



**Воспроизведение
тропической изменчивости и дальних связей
с умеренными широтами в моделях
климата ИВМ РАН**

***Дарья Гущина, Ирина Железнова, Юлия Мухартова,
Александр Осипов, Анна Гвоздева***

***Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет
Кафедра метеорологии и климатологии***

1. Земная система: моделирование и прогноз.

Миссия: Разработать глобальную модель земной системы мирового уровня для исследовательских целей и сценарного прогнозирования климатических изменений, обеспечить повышение точности климатических моделей и надежности климатических прогнозов

- Корректное воспроизведение процессов в тропических широтах показатель успешности модели
- воспроизведение основных мод изменчивости в тропиках:
 - Эль-Ниньо Южное Колебание
 - МЮ и др.

**Межгодовая изменчивость:
Эль-Ниньо – Южное колебание**

- Основные характеристики
- Механизмы формирования – бюджет тепла верхнего перемешанного слоя
- Отклик тропосферы и стратосферы умеренных и приполярных широт

Внутрисезонная изменчивость:

- Колебания Маддена-Джулиана
- Экваториальные волны

Внутрисезонная тропическая изменчивость (ВТИ)

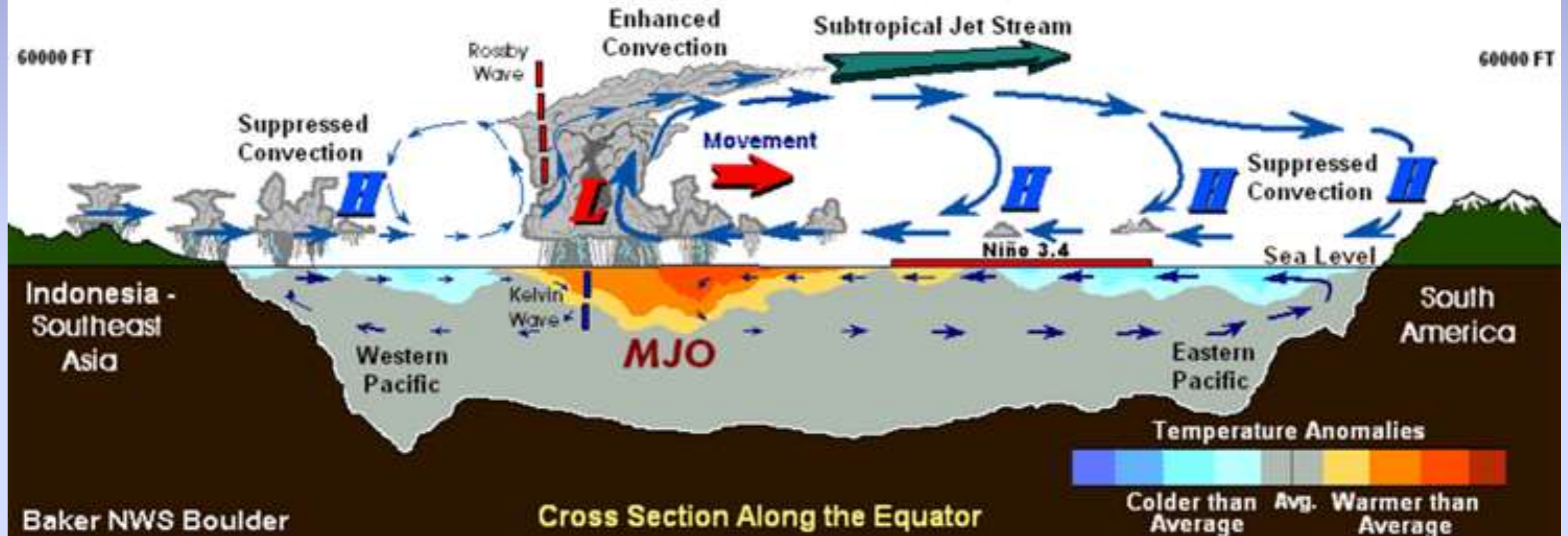
Когерентная мода

- Колебания Маддена-Джулиана (МЮ)

Конвективно-связанные экваториальные волны

- Волны Кельвина
- Экваториальные волны Россби (ER)
- Смешанные Россби гравитационные волны (MRG)
- Восточные гравитационные волны (EIG)
- Западные гравитационные волны (WIG)
- Тропические депрессии (TD)

Madden-Julian Oscillation (MJO) in the Tropical Pacific Ocean



- Период 30-60 дней
- Возмущения в поле конвекции и циркуляции, амплитуда 10 Вт/м^2 для УДР и 1 м/с для зонального ветра на 850 гПа
- Распространяются на восток со средней скоростью $\sim 5 \text{ м/с}$ (430 км/сутки),
- Наблюдаются над Индийским и Западным Тихим океанами

Конвективно-связанные экваториальные волны Кельвина

(from M. Wheeler "Tropical meteorology")

$$v_{Kelvin} = \sqrt{g h / k}$$

v – частота

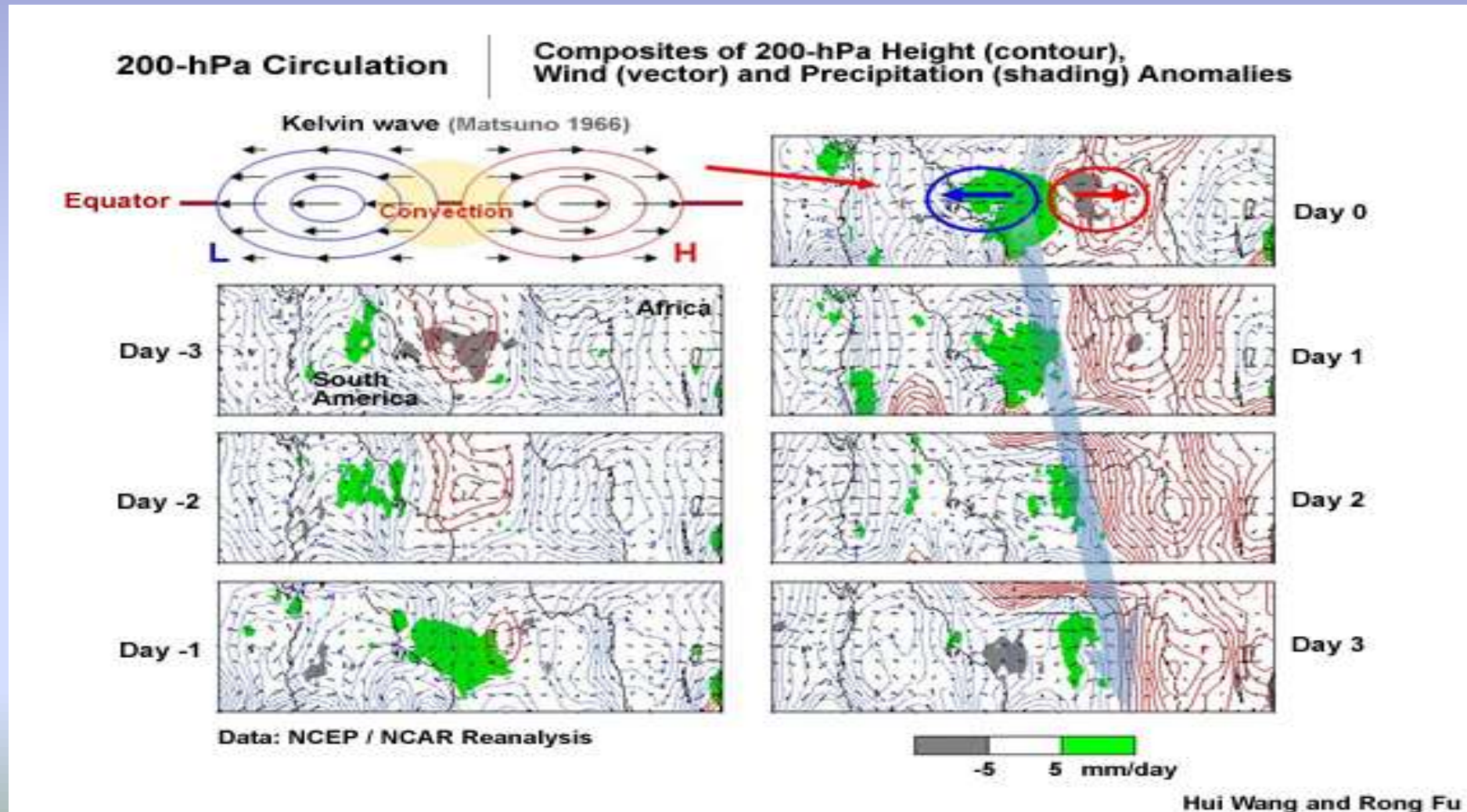
k – зональное волновое число

h – эквивалентная толщина
атмосферы

g – ускорение свободного
падения

- Максимум на экваторе
- Меридиональный масштаб 2000 км
- Зональный масштаб 2000-20000 км
- Распространяются на восток со средней скоростью 30-60 м/с в сухой атмосфере и 12-25 м/с во влажной атмосфере
- Меридиональная компонента отсутствует

Конвективно-связанные экваториальные волны Кельвина



Конвективно-связанные экваториальные волны Россби

(from M. Wheeler “Tropical meteorology”)

$$v_{Rossby} \approx \frac{-\beta k}{k^2 + (2n + 1)\beta / \sqrt{g h_1}}$$

ν – частота

k – зональное волновое число

β – меридиональная производная параметра Кориолиса

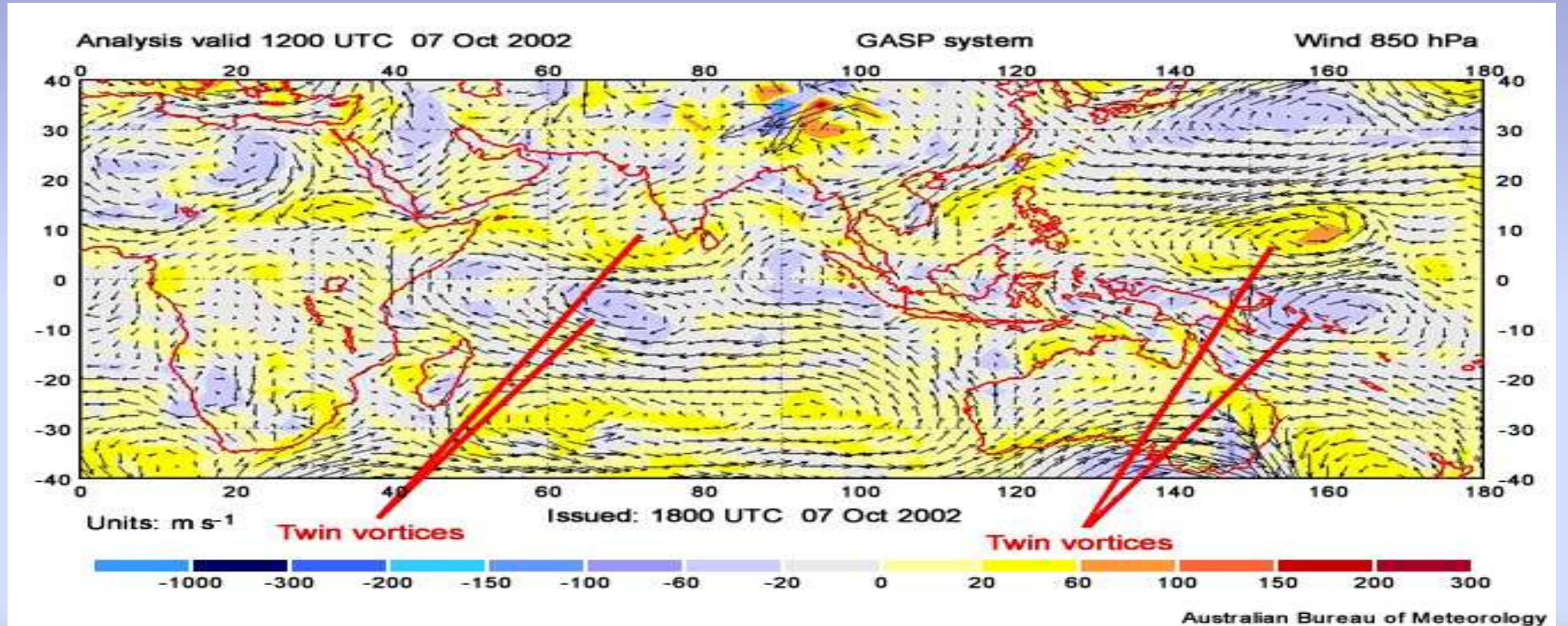
n – число меридиональных мод

h – эквивалентная толщина атмосферы

g – ускорение свободного падения

- Максимум на 10° широты
- Зональный масштаб 10 000 км
- Распространяются на запад со средней скоростью 10-15 м/с в сухой атмосфере и 5-7 м/с во влажной атмосфере

Конвективно-связанные экваториальные волны Россби



Данные

- NCEP/NCAR reanalysis 1950-2014
- CMIP6 historical experiment 1950-2014:

Ежедневные данные:

- U850

3 версии модели INM:

Модели CMIP6 :

- INM-CM5-0 (CMIP6)
- INM-CM6-L
- INM-CM6-L-NEW

- ACCESS-ESM1-5
- CanESM5
- CMCC-CM2-SR5
- CNRM-CM6-1
- EC-Earth3
- HadGEM3-GC31-LL

- IPSL-CM6A-LR
- MIROC6
- MPI-ESM1-2-HR
- MPI-ESM1-2-LR
- MRI-ESM2-0
- NorESM2-MM

ДАННЫЕ И МЕТОДИКА	
HadGEM3-GC31-LL	Met Office Hadley Centre, UK
INM-CM5-0	Russian Academy of Sciences, Institute of Numerical Mathematics, Russian Federation
IPSL-CM6A-LR	Institut Pierre Simon Laplace, France
MIROC 6	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute, Japan
NorESM2-MM	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological Institute, Norway
ACCESS-ESM1-5	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/Bureau of Meteorology, Australia
CanESM5	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada
CMCC-CM2-SR5	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy
CNRM-CM6-1	Centre National de Recherches Météorologiques, Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, France
EC_EARTH3	EC-EARTH consortium (ECMWF consortium)

Выделение ВТИ (Wheeler and Kiladis, 1999)

- Разложение поля на симметричную и асимметричную относительно экватора компоненты
- Двумерное Фурье-разложение (в пространстве зональное волновое число-частота) в 5-летнем скользящем окне
- Нормализация полного спектра на средний
- Выделение областей, соответствующих МЮ и экваториальным волнам
- Обратное Фурье-преобразование с сохранением коэффициентов только в выделенной области, соответствующей определенной осцилляции

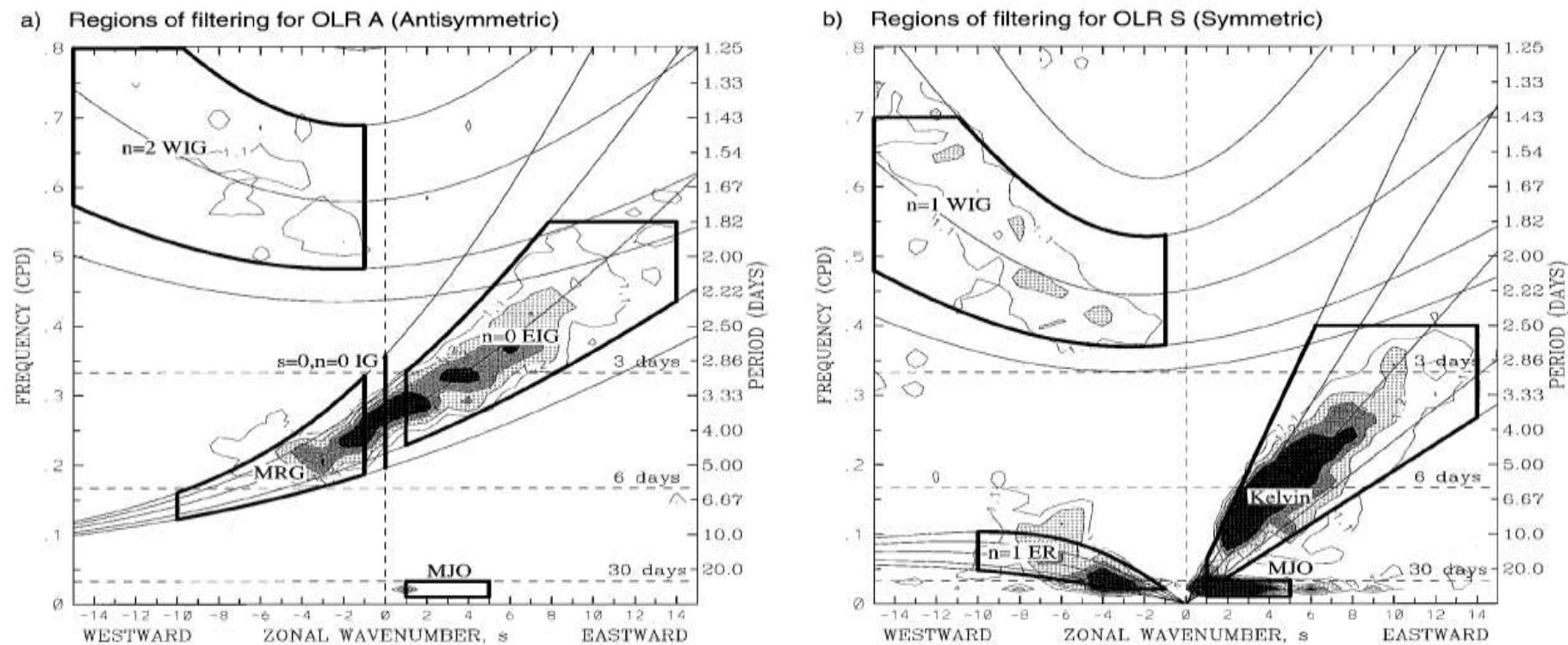
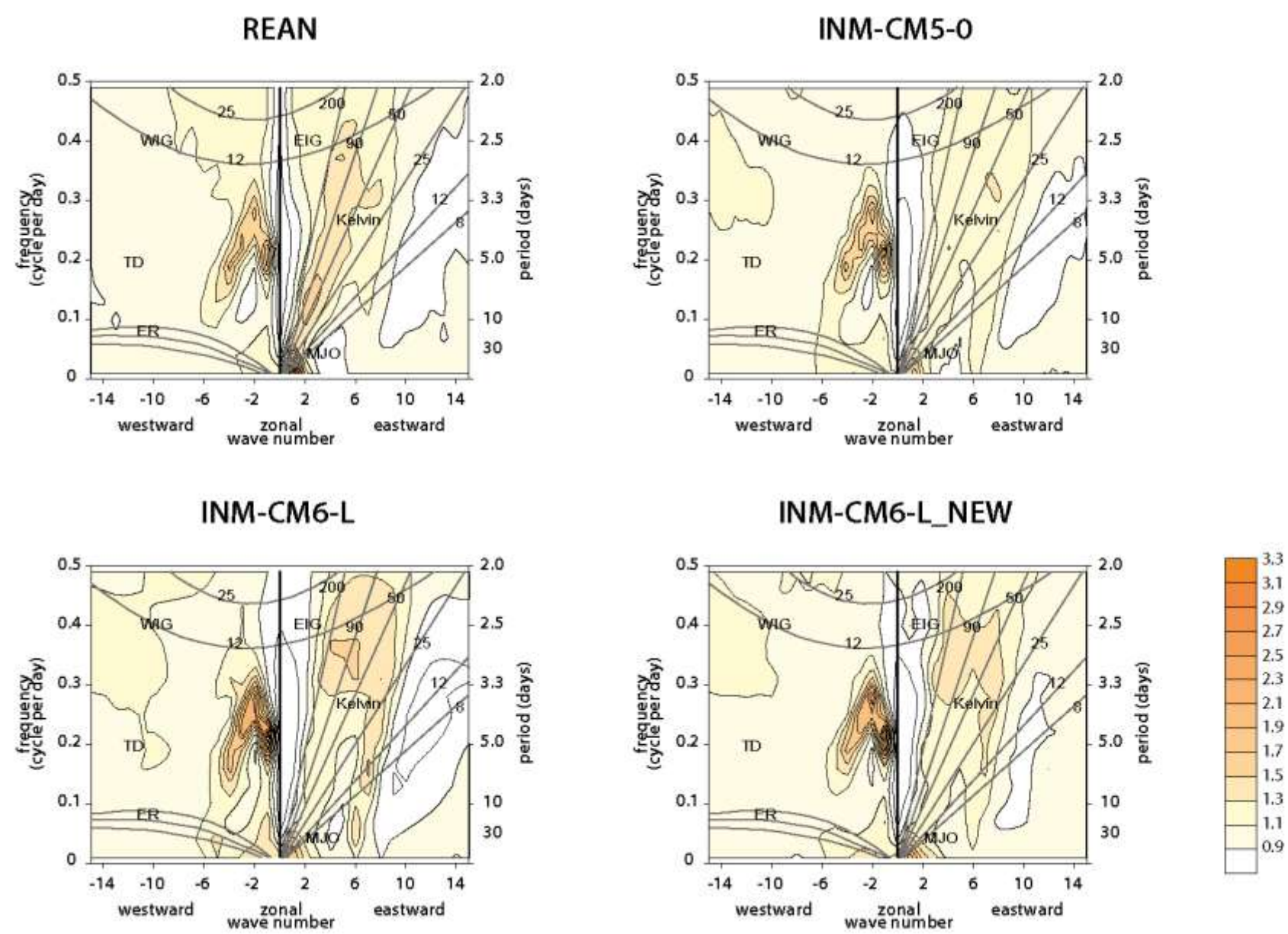


FIG. 6. As in Fig. 3 excluding contours less than 1.1 and greater than 1.4. Thick boxes indicate the regions of the wavenumber-frequency domain used for filtering of the OLR dataset to retrieve the longitude-time information of the convectively coupled tropical waves for the (a) antisymmetric component and (b) symmetric component of the OLR. The thin lines are the various equatorial wave dispersion curves for the five different equivalent depths of $h = 8, 12, 25, 50,$ and 90 m.

