

**Московский Государственный Университет
имени М.В. Ломоносова**

**Географический факультет
Кафедра метеорологии и климатологии**



**ИЗМЕНЕНИЕ ДАЛЬНИХ СВЯЗЕЙ ДВУХ
ТИПОВ ЭЛЬ-НИНЬО В УСЛОВИЯХ
ВОЗМОЖНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА
КОНЦА ХХІ ВЕКА**

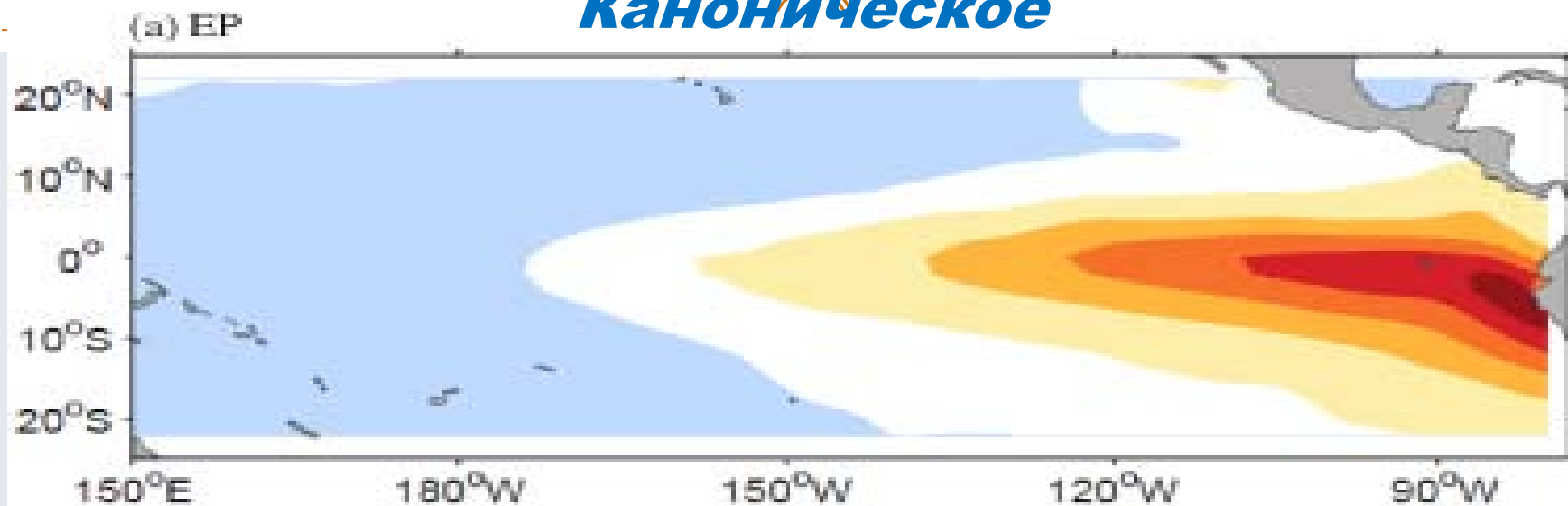


**Выполнил: студент 4 курса Сажин И.В..
Научный руководитель : асп. Железнова И.В.
Научный консультант: д.г.н., доц. Гущина Д.Ю.**

