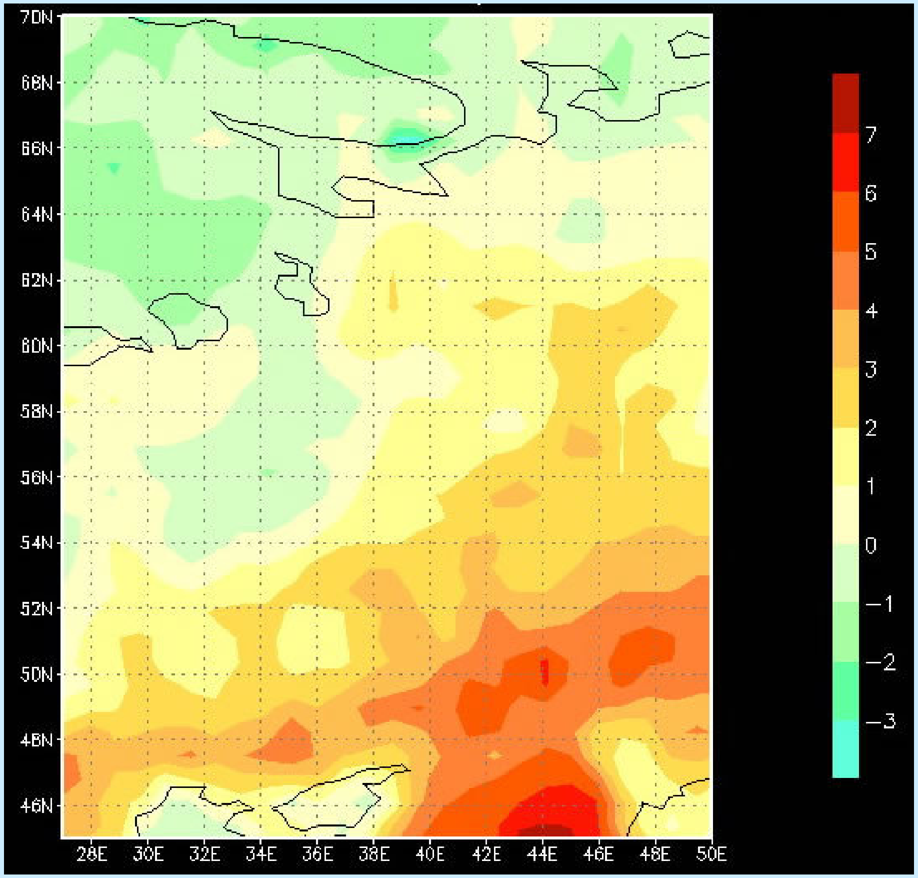
Центрально Европейская Россия, 12 UTC



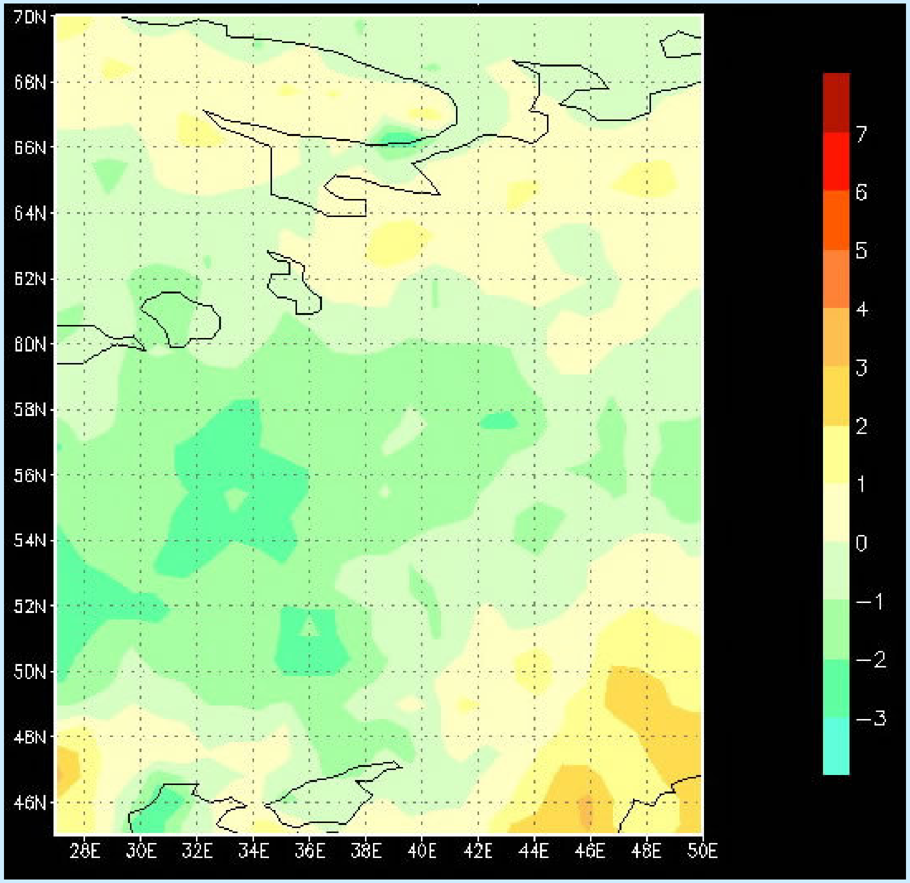
Результаты тестирования новой схемы.

Средняя ошибка прогноза T2m на 48 часов от наблюдений на наземных станциях (SYNOP), осредненные за август 2005. 12 UTC.

Старая схема



Новая схема



Модель SL-AV

- Вычислительно эффективна, способна производить успешные среднесрочные прогнозы, в том числе, осадков
- Некоторые параметризации процессов подсеточного масштаба нуждаются в уточнении, что особенно важно для моделирования атмосферной циркуляции на сезонных временных масштабах.

Исторические сезонные прогнозы на основе модели SL-AV

Период экспериментов – 1979-2003;
Продолжительность прогностического периода – 4 месяца;
Оцениваемые сезоны – 4 сезона: зима, весна, лето, осень

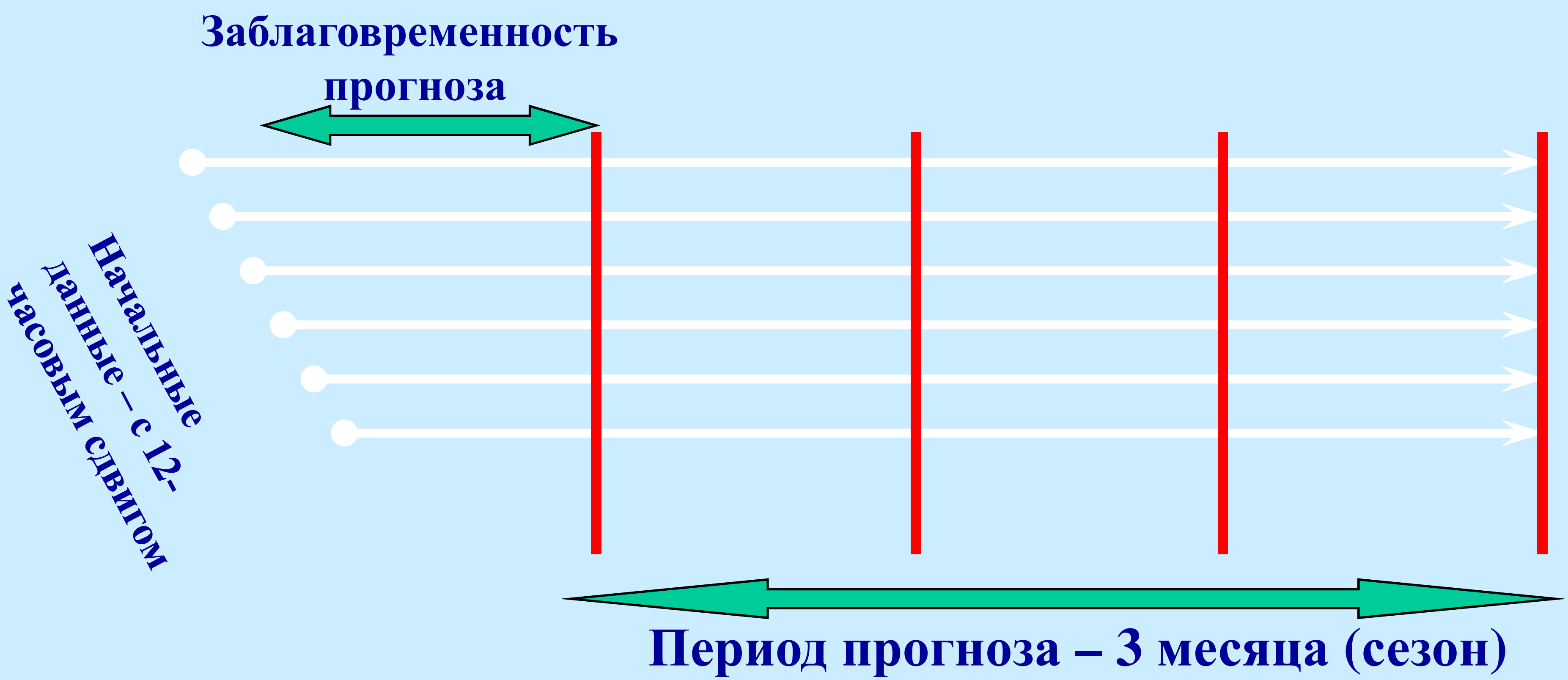
Потенциальная предсказуемость

- **План экспериментов - SMIP-2**
- **Размер прогностического ансамбля – 6 (по начальным данным реанализа NCEP/NCAR с 12-часовым сдвигом);**
- **Эталонный набор данных – реанализ NCEP/NCAR**

Практическая предсказуемость

- **План экспериментов - SMIP-2/HFP;**
- **Размер прогностического ансамбля – 10 (по начальным данным реанализа-2 NCEP/NCAR с 12-часовым сдвигом);**
- **Граничные условия – сохранение начальных аномалий ТПО;**
- **Эталонный набор данных – реанализ-2 NCEP/NCAR**

Схема построения ансамбля прогнозов



Оценки успешности сезонных прогнозов

$$r = \left.\frac{\overline{a\,f}}{\sigma_a \sigma_f}\right|_{l=l0}$$

- Локальный коэффициент временной корреляции аномалий

a и f – фактическая и соответствующая прогностическая сезонные аномалии в фиксированном узле сетки $l=l_0$;
σ_a, σ_f – стандартные отклонения, характеризующие межгодовую изменчивость фактических и прогностических сезонных аномалий в узле $l=l_0$;
Горизонтальной чертой обозначено статистическое осреднение за годы, для которых были рассчитаны прогнозы.

$$\rho = \left.\frac{\langle AF \rangle}{\sigma_A \sigma_F}\right|_{j=j0}$$

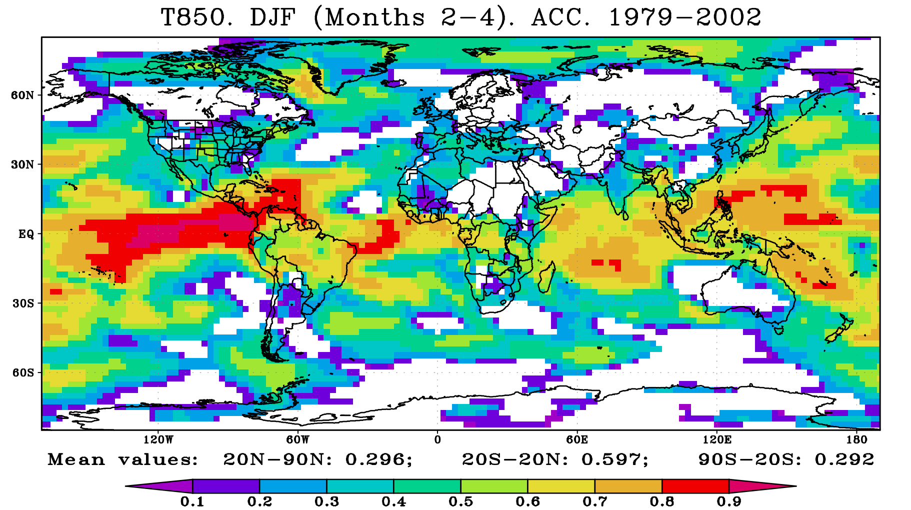
- Коэффициент пространственной корреляции аномалий

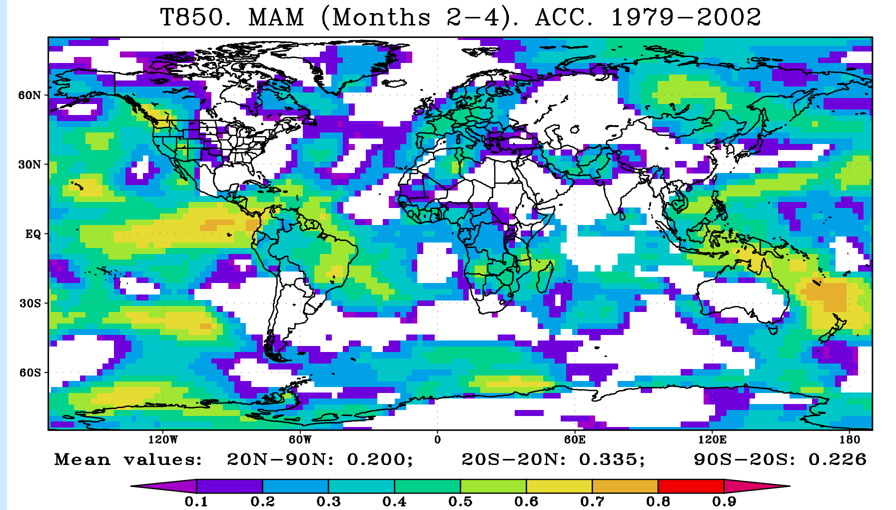
A, F – поля отклонений фактических и прогностических аномалий для года $j=j_0$ от их пространственных средних величин;
σ_A, σ_F – стандартные отклонения, характеризующие пространственную изменчивость фактических и средних по ансамблю прогностических сезонных аномалий для года $j=j_0$;
<..> – пространственное осреднение.