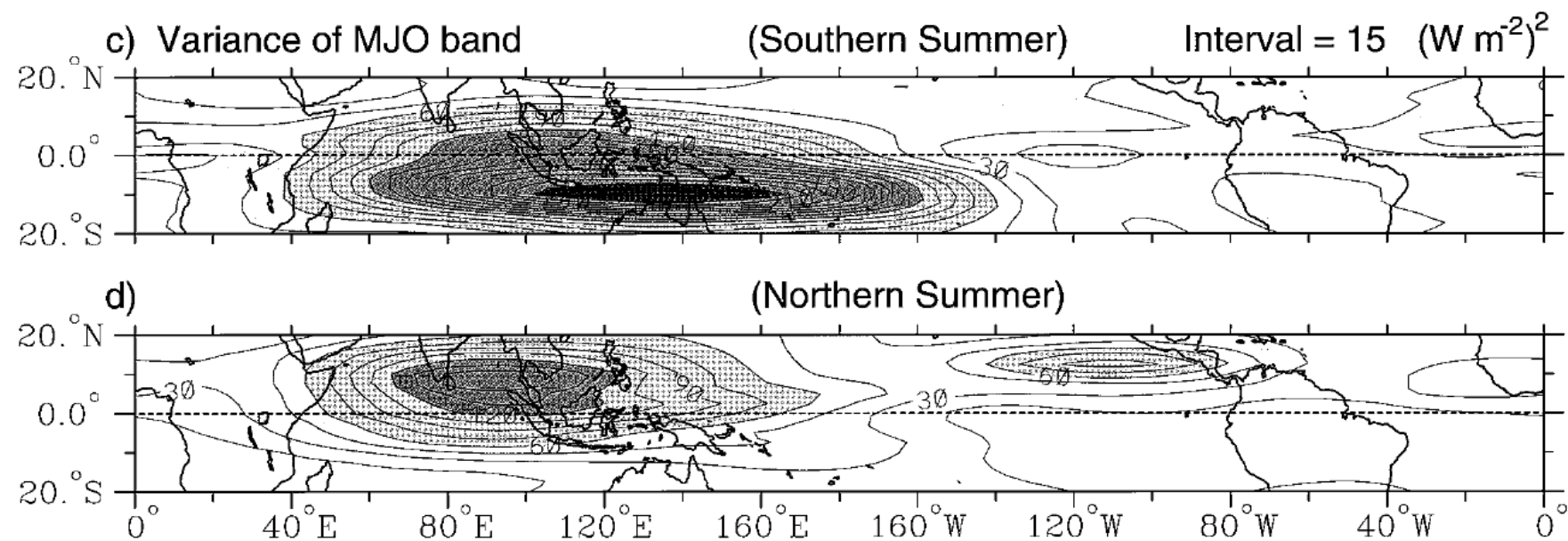
Интенсивность волн (Hendon et al., 2007)

- СКО МЈО, волн Кельвина и Россби, отфильтрованных в поле зонального ветра на 850 гПа, рассчитанное по скользящему окну:
 - 90 дней для МЈО
 - 48 дней ER
 - 30 дней для волн Кельвина
- Месячное осреднение
- Осреднение вдоль экватора (5S-5N), Индо-Тихоокеанского региона (50E-90W)
- Вычитание сезонного хода

Пространственно-временные спектры



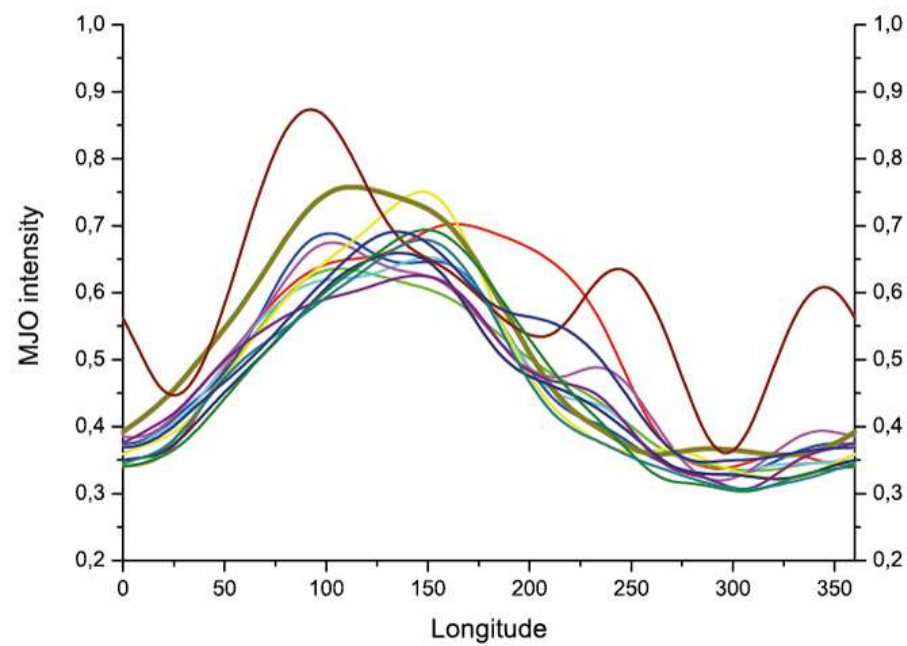
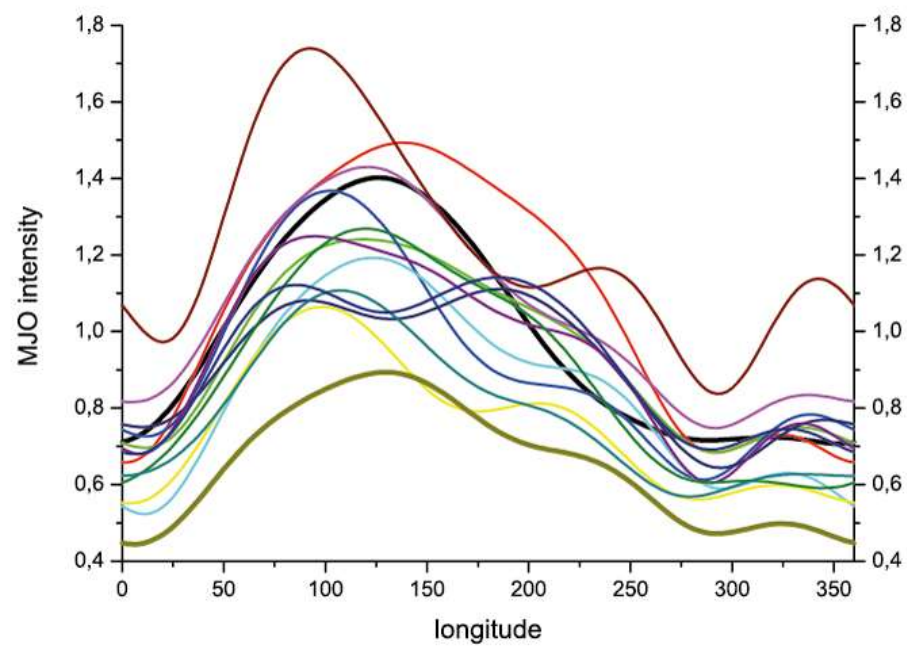
Интенсивность МЖО на экваторе



Интенсивность МЮ на экваторе

intensity

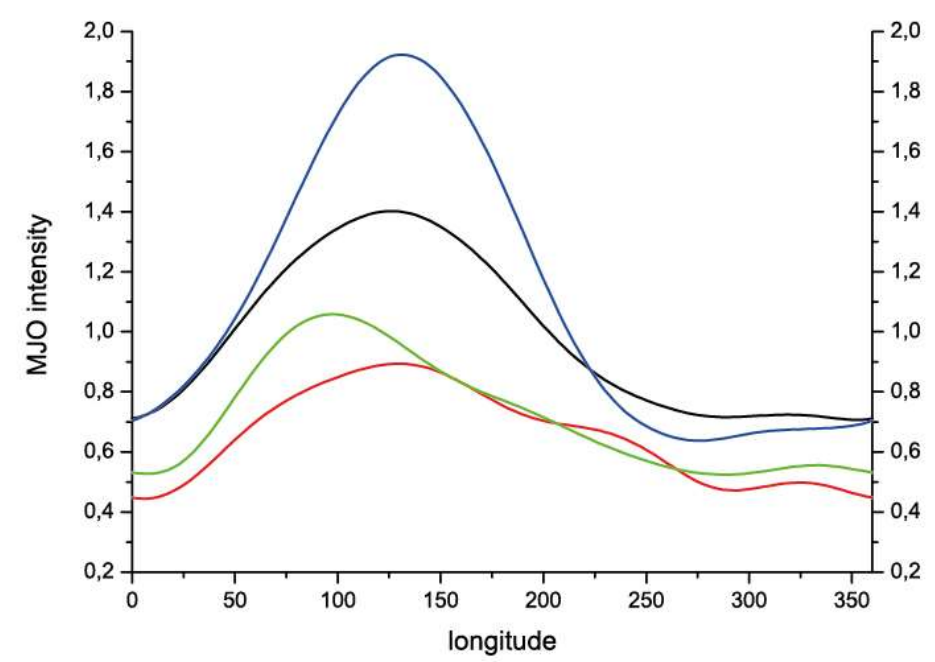
rms difference



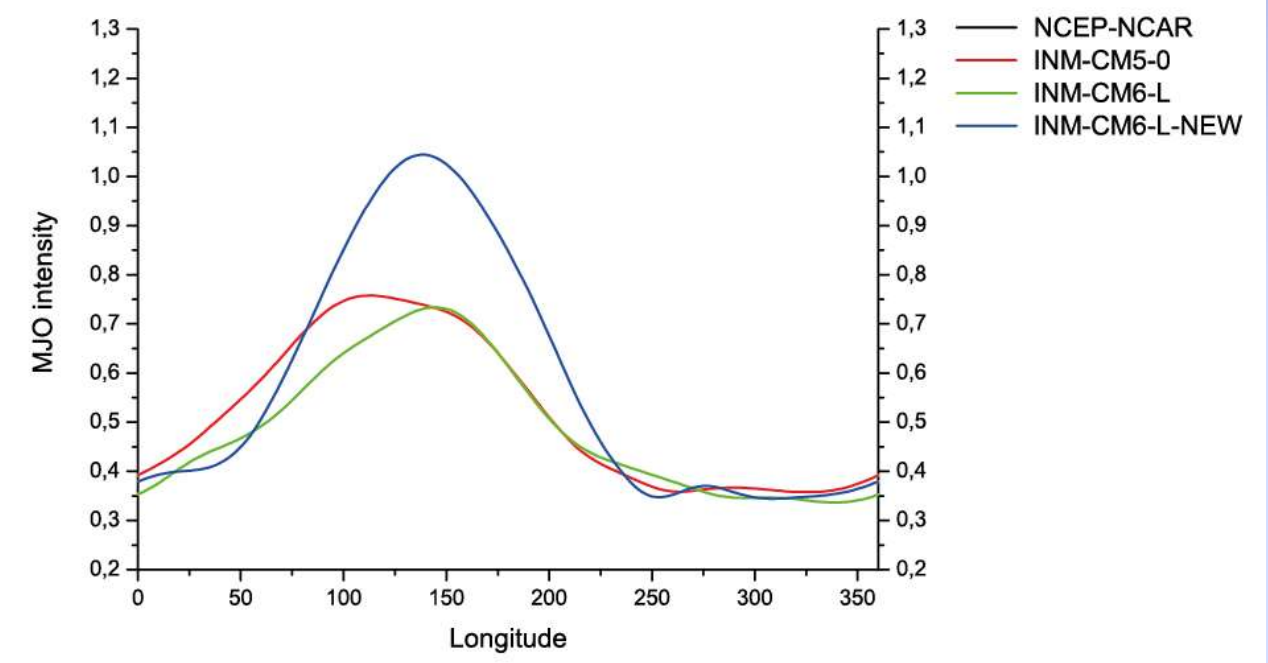
- NCEP/NCAR
- NorESM2-MM
- MRI-ESM2-0
- MPI-ESM1-2-LR
- MPI-ESM1-2-HR
- MIROC6
- IPSL-CM6A-LR
- INM-CM5-0
- HadGEM3-GC31-LL
- EC-Earth3
- CNRM-CM6-1
- CMCC-CM2-SR5
- CanESM5
- ACCESS-ESM1-5

MJO intensity at the equator

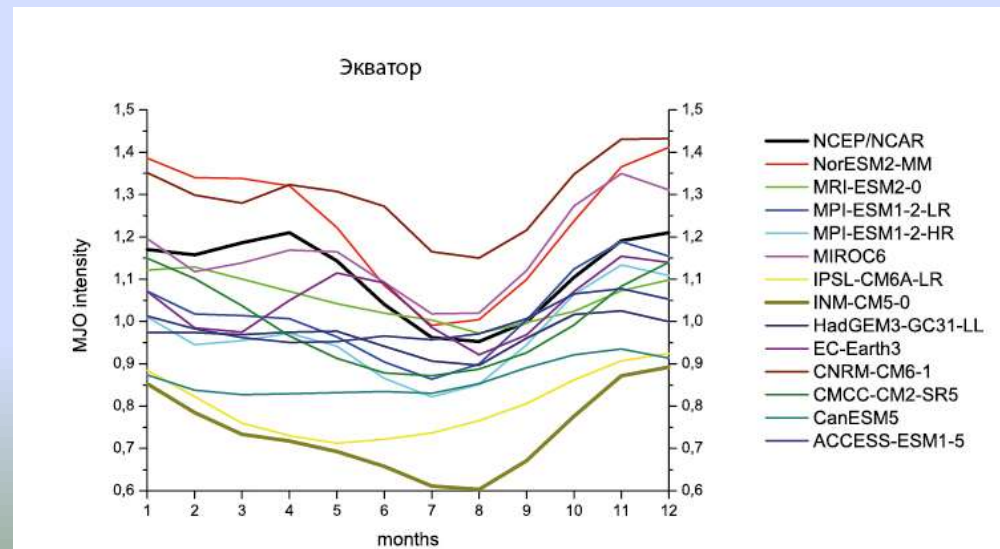
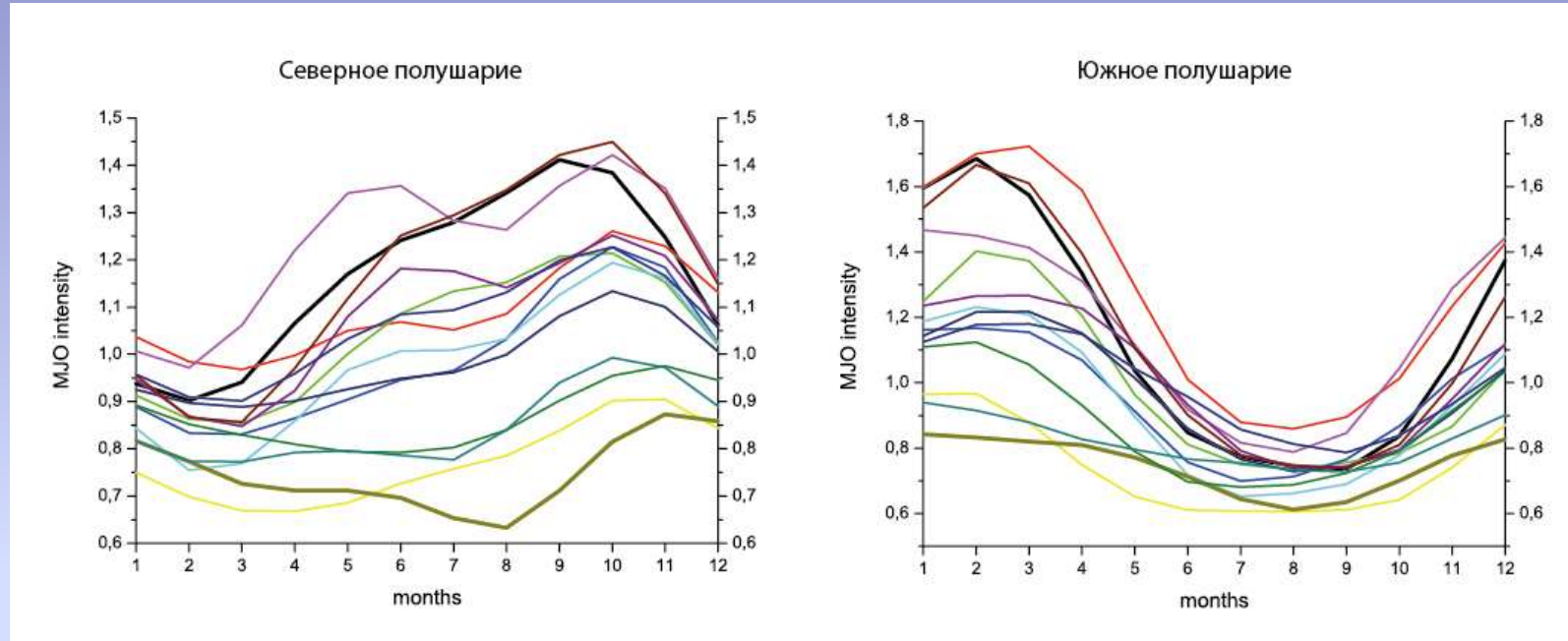
intensity