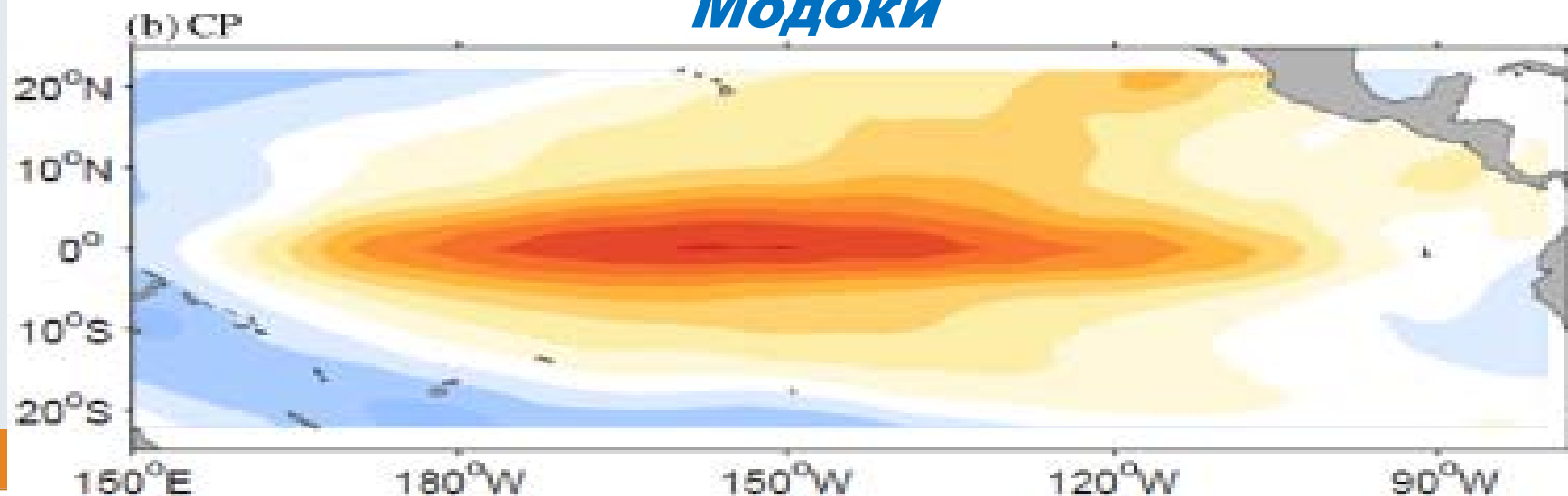
Москва 2014

Два типа Эль-Ниньо

Каноническое



Модоки



Структура исследования. Цели и задачи

- **Выявить характер удаленного отклика на два типа Эль-Ниньо для крупномасштабного зонального переноса и циркуляции в центрах действия атмосферы.**
- **Оценить качество воспроизведения моделями общей циркуляции атмосферы и океана взаимосвязей Эль-Ниньо и крупномасштабной атмосферной циркуляции в современном климате**
- **На основе модельных экспериментов с резким увеличением содержания CO₂ в атмосфере определить как изменятся дальние связи Эль-Ниньо в будущем – в конце XXI века, при возможном потеплении климата.**

Материалы исследования

➤ 1) Данные NCEP/NCAR Reanalysis:

Объективный анализ среднемесячных полей зонального и меридионального ветра и температуры поверхности океана:

Пространственное разрешение: $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$

Временное разрешение: январь 1948- июль 2013 гг.

Было взято 6 вертикальных уровней – изобарические поверхности 925,850, 700, 500, 300, 200 гПа.

➤ 2) Данные модели общей циркуляции атмосферы и океана ИВМ РАН – подробнее далее - Среднемесячные значения зонального и меридионального ветра и температуры поверхности океана.

Характеристики циркуляции

- 1) Индекс циркуляции Петросянца-Гущиной
- $L_{\varphi} = \oint_{l_{\varphi}} u(\varphi) dl_{\varphi}$
- Здесь $u(\varphi)$ – зональная циркуляция реального ветра, l_{φ} - обозначение, показывающее, что интегрирование идёт по кругу широты.
- Он наиболее полно характеризует особенности движения атмосферы в разных широтных поясах. **Положительным** значениям индекса соответствует **западная зональная циркуляция**, отрицательным - восточная.