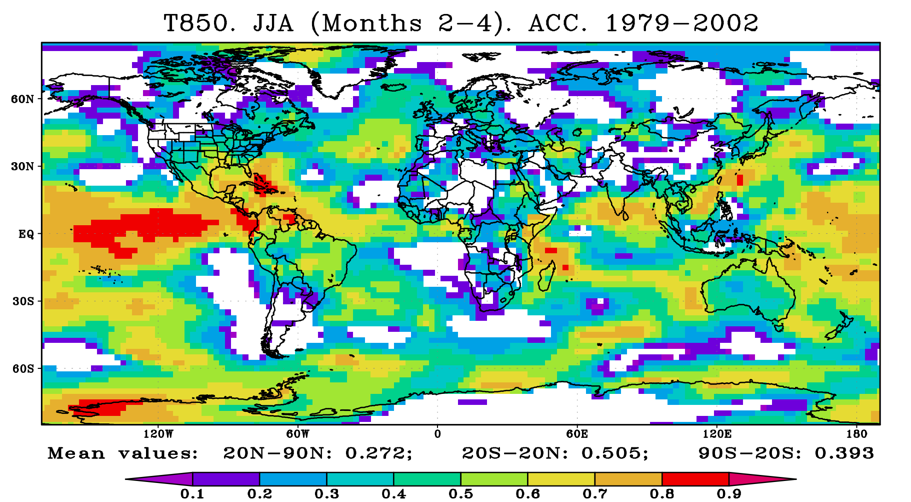
Средние коэффициенты корреляции <r> / ρ для 3 регионов : 20˚N-90˚N (верхний ряд в ячейке), 20˚S-20˚N (средний ряд), 90˚S-20˚S (нижний ряд). Период: 1979-2003. Протокол: SMIP-2

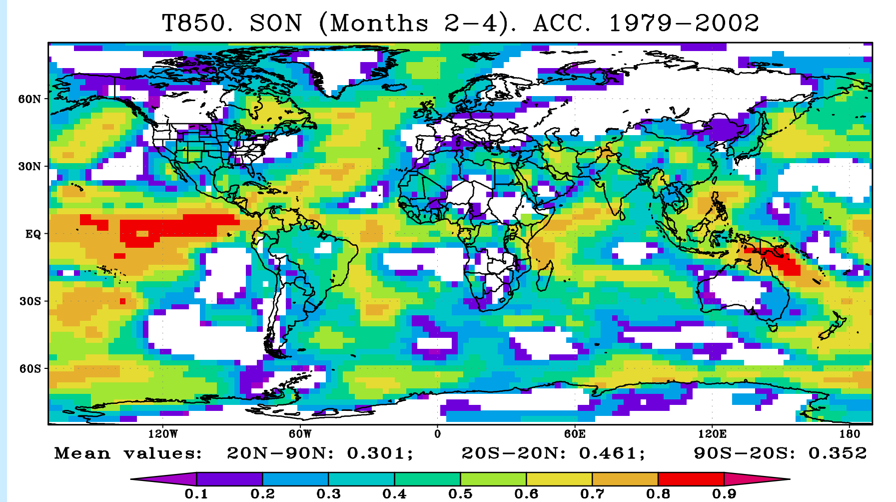
	ЗИМА	ВЕСНА	ЛЕТО	ОСЕНЬ
T850	0.296 / 0.228 0.597 / 0.447 0.292 / 0.282	0.200 / 0.258 0.335 / 0.395 0.226 / 0.296	0.272 / 0.155 0.505 / 0.392 0.393 / 0.377	0.301 / 0.170 0.461 / 0.364 0.352 / 0.361
H500	0.260 / 0.191 0.730 / 0.204 0.324 / 0.228	0.124 / 0.167 0.459 / 0.094 0.196 / 0.181	0.231 / 0.069 0.502 / 0.047 0.235 / 0.190	0.171 / 0.003 0.533 / 0.154 0.274 / 0.271
SLP	0.196 / 0.168 0.511 / 0.473 0.235 / 0.186	0.105 / 0.222 0.333 / 0.501 0.154 / 0.147	0.089 / 0.063 0.457 / 0.507 0.131 / 0.10	0.081 /-0.062 0.457 / 0.485 0.240 / 0.202
PREC	0.154 / 0.245 0.252 / 0.264 0.059 / 0.127	0.089 / 0.127 0.228 / 0.234 0.112 / 0.130	0.004 / -0.009 0.247 / 0.243 0.147 / 0.147	0.031 / 0.047 0.243 / 0.220 0.139 / 0.140

T850. ACC. SL model. Months 2-4. Potential predictability. 1979-2002.





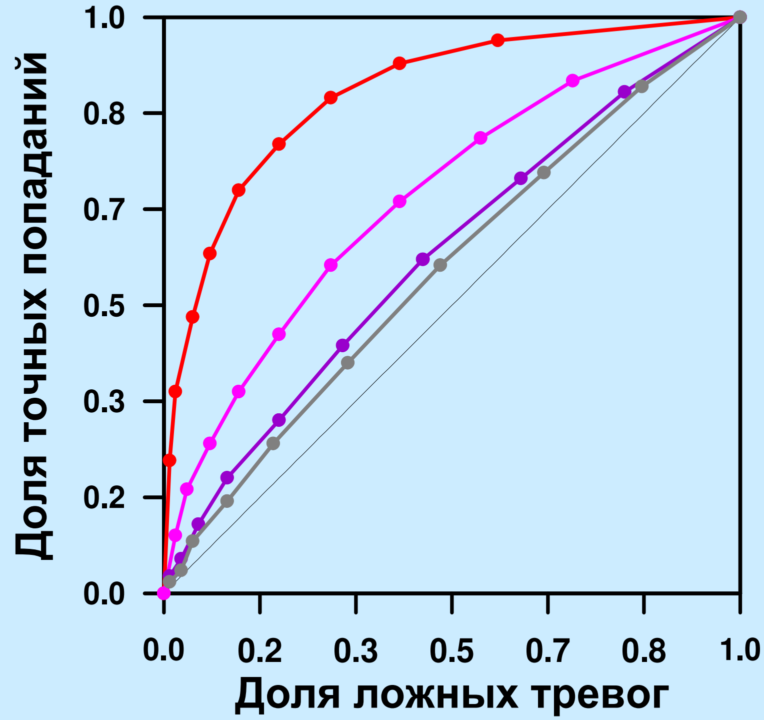




Сравнительная оперативная характеристика *ROC*

(*Relative Operating Characteristic*)

Пусть N - число вероятностных диапазонов, используемых при составлении прогноза, формулируемого в терминах M градаций аномалий.



Для каждого вероятностного диапазона n можно определить относительные доли случаев совпадений прогноза с фактом HR (*Hit Rate*)

$$HR_n = \sum_{i=n}^{N} s_i^+ \Big/ \sum_{i=1}^{N} s_i^+$$

и относительные доли ложных тревог FAR (*False Alarm Rate*)

$$FAR_n = \sum_{i=n}^{N} s_i^- \Big/ \sum_{i=1}^{N} s_i^-$$

где s_i^+ и s_i^- - общее количество попаданий и, соответственно, промахов при прогнозах некоторой градации (или градаций) в i-м вероятностном диапазоне.

Расчет s_i^+ и s_i^- проводится по данным всех членов прогностических ансамблей за весь период исторических прогнозов. Если полученные значения представить в виде графика соответствия FAR (по оси абсцисс) и HR (по оси ординат) для различных прогностических вероятностных градаций, дополнив график точками (0,0) и (1,1), то интегральный показатель ROC определяется как площадь под кривой этого графика.

T850. Aggregated ROC scores for SL Model. Region: 20N-90N. Months: 2-4. 1979-2002.

Season	Below Normal	Normal	Above Normal	All Categories
DJF	0.624	0.517	0.619	0.588
MAM	0.604	0.507	0.618	0.560
JJA	0.611	0.517	0.613	0.583
SON	0.628	0.529	0.628	0.597

T850. Aggregated ROC scores for SL model. Months: 2-4. Tropics (20S-20N). 1979-2002.

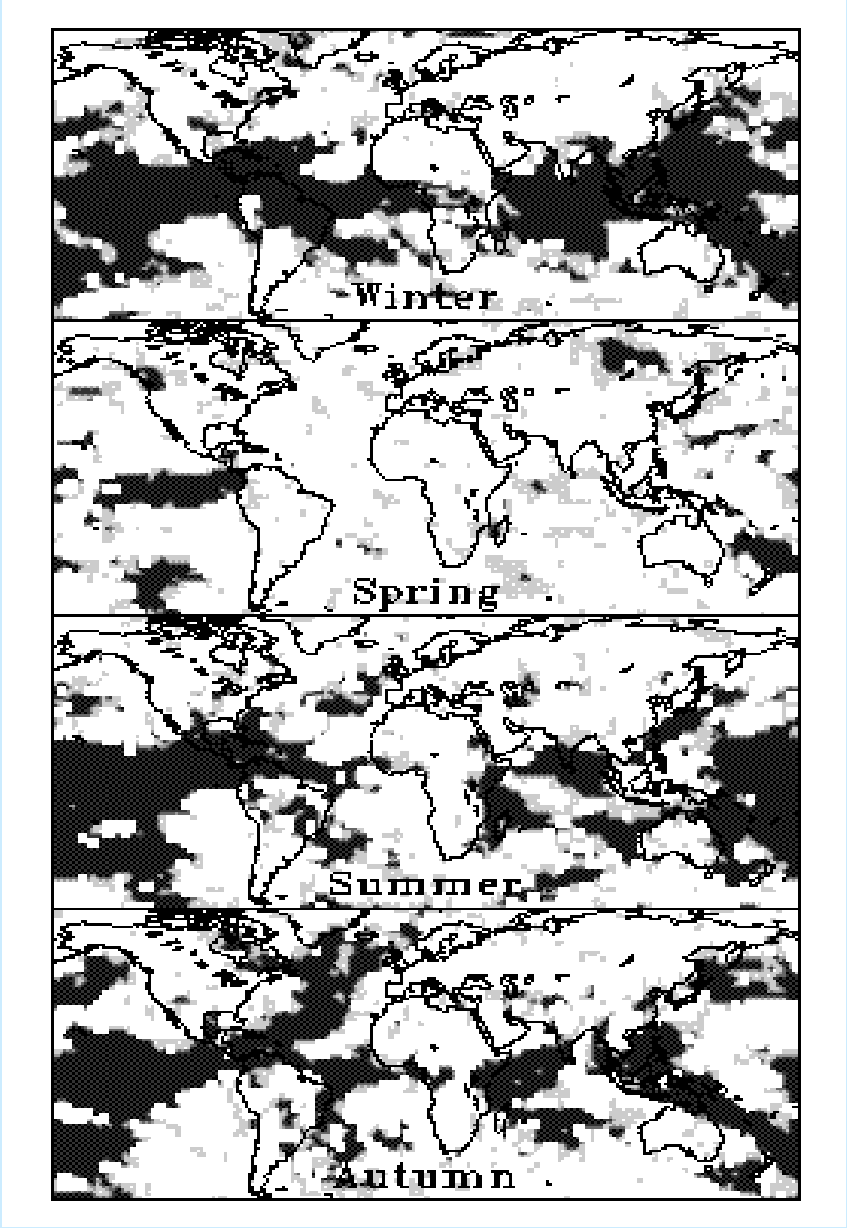
	Below Normal	Normal	Above Normal	All Categories
DJF	0.762	0.625	0.769	0.724
MAM	0.606	0.569	0.686	0.608
JJA	0.712	0.584	0.740	0.683
SON	0.701	0.569	0.713	0.665

ROC scores for SL model.

Protocol: SMIP-2.
Period: 1979-2003.
Parameter: T850.
Months: 2-4

Areas with ROC < 0.55 are masked out.

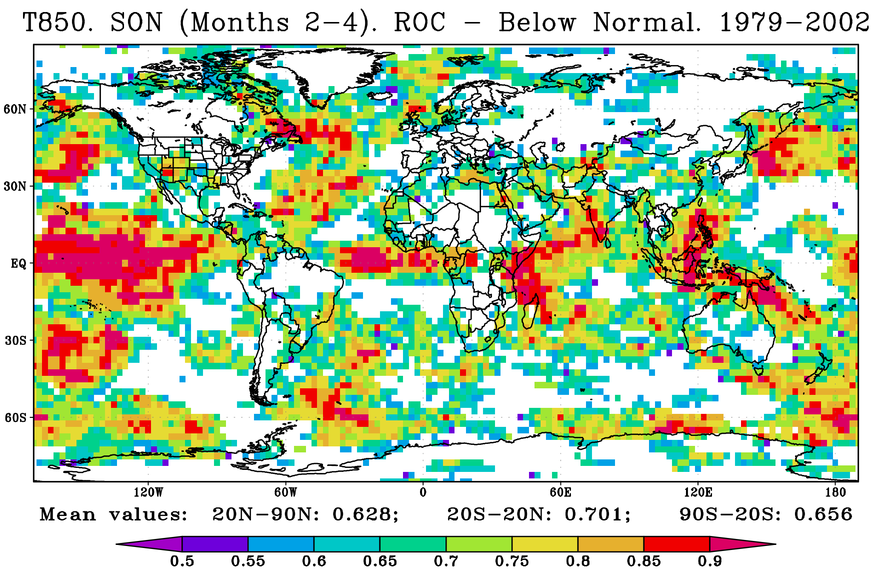
Areas with statistically significant useful signal are shown in black (α=0.1)

