

Исследование качества летних сезонных ретроспективных прогнозов, выполненных на основе климатической модели ИВМ РАН

В. В. Воробьева^{1,2}, Е. М. Володин¹

¹ Институт вычислительной математики им Г. И. Марчука, Москва

² Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный

CITES - 2021

22 ноября 2021



Климатическая модель ИВМ РАН (INMCM5-0)

Атмосфера:

- 2x1.5L73, верхняя граница на 60 км
- Уравнения гидротермодинамики атмосферы решаются конечно-разностным методом
- Дополнен аэрозольным блоком, в котором рассчитываются прогностические уравнения для концентрации 10 веществ

Океан:

- 0.5 x 0.25L40
- Дополнен блоком эволюции морского льда

Обмен данными с помощью библиотеки MPI.

Модель ИВМ РАН разрабатывалась для климатических расчетов на несколько десятков и сотен лет.

Цель: исследование предсказуемости погоды на сезонном временном масштабе с помощью климатической модели ИВМ РАН

Составление набора начальных данных Океан

Среднемесячные данные SODA3.4.2 за 1980-2014 года:

<http://dsrs.atmos.umd.edu/DATA/soda3.4.2/REGRIDED/ocean/>

<http://dsrs.atmos.umd.edu/DATA/soda3.4.2/REGRIDED/ice/>

Метеополя реанализа

- **salt** – практическая соленость
- **temp** – потенциальная температура
- **ssh** – уровень моря
- **mi** – масса льда
- **hs** – толщина льда
- **nc1, nc2, nc3, nc4, nc5** – концентрация льда в 5-ти градациях толщины

**Методика устранения смещения модельного климата по отношению
к реальному:**

$$W_{1MAY1980} = \overline{W_{M_{1MAY}}} + \left(W_{R_{1MAY1980}} - \overline{W_{R_{1MAY}}} \right) \quad (1)$$

Составление набора начальных данных Атмосфера

Данные ERA-Interim на 00:00 1 мая 1980-2014 года:

<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>

<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/>

Метеополя реанализа

U-компонента скорости ветра

V-компонента скорости ветра

Температура воздуха

Удельная влажность

Давление на поверхности

Температура поверхности

Толщина снега

Температура почвы

Влажность почвы

**Модифицированная методика устранения смещения модельного
климата по отношению к реальному:**

$$W_{1MAY1980} = \overline{W_{M_{1MAY}}} + \left(W_{R_{1MAY1980}} - \overline{W_{R_{1MAY}}} \right) \times \frac{W_m^{rms}}{W_r^{rms}} \quad (2)$$

!!! Для толщины снега, температуры и влажности почвы результат вычисляется с умножением аномалии на отношение среднеквадратичных отклонений модели и реанализа, чтобы привести значения физических величин к одному диапазону.

Модельные эксперименты

- Эксперименты сезонного временного масштаба проводились для 1980-2014 годов
- Начало экспериментов – 1 мая
- Продолжительность – 5 месяцев
- Для каждого года ансамбль из 20 экспериментов: небольшое отклонение начальных данных скорости ветра и температуры воздуха

Модельные эксперименты проводились на кластере Гидрометцентра РФ

Коэффициенты корреляции аномалий по пространству

	T2m	T850	H200	H500	Precip	SLP
Глобально	0.209/0.190 0.210	0.178/0.177 0.196	0.216/0.233 0.249	0.172/0.170 0.200	0.216/0.221 0.231	0.179/0.163 0.196
Тропики 20° ю.ш.-20° с.ш.	0.385/0.381 0.389	0.215/0.224 0.228	0.449/0.453 0.466	0.209/0.254 0.246	0.263/0.271 0.278	0.532/0.530 0.541
Северные экстратропики 20° с.ш.-90° с.ш.	0.230/0.239 0.247	0.126/0.129 0.146	0.124/0.127 0.139	0.098/0.113 0.120	0.091/0.093 0.106	0.203/0.176 0.211
Южные экстратропики 90° ю.ш.-20° ю.ш.	0.112/0.074 0.100	0.162/0.145 0.178	0.176/0.191 0.217	0.177/0.167 0.207	0.108/0.100 0.118	0.135/0.121 0.144

Табл. Средние за летние сезоны 1980-2014гг. коэффициенты корреляции аномалий:

- температуры на 2 метрах
- температуры на 850гПа
- геопотенциала изобарической поверхности 200 гПа
- геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа
- осадков
- давления на уровне моря

для четырех регионов для климатической модели ИВМ РАН (для двух ансамблей из 10 экспериментов и для ансамбля из 20 экспериментов).

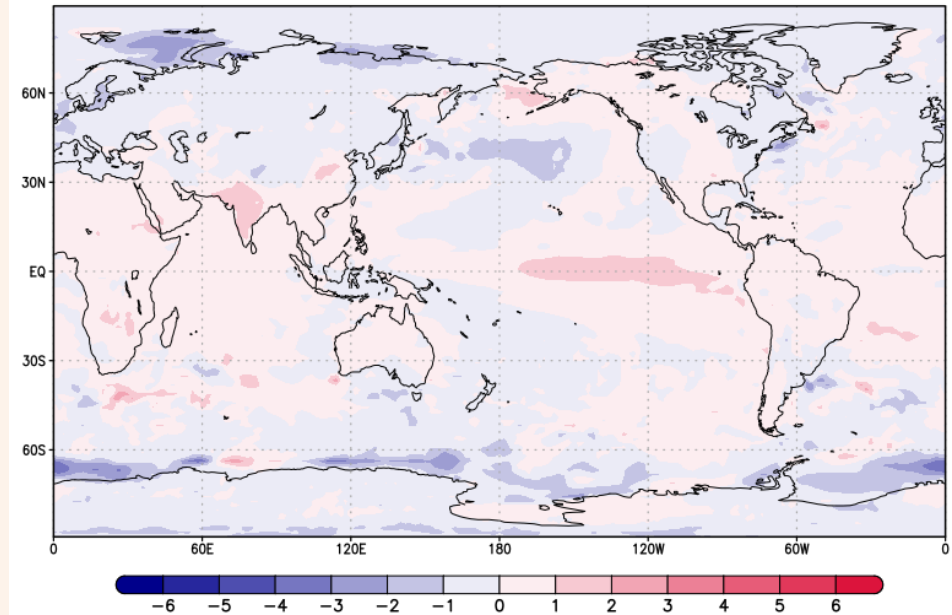
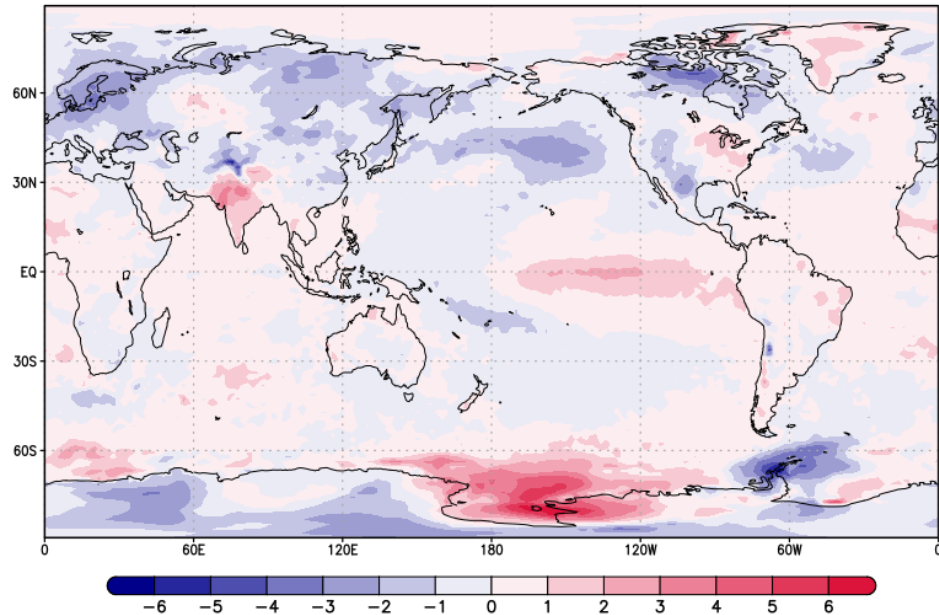
Коэффициенты корреляции аномалий по пространству

Summer season	T2m anom. corr.	JJA ONI index	Summer season	T2m anom. corr.	JJA ONI index	Summer season	T2m anom. corr.	JJA ONI index	Summer season	T2m anom. corr.	JJA ONI index
1980	0.189	0.3	1989	0.344	-0.3	1998	0.625	-0.8	2007	0.486	-0.6
1981	0.328	-0.3	1990	0.163	0.3	1999	0.504	-1.1	2008	0.299	-0.4
1982	0.394	0.8	1991	0.334	0.7	2000	0.332	-0.6	2009	0.290	0.5
1983	0.618	0.3	1992	0.443	0.4	2001	0.320	-0.1	2010	0.603	-1.0
1984	0.494	-0.3	1993	0.357	0.3	2002	0.269	0.8	2011	0.335	-0.5
1985	0.402	-0.5	1994	0.459	0.4	2003	0.367	0.1	2012	0.156	0.2
1986	0.383	0.2	1995	0.292	-0.2	2004	0.271	0.5	2013	0.445	-0.4
1987	0.561	1.5	1996	0.248	-0.3	2005	0.095	-0.1	2014	0.483	0.0
1988	0.690	-1.3	1997	0.751	1.6	2006	0.288	0.1	Average	0.389	

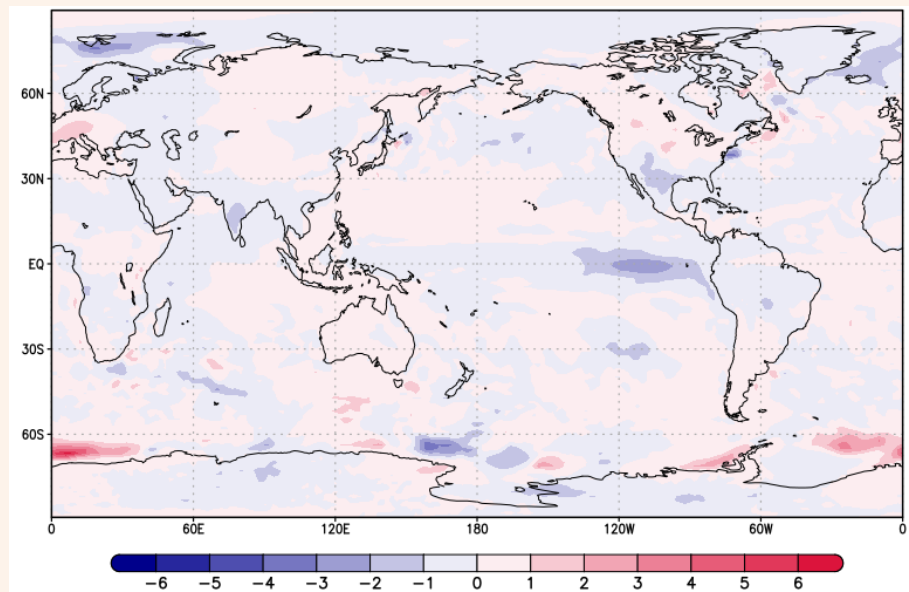
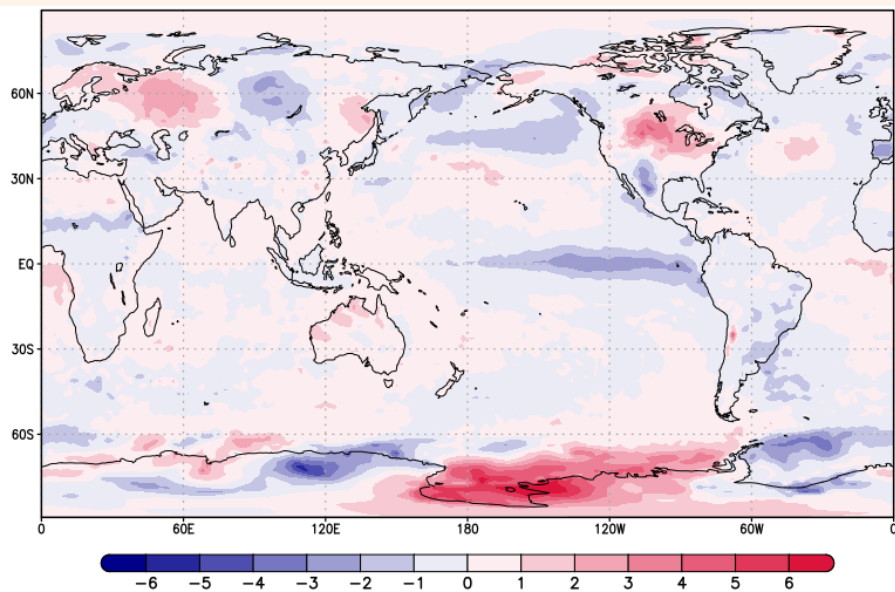
Табл. Коэффициенты корреляции аномалий температуры на 2 метрах в тропиках (20° ю.ш.-20° с.ш.) для каждого летнего сезона 1980-2014 г. и среднее за все летние сезоны значение.

Красный шрифт – явления Эль-Ниньо, синий – явления Ла-Нинья, согласно классификации NOAA: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Жирный шрифт – наиболее сильные явления ЭНЮК (аномалия SST > 1° по модулю), заливка – самые сильные.