Характеристики циркуляции

- 1) Индекс циркуляции скорости ветра для центров действия атмосферы

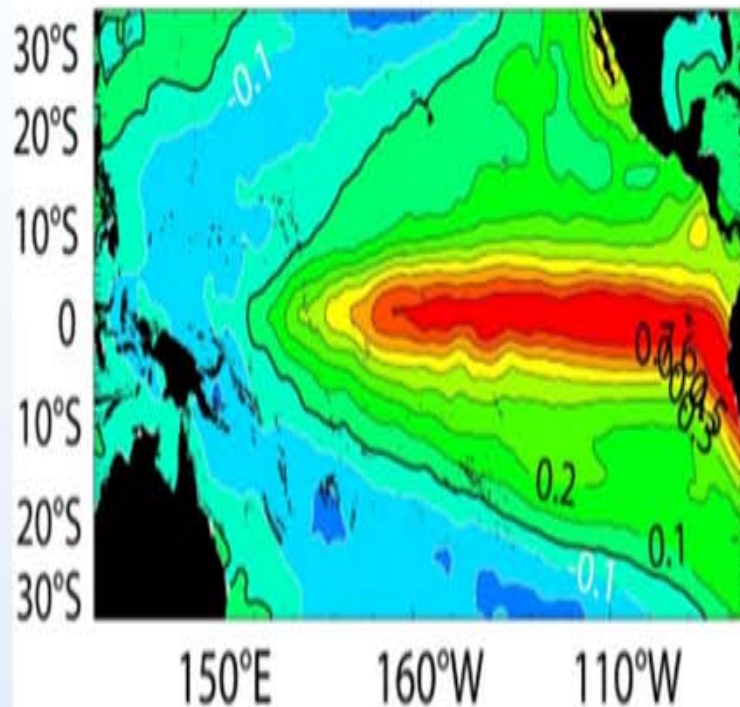
$$L_S = \int_{l_{\varphi_1}} u_{\varphi_1} dl_{\varphi_1} + \int_{l_{\lambda_2}} u_{\lambda_2} dl_{\lambda_2} + \int_{l_{\varphi_2}} u_{\varphi_2} dl_{\varphi_2} + \int_{l_{\lambda_1}} u_{\lambda_1} dl_{\lambda_1}$$

φ_1 и φ_2 – широты южной и северной границ контура соответственно, λ_1 и λ_2 – долготы западной и восточной границ контура соответственно, l – длина стороны контура.

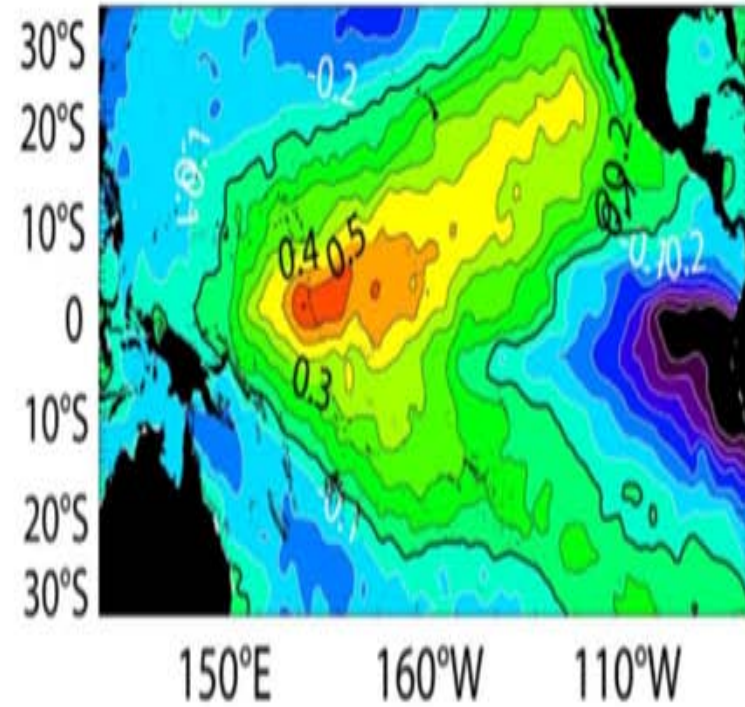
Положительным направлением обхода при расчете циркуляции считалось направление **против часовой стрелки**. В соответствии с выбранным направлением обхода контура в Северном полушарии циклоническая циркуляция – положительная, а антициклоническая – отрицательная, **в Южном полушарии – наоборот.**

Характеристики аномалий ТПО Для двух типов Эль-Ниньо (ЕОФ-анализ)

EOF 1 (73%)



EOF2 2 (18%)