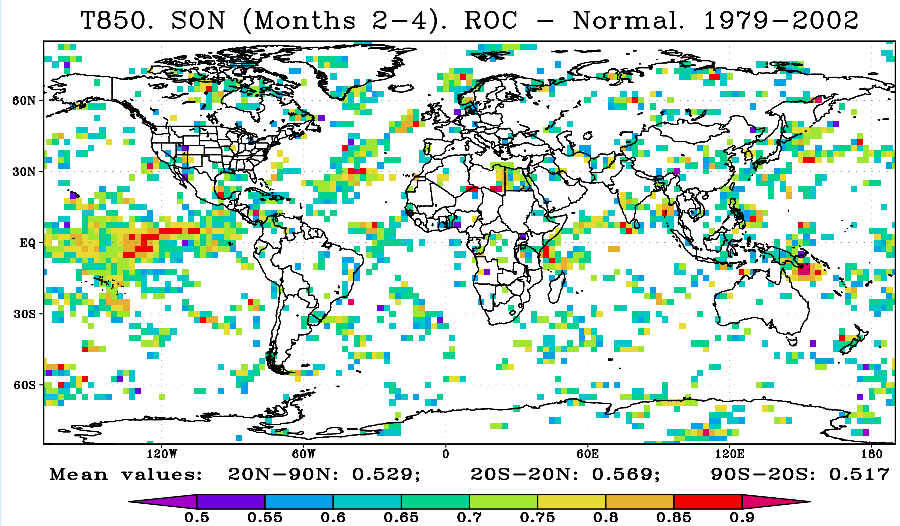


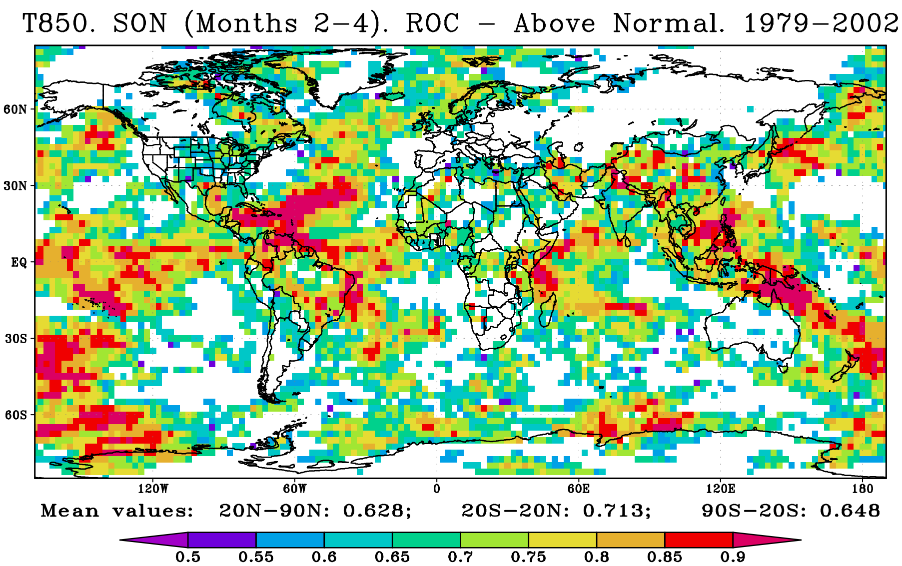
T850. ROC scores for the 3 categories

Period: DJF (Months 2-4)
1979-2002

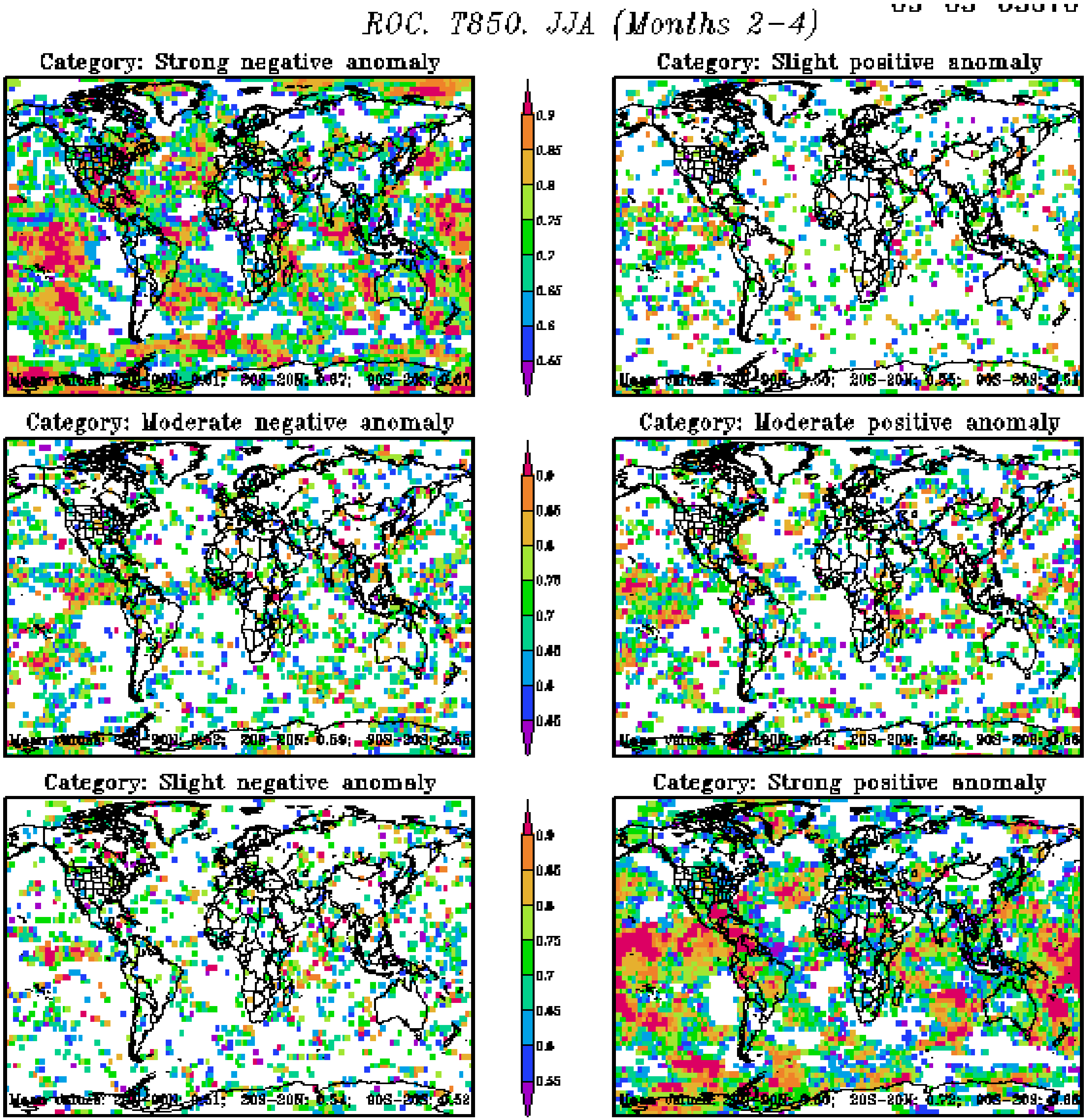
Potential predictability



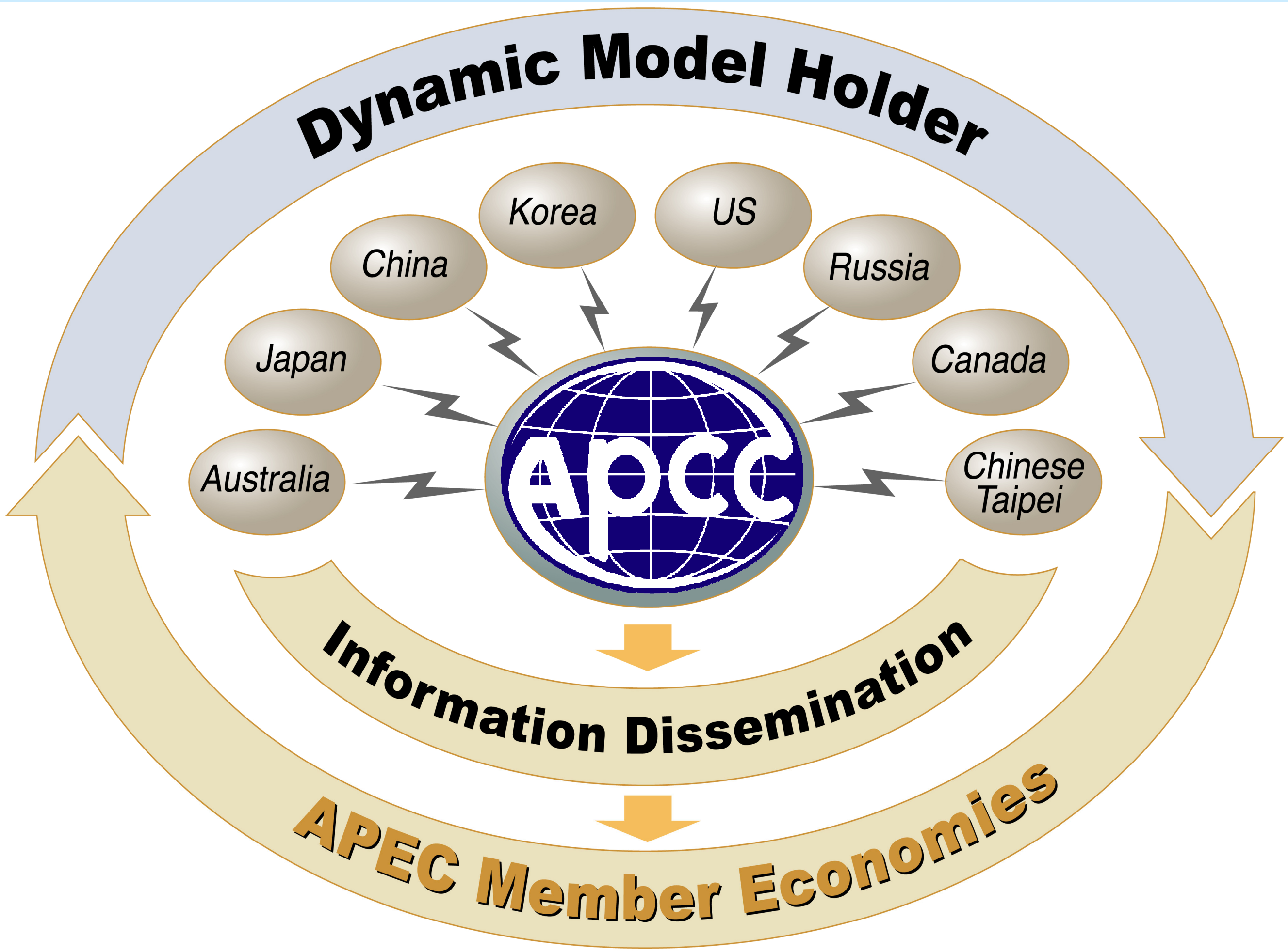




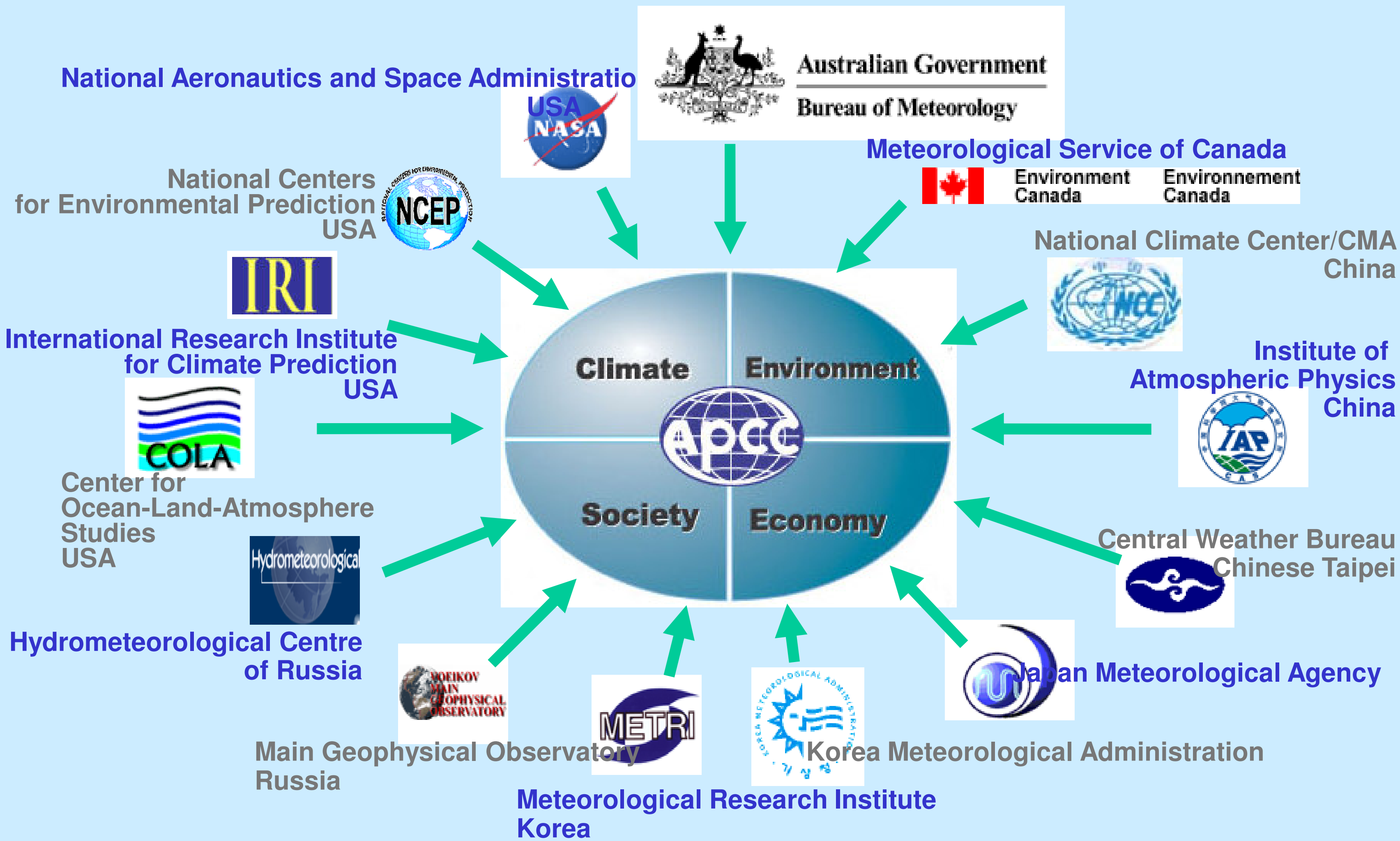
SL Model
(INM RAS and
Hydrometcentre of Russia)

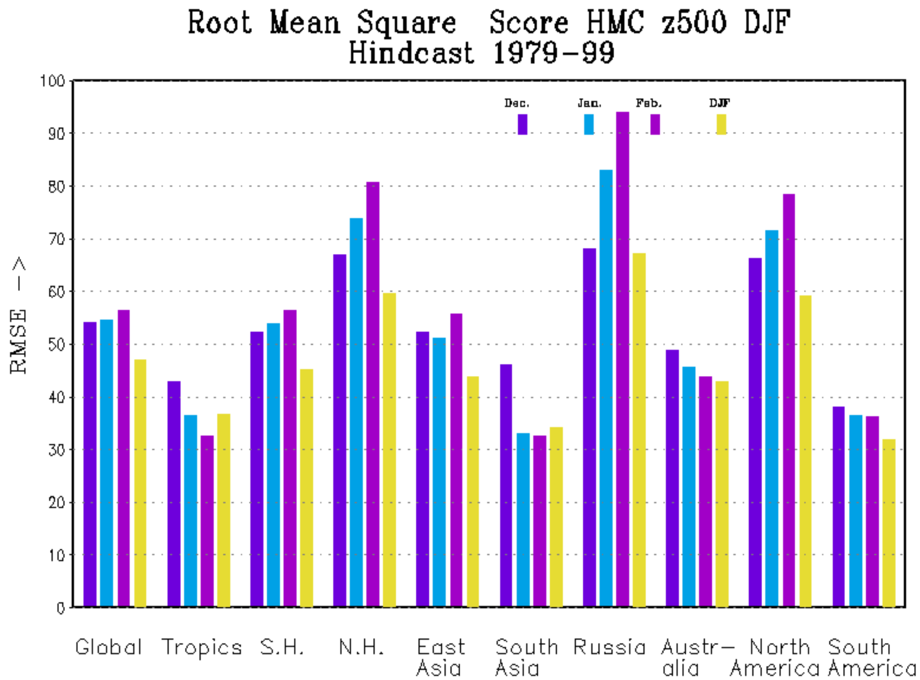

ROC. T850. JJA (Months 2-4)
Category: Strong negative anomaly
Category: Slight positive anomaly
Category: Moderate negative anomaly
Category: Moderate positive anomaly
Category: Slight negative anomaly
Category: Strong positive anomaly
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55