Аномалии летнего сезона **1987г. (сверху, Эль-Ниньо)** и **1988г. (снизу, Ла-Нинья)** , построенные по среднемесячным данным температуры поверхности ($^{\circ}\text{K}$), осредненным за июнь-июль-август: слева – для реанализа ERA-Interim, справа – для модели ИВМ РАН



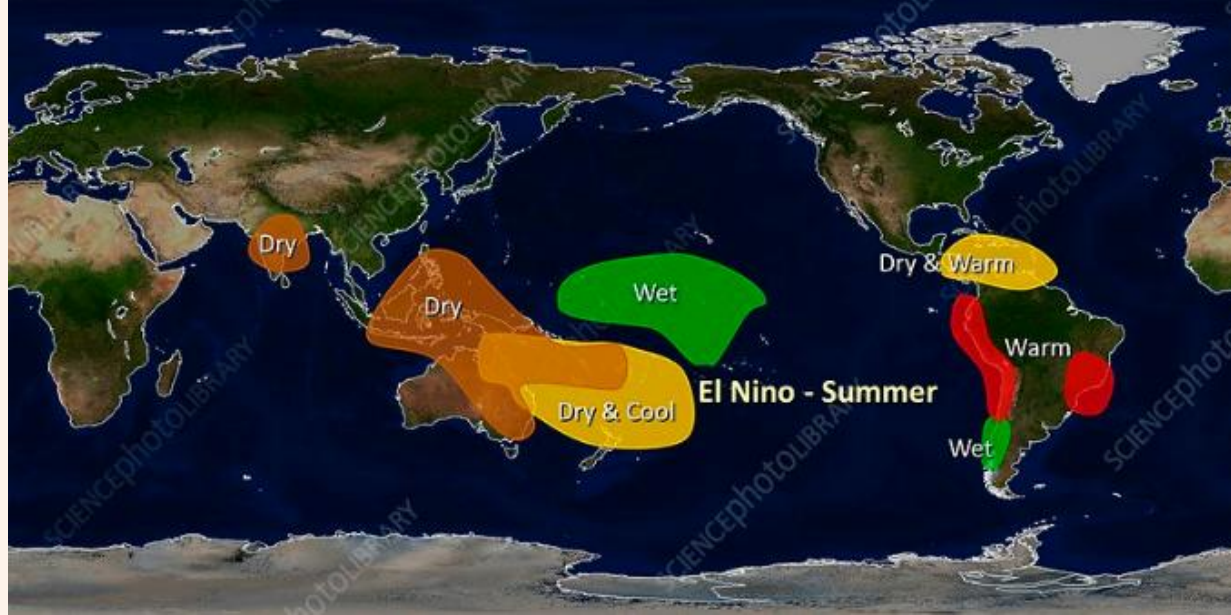
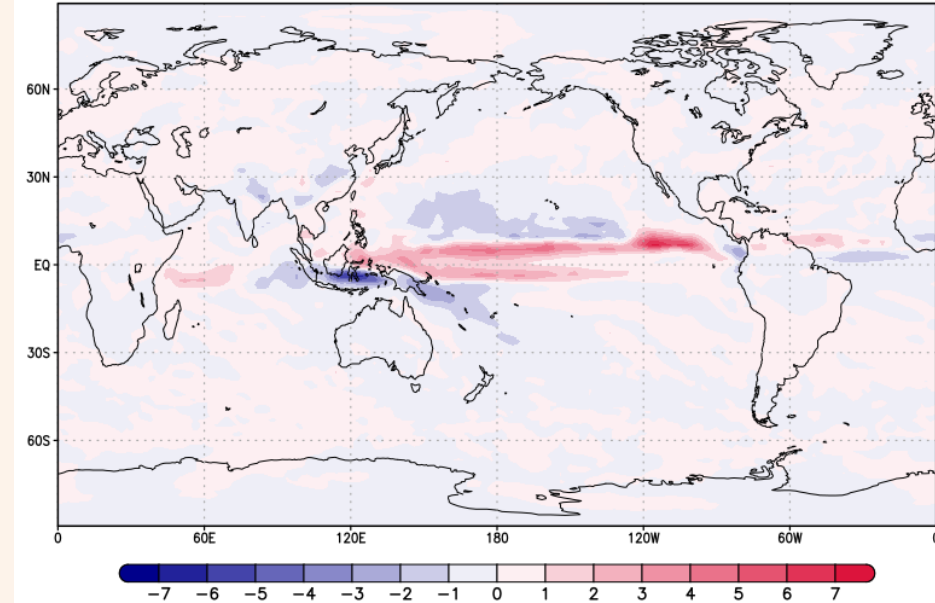
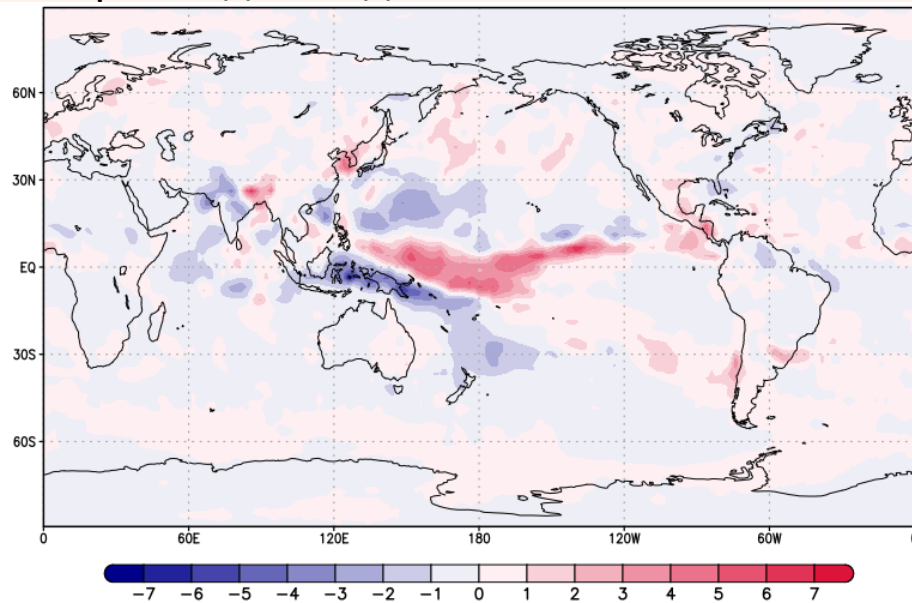


Схема аномалий температуры и осадков, связанных с **теплой** фазой Эль-Ниньо – Южного колебания, в период зимы и лета Северного полушария. Из [Trenberth et al., 1998]

Аномалии летнего сезона **1987г.**, построенные по среднемесячным данным осадков (мм/день), осредненным за июнь-июль-август: слева – для реанализа GPCP v2.3 справа – для модели ИВМ РАН



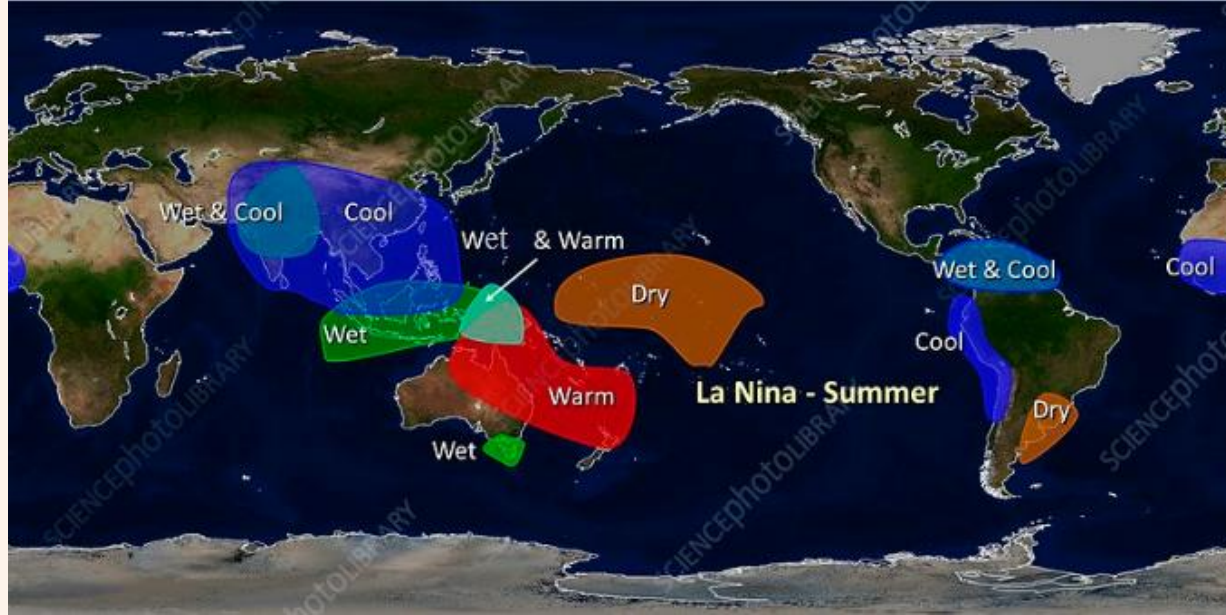
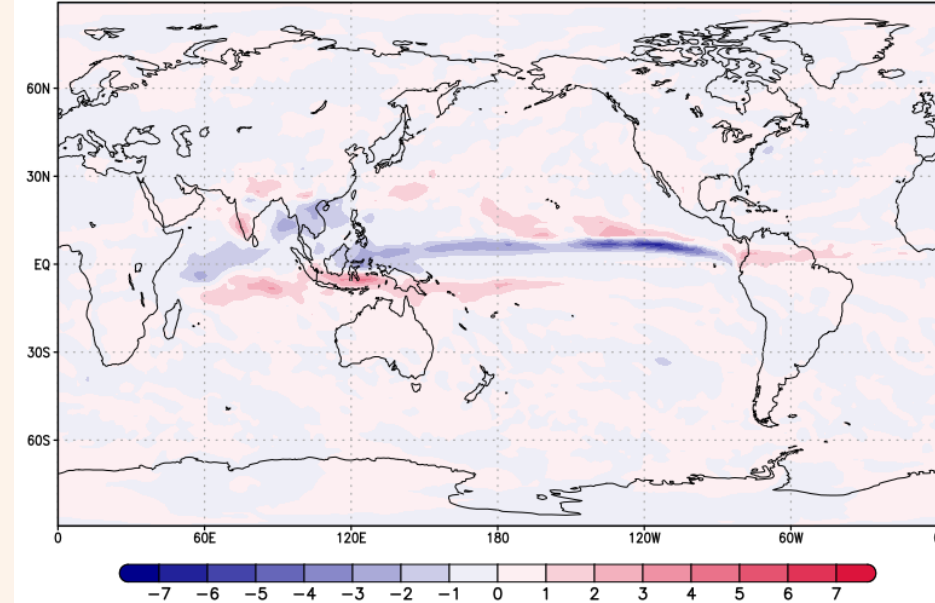
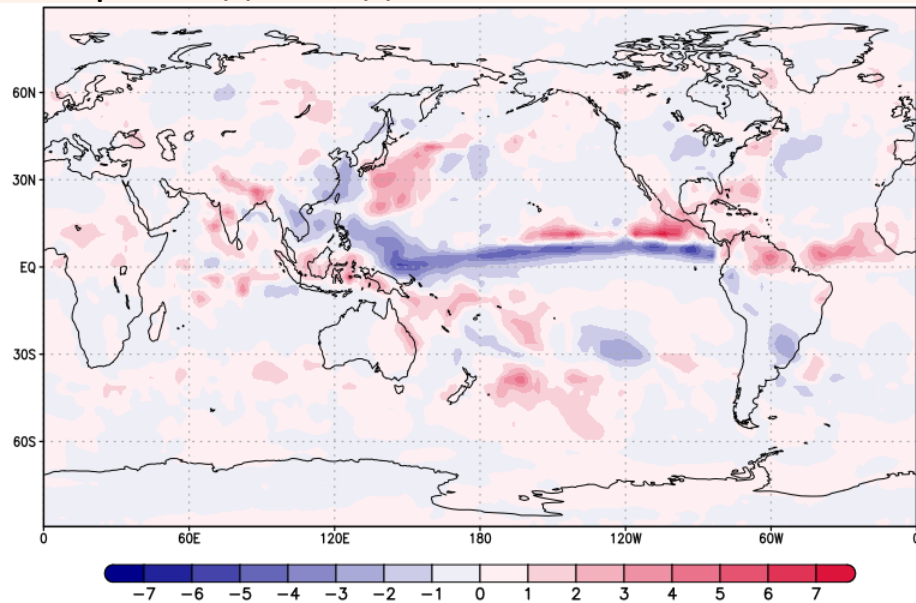


Схема аномалий температуры и осадков, связанных с **холодной** фазой Эль-Ниньо – Южного колебания, в период зимы и лета Северного полушария. Из [Trenberth et al., 1998]

Аномалии летнего сезона **1988г.**, построенные по среднемесячным данным осадков (мм/день), осредненным за июнь-июль-август: слева – для реанализа GPCP v2.3 справа – для модели ИВМ РАН



Коэффициенты корреляции аномалий по времени

Глобально:

	ECMWF	DWD	MeteoFrance	GFS	MetOffice	MME	INM
T2m	0.45	0.39	0.40	0.32	0.44	0.47	0.35
T850	0.41	0.37	0.37	0.31	0.39	0.43	0.28
H500	0.46	0.49	0.43	0.35	0.47	0.49	0.38
SLP	0.44	0.34	0.36	0.33	0.45	0.45	0.38