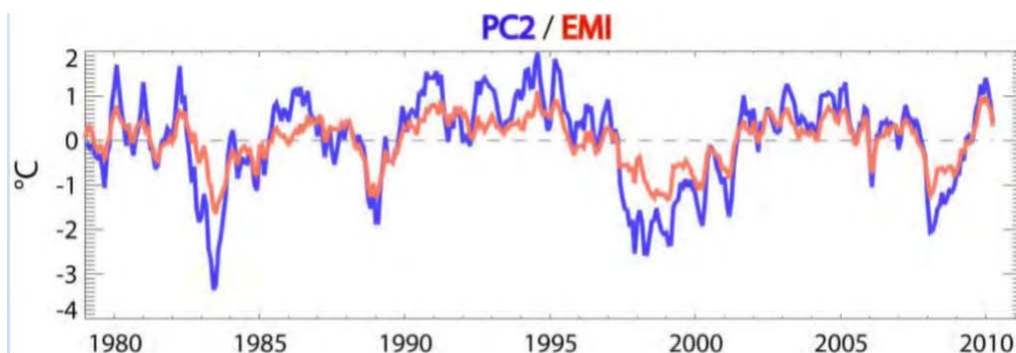
Takahashi et al, GRL,2011

Характеристики аномалий ТПО

1) Индексы двух типов Эль-Ниньо

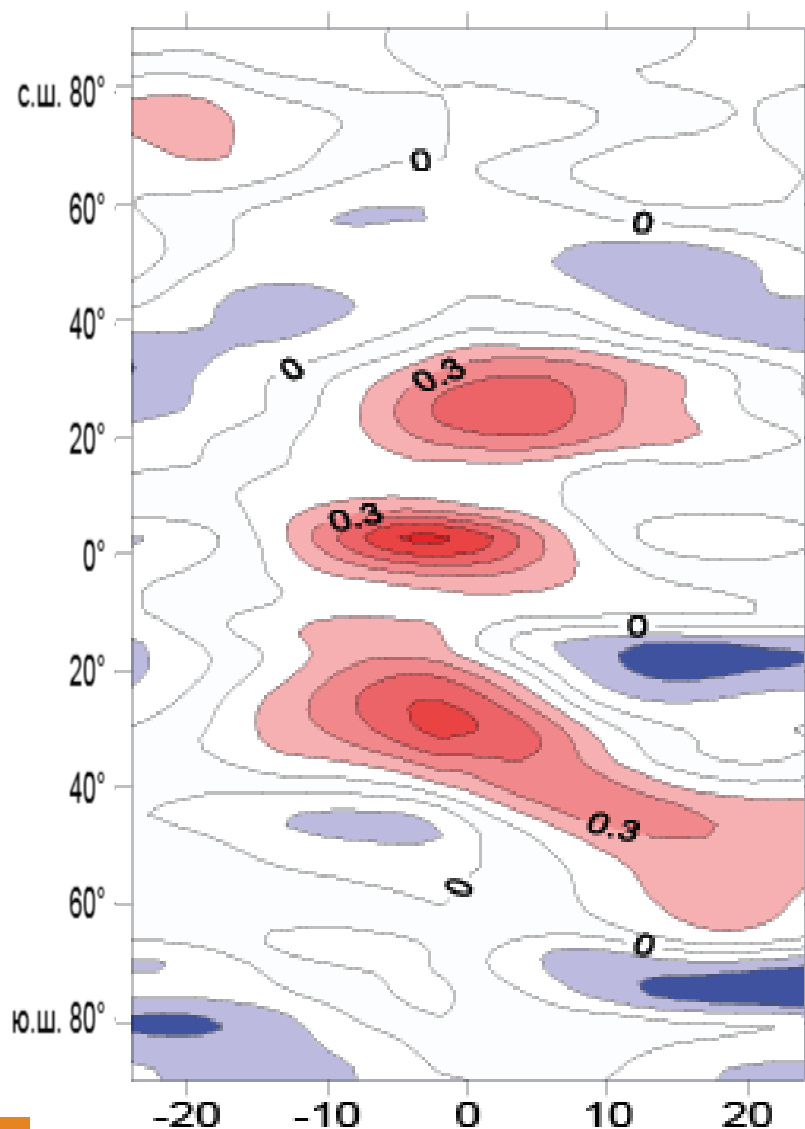
Индексы были получены как линейные комбинации первых двух главных компонент, полученных **при ЕОФ-анализе** общих аномалий ТПО в тропической зоне Тихого Океана(пример из предыдущего слайда)