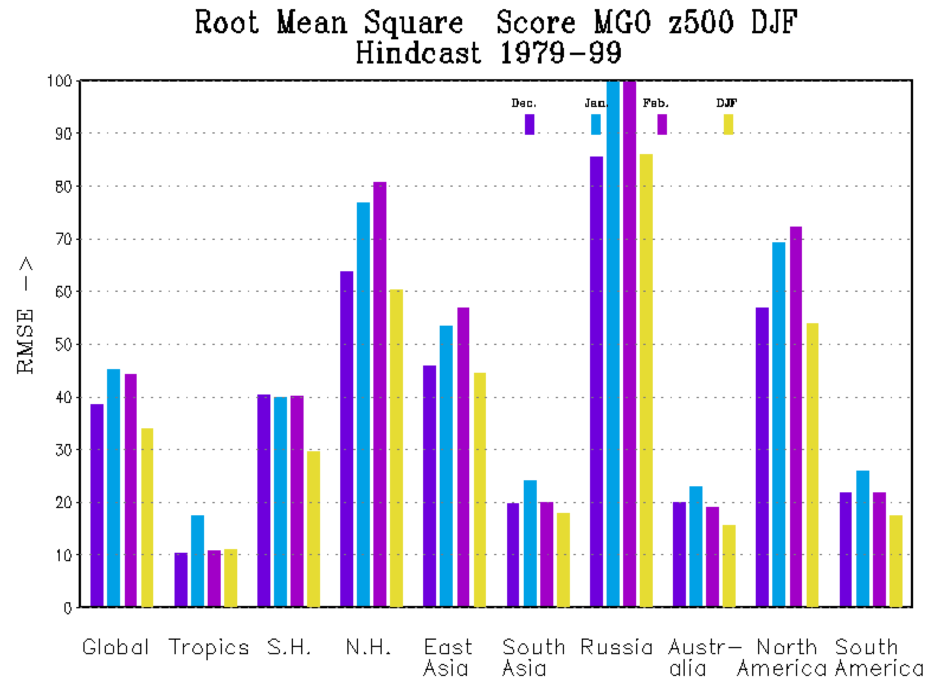
International Cooperation

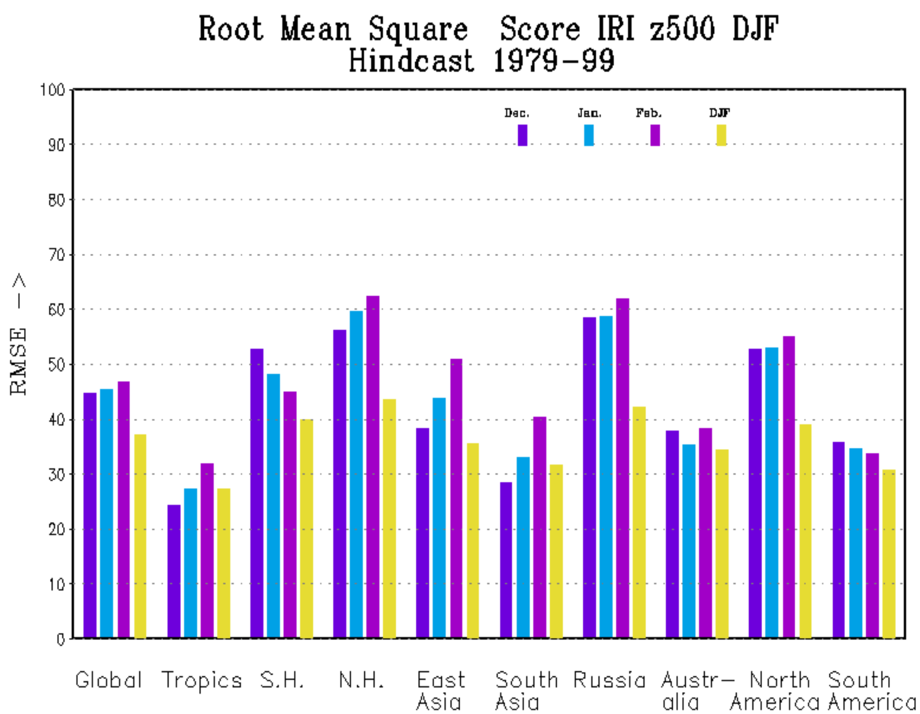


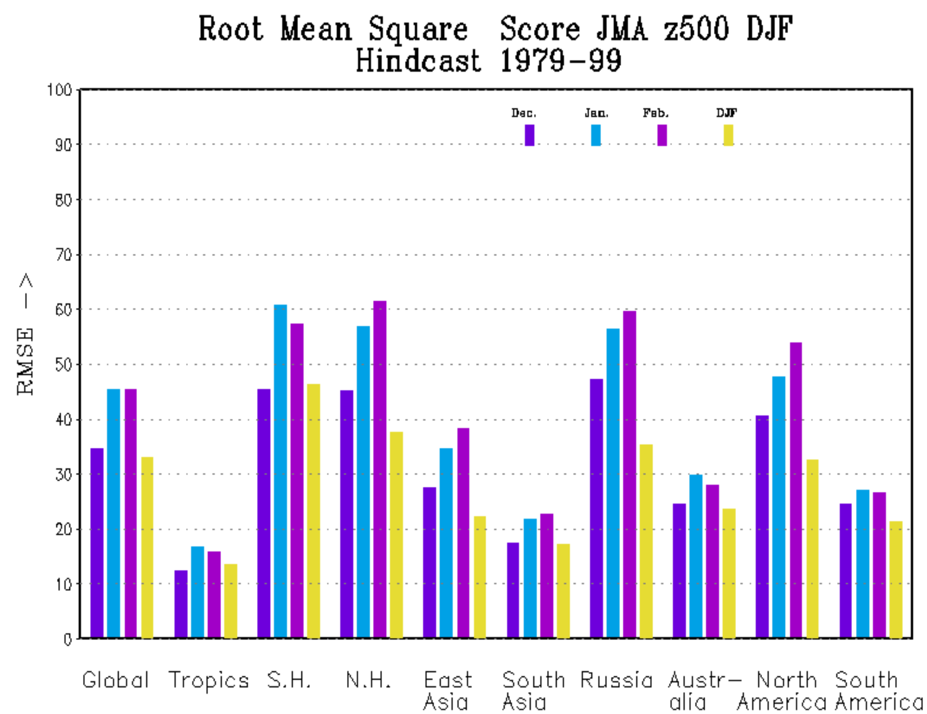
Multi-Institutional Cooperation

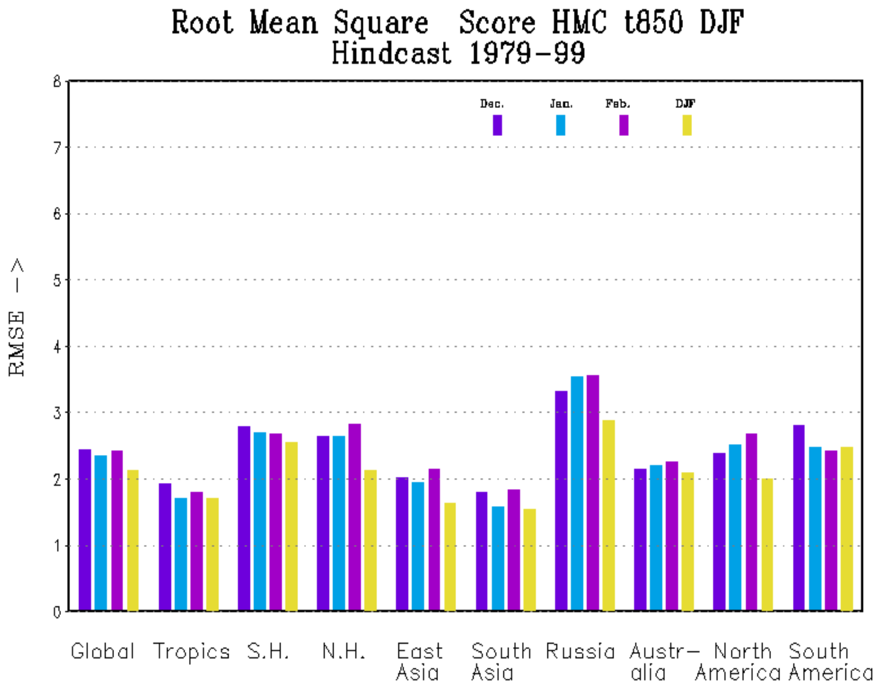


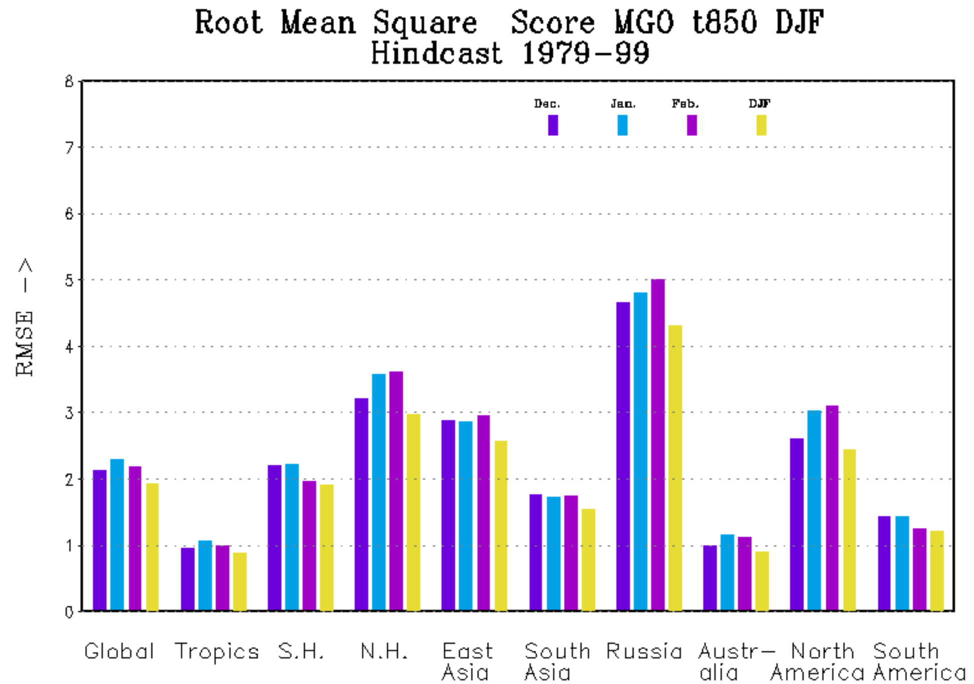

Root Mean Square Score HMC z500 DJF
Hindcast 1979-99
RMSE -->
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

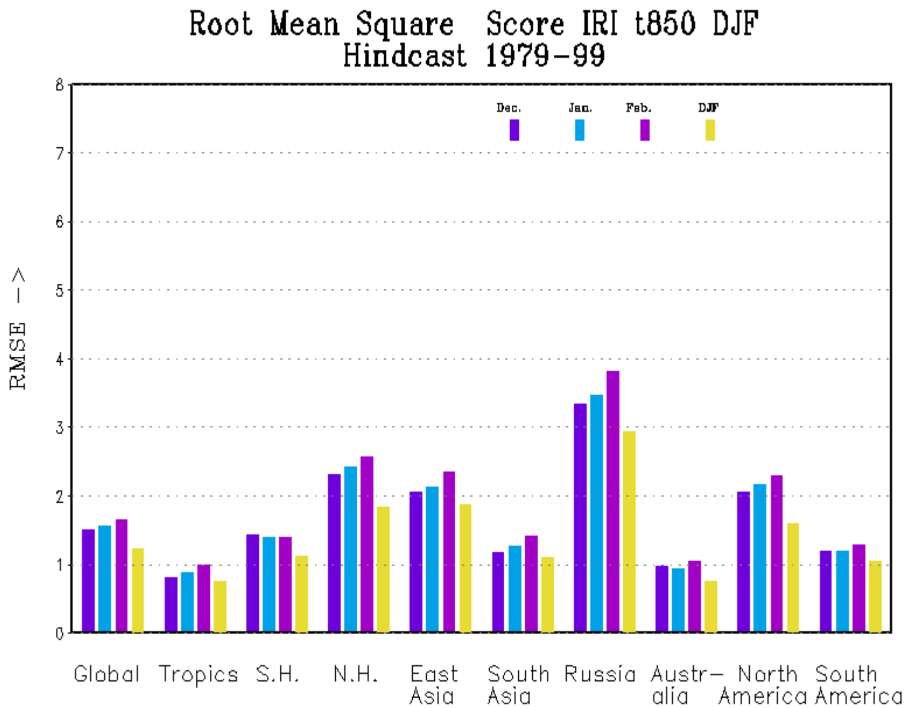

Root Mean Square Score MGO z500 DJF
Hindcast 1979-99
RMSE -->
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

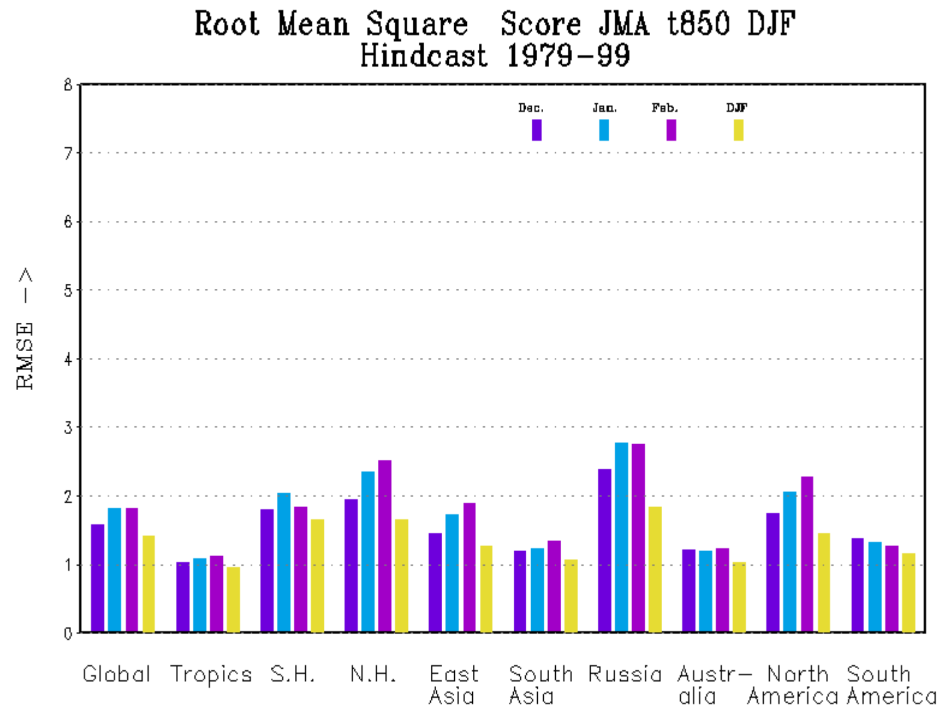

Root Mean Square Score IRI z500 DJF
Hindcast 1979-99
RMSE -->
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