Табл. Коэффициенты корреляции аномалий по времени АСС для июня-августа 1993-2009г. по данным различных прогностических систем (данные <https://wmolc.org/>)

На территории России (25E-170W, 40N-80N):

	ECMWF	DWD	MeteoFrance	GFS	MetOffice	MME	INM
T2m	0.28	-	0.24	0.20	0.28	0.30	0.19
T850	0.33	-	0.24	0.24	0.35	0.38	0.23
H500	0.29	-	0.19	0.18	0.30	0.32	0.18
SLP	0.23	-	0.21	0.24	0.21	0.28	0.23

Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

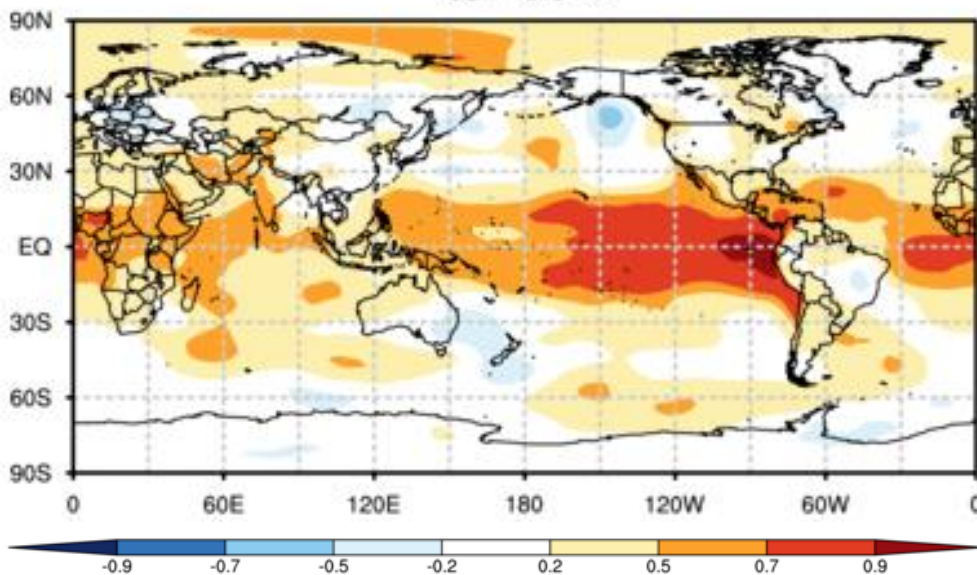
SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

INM

May 0.487

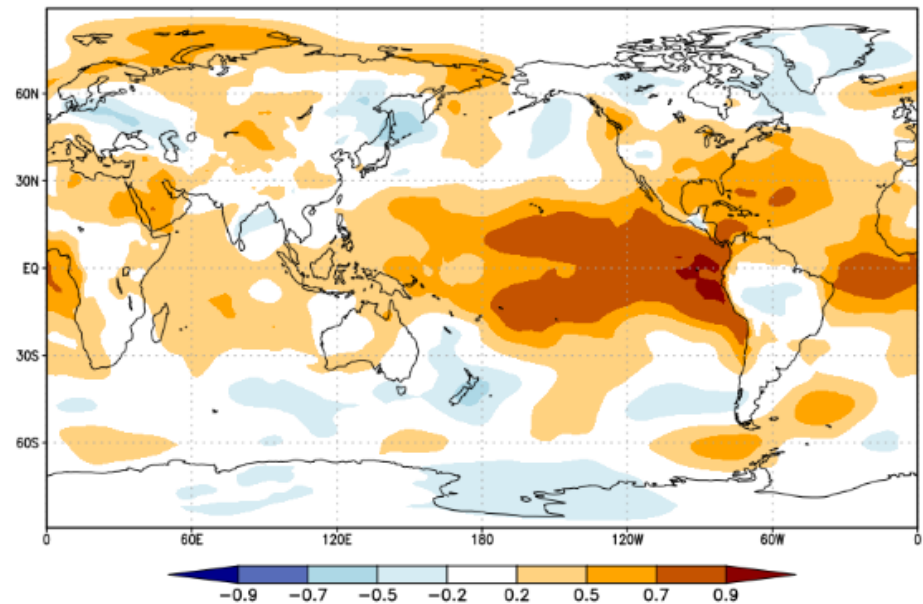
Mean Sea Level Pressure : JJA

Jun 0.314

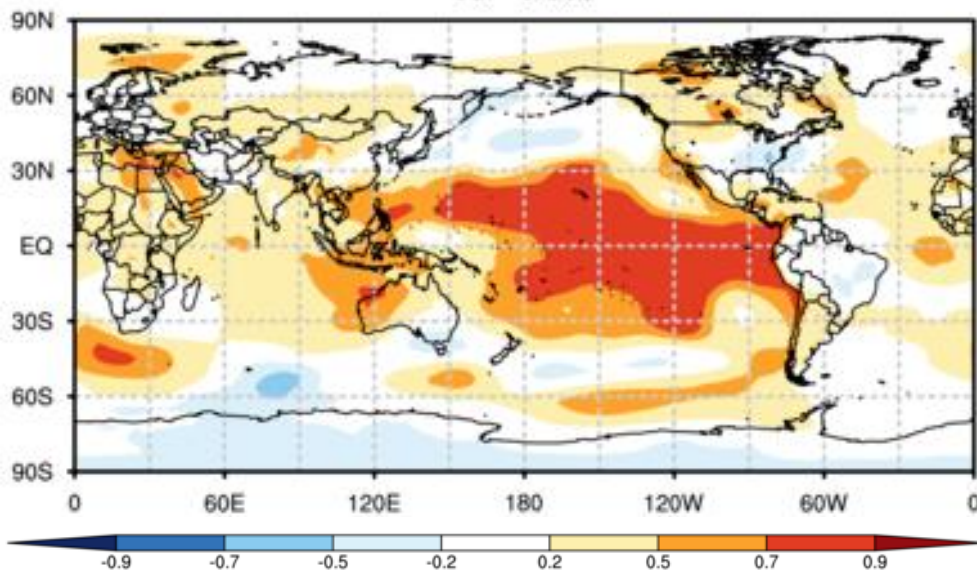


(Calculation Time : 1993 - 2009)

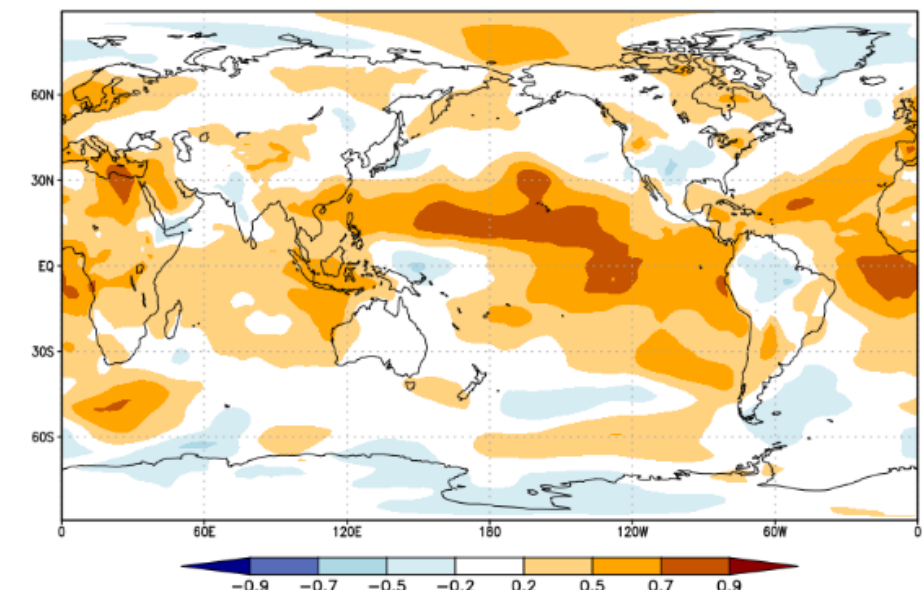
Jun 0.243



Jul 0.303



Jul 0.239



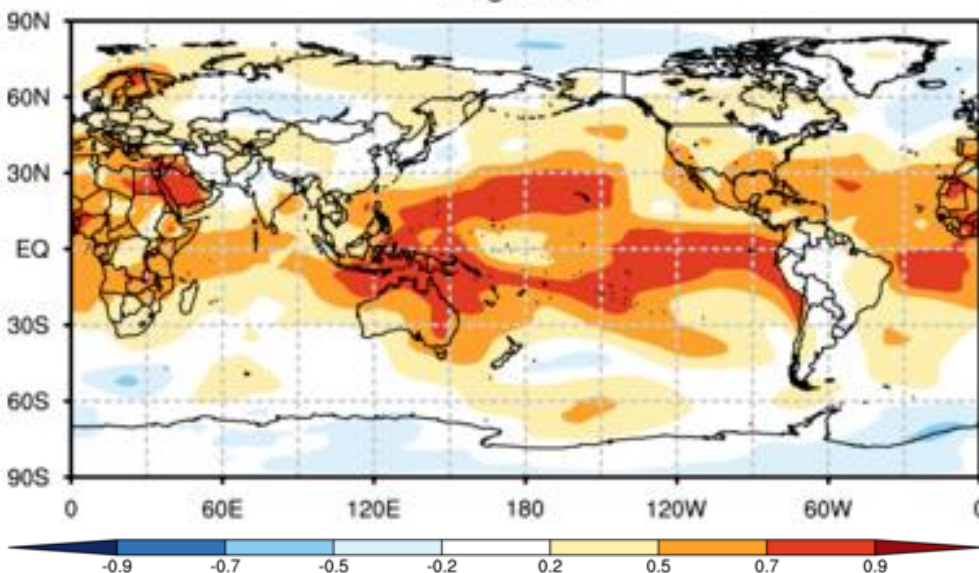
Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

INM

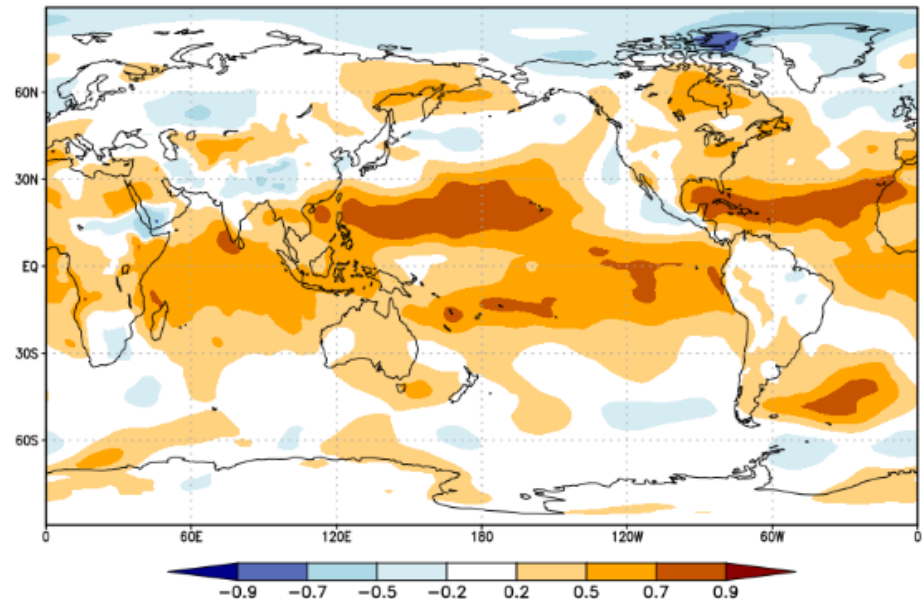
Mean Sea Level Pressure : JJA

Aug 0.361

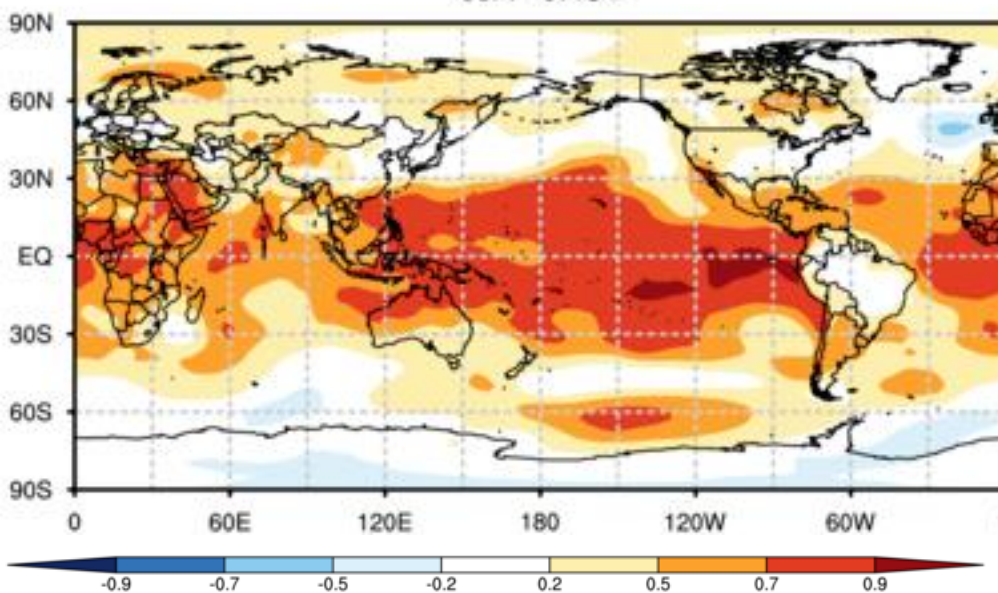


(Calculation Time : 1993 - 2009)