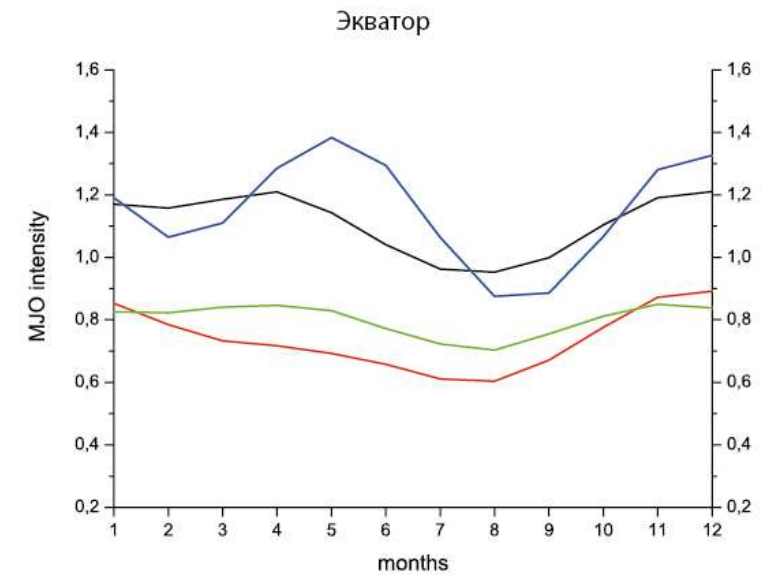
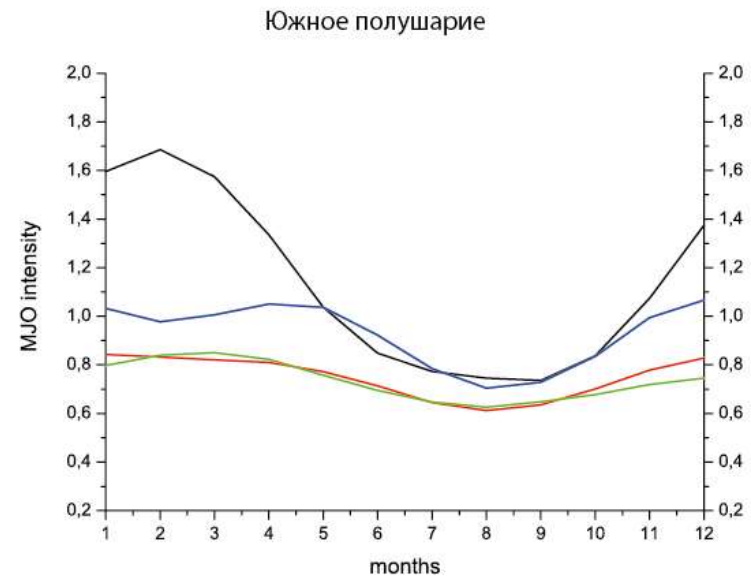
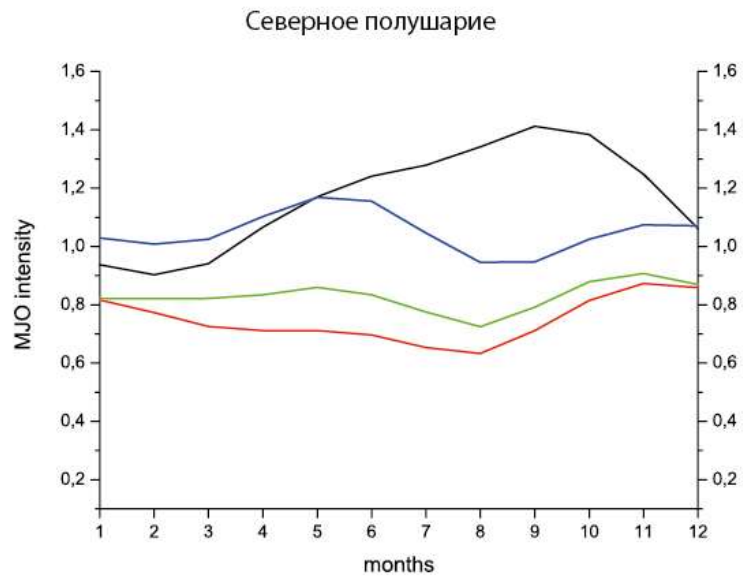
rms difference



Сезонный ход МЖО

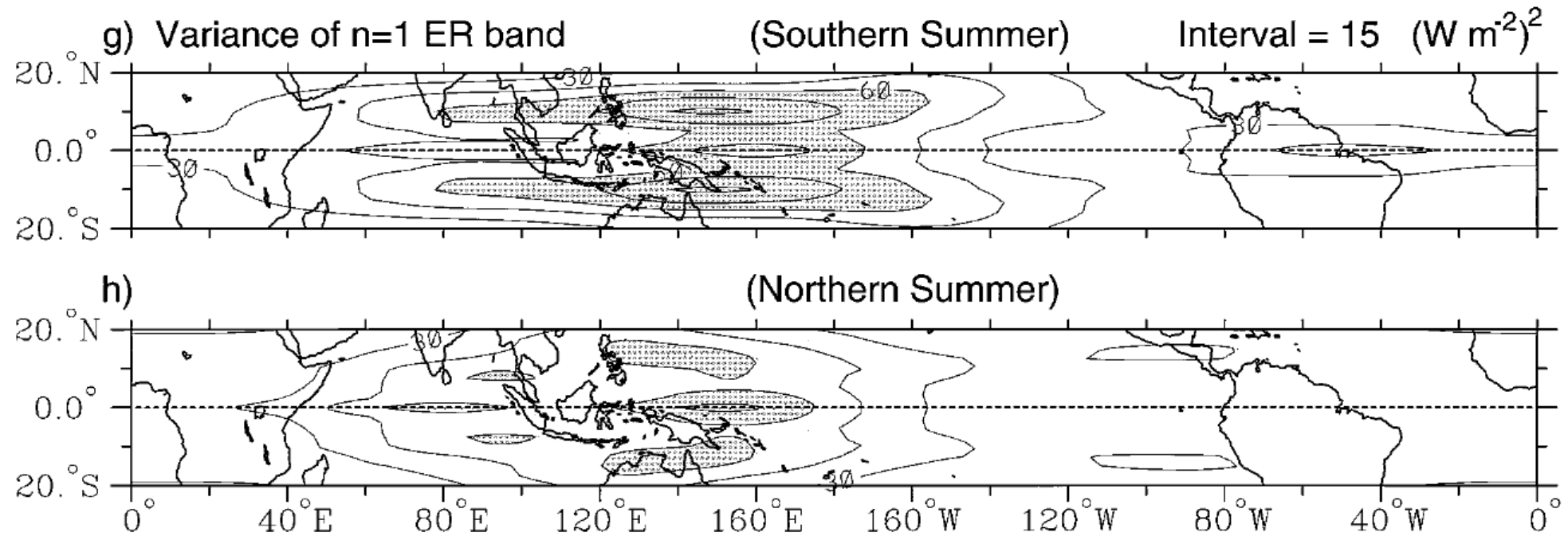


Сезонный ход МЖО

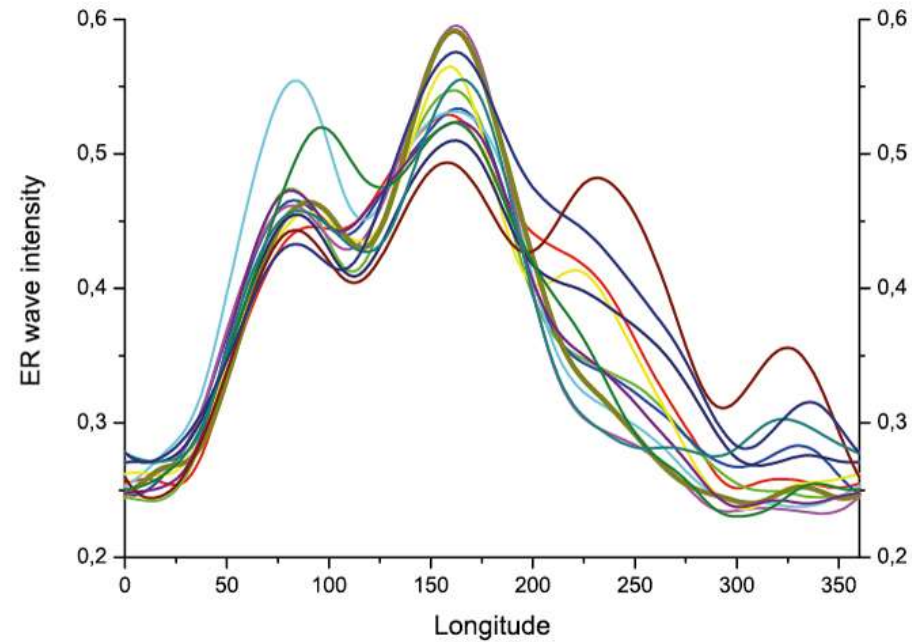
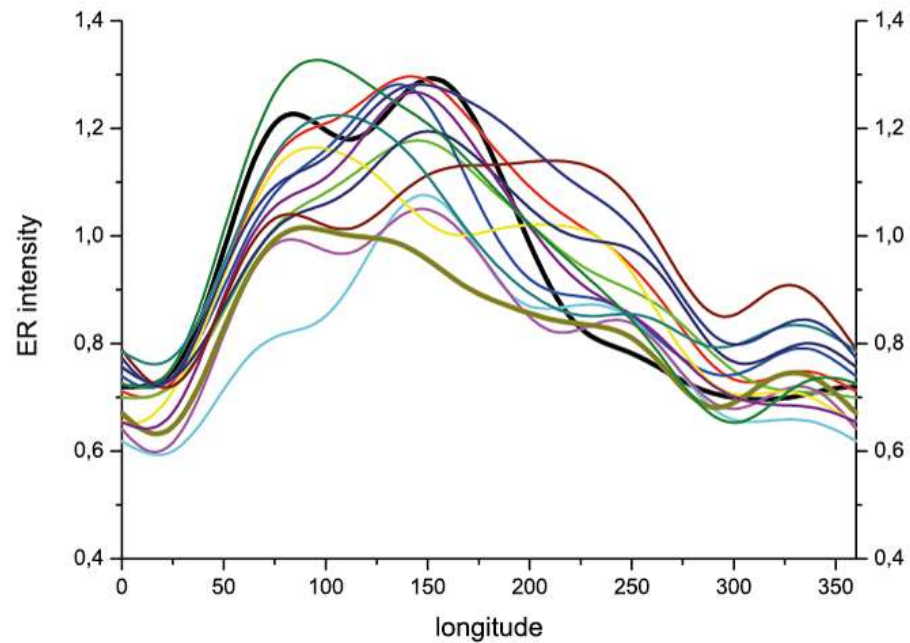


— NCEP-NCAR
— INM-CM5-0
— INM-CM6-L
— INM-CM6-L-NEW

Интенсивность волн Россби на экваторе



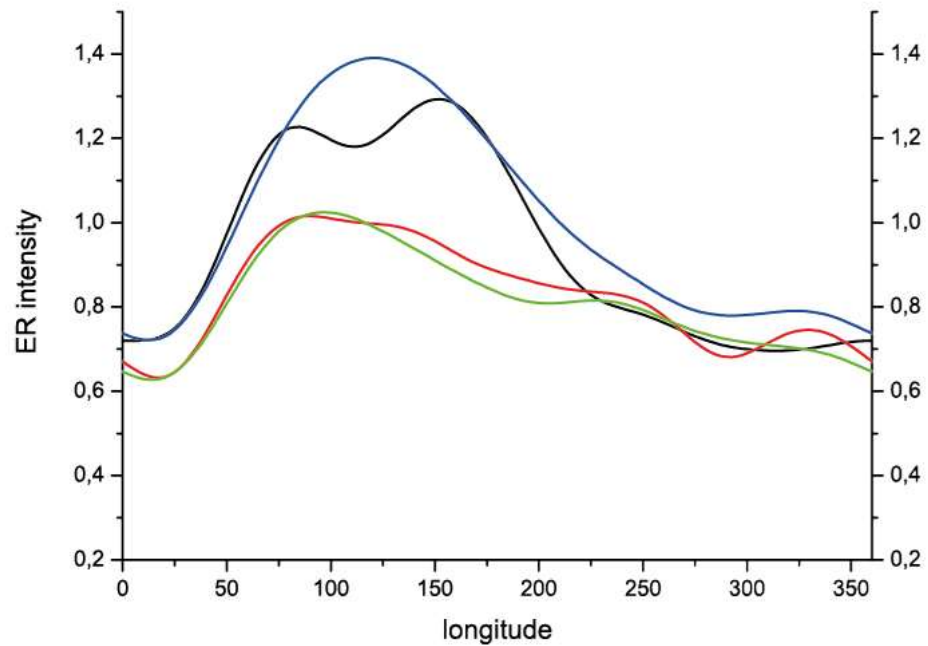
Интенсивность волн Россби на экваторе



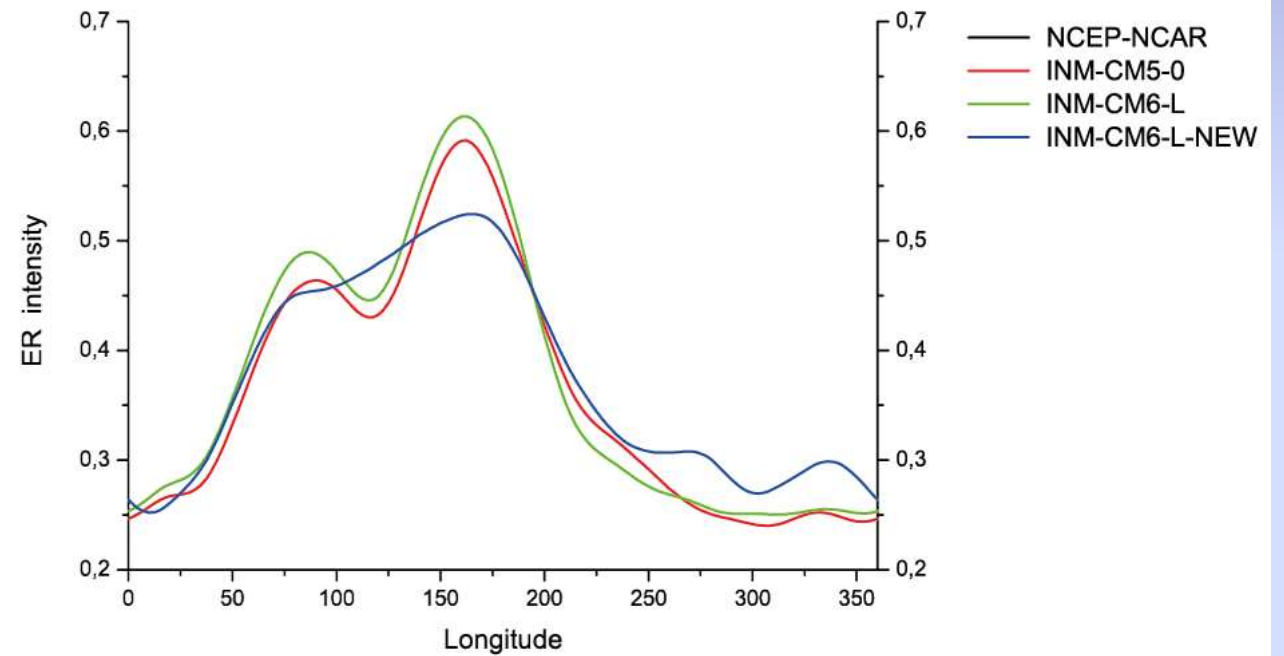
- NCEP/NCAR
- NorESM2-MM
- MRI-ESM2-0
- MPI-ESM1-2-LR
- MPI-ESM1-2-HR
- MIROC6
- IPSL-CM6A-LR
- INM-CM5-0
- HadGEM3-GC31-LL
- EC-Earth3
- CNRM-CM6-1
- CMCC-CM2-SR5
- CanESM5
- ACCESS-ESM1-5