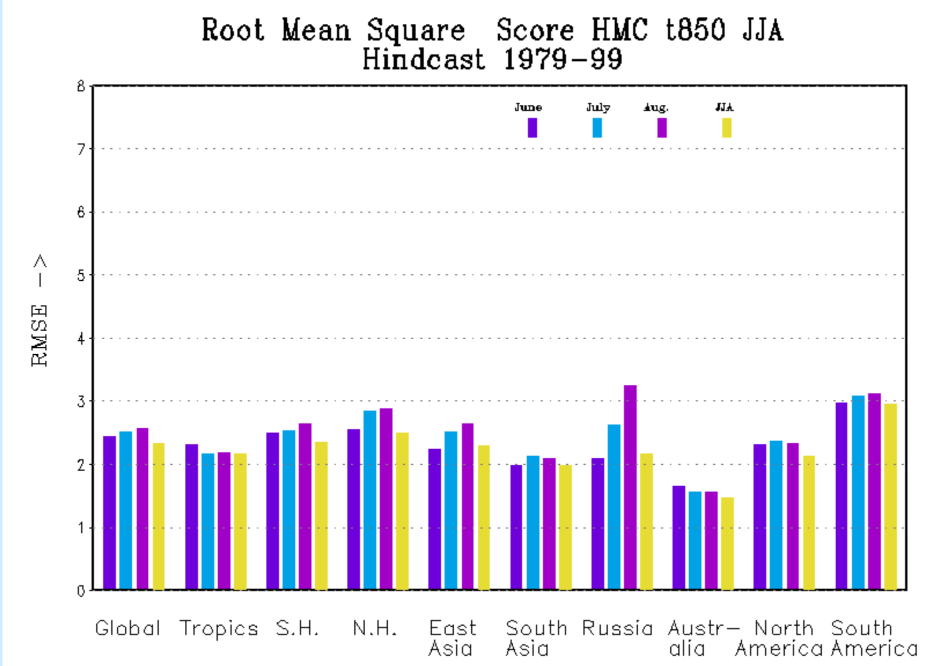

Root Mean Square Score JMA z500 DJF
Hindcast 1979-99
RMSE -->
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

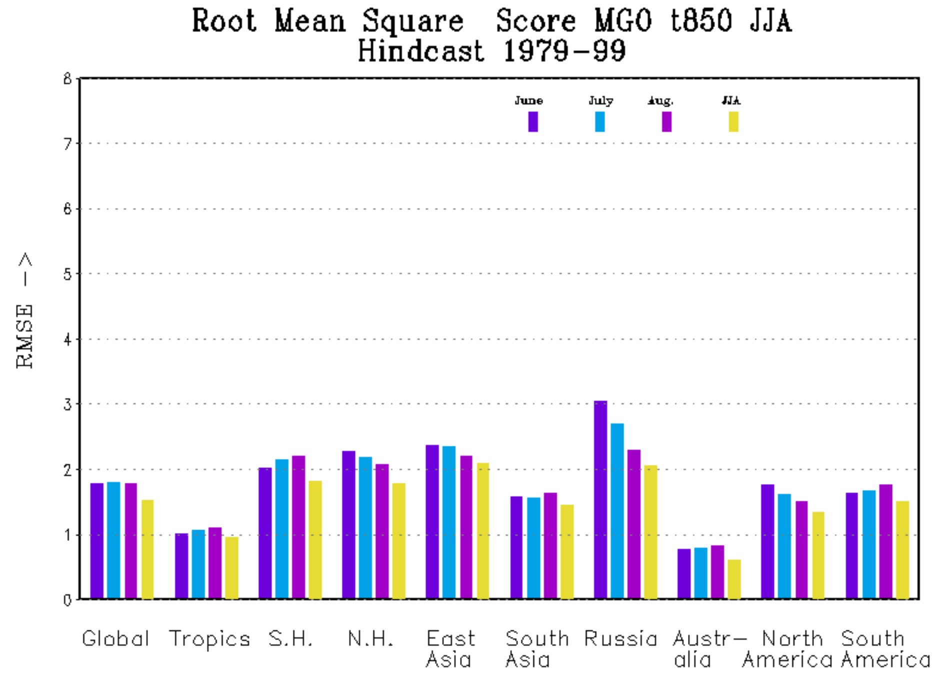

Root Mean Square Score HMC t850 DJF
Hindcast 1979-99
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
RMSE -->
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr- alia
North America
South America

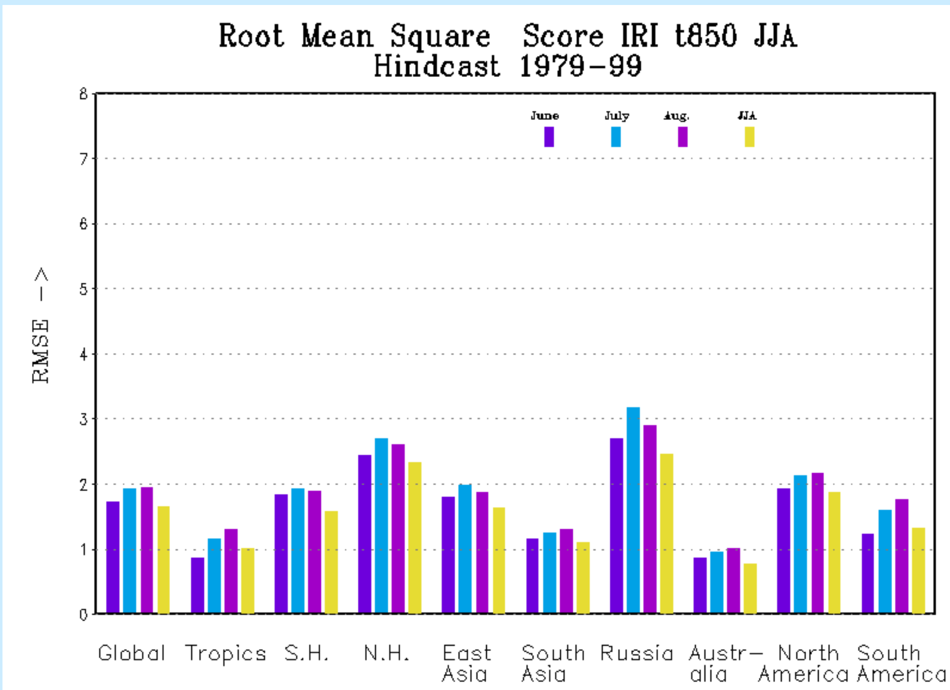

Root Mean Square Score MGO t850 DJF
Hindcast 1979-99
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
RMSE -->
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr- alia
North America
South America

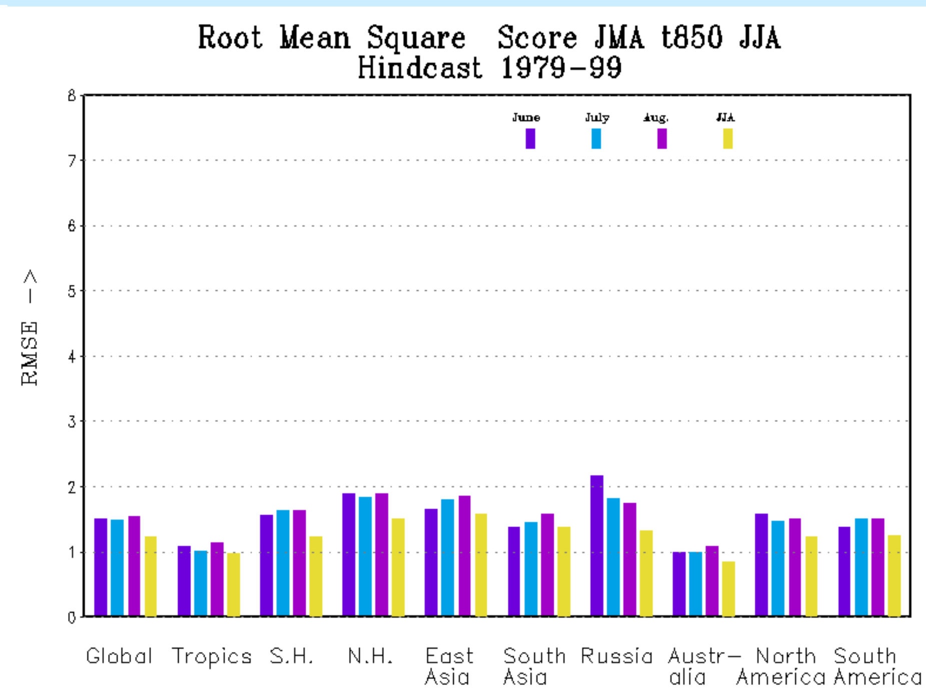

Root Mean Square Score IRI t850 DJF
Hindcast 1979-99
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
RMSE -->
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr- alia
North America
South America

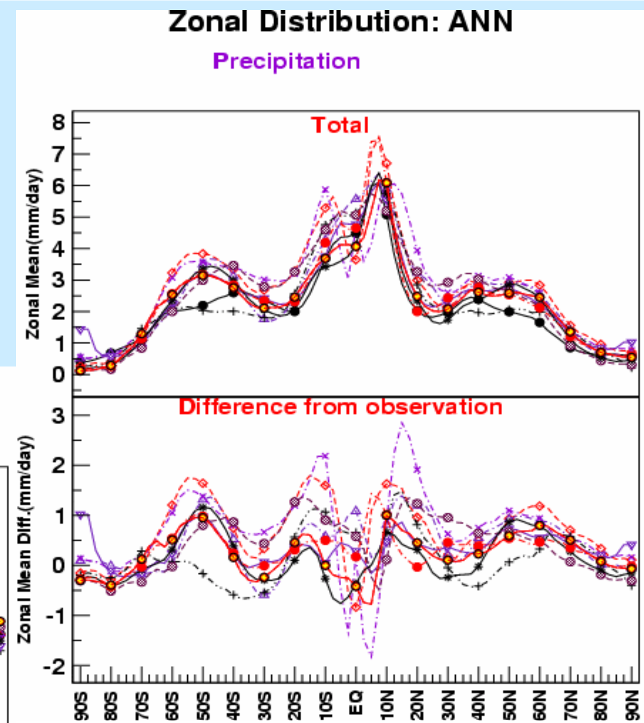

Root Mean Square Score JMA t850 DJF
Hindcast 1979-99
Dec.
Jan.
Feb.
DJF
RMSE -->
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr- alia
North America
South America

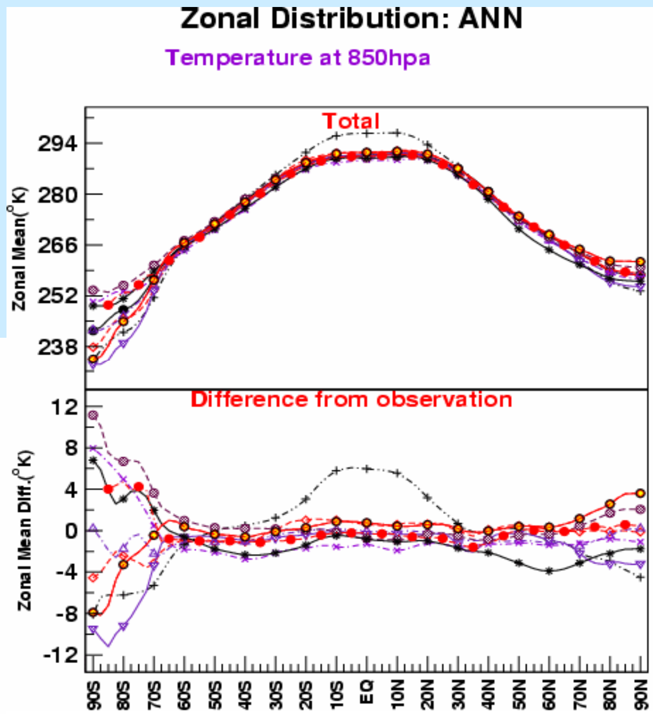

Root Mean Square Score HMC t850 JJA
Hindcast 1979-99
June
July
Aug.
JJA
RMSE -->
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

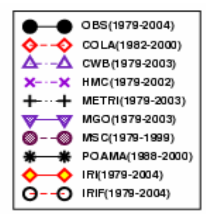

Root Mean Square Score MGO t850 JJA
Hindcast 1979-99
June
July
Aug.
JJA
RMSE -->
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

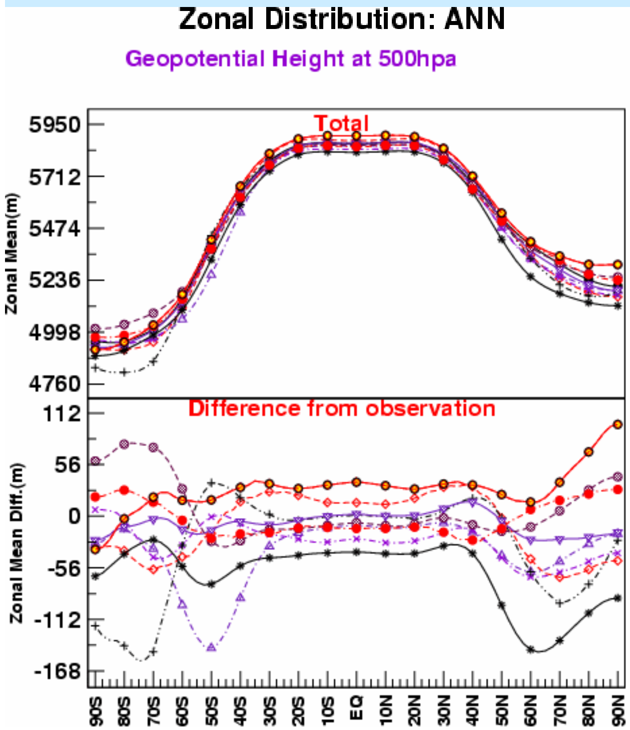

Root Mean Square Score IRI t850 JJA
Hindcast 1979-99
June
July
Aug.
JJA
RMSE -->
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America