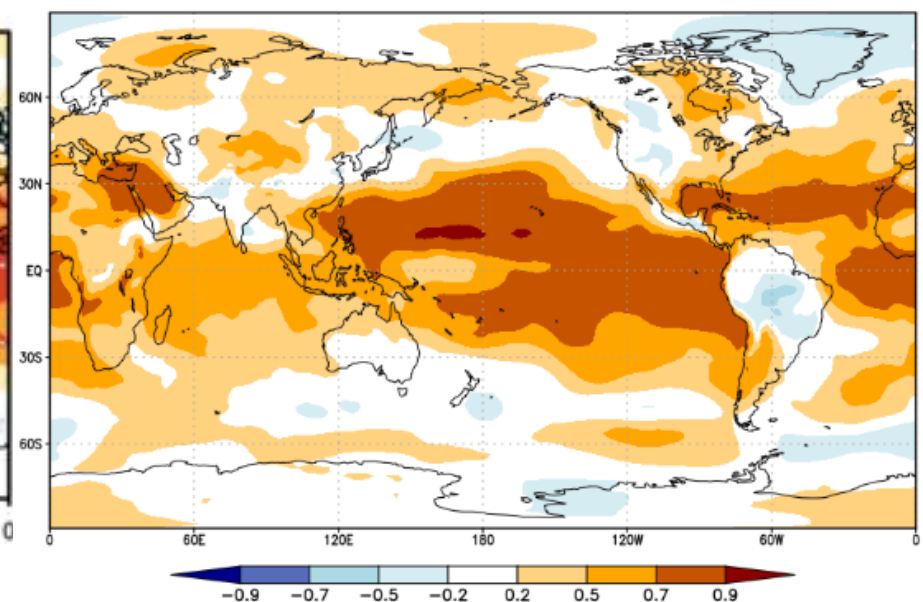
Aug 0.265



JJA 0.454



JJA 0.376



Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

INM

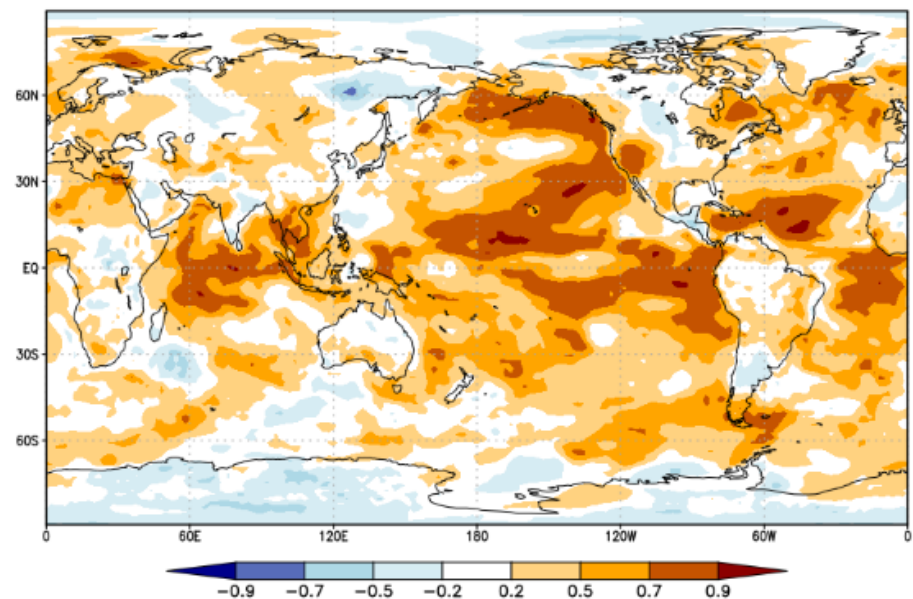
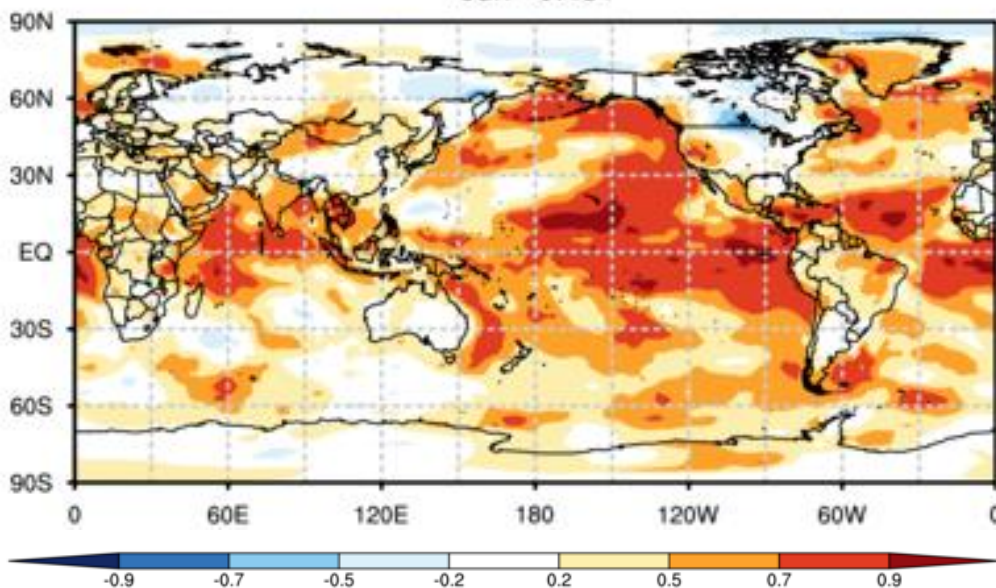
May 0.537

2m Temperature : JJA

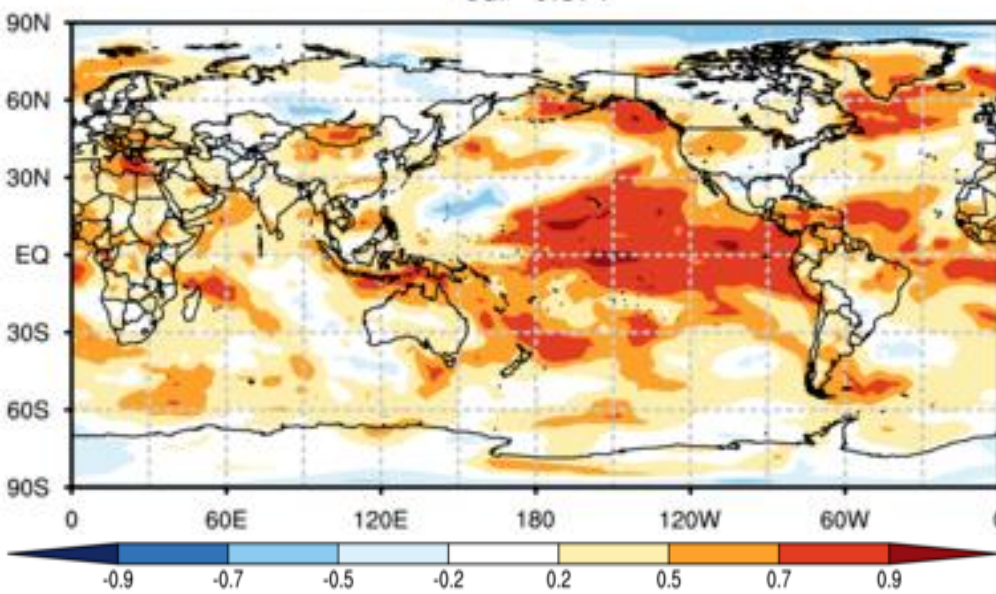
(Calculation Time : 1993 - 2009)

Jun 0.335

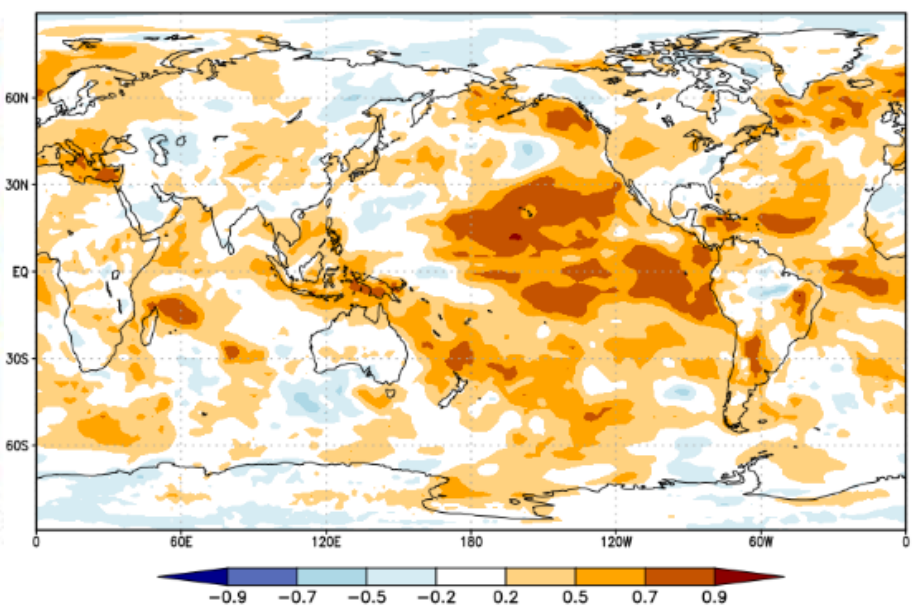
Jun 0.431



Jul 0.371



Jul 0.271



Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

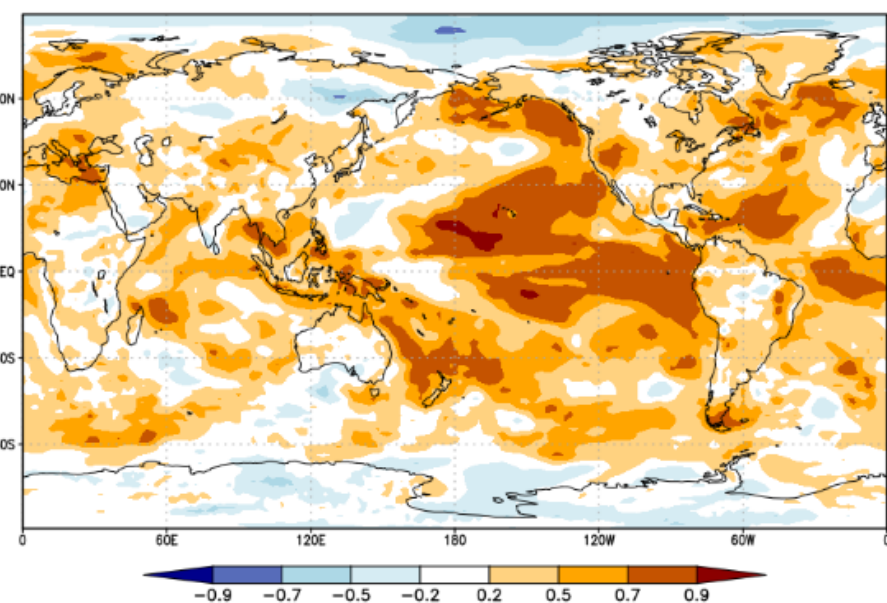
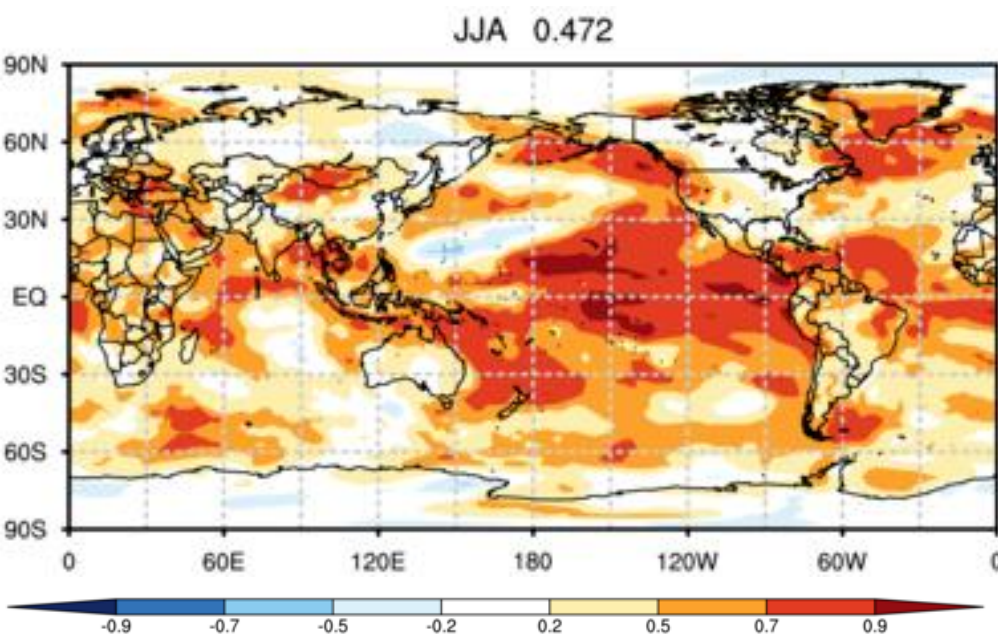
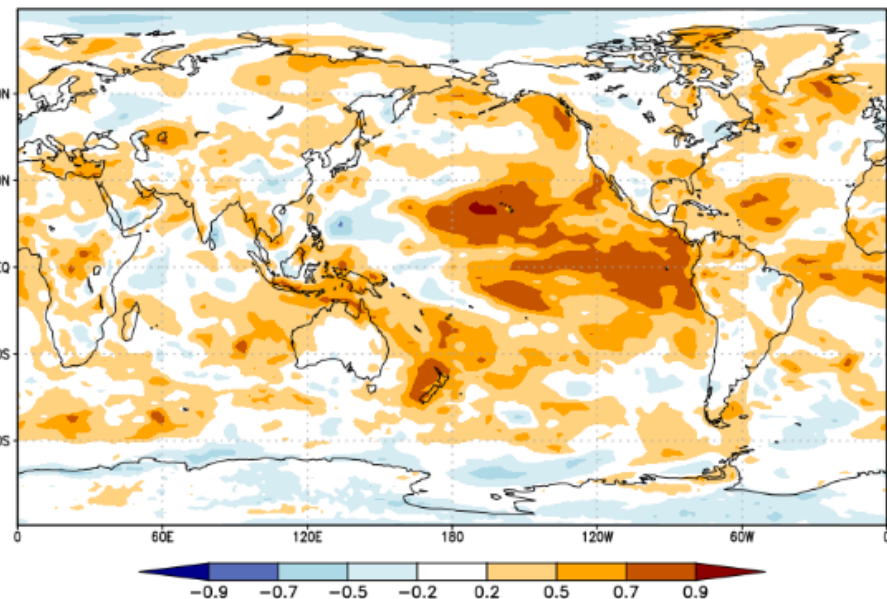
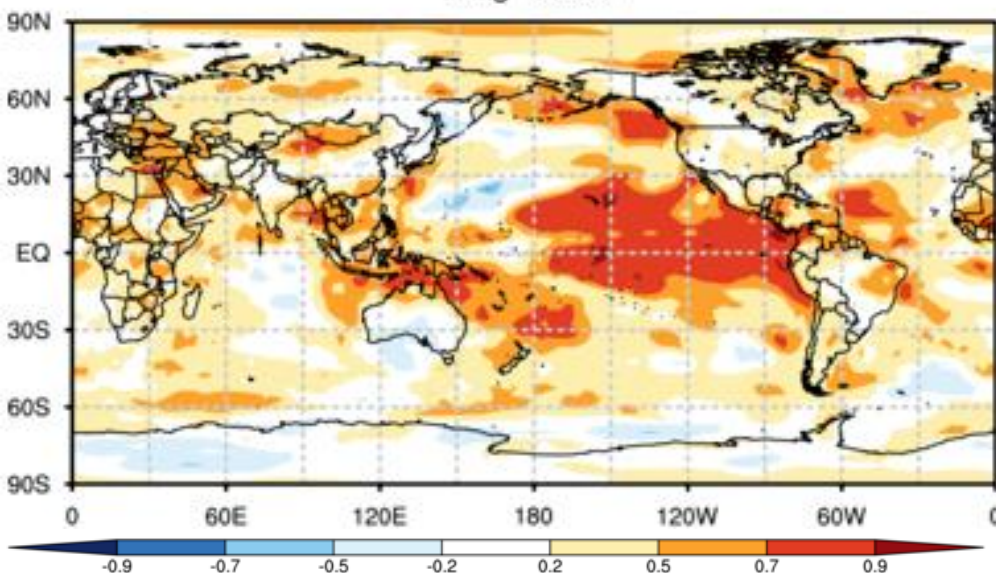
SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