Интенсивность волн Россби на экваторе

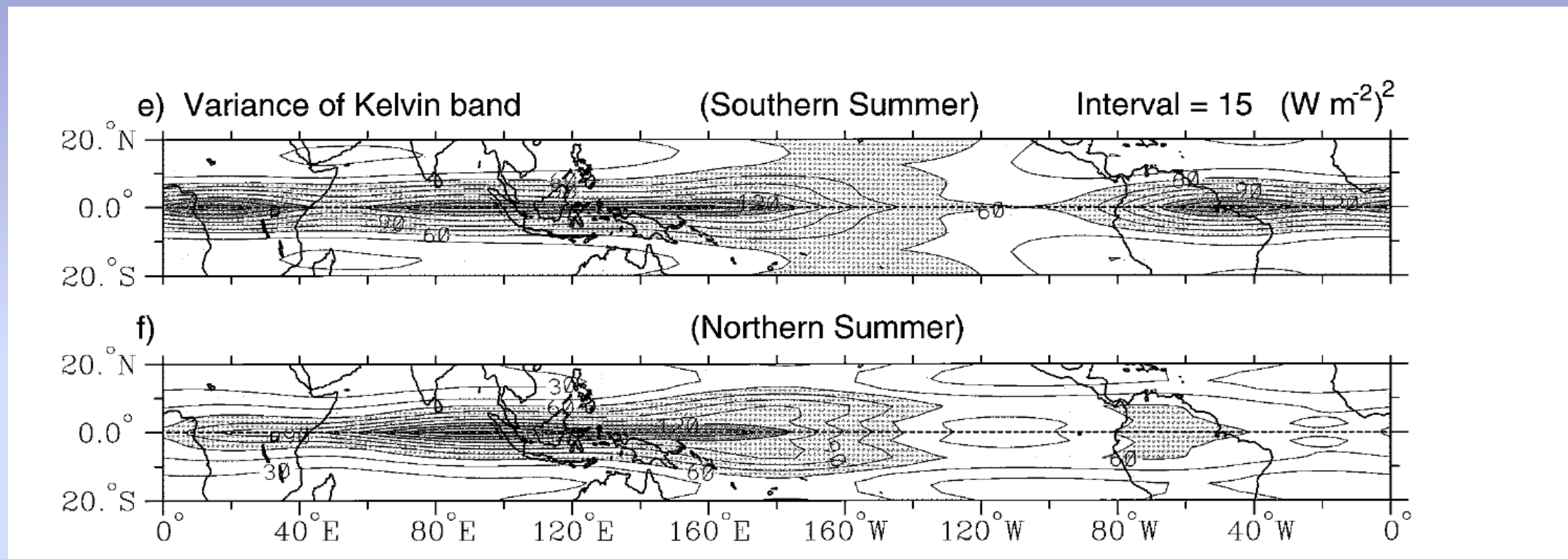
intensity



rms difference

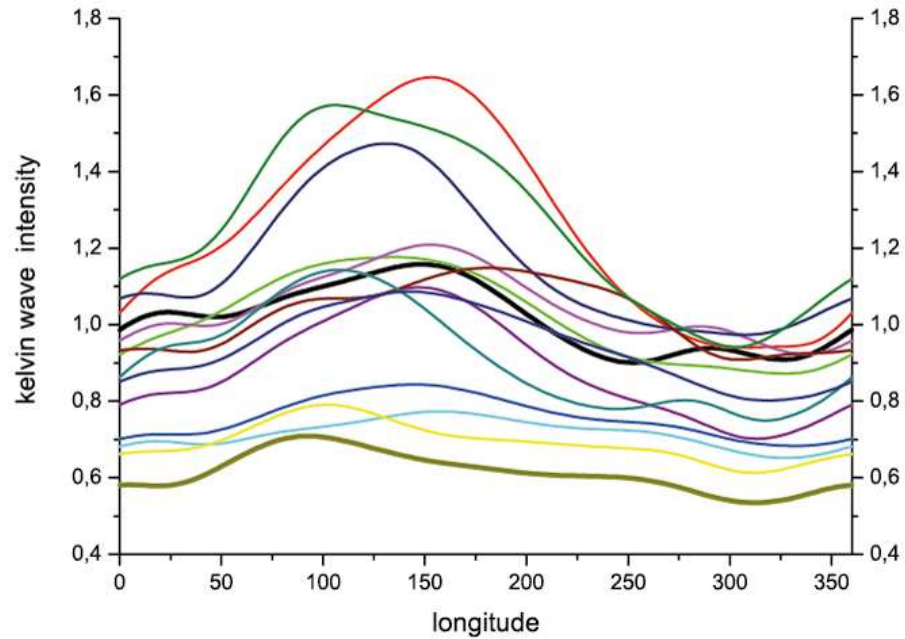


Интенсивность волн Кельвина на экваторе

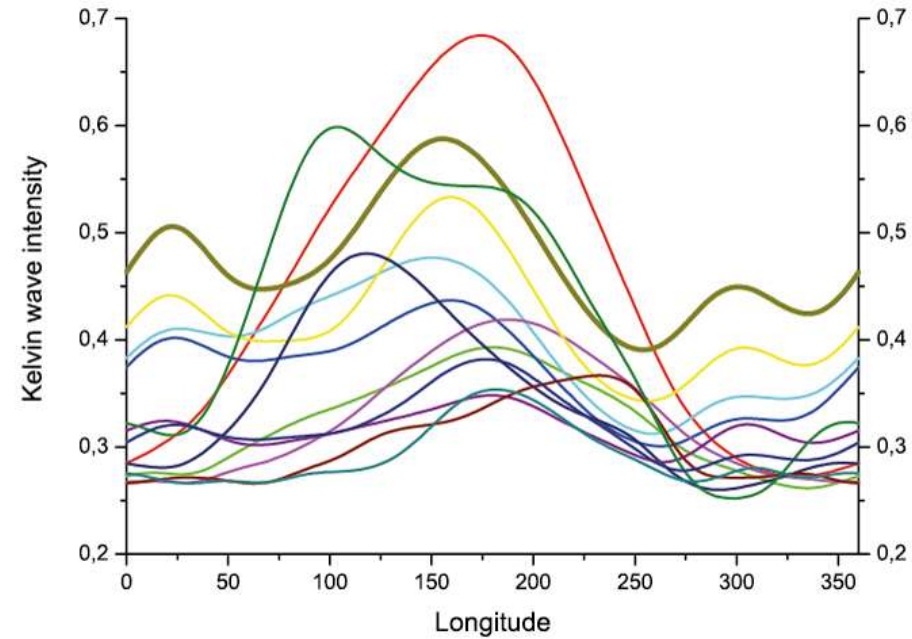


Интенсивность волн Кельвина на экваторе

intensity



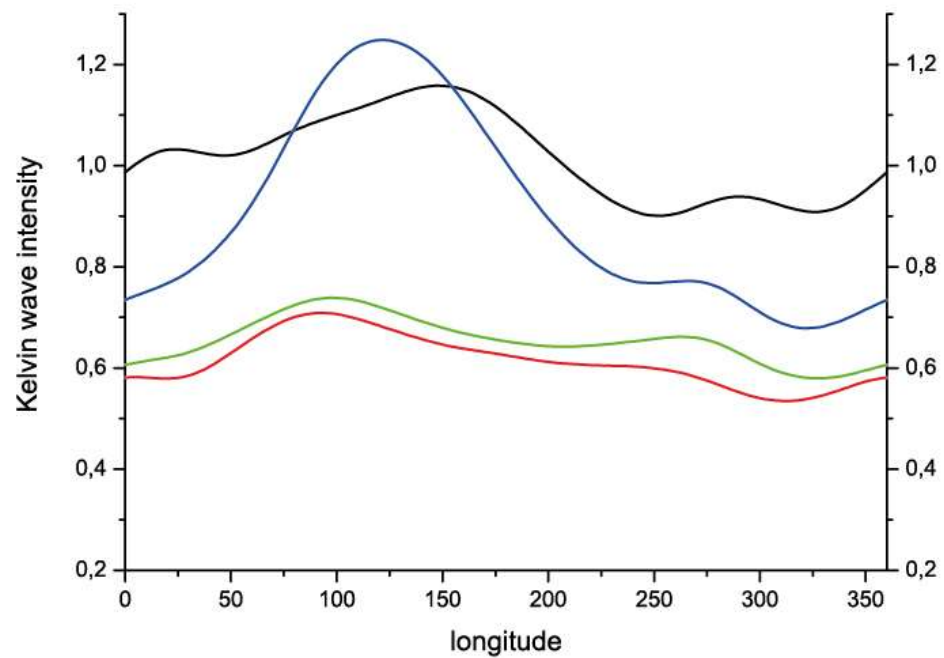
rms difference



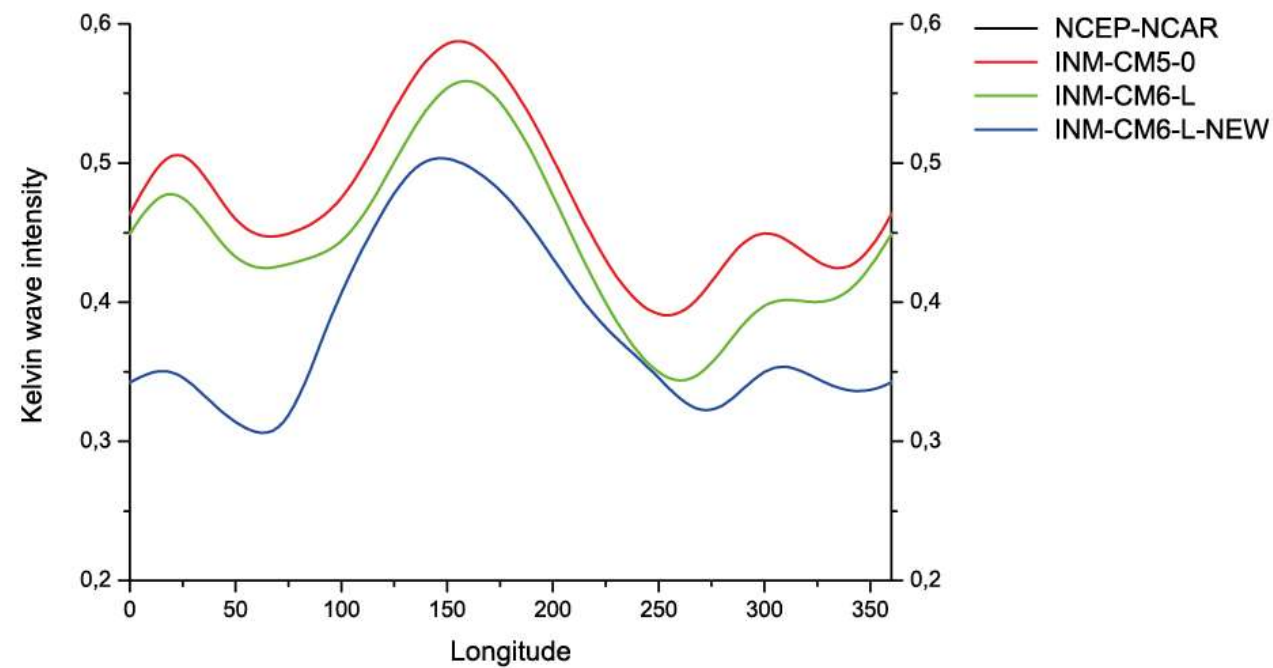
- NCEP/NCAR
- NorESM2-MM
- MRI-ESM2-0
- MPI-ESM1-2-LR
- MPI-ESM1-2-HR
- MIROC6
- IPSL-CM6A-LR
- INM-CM5-0
- HadGEM3-GC31-LL
- EC-Earth3
- CNRM-CM6-1
- CMCC-CM2-SR5
- CanESM5
- ACCESS-ESM1-5

Интенсивность волн Кельвина на экваторе

intensity

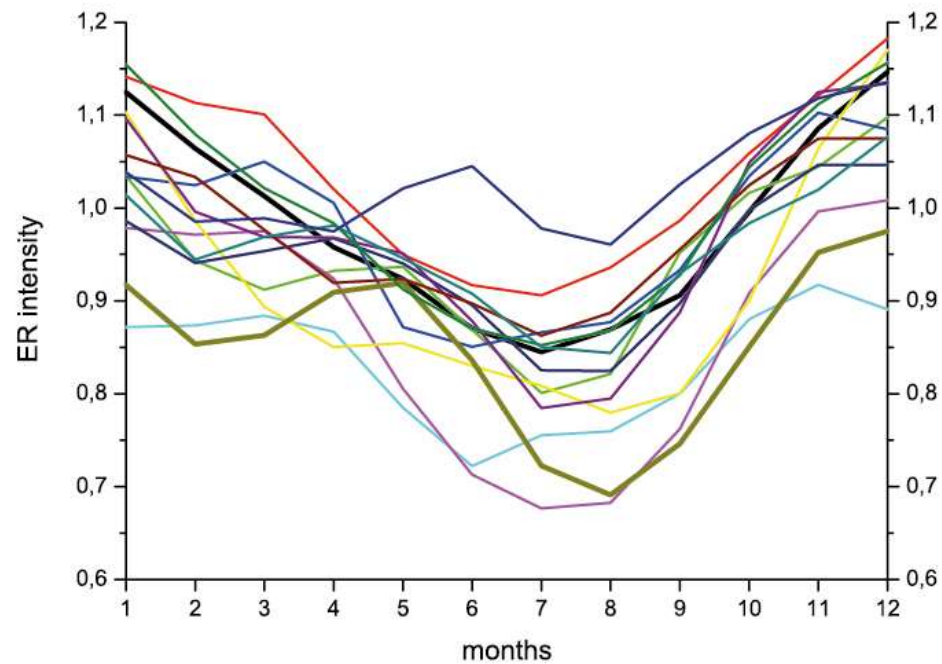


rms difference

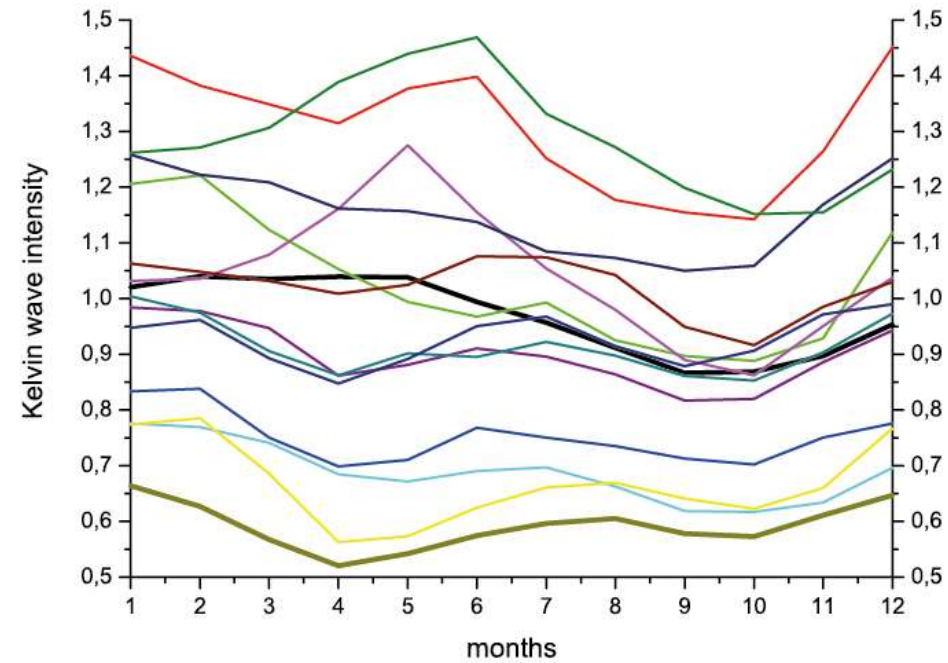


Сезонный ход волн Кельвина и Россби

Rossby

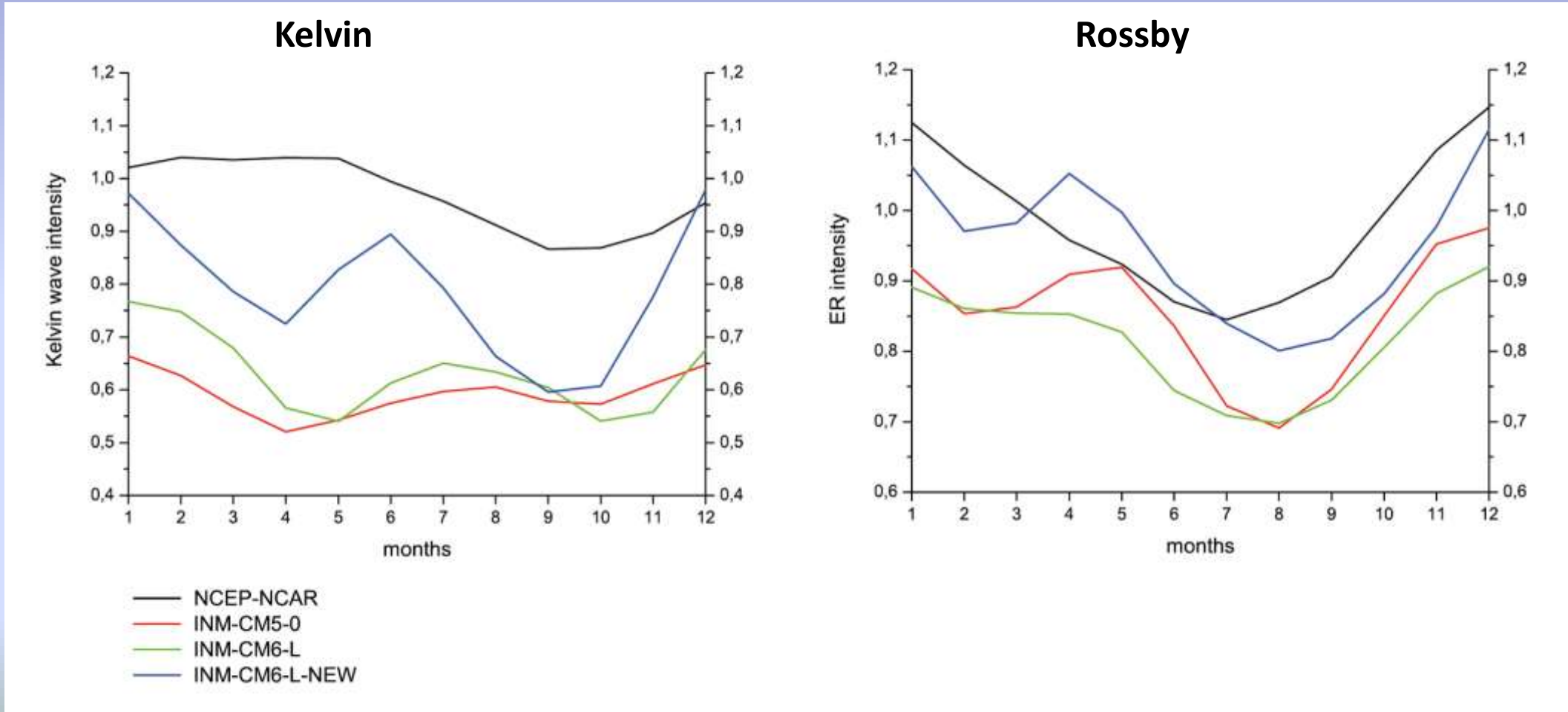


Kelvin

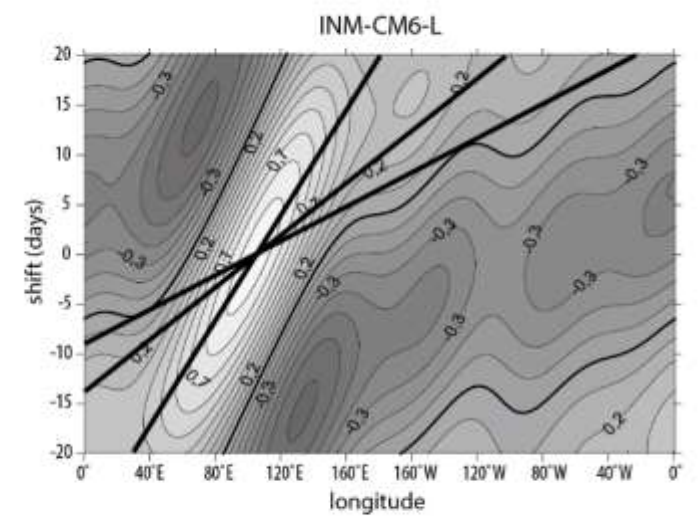
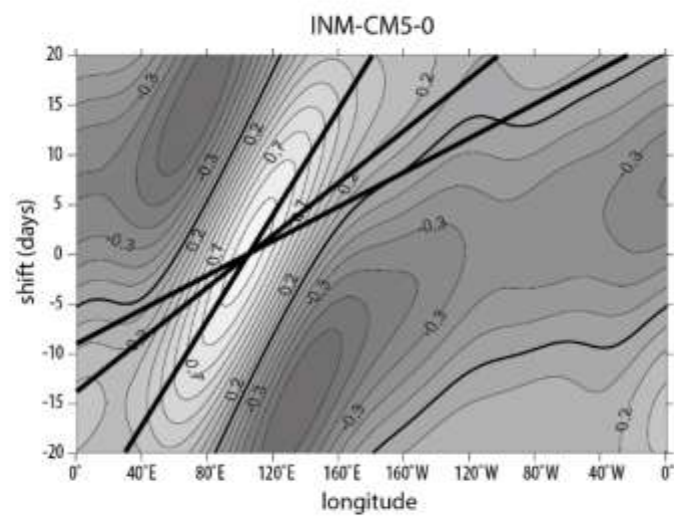
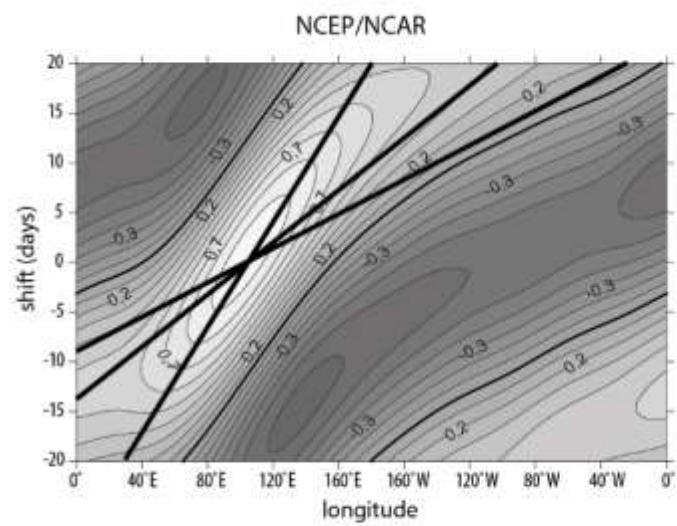