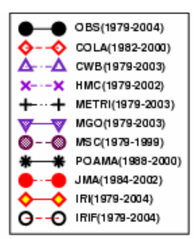

Root Mean Square Score JMA t850 JJA
Hindcast 1979-99
June
July
Aug.
JJA
RMSE -->
Global
Tropics
S.H.
N.H.
East Asia
South Asia
Russia
Austr-alia
North America
South America


Zonal Distribution: ANN
Precipitation
Total
Zonal Mean(mm/day)
Difference from observation
Zonal Mean Diff.(mm/day)
90S 80S 70S 60S 50S 40S 30S 20S 10S EQ 10N 20N 30N 40N 50N 60N 70N 80N 90N

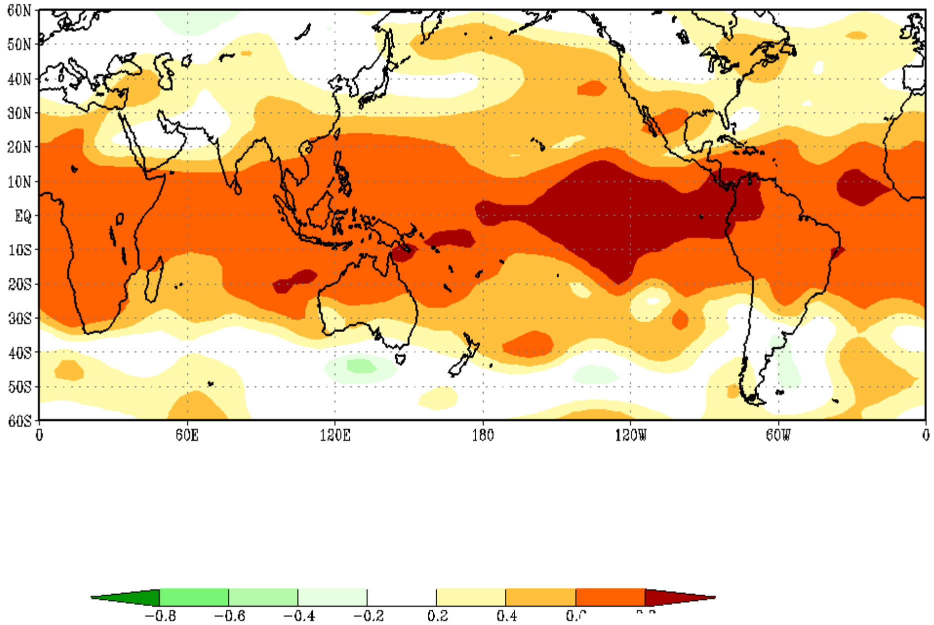

Zonal Distribution: ANN
Temperature at 850hpa
Total
Zonal Mean(°K)
Difference from observation
Zonal Mean Diff.(°K)
90S 80S 70S 60S 50S 40S 30S 20S 10S EQ 10N 20N 30N 40N 50N 60N 70N 80N 90N


OBS(1979-2004)
COLA(1982-2000)
CWB(1979-2003)
HMC(1979-2002)
METRI(1979-2003)
MGO(1979-2003)
MSC(1979-1999)
POAMA(1988-2000)
IRI(1979-2004)
IRIF(1979-2004)

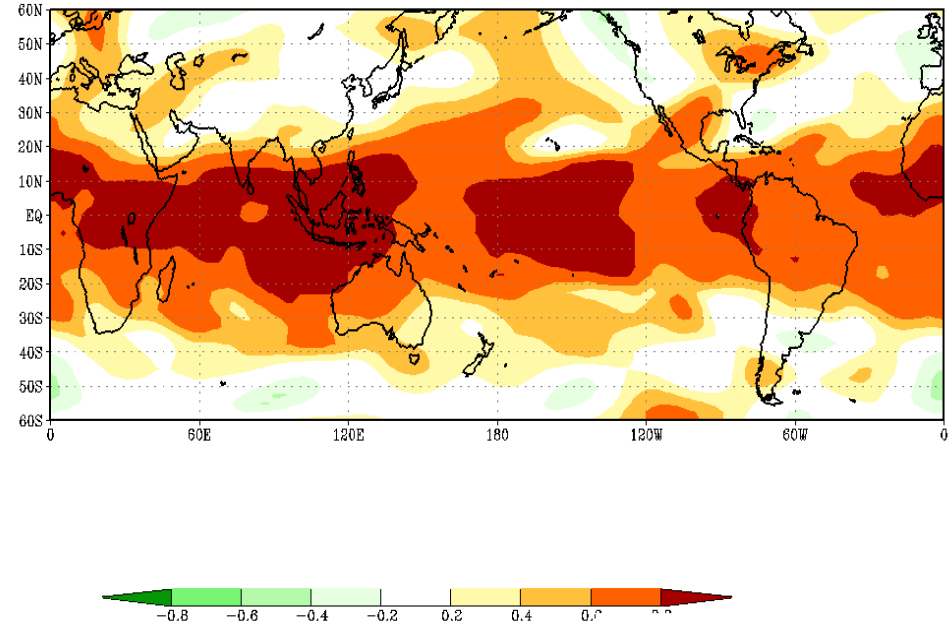

Zonal Distribution: ANN
Geopotential Height at 500hpa
Total
Zonal Mean(m)
Difference from observation
Zonal Mean Diff.(m)
90S 80S 70S 60S 50S 40S 30S 20S 10S EQ 10N 20N 30N 40N 50N 60N 70N 80N 90N


OBS(1979-2004)
COLA(1982-2000)
CWB(1979-2003)
HMC(1979-2002)
METRI(1979-2003)
MGO(1979-2003)
MSC(1979-1999)
POAMA(1988-2000)
JMA(1984-2002)
IRI(1979-2004)
IRIF(1979-2004)