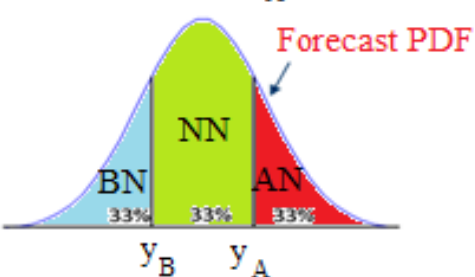
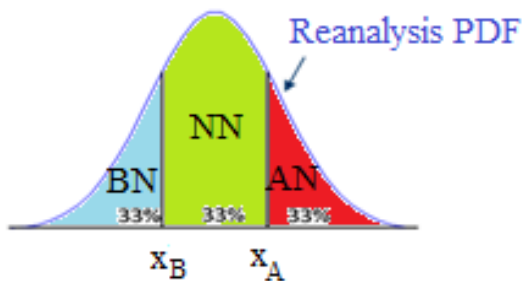
INM

2m Temperature : JJA

(Calculation Time : 1993 - 2009)

Aug 0.232



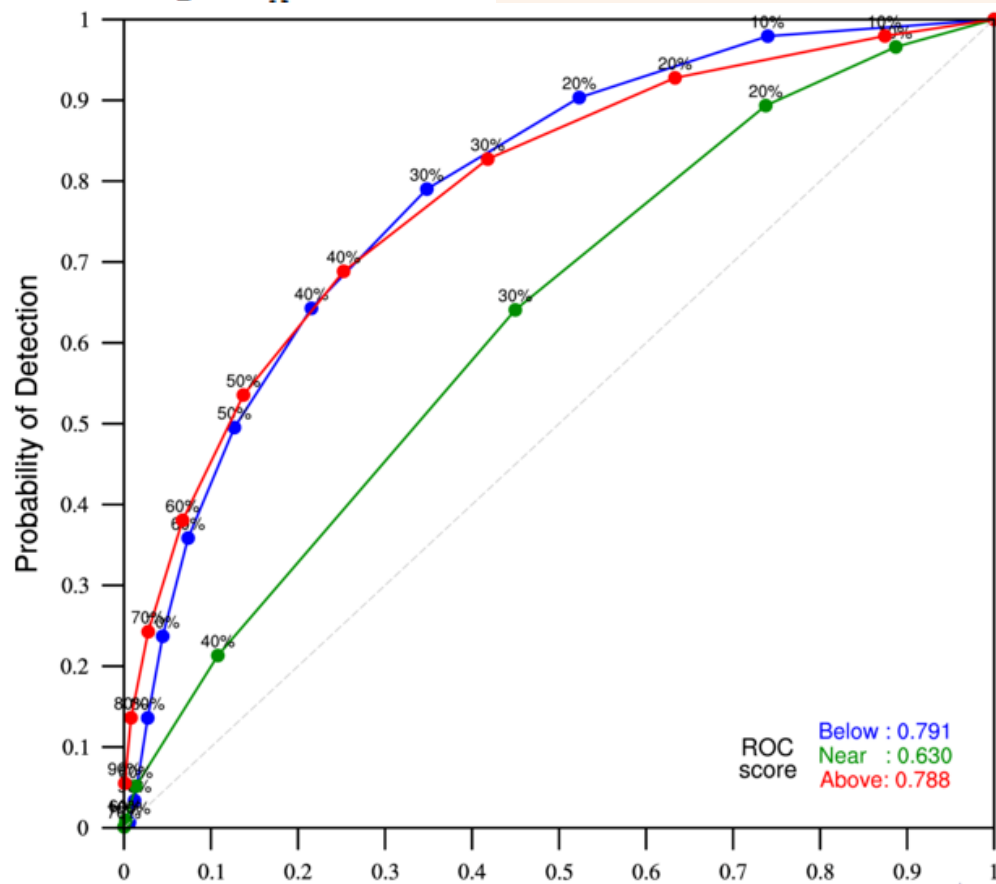


THRESHOLD(K):

0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

ROC score

- ROC вычисляем для события «аномалия поля в верхней/нижней терции»
- Вычисляем пороговые значения x_B , x_A , y_B , y_A для каждой точки сетки отдельно для прогнозов и анализов для JJA
- Для каждой точки (I,J) и каждого летнего сезона IYEAR находим вероятность прогноза категории BN(I,J,IYEAR), как количество экспериментов этого летнего сезона, для которых значение переменной меньше y_B , деленное на полное количество экспериментов этого сезона, т.е. на 20.
- Для каждого "порога" THRESHOLD(K) - количества участников ансамбля при котором событие считается спрогнозированным, отдельно для BN(I,J,IYEAR), NN(I,J,IYEAR) и AN(I,J,IYEAR) смотрим сколько в каждый год "попаданий" (т.е. что событие попадает в BN/NN/AN как для реанализа, так и для прогноза), и "ложных тревог" (т.е. что событие попадает в BN/NN/AN для прогноза, но не попадает для реанализа)
- Строим кривую зависимости доли "попаданий" от доли "ложных тревог" и находим площадь под ней

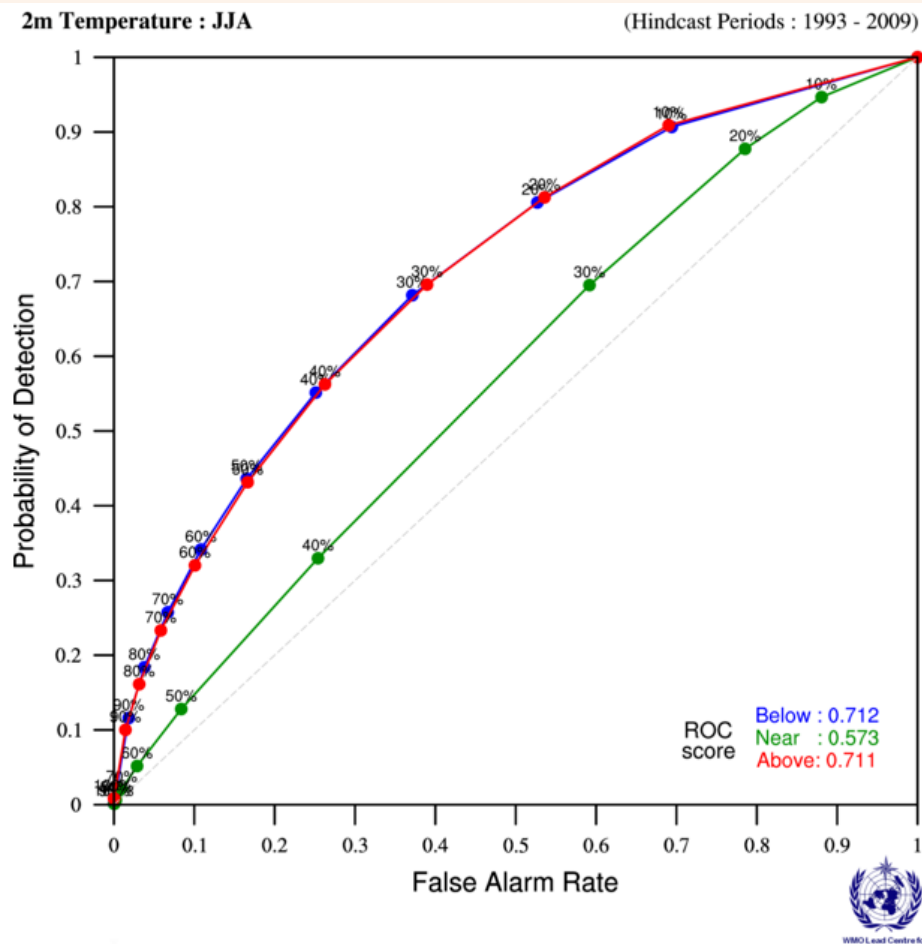


ROC score для JJA

		ECMWF	DWD	MeteoFrance	GFS	MetOffice	MME	INM 10exp/20exp
T2m	BN	0.722	0.694	0.691	0.655	0.712	0.737	0.651/0.659
	NN	0.586	0.555	0.561	0.537	0.573	0.582	0.529/0.530
	AN	0.715	0.674	0.686	0.644	0.711	0.731	0.608/0.619
T850	BN	0.715	0.701	0.693	0.662	0.704	0.728	0.645/0.652
	NN	0.572	0.542	0.553	0.530	0.558	0.565	0.523/0.525
	AN	0.683	0.649	0.667	0.637	0.680	0.696	0.567/0.574
H500	BN	0.731	0.755	0.725	0.689	0.750	0.754	0.684/0.709
	NN	0.592	0.602	0.575	0.523	0.591	0.595	0.551/0.558
	AN	0.732	0.736	0.704	0.677	0.754	0.756	0.594/0.603
SLP	BN	0.710	0.646	0.669	0.669	0.722	0.729	0.652/0.682
	NN	0.587	0.540	0.544	0.548	0.570	0.578	0.529/0.543
	AN	0.720	0.667	0.665	0.654	0.718	0.722	0.631/0.649
Precip	BN	0.611	0.579	0.581	0.566	0.605	0.621	0.561/0.567
	NN	0.534	0.525	0.519	0.519	0.533	0.538	0.513/0.518
	AN	0.621	0.592	0.595	0.586	0.618	0.639	0.557/0.564

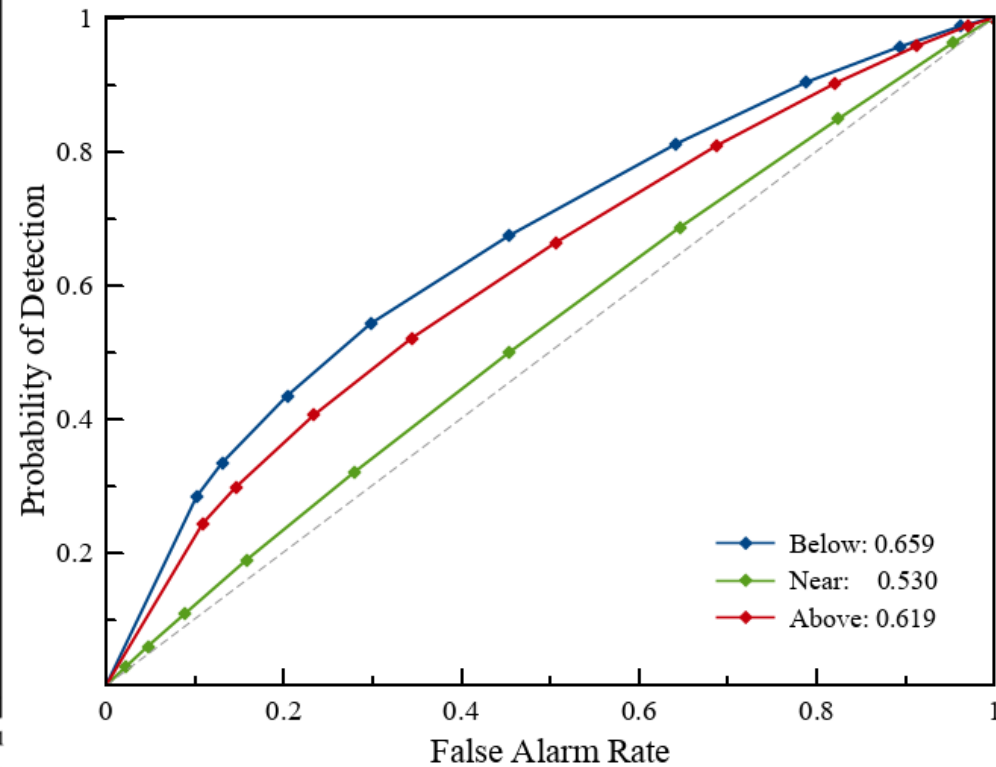
Табл. AUC ROC для различных прогностических систем и мультимодельного ансамбля ММЕ. Для модели INM-CM5 значение приведено для ансамбля из 10 экспериментов (слева от косой черты) и 20 экспериментов (справа от косой черты).