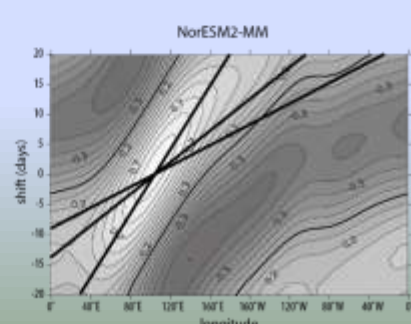
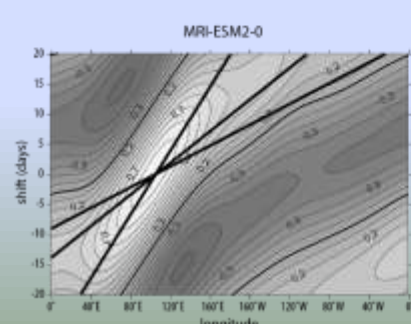
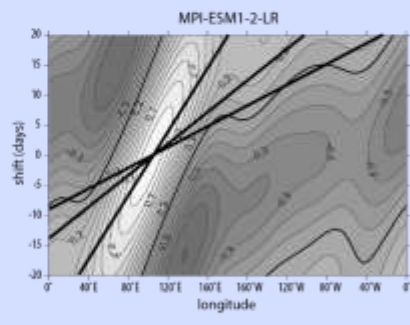
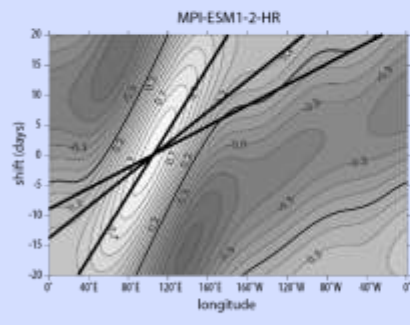
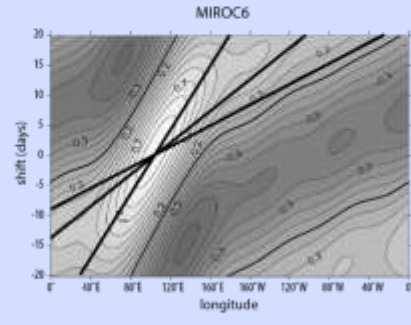
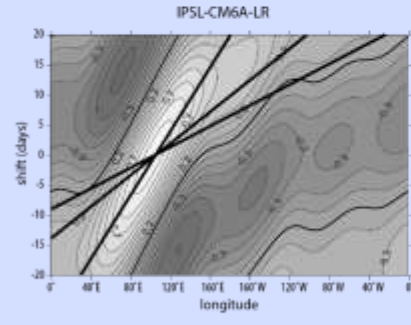
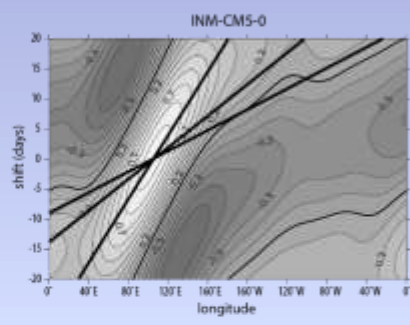
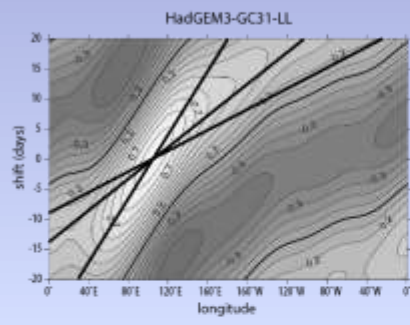
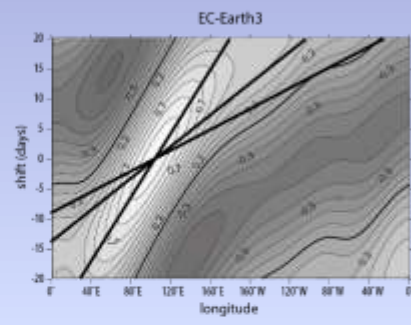
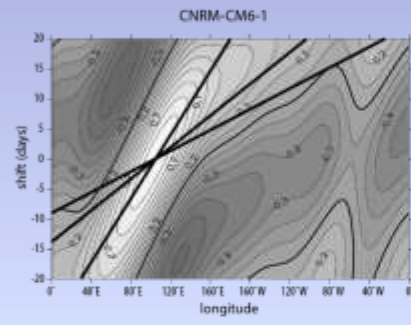
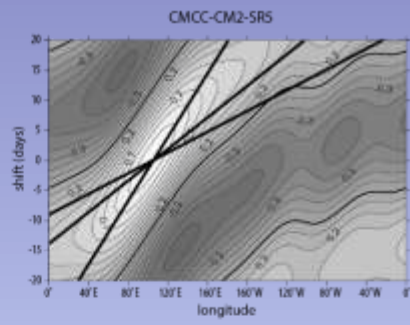
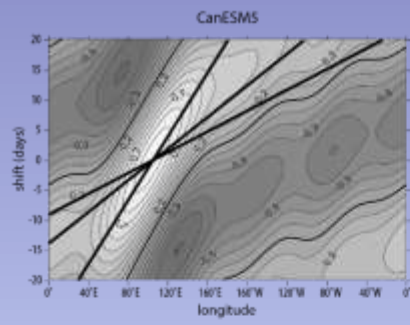
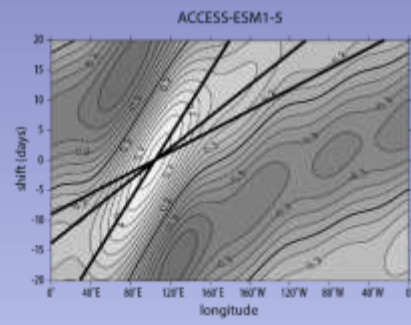
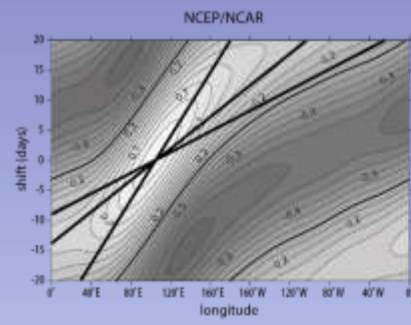
- NCEP/NCAR
- NorESM2-MM
- MRI-ESM2-0
- MPI-ESM1-2-LR
- MPI-ESM1-2-HR
- MIROC6
- IPSL-CM6A-LR
- INM-CM5-0
- HadGEM3-GC31-LL
- EC-Earth3
- CNRM-CM6-1
- CMCC-CM2-SR5
- CanESM5
- ACCESS-ESM1-5

Сезонный ход волн Кельвина и Россби



Распространение МЮ





Выводы

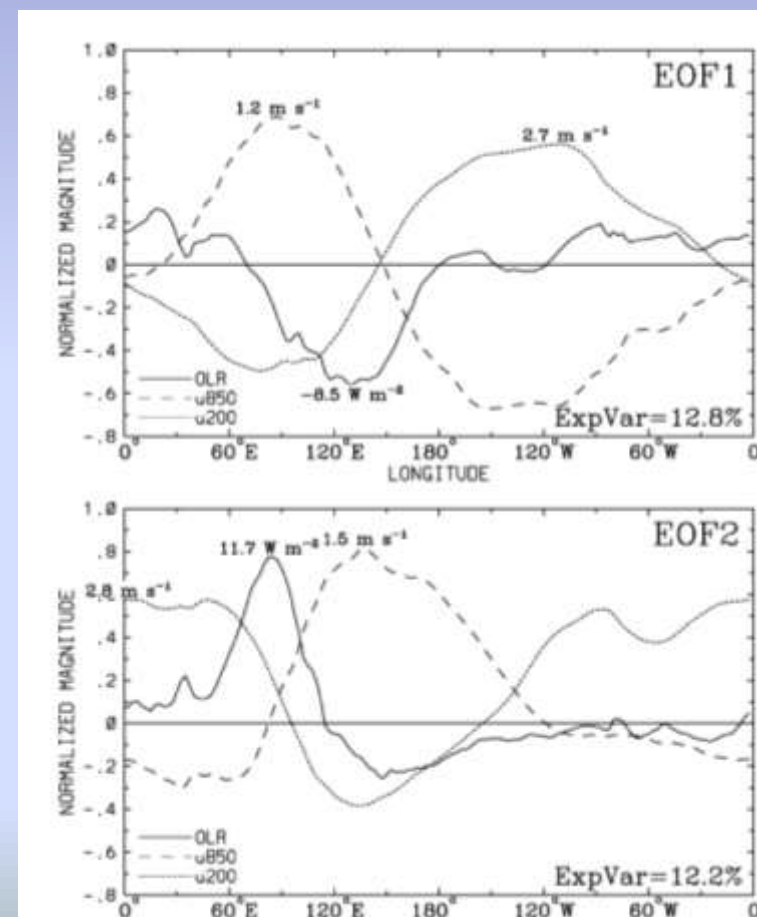
- Интенсивность ВТИ в модели INM существенно ниже, чем в реанализе
- В новой версии модели интенсивность МЮ даже несколько больше, чем в реанализе
- Сезонный ход МЮ реалистичный в Южном полушарии, плохой в Северном и на экваторе
- Сезонный ход интенсивности волн Кельвина и Россби не воспроизводится

Воспроизведение фазы и амплитуды Колебания Маддена-Джулиана

RMM (Real-time Multivariate MJO index):

Расчет ЭОФ комбинированных полей среднего зонального ветра на **850** и **200** гПа и уходящей длинноволновой радиации (**УДР**).

Временные ряды главных компонент при первых двух ЭОФ-ах (РС) представляют собой **RMM1** и **RMM2** индексы



(Wheeler and Hendon, 2004)

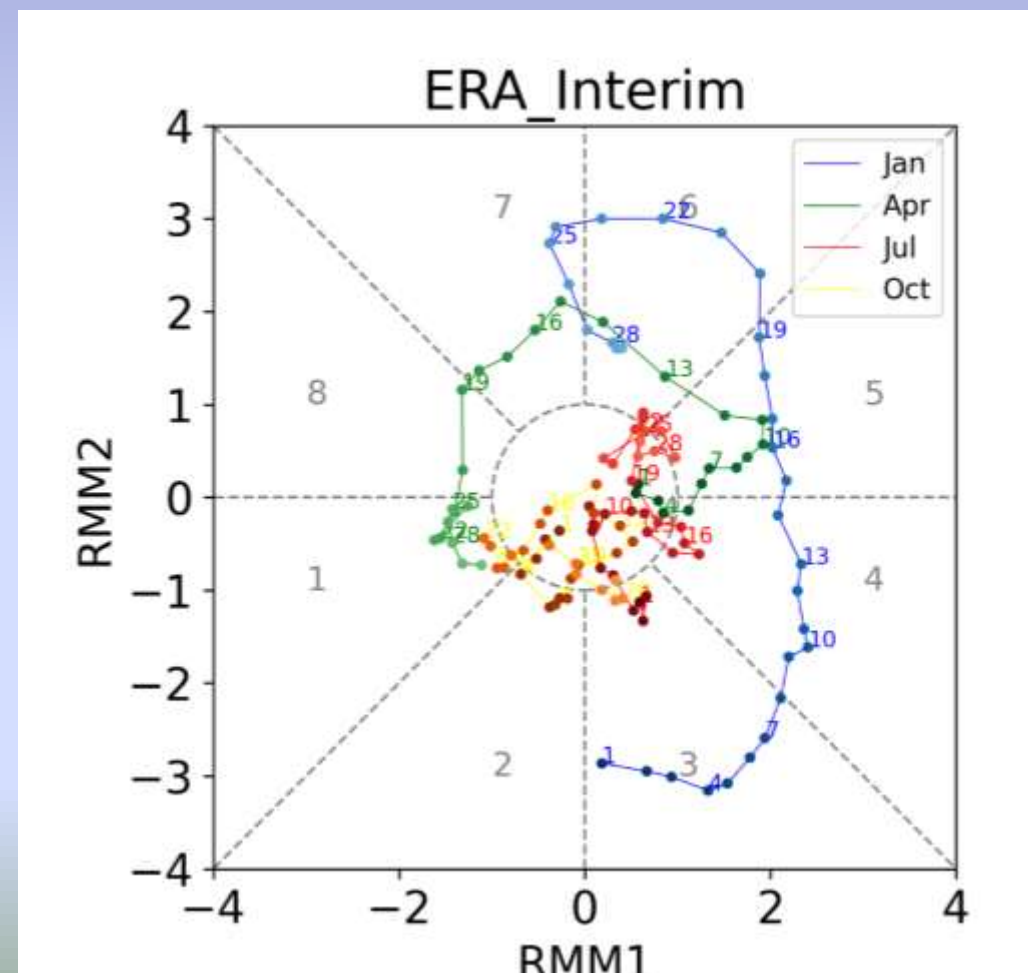
RMM index

Амплитуда (1) и фаза (2) МЮ рассчитывается как:

$$\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2} \quad (1)$$

$$\left[\tan^{-1} \left(\frac{RMM2}{RMM1} \right) \right] \quad (2)$$

Амплитудно фазовая диаграмма



- ERA-interim reanalysis за 1980-2021

- CMIP6 historical experiment:

4 версии модели INM :

- INM-CM5-0
- INM-CM6-L
- INM-CM6-L-NEW
- INM-CM6-M

Ежедневные данные:

- U850 U200 OLR

Холодное полугодие:

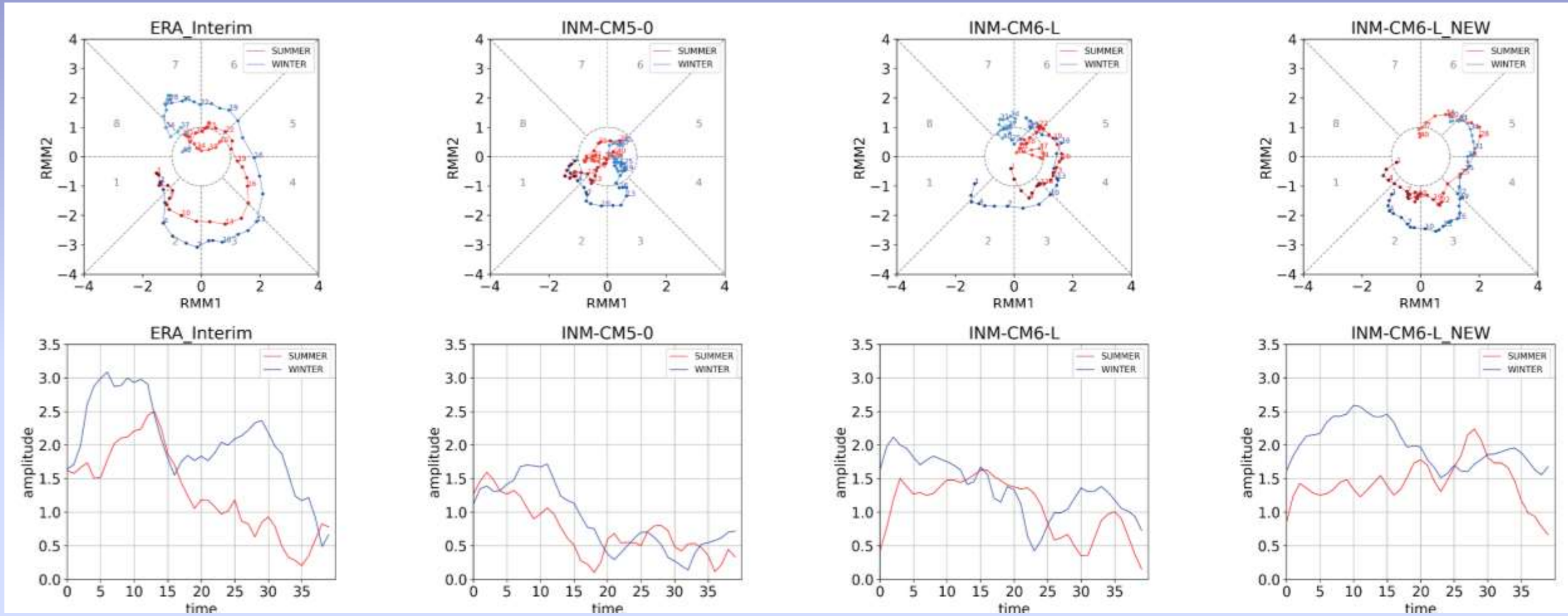
Ноябрь-апрель

Теплое полугодие:

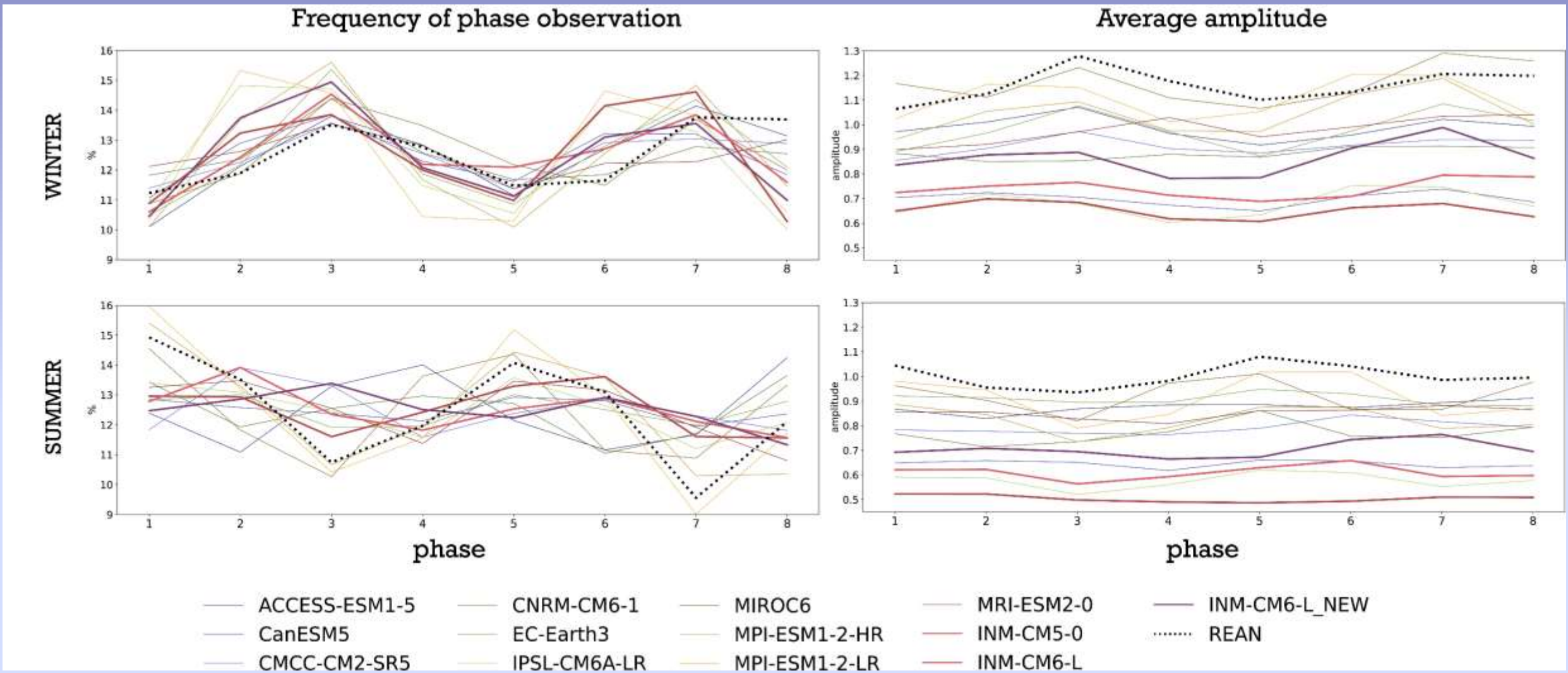
Май-октябрь

Модели CMIP6:

- CanESM5
- CMCC-CM2-SR5
- ACCESS-ESM1-5
- CNRM-CM6-1
- EC-Earth3
- IPSL-CM6A-LR
- MIROC6
- MPI-ESM1-2-HR
- MPI-ESM1-2-LR
- MRI-ESM2-0

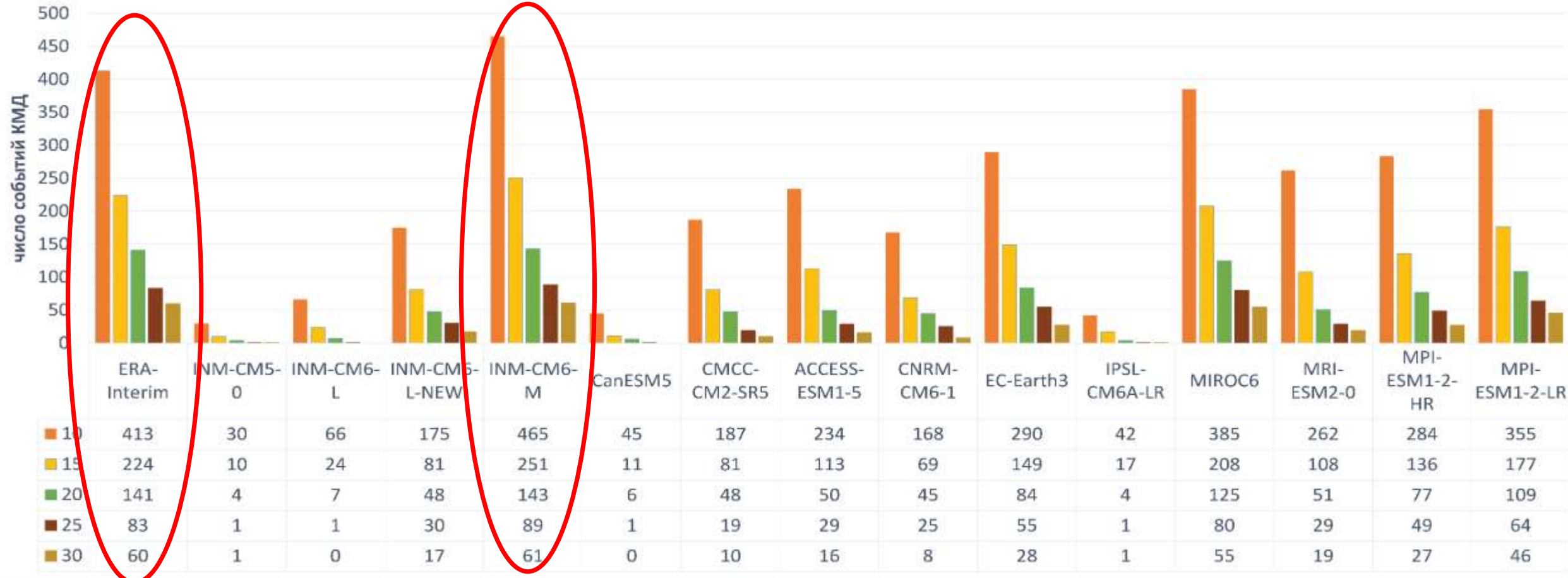


Амплитудно-фазовые диаграммы и временной ряд амплитуды МЮ amplitude для Северного полушария для теплого периода (красная кривая) и холодного периода (синяя кривая).