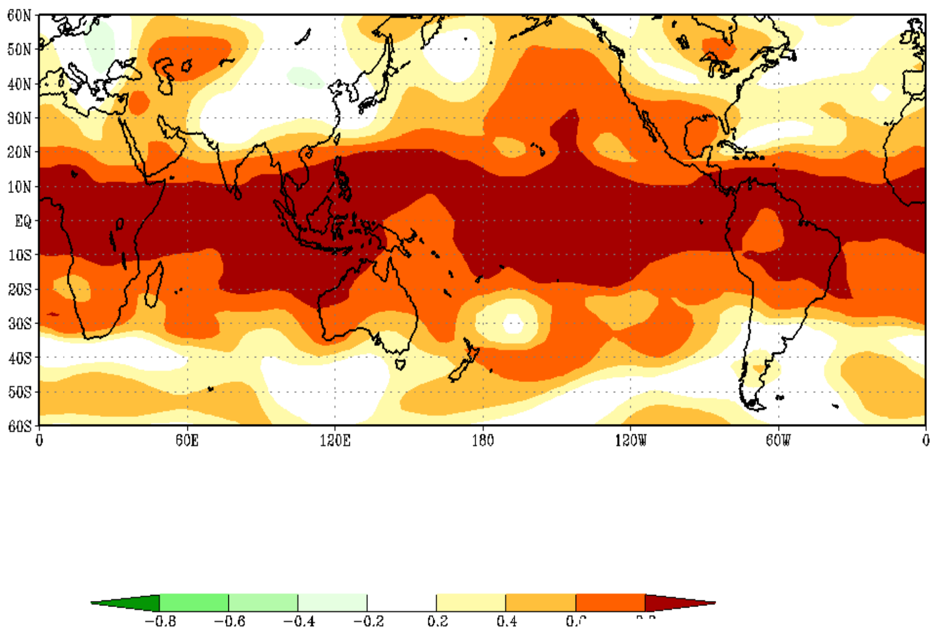
Total Correlation Coeff. HMC z500 DJF



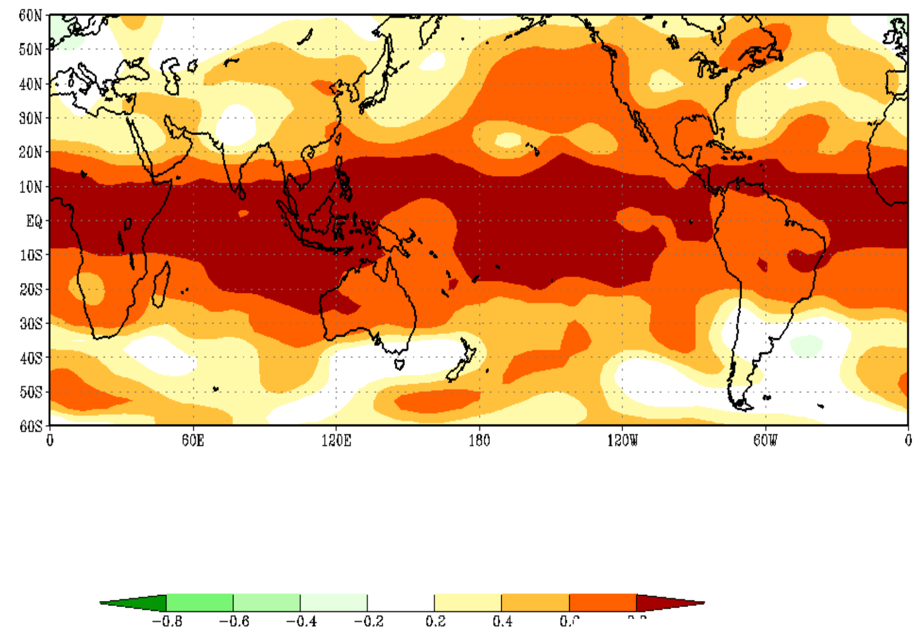
Total Correlation Coeff. MGO z500 DJF



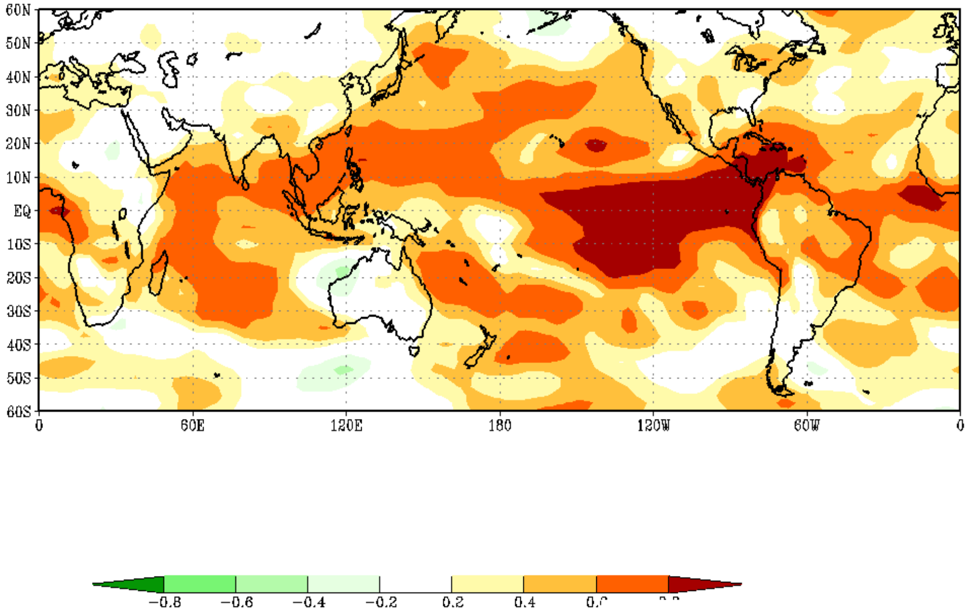
Total Correlation Coeff. IRI z500 DJF



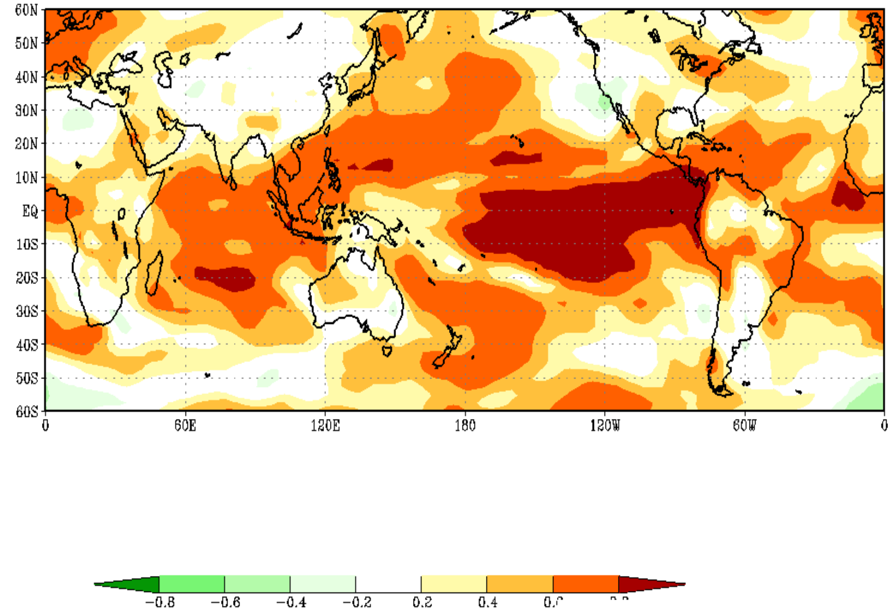
Total Correlation Coeff. JMA z500 DJF



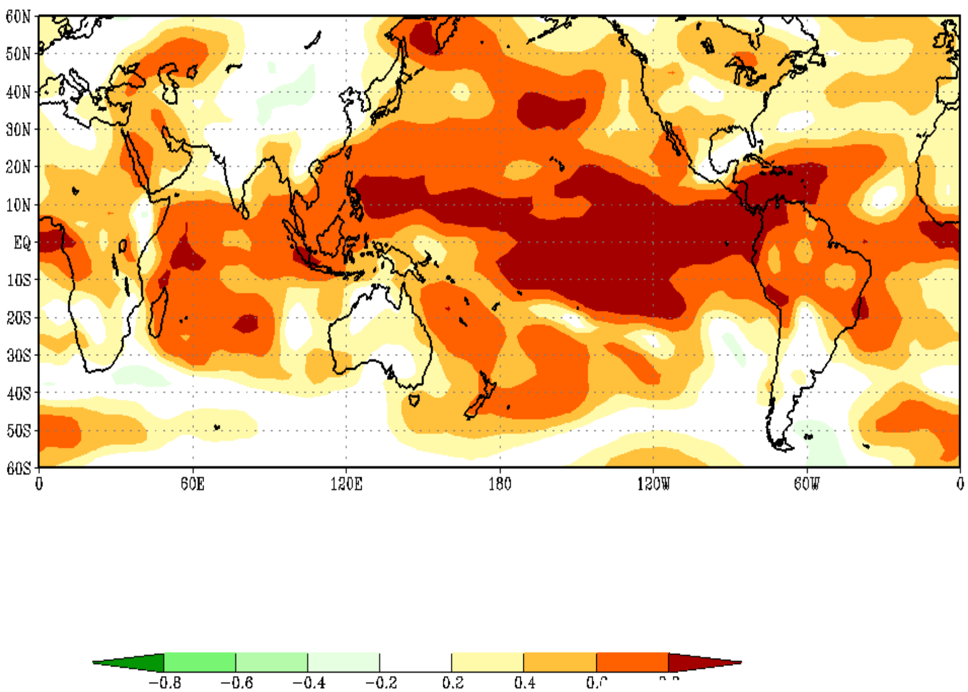
Total Correlation Coeff. HMC t850 DJF



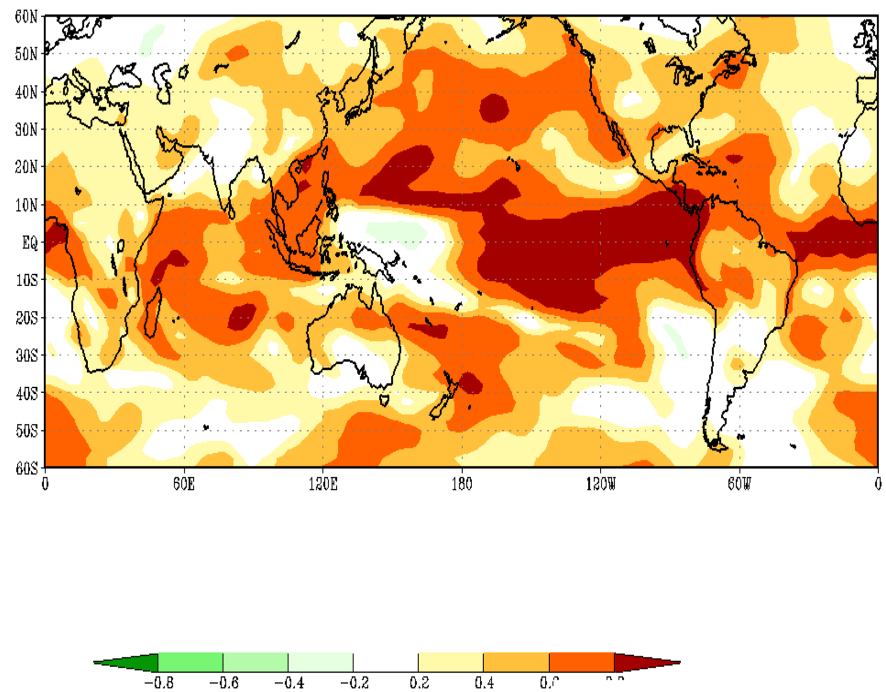
Total Correlation Coeff. MGO t850 DJF

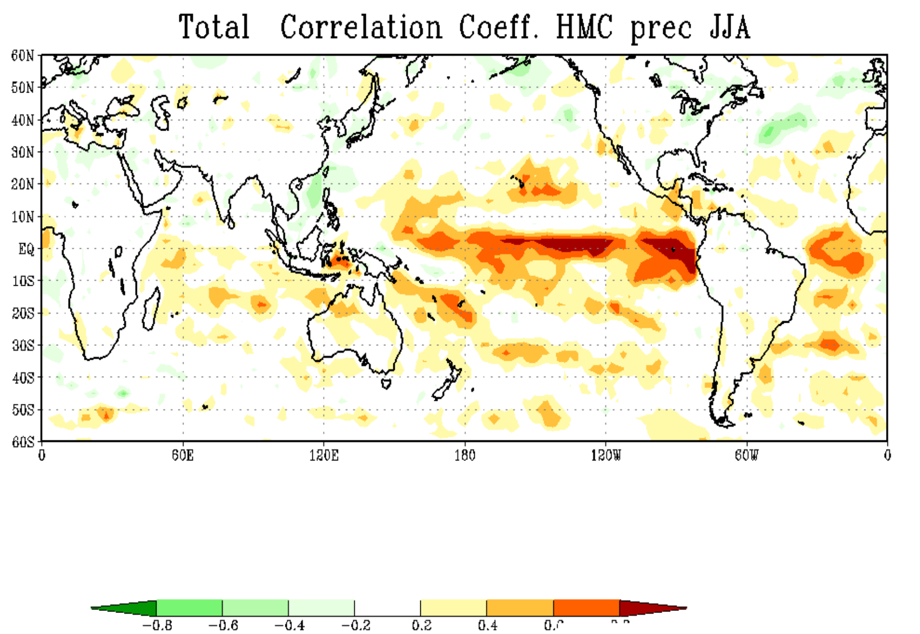


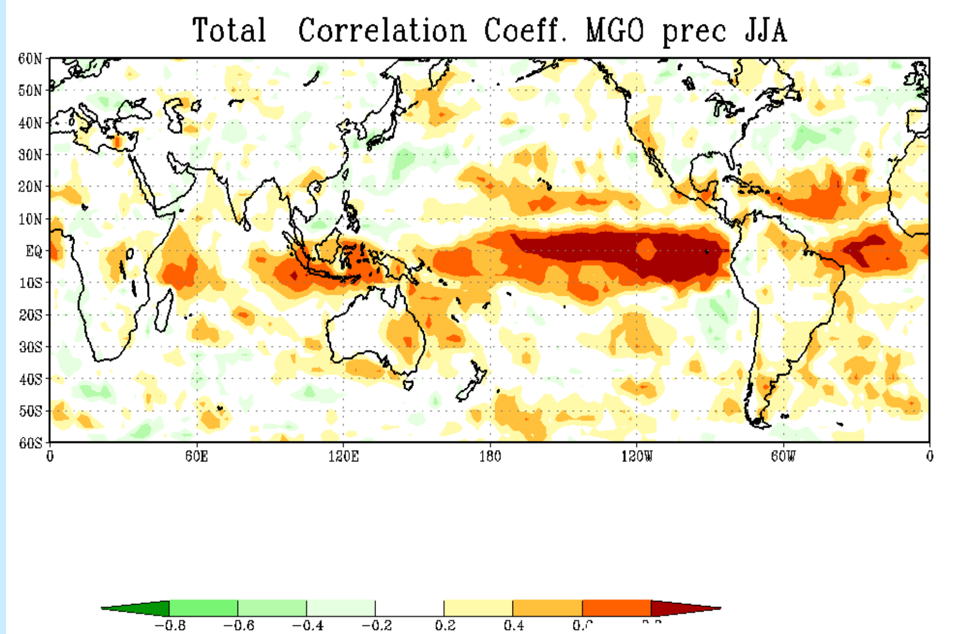
Total Correlation Coeff. IRI t850 DJF

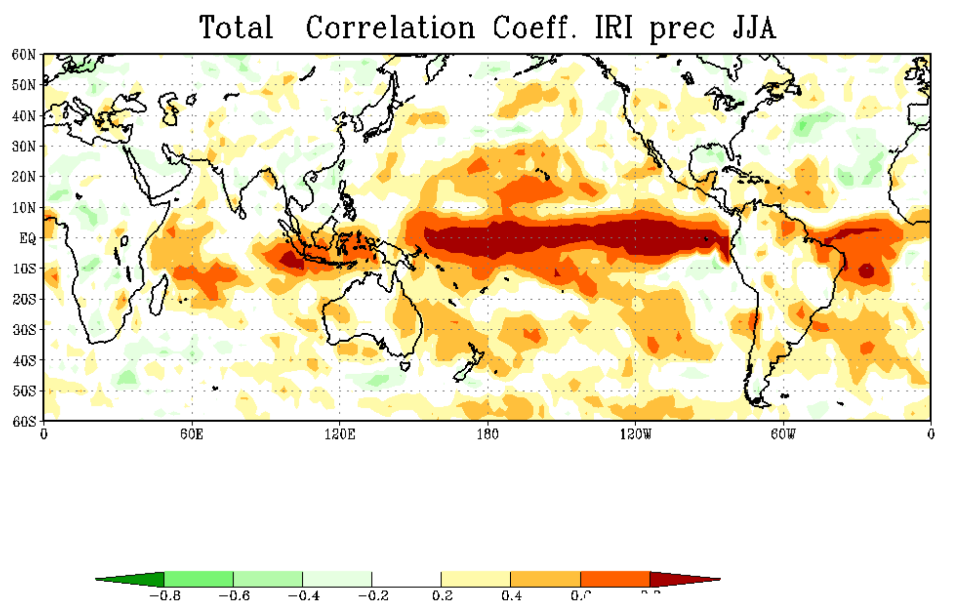


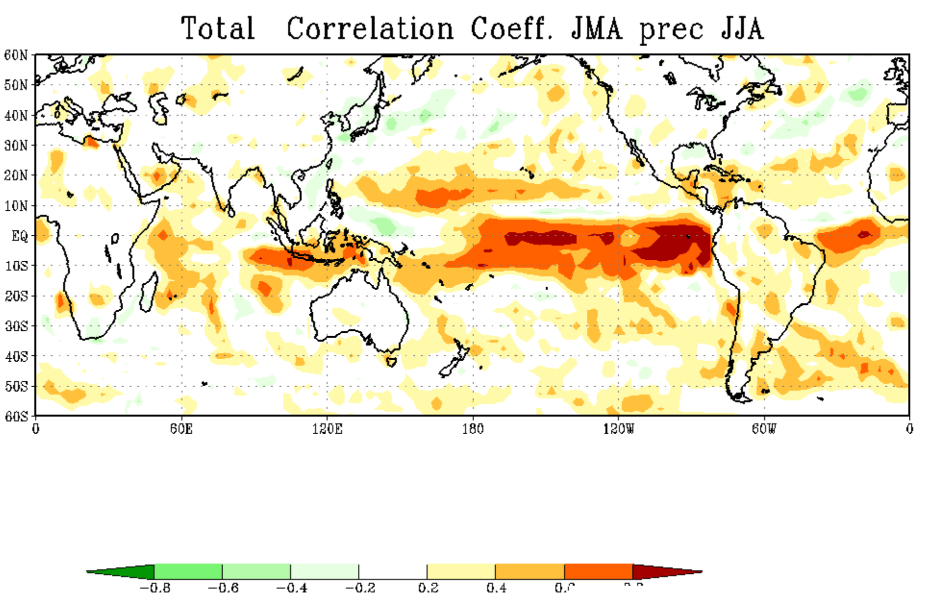
Total Correlation Coeff. JMA t850 DJF

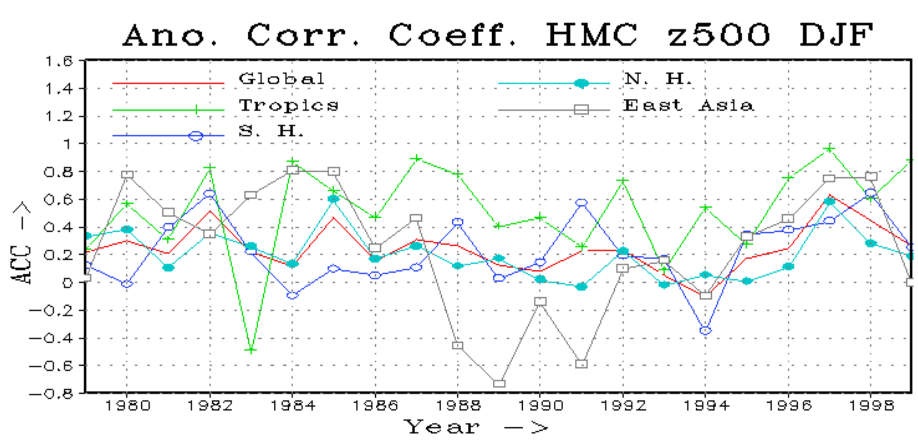


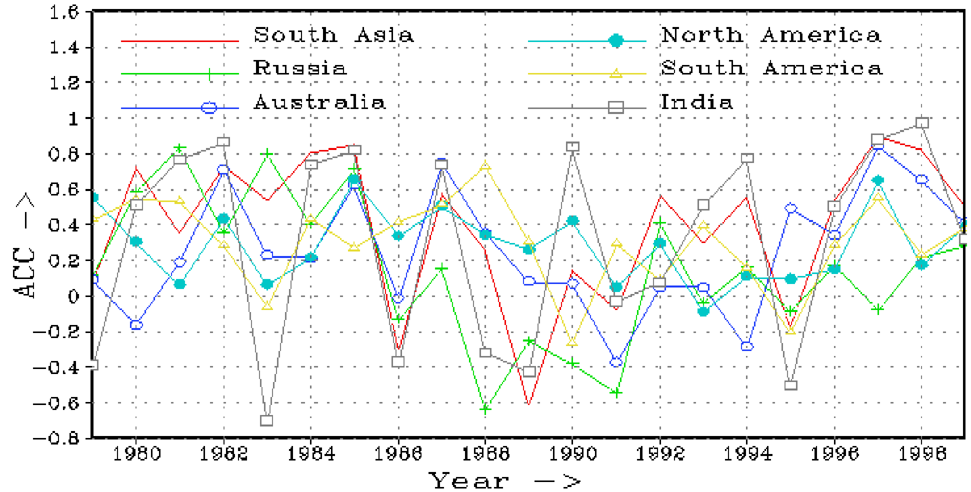

Total Correlation Coeff. HMC prec JJA
-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4

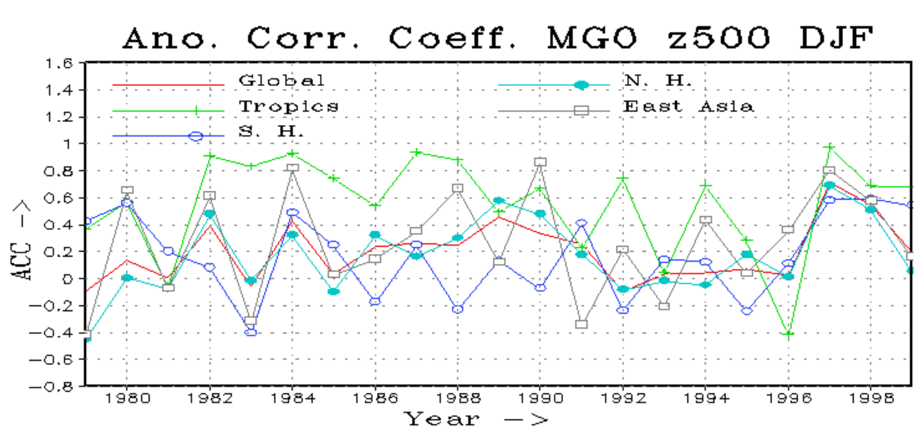

Total Correlation Coeff. MGO prec JJA
-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4