ROC score для JJA T2m



MetOffice

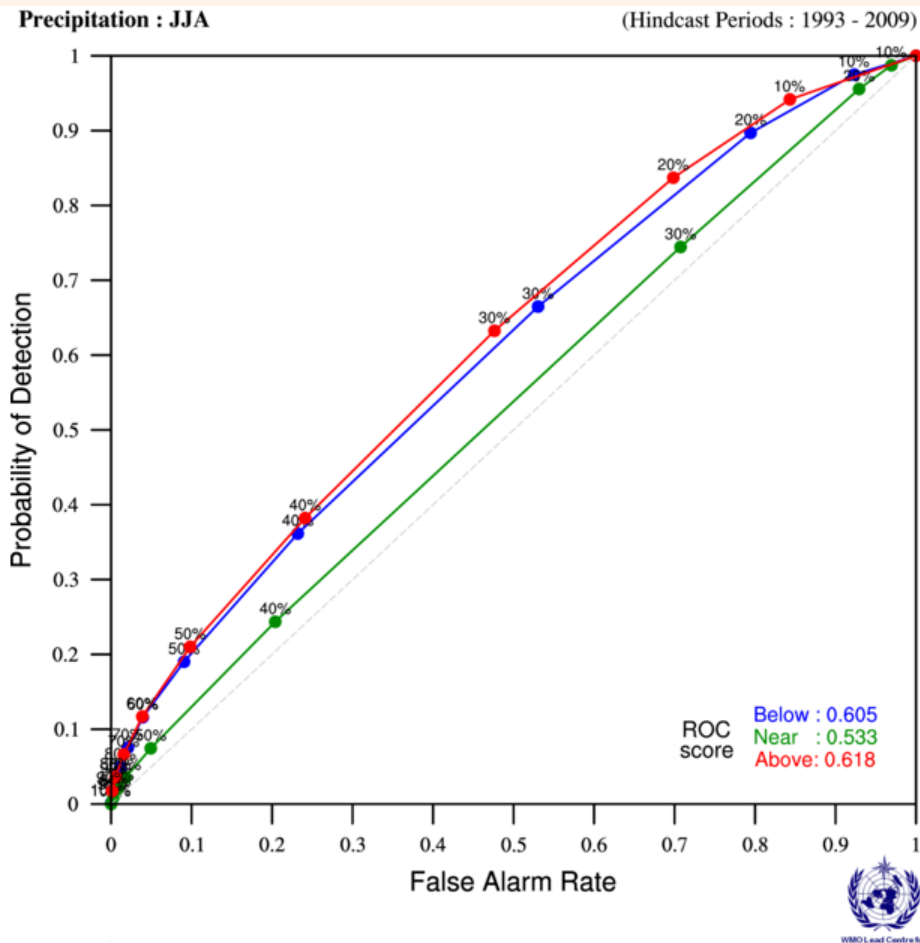
Hindcast Periods: 1993-2009
Global



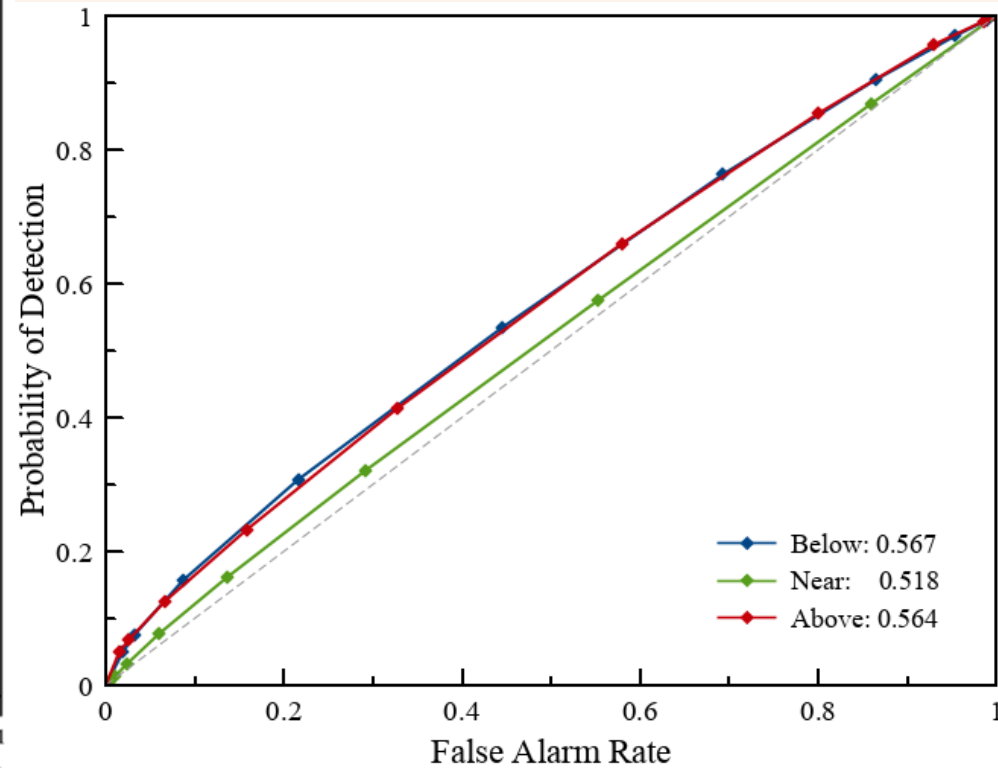
INM (20exp)

ROC score для JJA Precip

Hindcast Periods: 1993-2009
Global



MetOffice



INM (20exp)

MSSS

Пусть x_{ij} и f_{ij} ($i = 1, \dots, n$) -временные ряды наблюдений и непрерывных детерминированных прогнозов для узла сетки j

Средний квадрат ошибки прогноза: $MSE_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - x_{ij})^2$

Средний квадрат ошибки «климатологического» прогноза: $MSE_{cj} = \left(\frac{n}{n-1} \right)^2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$

Тогда $MSSS_j = 1 - \frac{MSE_j}{MSE_{cj}}$, $MSSS = 1 - \frac{\sum_j w_j MSE_j}{\sum_j w_j MSE_{cj}}$, где $w_j = \cos(\theta_j)$

	ECMWF	DWD	MeteoFrance	GFS	MetOffice	MME	INM
T2m	0.008	-0.020	-0.041	-0.119	0.013	0.085	-0.009
T850	0.028	0.050	0.043	-0.029	0.104	0.092	0.108
H500	-0.042	0.081	0.037	0.007	0.098	0.051	0.103
SLP	-0.028	0.072	0.050	0.031	0.095	0.046	0.091
Precip	0.126	-0.189	-0.047	-0.216	-0.016	0.195	-0.203

Табл. JJA MSSS для различных прогностических систем и мультимодельного ансамбля MME.

Для модели INM-CM5 значение приведено для ансамбля из 10 экспериментов.

Mean Square Skill Score (MSSS)

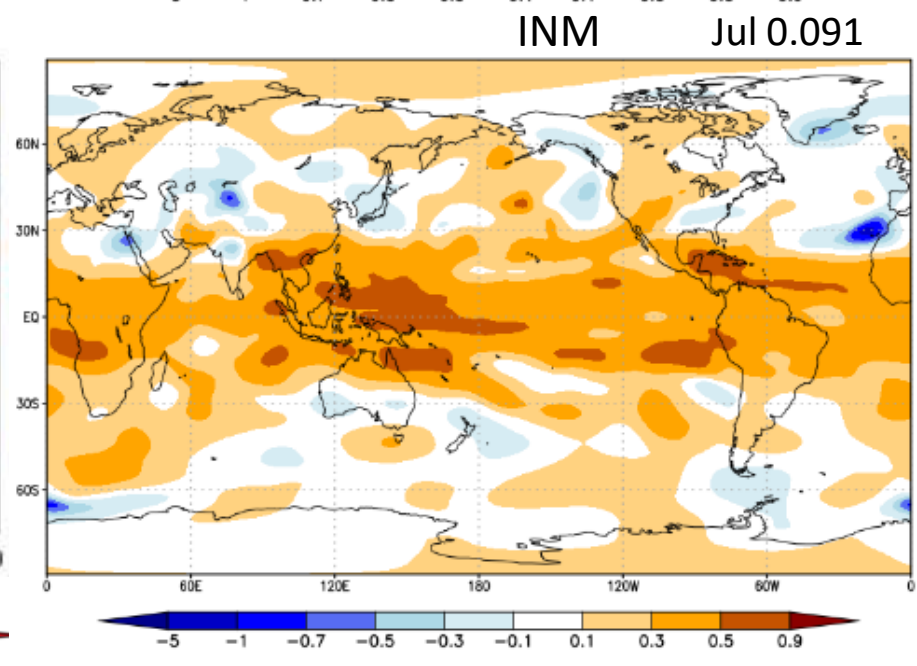
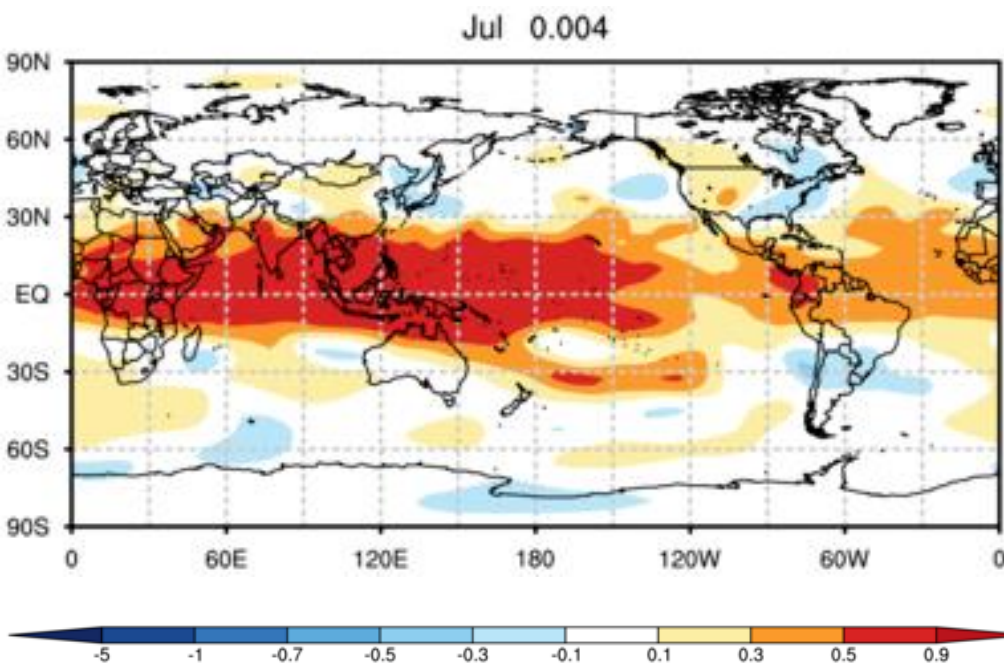
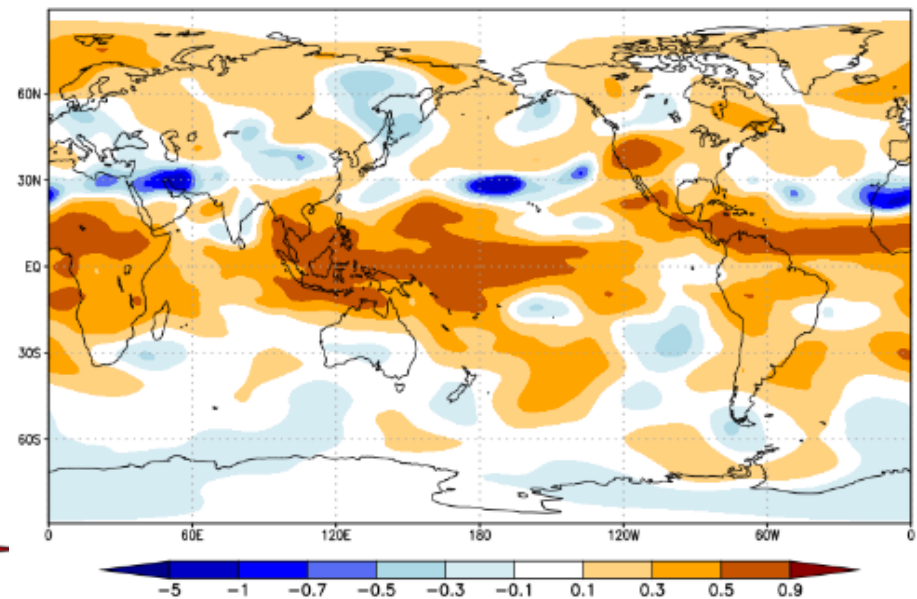
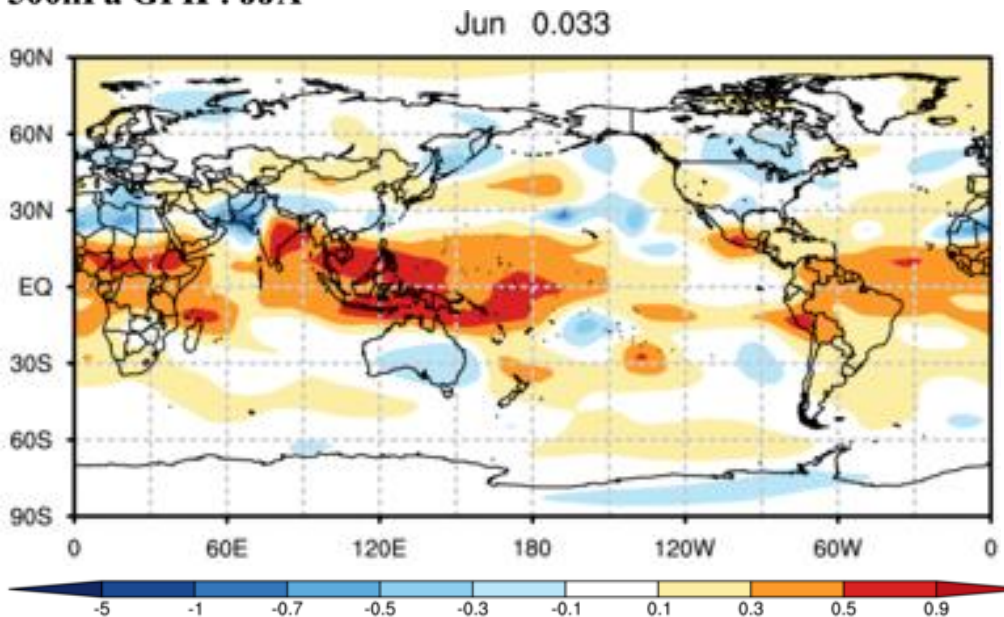
SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