Частота повторяемости и амплитуда МЖО в разные фазы

Число случаев КМД разной продолжительности

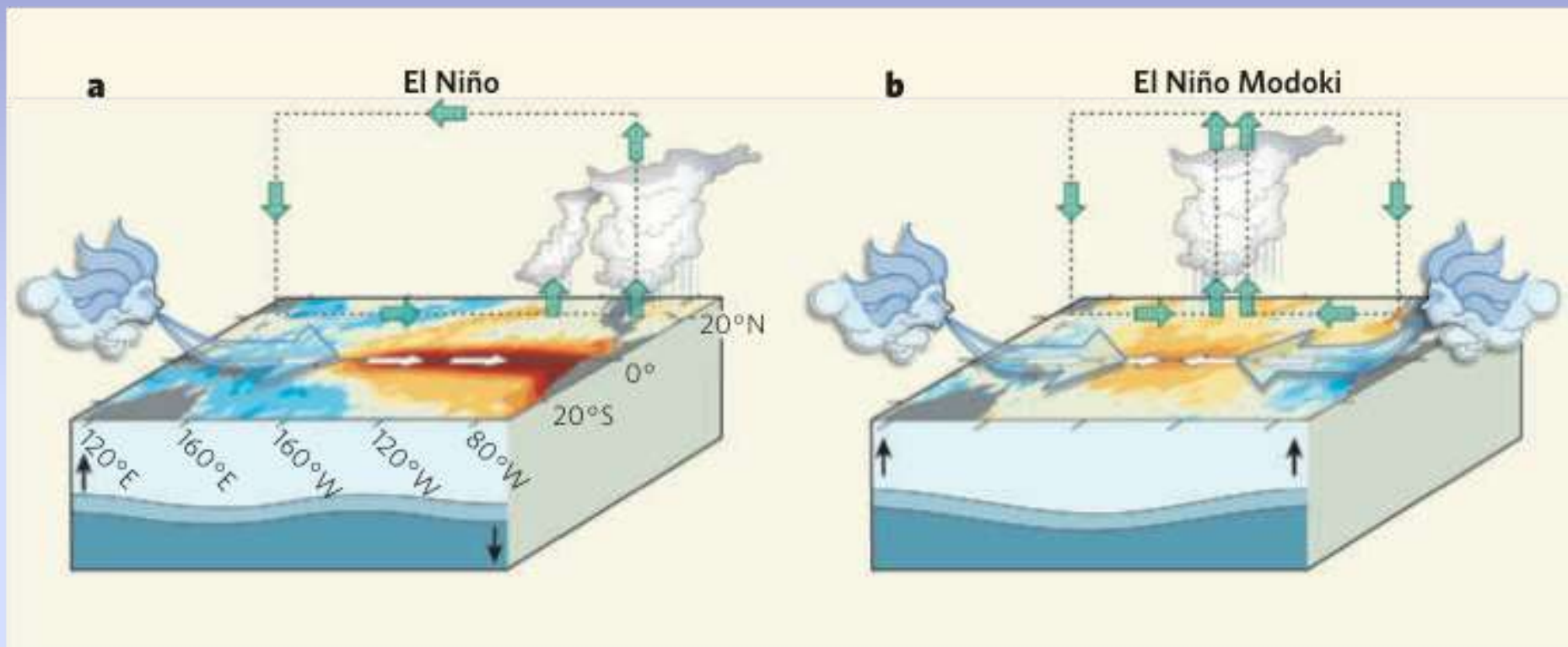


Выводы

- Во всех версиях модели ИВМ воспроизводится усиление МЮ зимой Северного полушария
- Модель INM воспроизводит восточное распространение МЮ
- В новой версии модели IMM (INM-CM6-L) конвективный центр ПЕРЕСЕКАЕТ ИНДОНЕЗИЮ
- Количество событий МЮ наконец-то приблизилось к реанализу

Каноническое Эль-Ниньо (Е индекс)

Эль-Ниньо Модоки (С индекс)



Для исследования способности моделей CMIP6 воспроизводить явление Эль-Ниньо применен метод, основанный на разложении месячных АТПО (ASST) в пределах 20°ю.ш. – 20°с.ш. и 120°в.д. – 90°з.д. по естественным ортогональным функциям (EOF):

$$ASST(lon, lat, t) = \sum_{i=1}^I PC_i(t) \cdot EOF_i(lon, lat)$$

Как известно, первой моде EOF_1 соответствует структура АТПО при ВТ Эль-Ниньо, а второй моде EOF_2 – структура АТПО при ЦТ Эль-Ниньо.

Временные коэффициенты (PC – principal coefficients) для первой и второй моды EOF разложения аномалии температуры поверхности океана связаны квадратичным выражением:

$$PC_2(t) = \alpha \cdot PC_1^2(t) + \beta \cdot PC_1(t) + \gamma$$

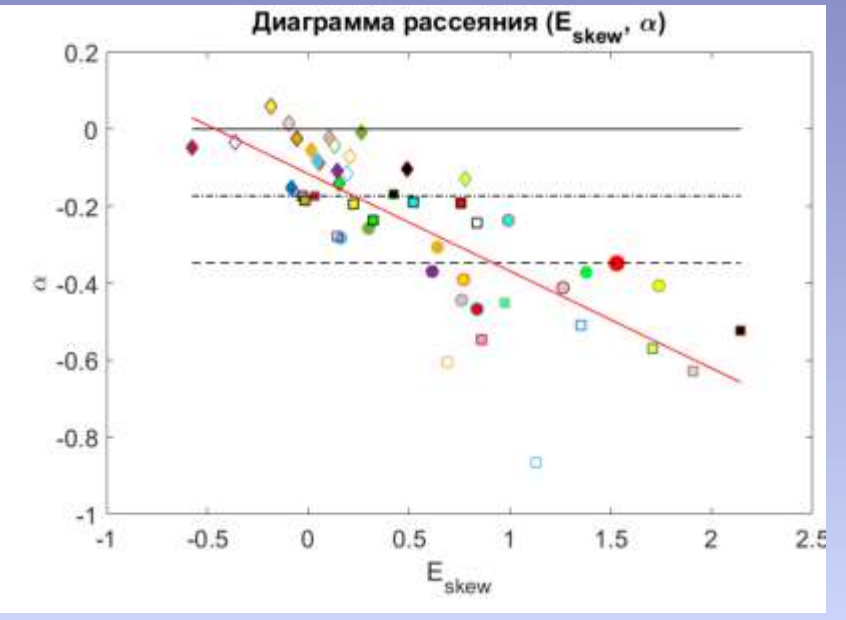
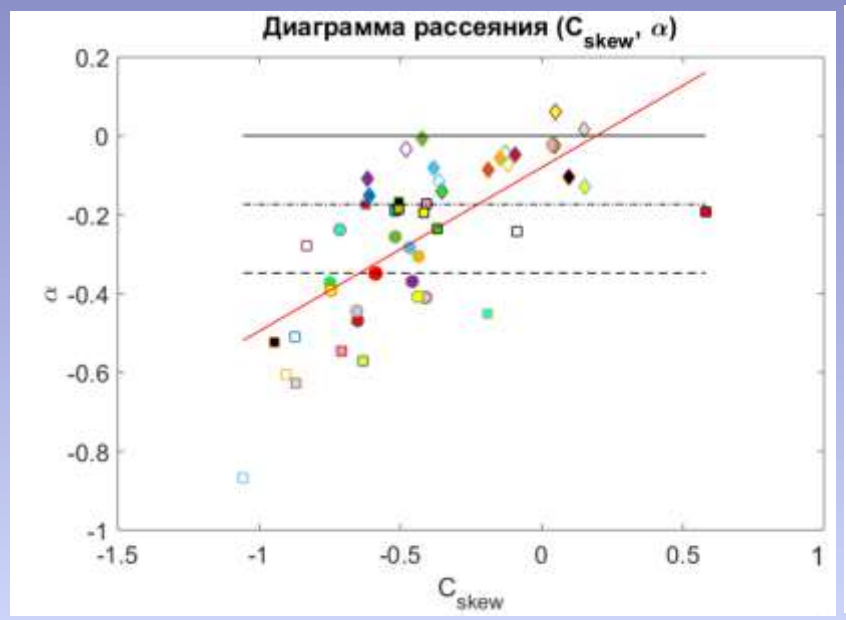
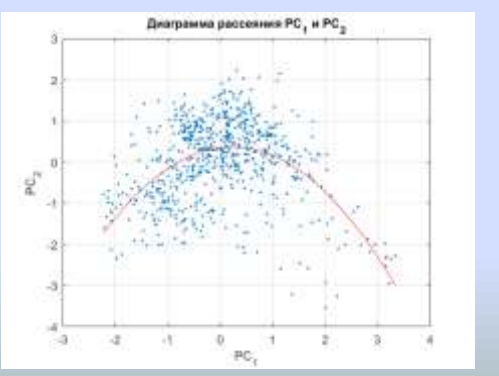
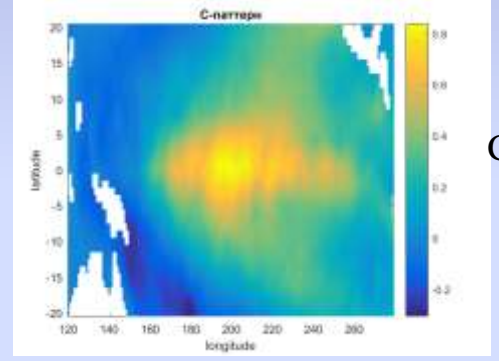
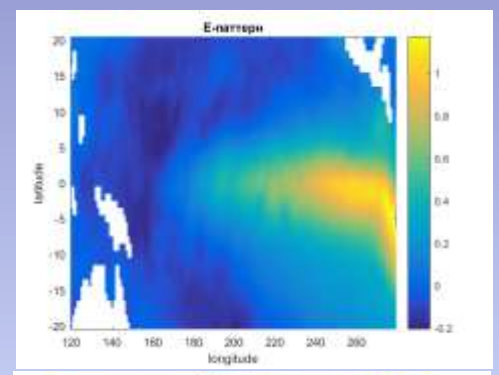
Величина α является мерой различия между Эль-Ниньо ЦТ и ВТ типа. Как показано в ряде исследований, ВТ Эль-Ниньо хорошо описывается индексом E, а ЦТ Эль-Ниньо – индексом C:

$$E = \frac{PC_1 - PC_2}{\sqrt{2}} \qquad C = \frac{PC_1 + PC_2}{\sqrt{2}}$$

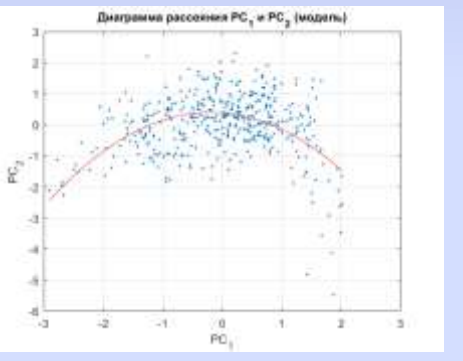
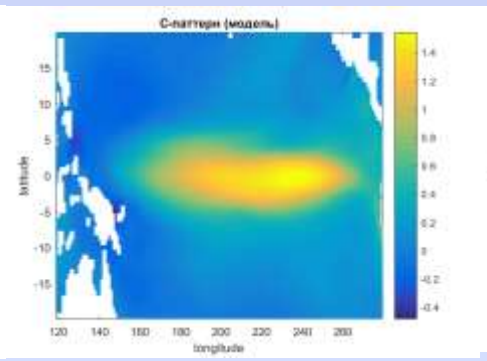
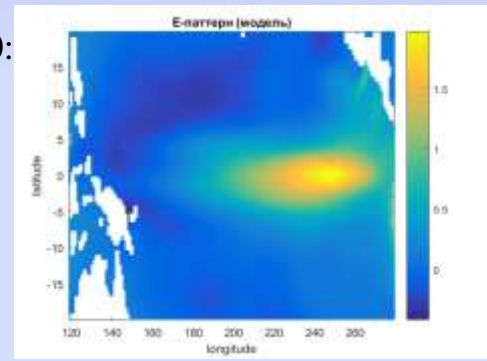
Соответствующая структура АТПО описывается E и C паттернами:

$$ASST(lon, lat, t) = E(t) \cdot E_{patt}(lon, lat) + C(t) \cdot C_{patt}(lon, lat) + \dots$$

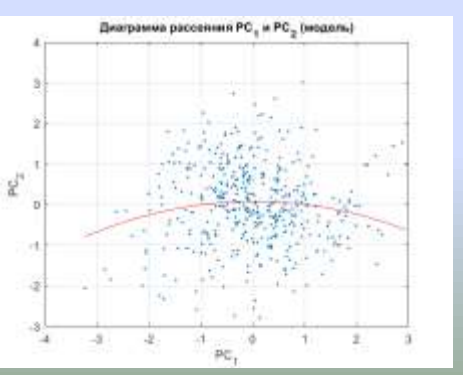
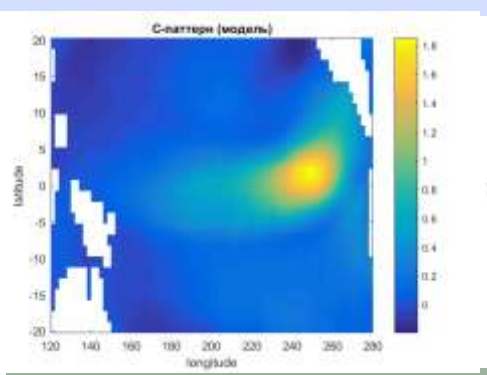
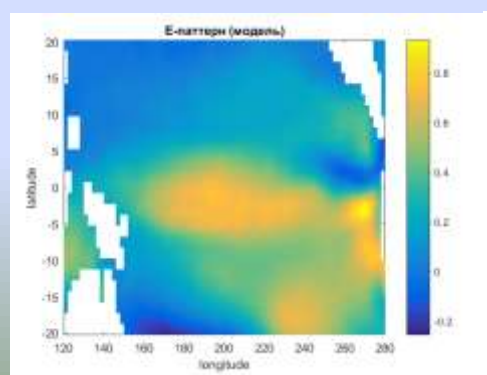
Реанализ:



CAMS-CSM1-0:



INMCM6L:



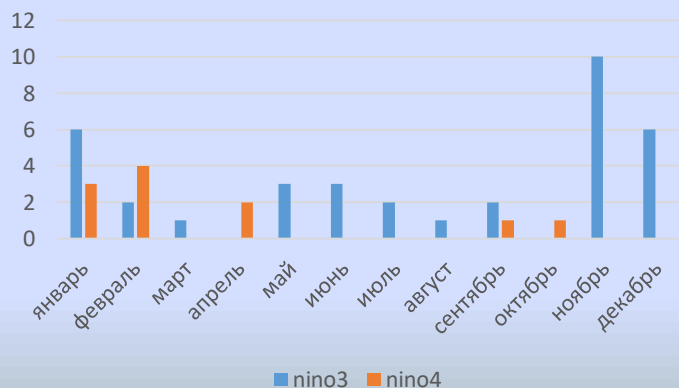
- реанализ
- ◆ ACCESS-CM2
- ◻ ACCESS-ESM1-5
- ◻ BCC-CSM2-MR
- BCC-ESM1
- CAMS-CSM1-0
- ◆ CanESM5
- CAS-ESM2-0
- CESM2
- ◻ CESM2-FV2
- ◻ CESM2-WACCM
- ◻ CESM2-WACCM-FV2
- CI-ESM
- ◻ CMCC-CM2-HR4
- ◻ CMCC-CM2-SR5
- ◻ CMCC-ESM2
- E3SM-1-0
- ◆ E3SM-1-1
- ◻ E3SM-1-1-ECA
- ◻ FGOALS-f3-L
- ◻ FGOALS-g3
- ◻ FIO-ESM-2-0
- GFDL-CM4
- ◆ GFDL-ESM4
- ◆ GISS-E2-1-G
- ◆ GISS-E2-1-G-CC
- ◆ GISS-E2-1-H
- ◆ GISS-E2-2-H
- ◆ IITM-ESM
- IPSL-CM6A-LR
- ◆ IPSL-CM6A-LR-INCA
- KACE-1-0-G
- ◆ KIOST-ESM
- ◻ MCM-UA-1-0
- ◻ MIROC6
- ◻ MPI-ESM1-2-HAM
- ◆ MPI-ESM1-2-HR
- ◻ MPI-ESM1-2-LR
- MRI-ESM2-0
- ◻ NESM3
- ◻ NorCPM1
- ◻ NorESM2-LM
- ◆ NorESM2-MM
- SAM0-UNICON
- TaiESM1
- ◆ UKESM1-0-LL
- UKESM1-1-LL
- ◆ INMCM6L

Воспроизводимость моделями явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья

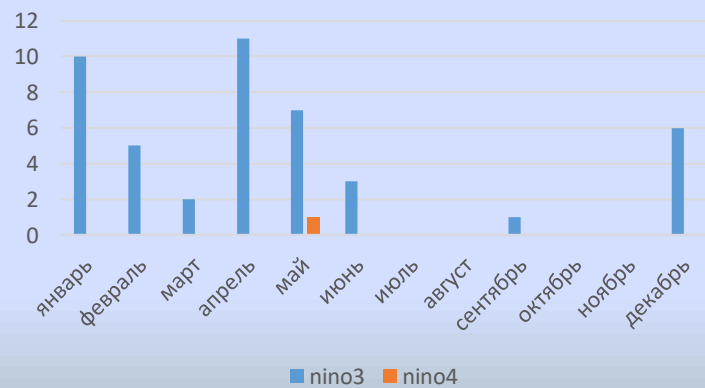
Модель	Кол-во ВТ Эль- Ниньо	Средняя продол- житель- ность (месяцы)	Повто- ряемость (число событий за 10 лет)	Кол-во ЦТ Эль- Ниньо	Средняя продол- житель- ность (месяцы)	Повто- ряемость (число событий за 10 лет)	Кол-во ВТ Ла- Нинья	Средняя продол- житель- ность (месяцы)	Повто- ряемость (число событий за 10 лет)	Кол-во ЦТ Ла- Нинья	Средняя продол- житель- ность (месяцы)	Повто- ряемость (число событий за 10 лет)
Реанализ HadISST_sst	36	7.9	2.5	11	3.9	0.8	32	6.6	2.2	18	5.3	1.2
CAMS-CSM1-0	45	8.4	3.1	1	3	0.1	44	8.0	3.0	5	3	0.3
INMCM6L	28	4.4	1.9	28	4.0	1.9	37	3.9	2.5	29	3.7	2.0