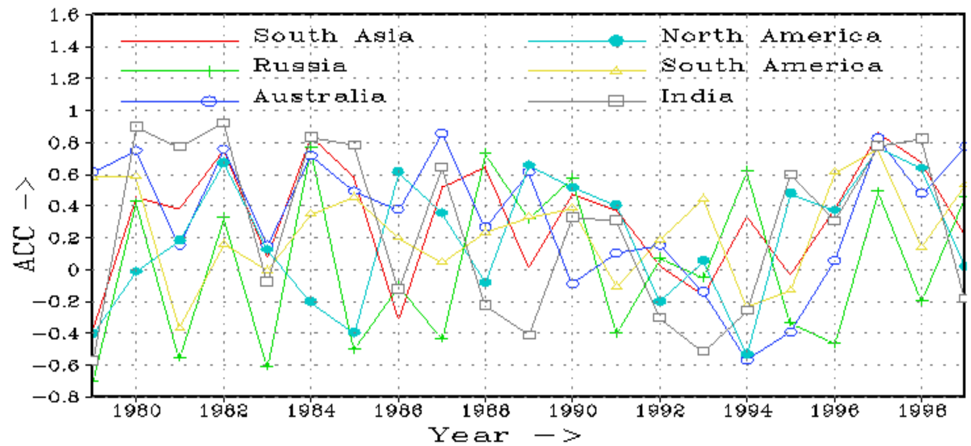

Total Correlation Coeff. IRI prec JJA
-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4

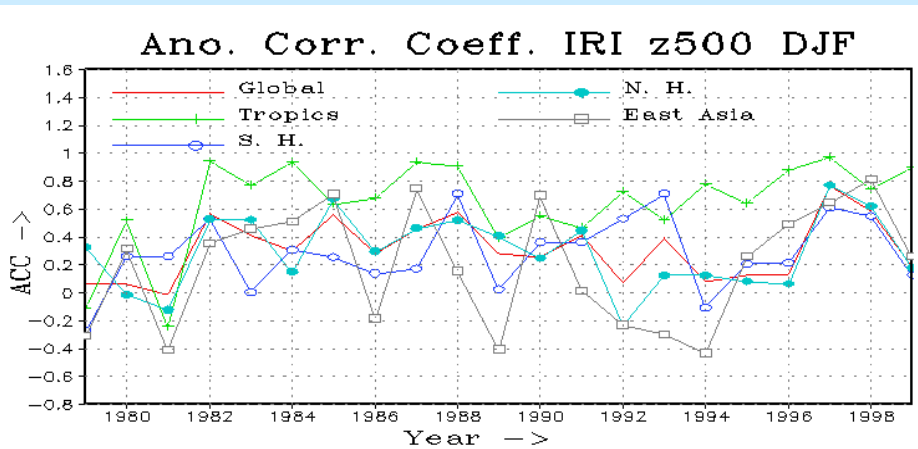

Total Correlation Coeff. JMA prec JJA
-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4

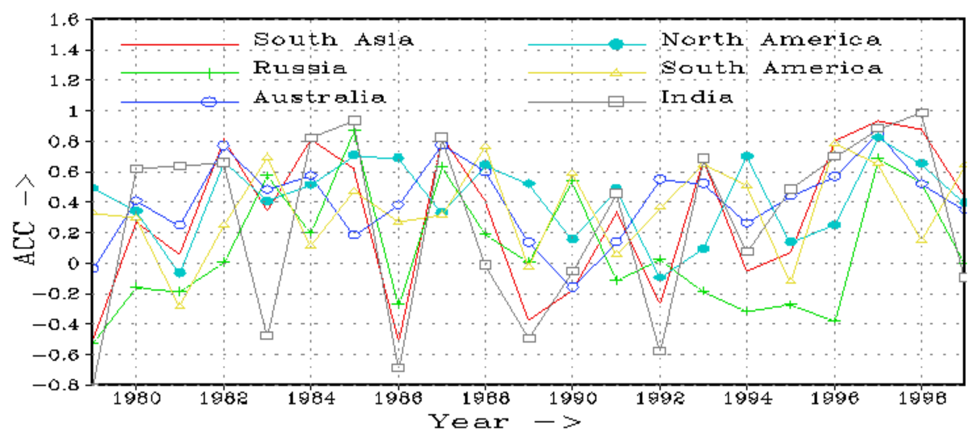

Ano. Corr. Coeff. HMC z500 DJF
Global
Tropics
S. H.
N. H.
East Asia
ACC ->
Year ->


South Asia
Russia
Australia
North America
South America
India
ACC ->
Year ->


Ano. Corr. Coeff. MGO z500 DJF
Global
Tropics
S. H.
N. H.
East Asia
ACC ->
Year ->

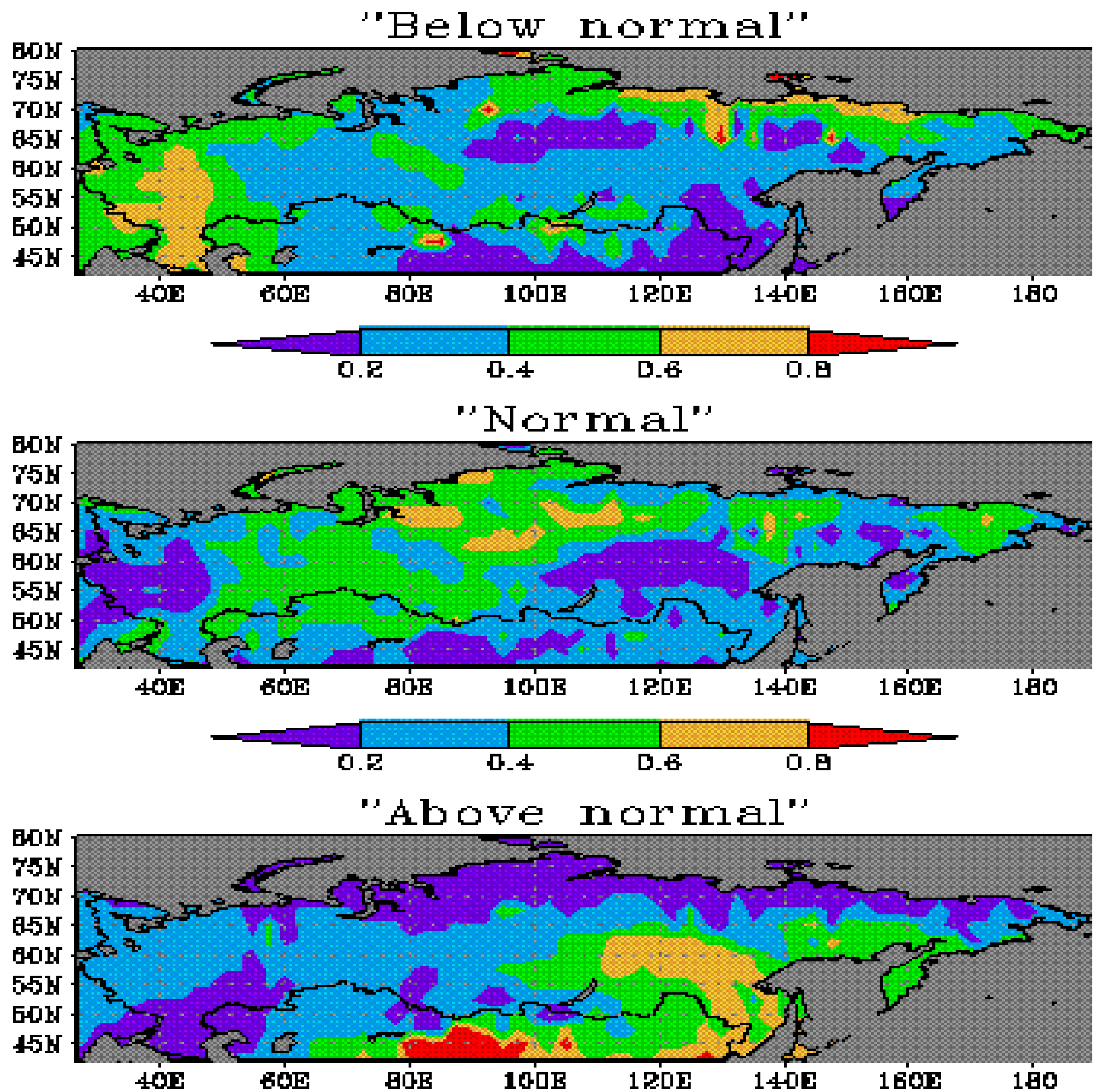

South Asia
Russia
Australia
North America
South America
India
ACC ->
Year ->


Ano. Corr. Coeff. IRI z500 DJF
Global
Tropics
S. H.
N. H.
East Asia
ACC ->
Year ->


South Asia
Russia
Australia
North America
South America
India
ACC ->
Year ->

T850 anomalies. Period: Winter 2005–2006

Probabilities of tercile categories.



http://meteoinfo.ru

Address http://wmc.meteoinfo.ru/season

POTENTIAL SEASONAL PREDICTABILITY - RESULTS OF SMIP-2 EXPERIMENTS

SKILL MAPS - ACTUAL PREDICTABILITY FOR THE FORECAST SEASON

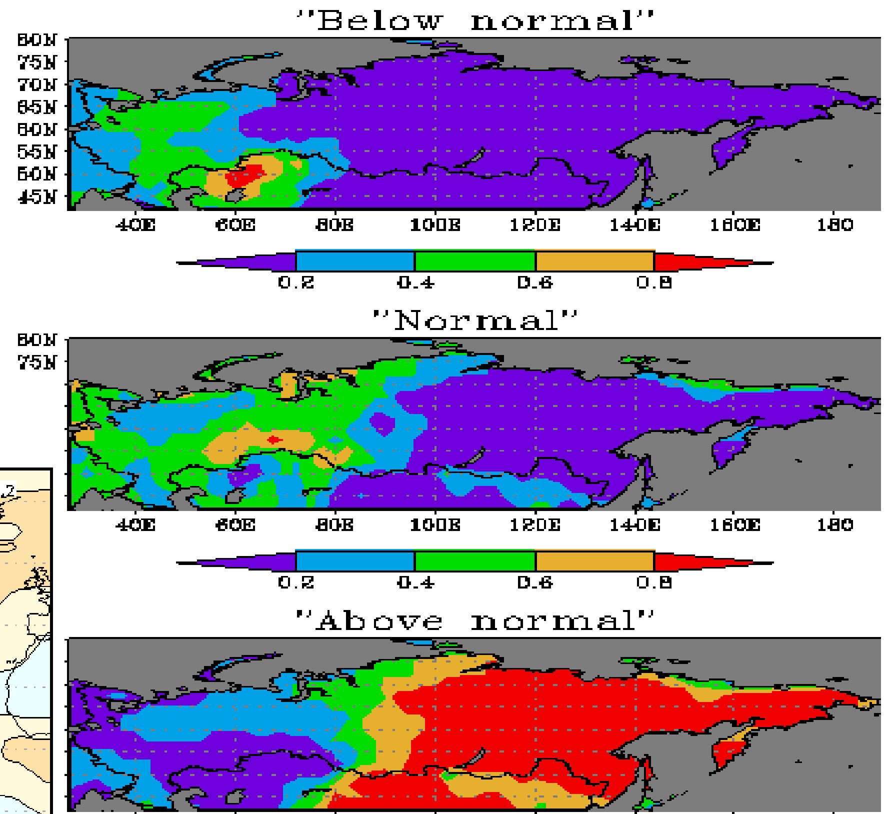
LONG RANGE FORECAST VERIFICATION METHODOLOGY

Forecast model description

! This product is considered to be EXPERIMENTAL. It is important to be aware of its imperfection. Please take into account the skill maps to understand this forecast limitations.

T850 anomalies. Period: Autumn 2006

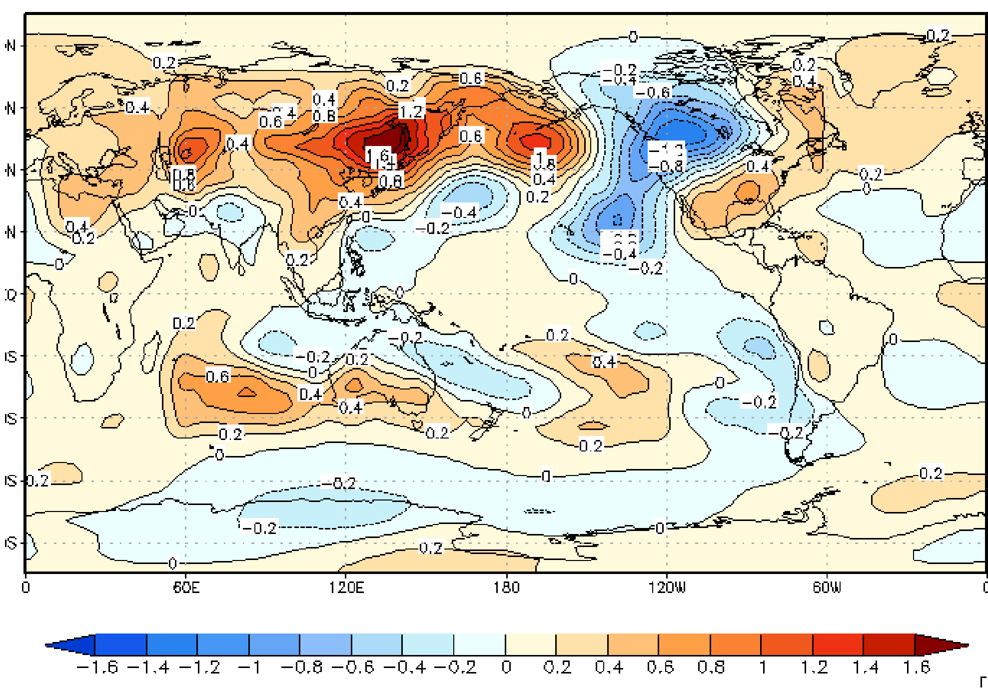
Probabilities of tercile categories.



Internet

850 hPa Temperature Anomaly

APCC_MME, SON 2006



http://meteoinfo.ru

Резюме

- Представлены результаты экспериментов с моделью SL-AV по исследованию предсказуемости средних сезонных аномалий метеорологических параметров. Полученные результаты можно рассматривать как первую пробу и отсчетный уровень для дальнейшего развития технологии гидродинамико-статистического долгосрочного прогноза.
- Оценки свидетельствуют о наличии значимой успешности сезонных прогнозов крупномасштабной циркуляции в тропиках. Для большей части территории России для рассматриваемых временных масштабов результаты оценки успешности прогнозов нельзя назвать оптимистичными. Тем не менее, на этом фоне имеются регионы, периоды и метеорологические параметры, для которых есть надежда на получение полезного прогностического сигнала.
- Предварительные оценки пока не позволяют рассчитывать на скорое достижение высокого качества результатов сезонных прогнозов. Однако сезонные прогнозы являются естественным полигоном для испытания и совершенствования гидродинамических моделей и для улучшения качества прогнозов на более короткие сроки (в частности для прогнозов на месяц), где получение практически значимых результатов уже сегодня вполне реально.