INM

500hPa GPH : JJA

(Calculation Time : 1993 - 2009)

Jun 0.051



Mean Square Skill Score (MSSS)

SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

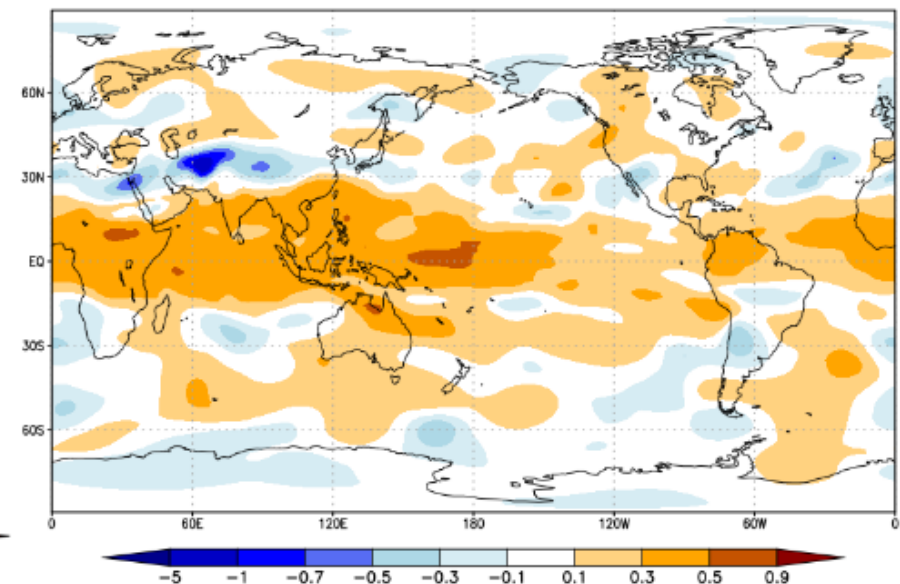
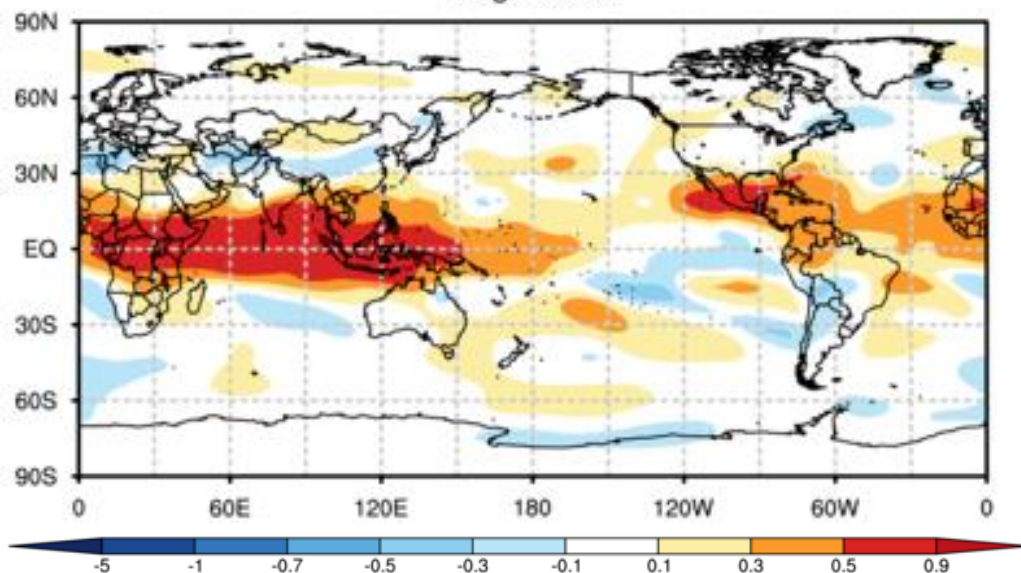
INM

500hPa GPH : JJA

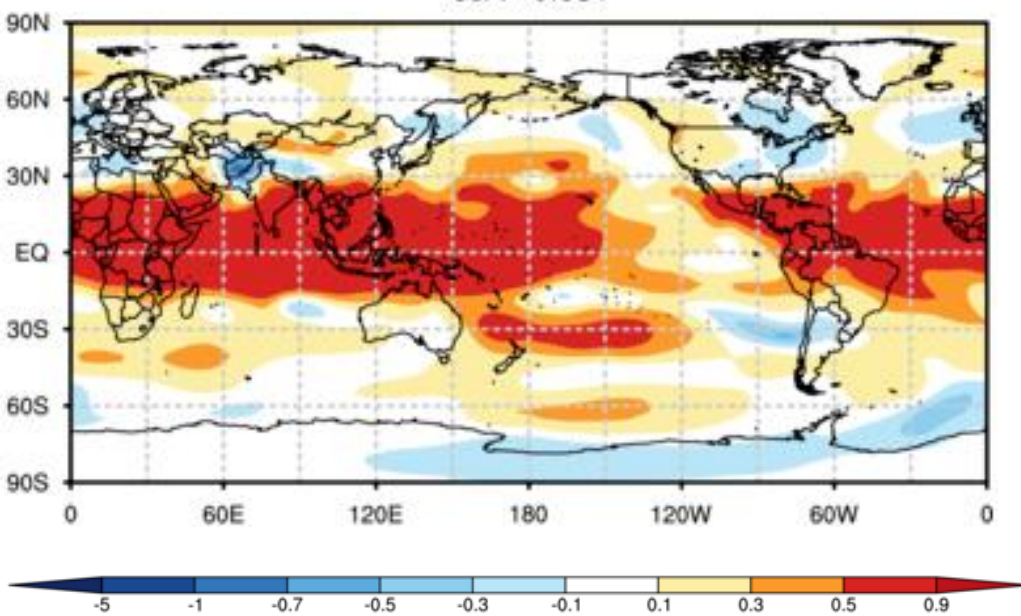
(Calculation Time : 1993 - 2009)

Aug 0.030

Aug 0.004

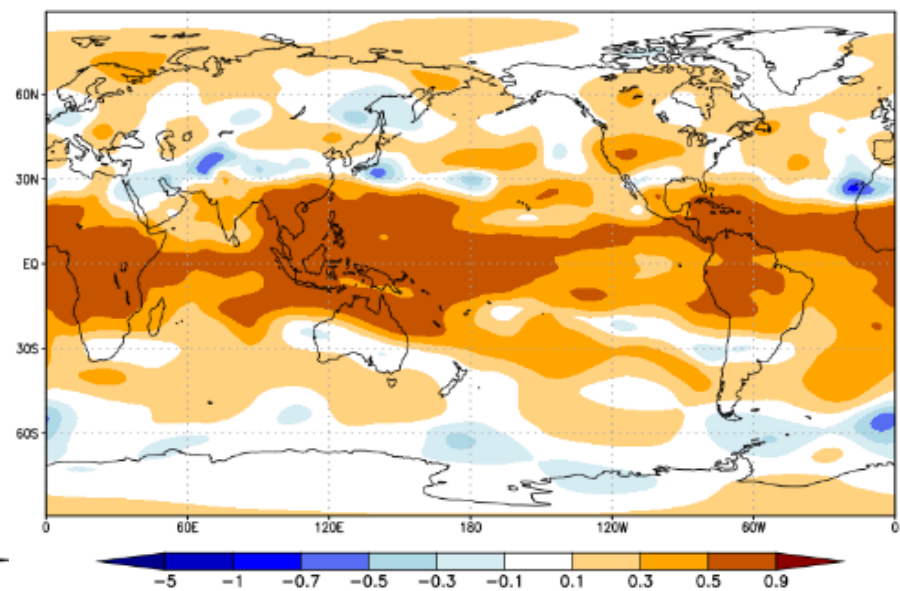


JJA 0.051



INM

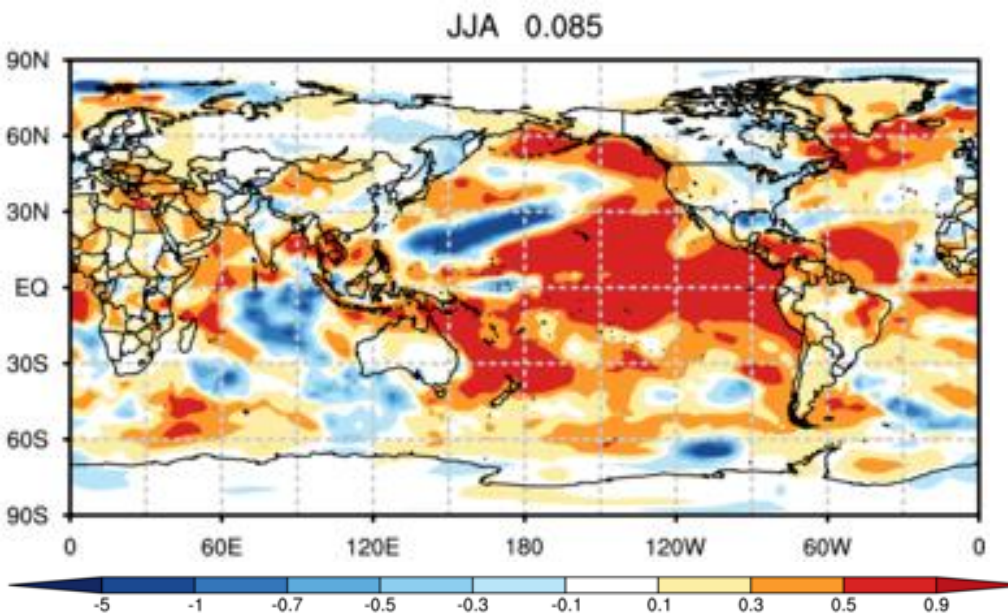
JJA 0.103



Mean Square Skill Score (MSSS)