Распределение событий ВТ и ЦТ Эль-Ниньо по месяцам

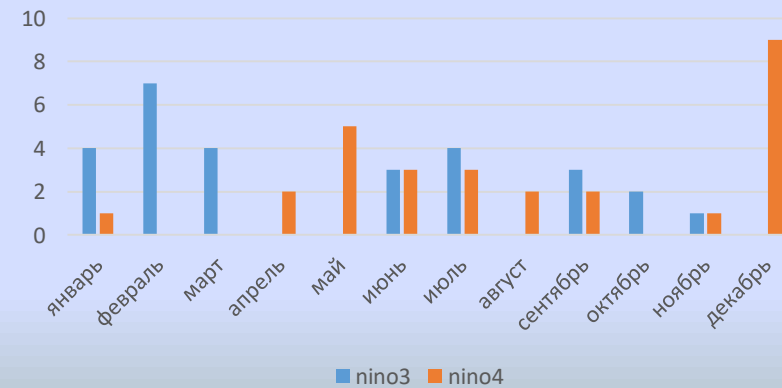
Реанализ HadISST



CAMS-CSM1-0



INMCM6L



Выводы

- Модель INM не воспроизводит асимметрию ЭНЮК: сильные восточные Эль-Ниньо и сильные центральные Ла-Нинья
- В новой версии модели асимметрия воспроизводится лучше
- Количество ВТ Эль-Ниньо и Ла-Нинья близко к реанализу, количество ЦТ событий очень маленькое
- Продолжительность событий существенно меньше, чем в реанализе
- В новой версии модели более реалистичное распределение по сезонам (максимум зимой Северного полушария)

Бюджет тепла верхнего перемешанного слоя океана

$$\frac{\partial [T']}{\partial t} = ADV_{XY} + ADV_Z + NDH + Q'_{net} + R$$

$$ADV_{XY} \equiv \left[-u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} - \bar{u} \frac{\partial T'}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial T'}{\partial y} \right]$$

$$ADV_Z \equiv \left[-w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} - \bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z} \right]$$

$$NDH \equiv \left[-u' \frac{\partial T'}{\partial x} - v' \frac{\partial T'}{\partial y} - w' \frac{\partial T'}{\partial z} + \overline{u' \frac{\partial T'}{\partial x}} + \overline{v' \frac{\partial T'}{\partial y}} + \overline{w' \frac{\partial T'}{\partial z}} \right]$$

ADV_{XY} - горизонтальная адвекция

[Takahashi and Dewitte., 2016]

ADV_Z - вертикальная адвекция

NDH – нелинейный динамический нагрев

Q'_{net} - поток тепла между океаном и атмосферой

R – остаточный член

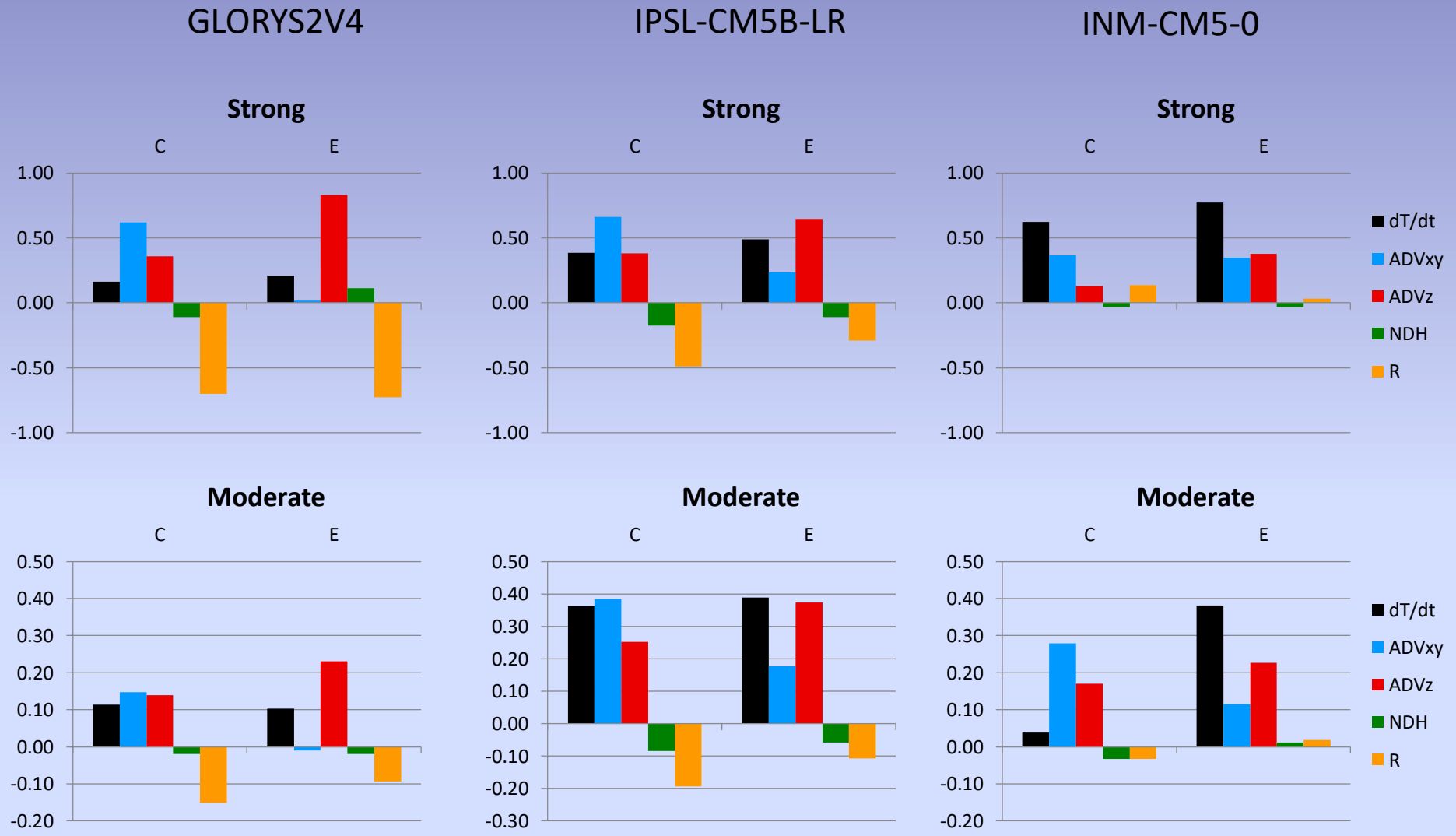
Обратные связи, обеспечивающие эволюцию АТПО

$$\frac{\partial T'}{\partial t} \approx -u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} - \bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z}$$

[Jin et al., 2006]

Обратные связи:

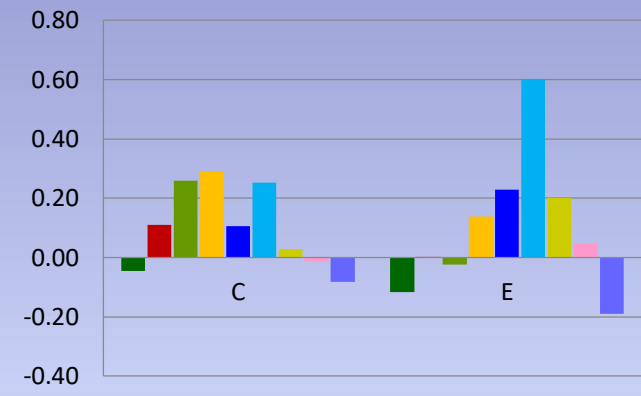
- $-u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}$ - зональная адвективная
- $-w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$ - экмановская (через апвеллинг)
- $-\bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z}$ - термоклинная



Проекция составляющих бюджета тепла на индексы E и C в период развития сильных и умеренных Эль-Ниньо

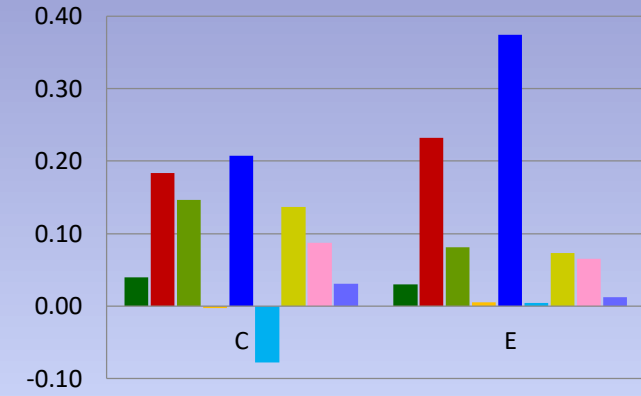
Reanalysis

Strong, Jul-Jan

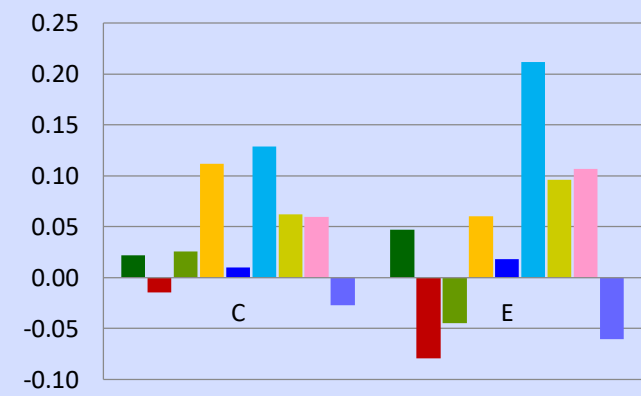


INM-CM5-0

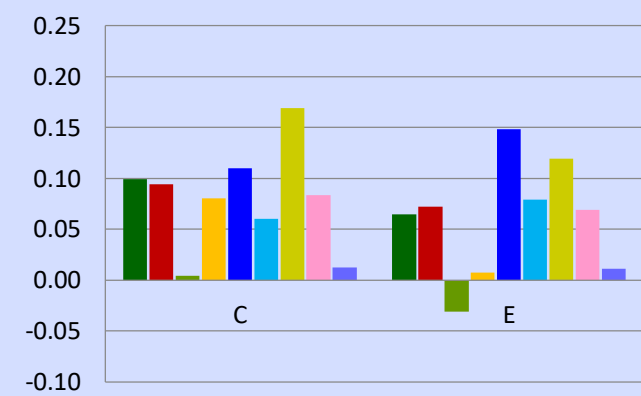
Strong, Jul-Jan



Moderate, Jul-Jan



Moderate, Jul-Jan



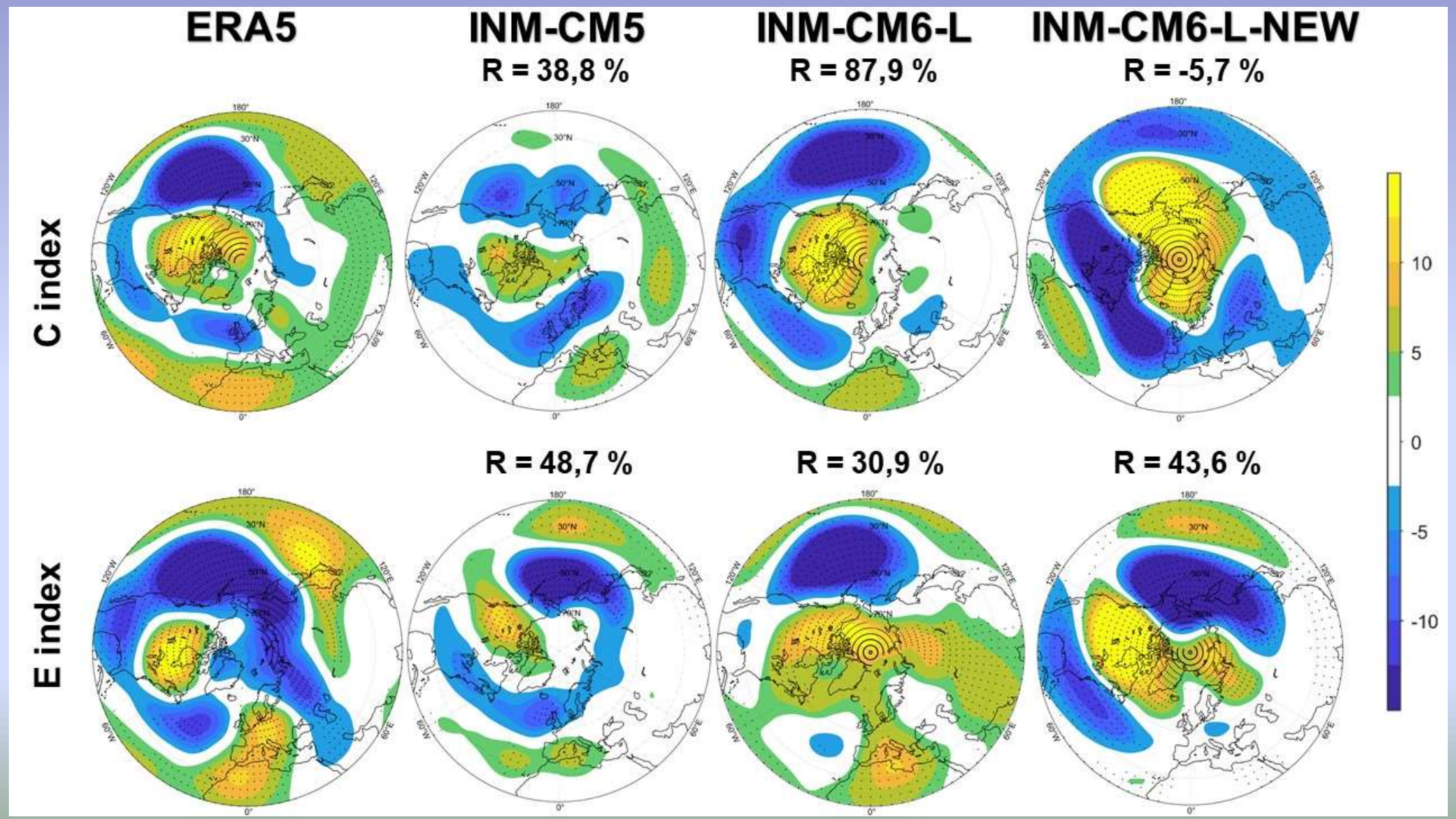
- $-u'd\bar{T}/dx$
- $-v'd\bar{T}/dy$
- $-\bar{u}dT'/dx$
- $-\bar{v}dT'/dy$
- $-w'd\bar{T}/dz$
- $-\bar{w}dT'/dz$
- $-u'dT'/dx$
- $-v'dT'/dy$
- $-w'dT'/dz$

Проекции составляющих бюджета тепла на индексы E и C в период развития сильных и умеренных Эль-Ниньо

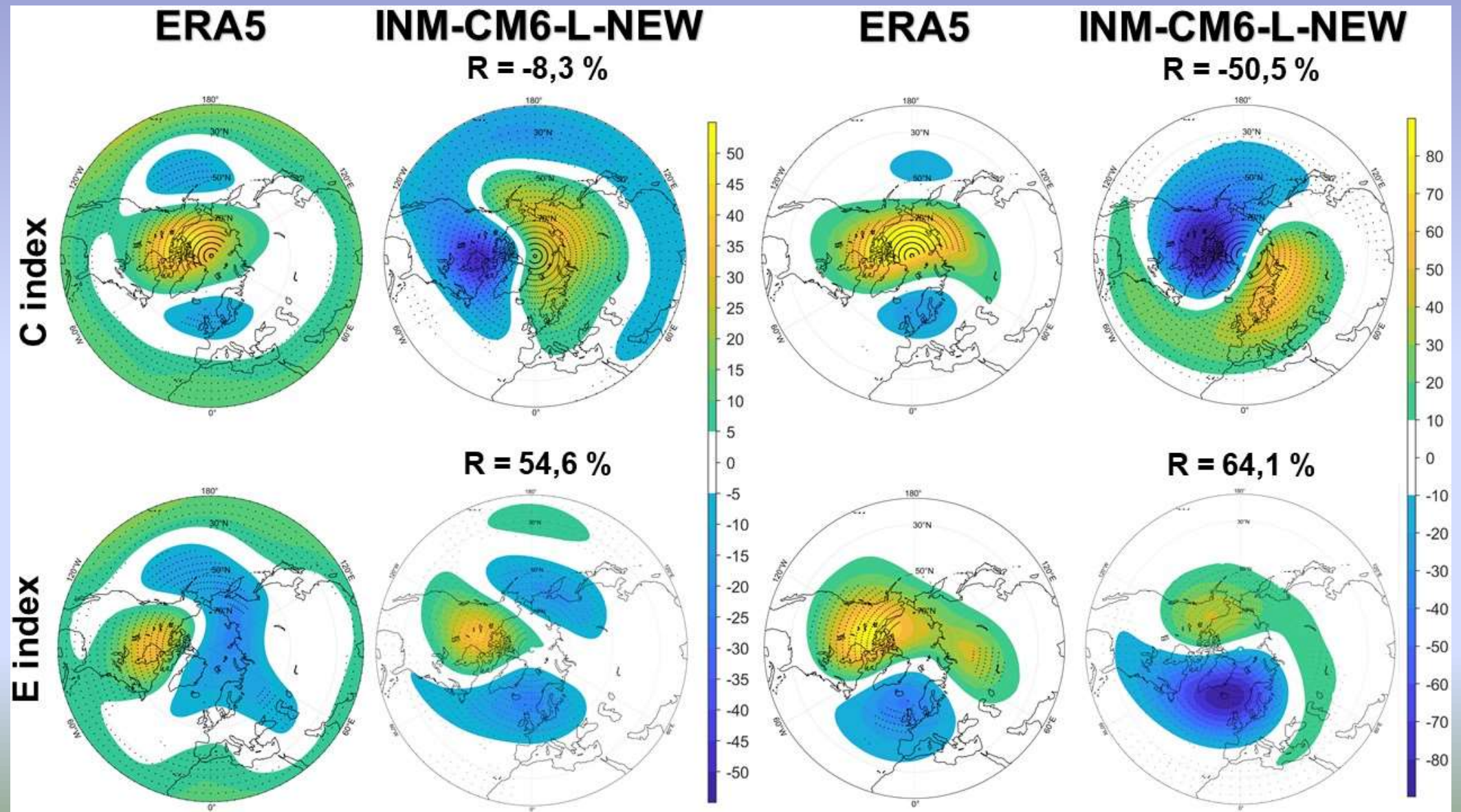
Выводы

- Воспроизводит доминирующий вклад зональной адвекции в С-моду для сильных Эль-Ниньо
- Не воспроизводит доминирующий вклад вертикальной адвекции в Е-моду для сильных Эль-Ниньо
- Не воспроизводит дэмпинг за счет остаточного члена
- Слишком интенсивный нагрев
- Переоценка зональной адвективной связи
- Не воспроизводится вклад термоклинной связи (которая должна быть главной)
- Переоценен вклад связи через апвеллинг – т.е. вертикальная адвекция тепла идет не через заглублиение термоклина, а через ослабление подъема холодных глубинных вод

Регрессия аномалий геопотенциала в декабре, январе, феврале на два типа Эль-Ниньо H500



Регрессия аномалий геопотенциала в декабре, январе, феврале на два типа Эль-Ниньо по данным реанализа и моделей INM-CM5-0, INM-CM6-L и INM-CM6-L-NEW
H70 H10



Методика расчета трехмерного потока волновой активности Алгоритм Пламба (Plumb, 1985)

$$\vec{F}_s = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \frac{p}{p_0} \cos\varphi \begin{pmatrix} v'^2 - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(v'\Phi')}{\partial\lambda} \\ -u'v' + \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(u'\Phi')}{\partial\lambda} \\ \frac{2\Omega \sin\varphi}{s} \left[v'T' - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(T'\Phi')}{\partial\lambda} \right] \end{pmatrix},$$

$$S = \frac{\partial \tilde{T}}{\partial z} + \frac{k \tilde{T}}{H},$$

$$z = -H \ln p,$$

$$k = -\frac{R}{C_p},$$

где p – атмосферное давление; $p_0 = 1000$ гПа;

Ω – угловая скорость вращения Земли;

λ – долгота; φ – широта; a – радиус Земли;

S – параметр статической устойчивости

$u' = u - \bar{u}$ – возмущение зональной скорости (отклонение от среднего по долготе значения)

$v' = v - \bar{v}$ – возмущение меридиональной скорости;

$T' = T - \bar{T}$ – возмущение температуры;

$\Phi' = \Phi - \bar{\Phi}$ – возмущение геопотенциала,

$2\Omega \sin\varphi$ – переносный вихрь (параметр Кориолиса).