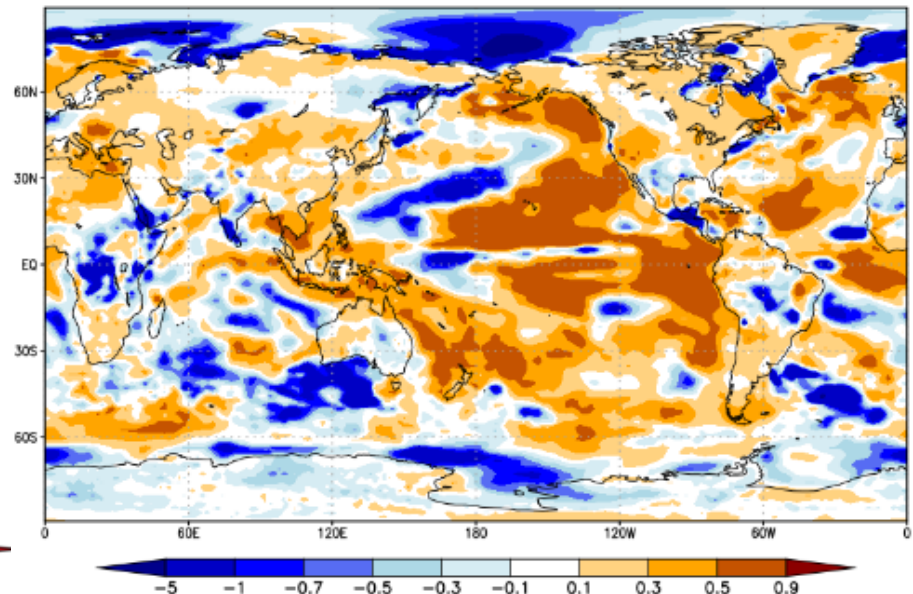
SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

2m Temperature : JJA

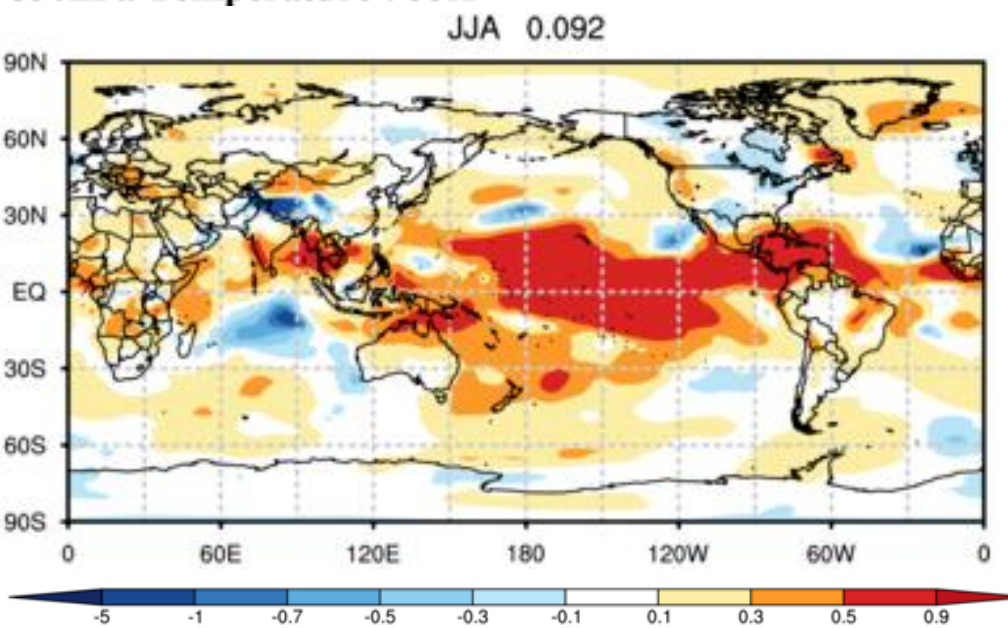


(Calculation Time : 1993 - 2009)

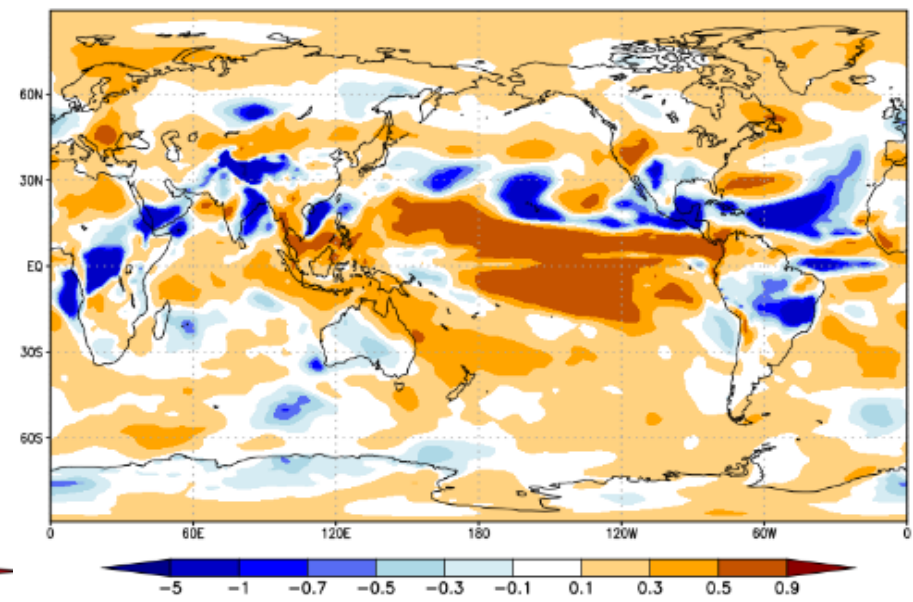
INM JJA -0.009



850hPa Temperature : JJA



INM JJA 0.108



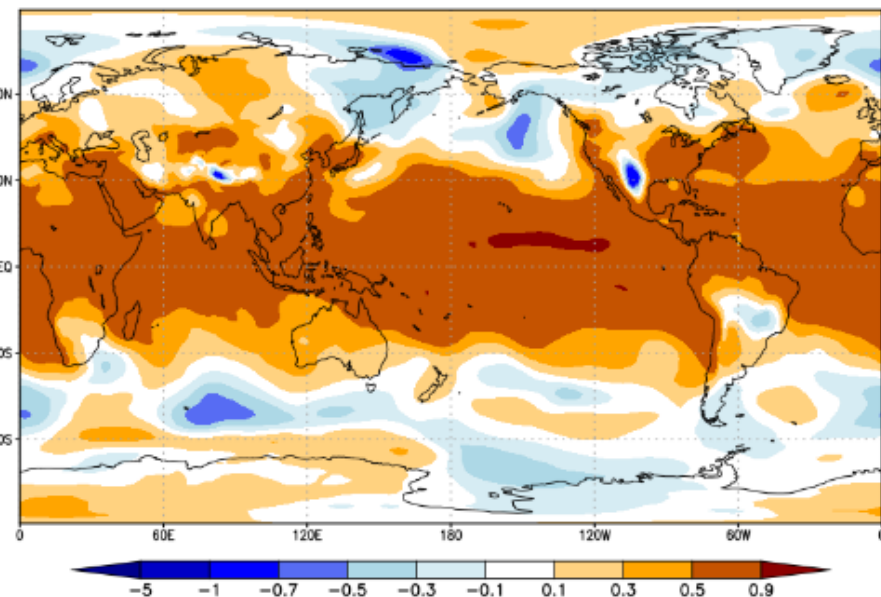
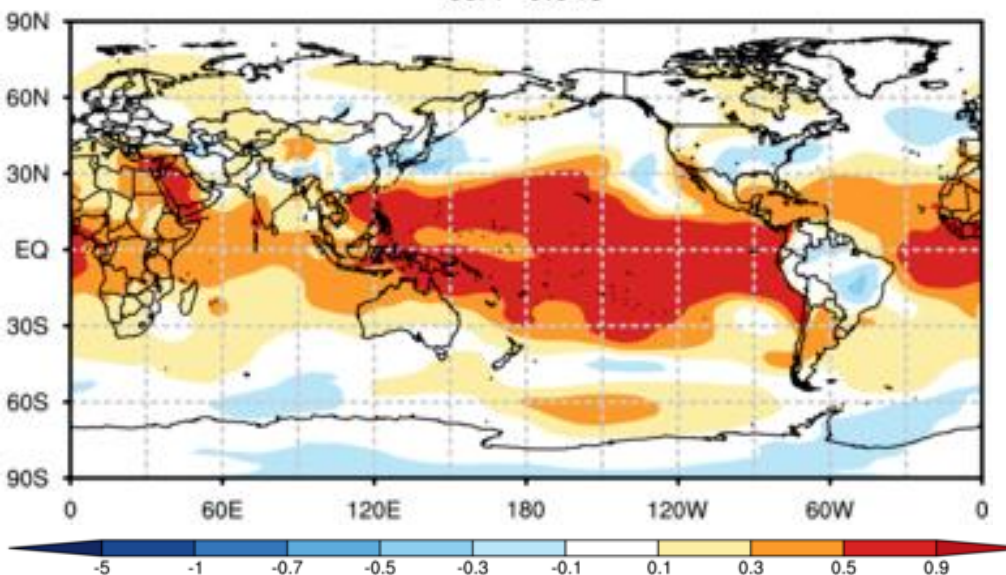
Mean Square Skill Score (MSSS)
SCM(Beijing,CPTEC,ECMWF,Exeter,Melbourne,Montreal,Moscow,Seoul,Tokyo,Toulouse,Washington)

INM

JJA 0.091

Mean Sea Level Pressure : JJA
JJA 0.046

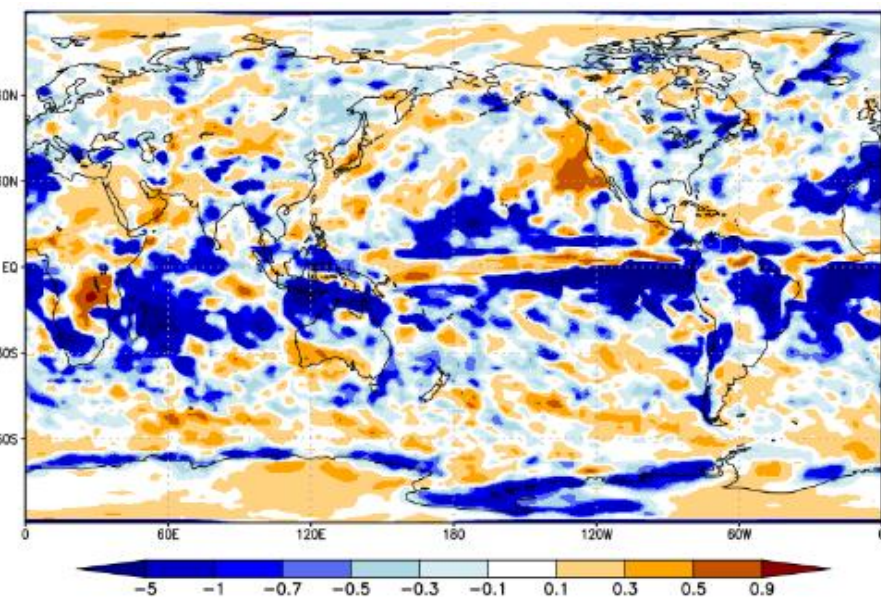
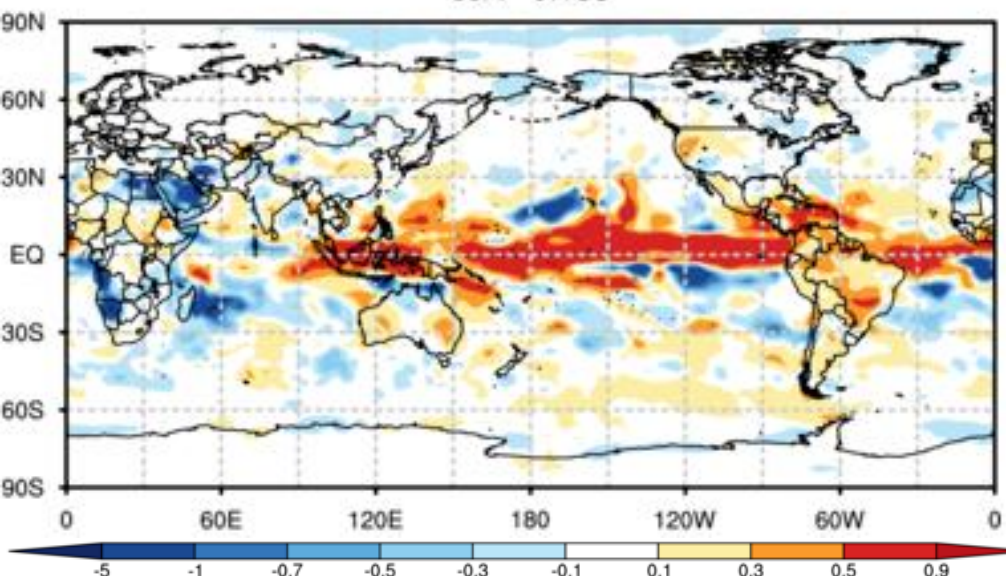
(Calculation Time : 1993 - 2009)



Precipitation : JJA
JJA 0.195

INM

JJA -0.203



Выводы

- Отклик на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья:
 - виден в картине аномалий данных температуры поверхности
 - отображается в коэффициентах корреляции аномалий температуры на 2м в тропиках
 - картина аномалий осадков соответствует теоретически ожидаемой в годы сильных явлений Эль-Ниньо (1987г.) и Ла-Нинья (1988г.) и согласуется с картиной аномалий реанализа
- Увеличение количества членов прогностического ансамбля приводит к улучшению качества прогноза
- С увеличением номера месяца возрастает расхождение модельного прогноза с реанализом, как и ожидалось
- Коэффициенты корреляции аномалий по пространству/времени, ROC score, MSSS имеют значения, сравнимые с результатами моделей ведущих прогностических центров, однако, есть, к чему стремиться

Спасибо за внимание!

E-mail:

VVorobyeva@yandex.ru

vasilisa.vorobyeva@phystech.edu