\tilde{T} – температура, осредненная по территории Северного полушария от 20° с.ш.;

k – коэффициент теплопроводности;

$H = 7000$ м – высота однородной атмосферы

$R = 287$ Дж/кг*К – универсальная газ. const,

$C_p = 1006$ Дж/кг*К – удельная теплоемкость при const объеме.

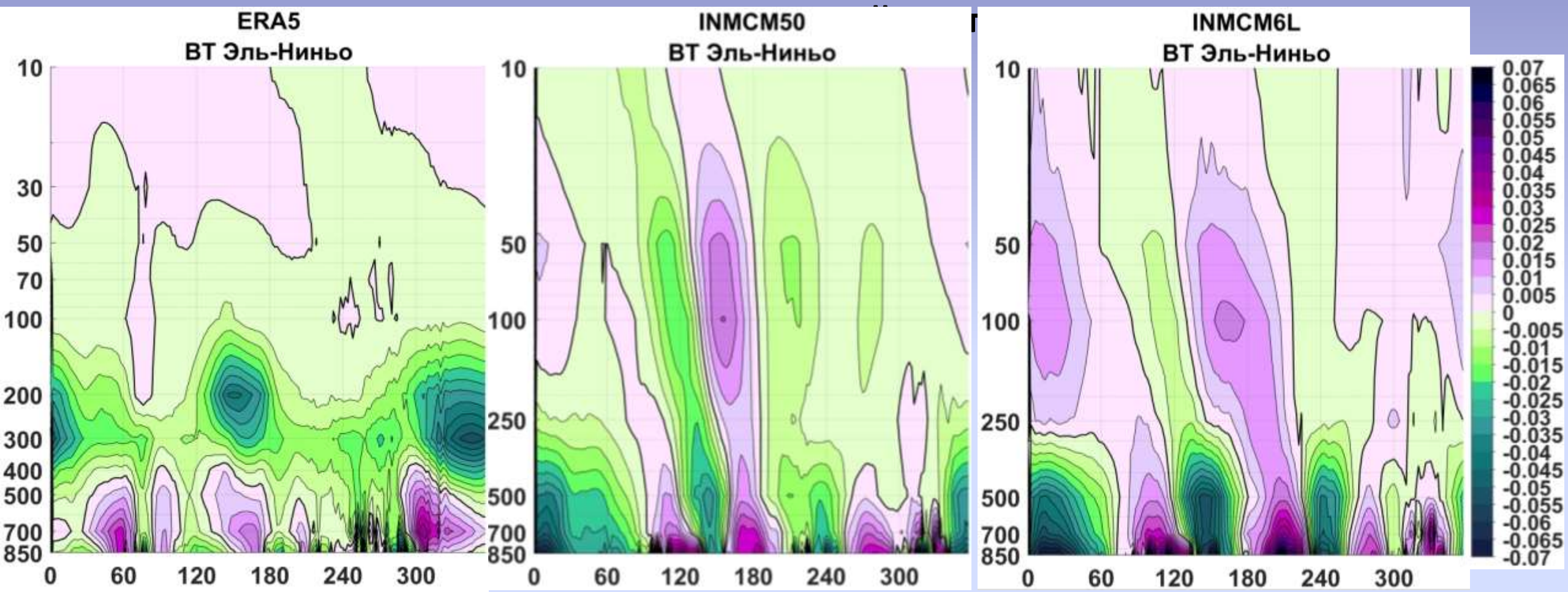
U, V, T, Φ

на 1000, 850, 700, 500,
200, 100, 50, 10 гПа

. . .

суточные

Пример расчета трехмерного потока волновой активности



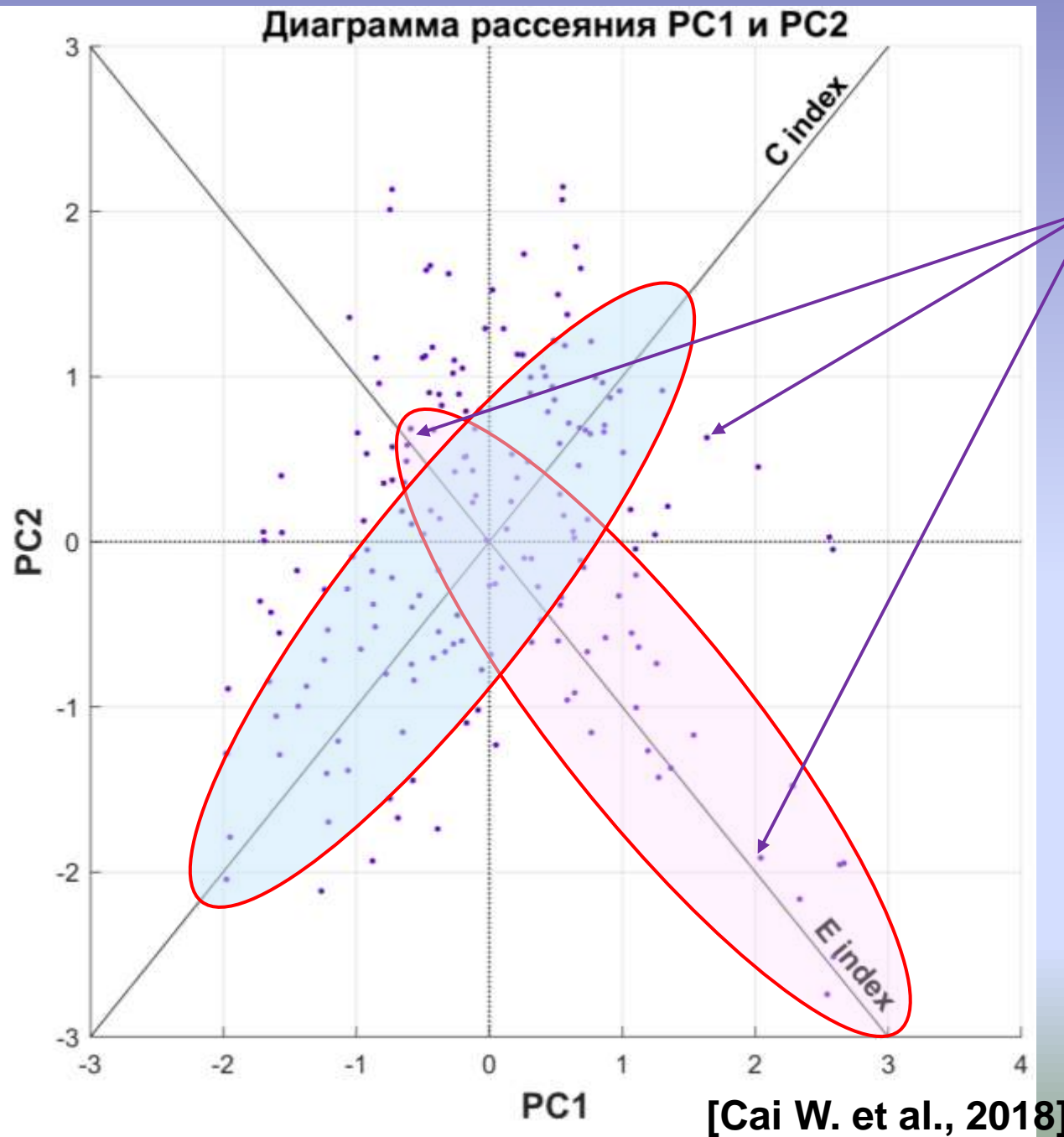
Долготные профили вертикальной компоненты (F_z) в m^2/c^2 потока Пламба для ВТ Эль-Ниньо по данным реанализа ERA5, моделям INM-CM5-0 и INM-CM6-L для зимних месяцев над Тихим океаном

Выводы

- Модель INM лучше воспроизводит отклик в Северном полушарии, чем в Южном; воспроизводит кольцевую пространственную структуру отклика, сходную со структурой Арктической (Антарктической) осцилляции, на ЦТ Эль-Ниньо в Северном и Южном полушарии; не воспроизводит волновую структуру отклика, аналогичную PNA, в Северном полушарии и кольцевую структуру в Южном полушарии на ВТ Эль-Ниньо.
- Стратосферный отклик на ВТ Эль-Ниньо воспроизводится, на ЦТ Эль-Ниньо - нет
- В INM-CM5-0 воспроизводится более интенсивное поднятие планетарных волн из верхних слоев тропосферы в стратосферу. В новой версии поток из тропосферы в стратосферу не воспроизводится

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

Методика



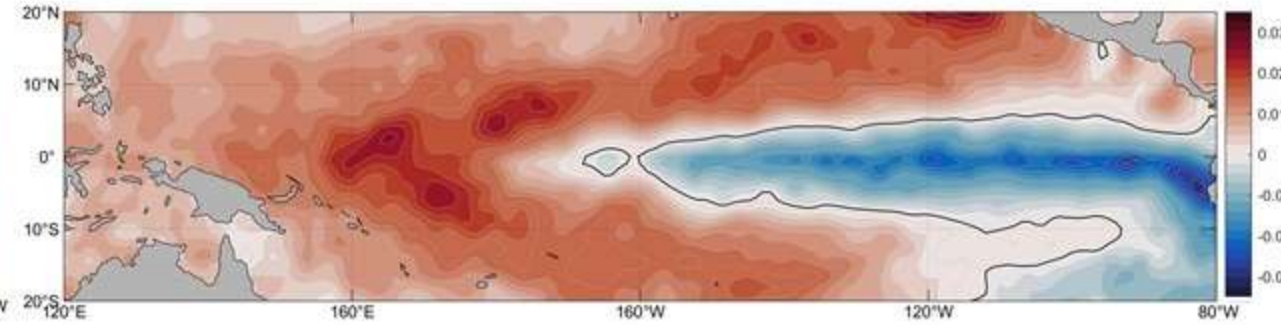
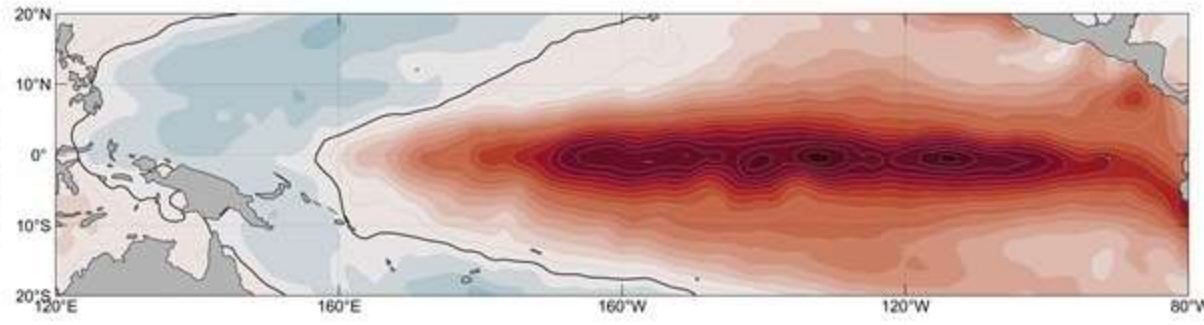
Значения PC1 и PC2 при первой и второй моде ЭОФ разложения аномалий ТПО в приэкваториальном Тихом океане за месяцы с декабря по февраль с 1950 по 2014 годы (фиолетовые точки)

- Регрессия по E индексам – ВТ Эль-Ниньо
- Регрессия по C индексам – ЦТ Эль-Ниньо

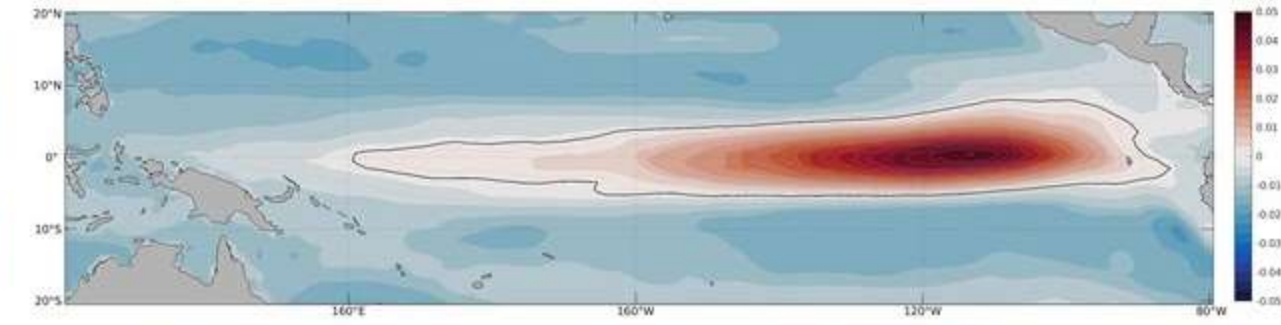
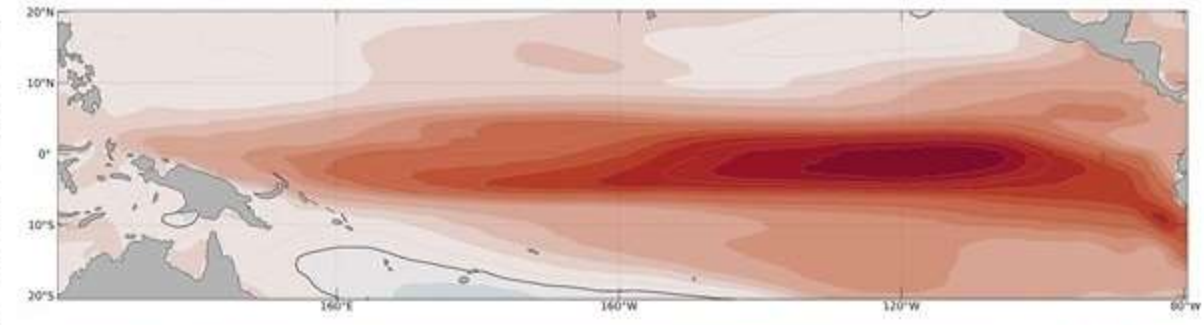
EOF 1

EOF 2

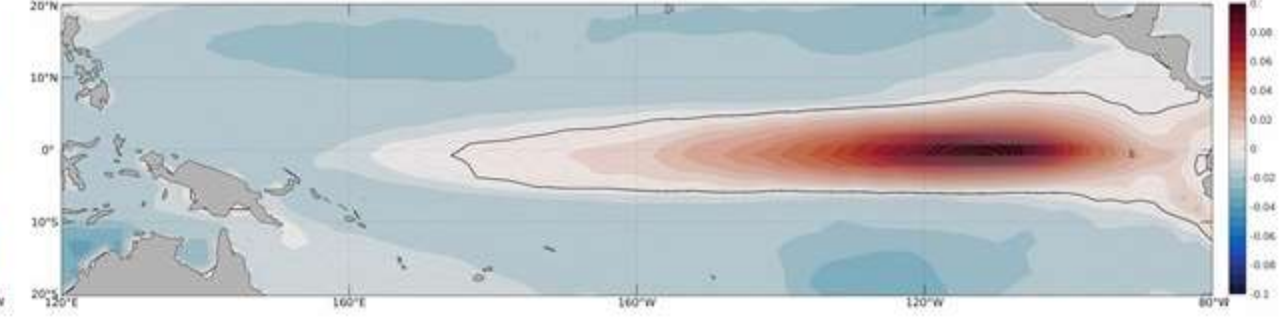
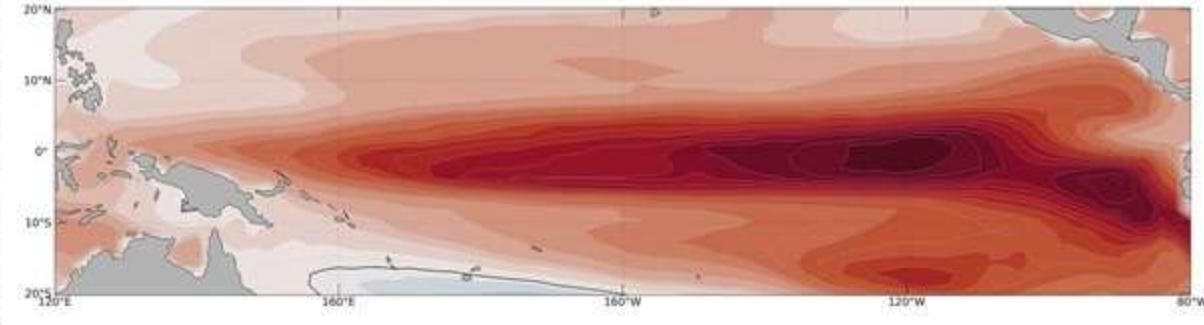
HadISST



INM-CM6-L



INM-CM6-L-NEW



Выбор событий Эпнок

	INM-CM-5	INM-CM-6L	ERA5
ВТ Эль-Ниньо	10	11	10
ЦТ Эль-Ниньо	2	3	5
Смешанное	1	7	2
Ла-Нинья	9	12	18

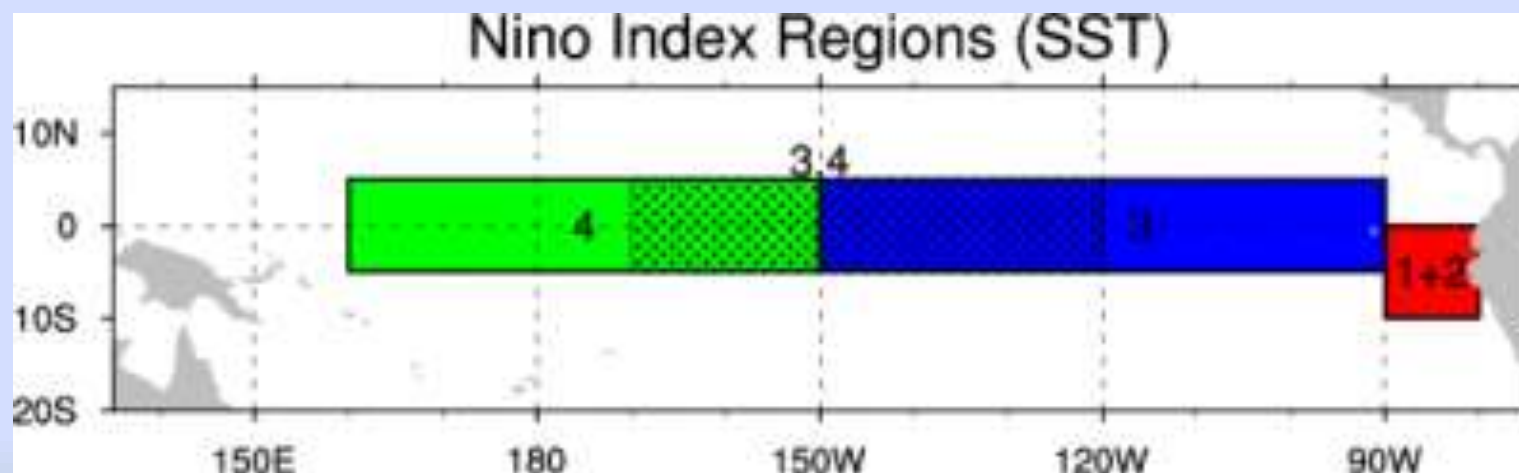


Схема регионов, используемых для различных индексов Nino (Climate Data Guide; D. Shea).
<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>.