$$CI = \frac{PC1+PC2}{\sqrt{2}}; \quad EI = \frac{PC1-PC2}{\sqrt{2}}$$

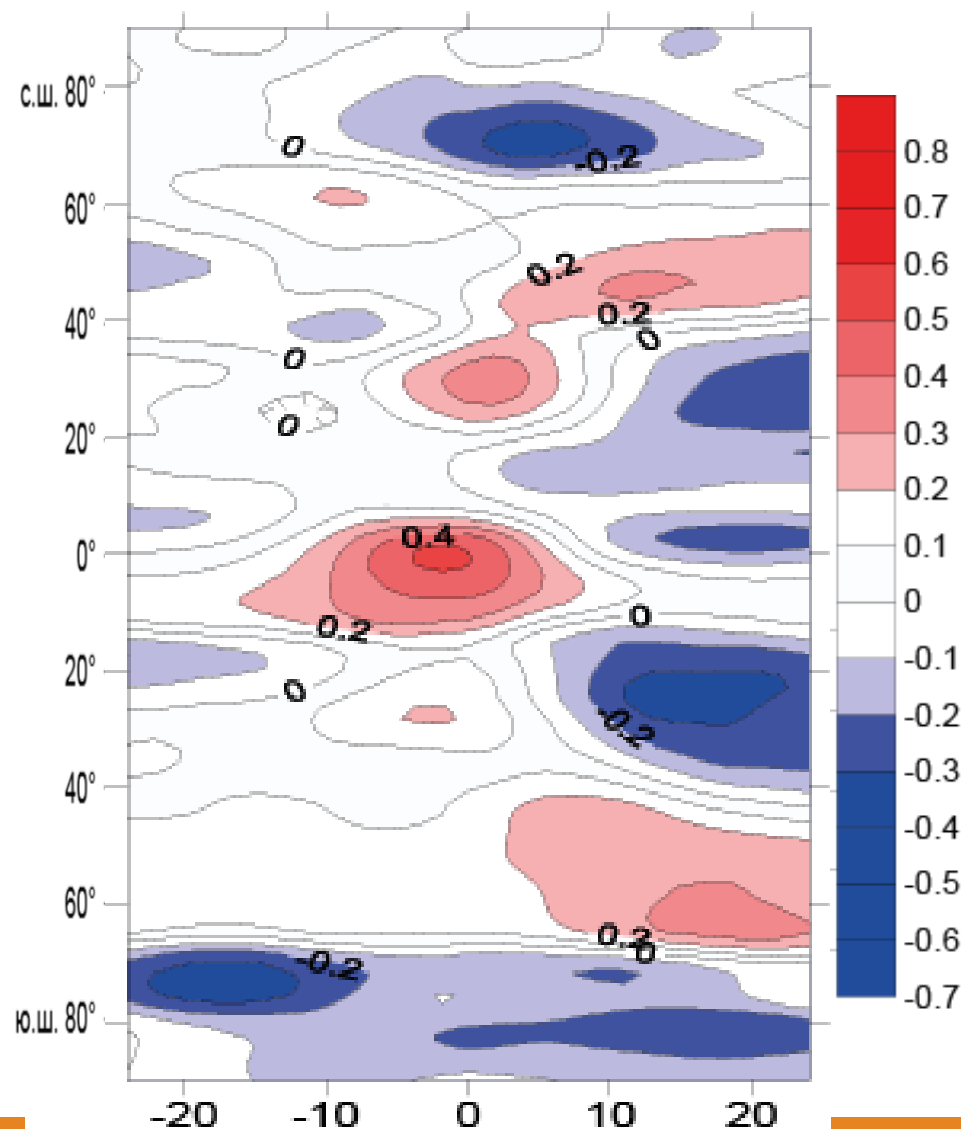


Связь с зональной циркуляцией. 850 гПа

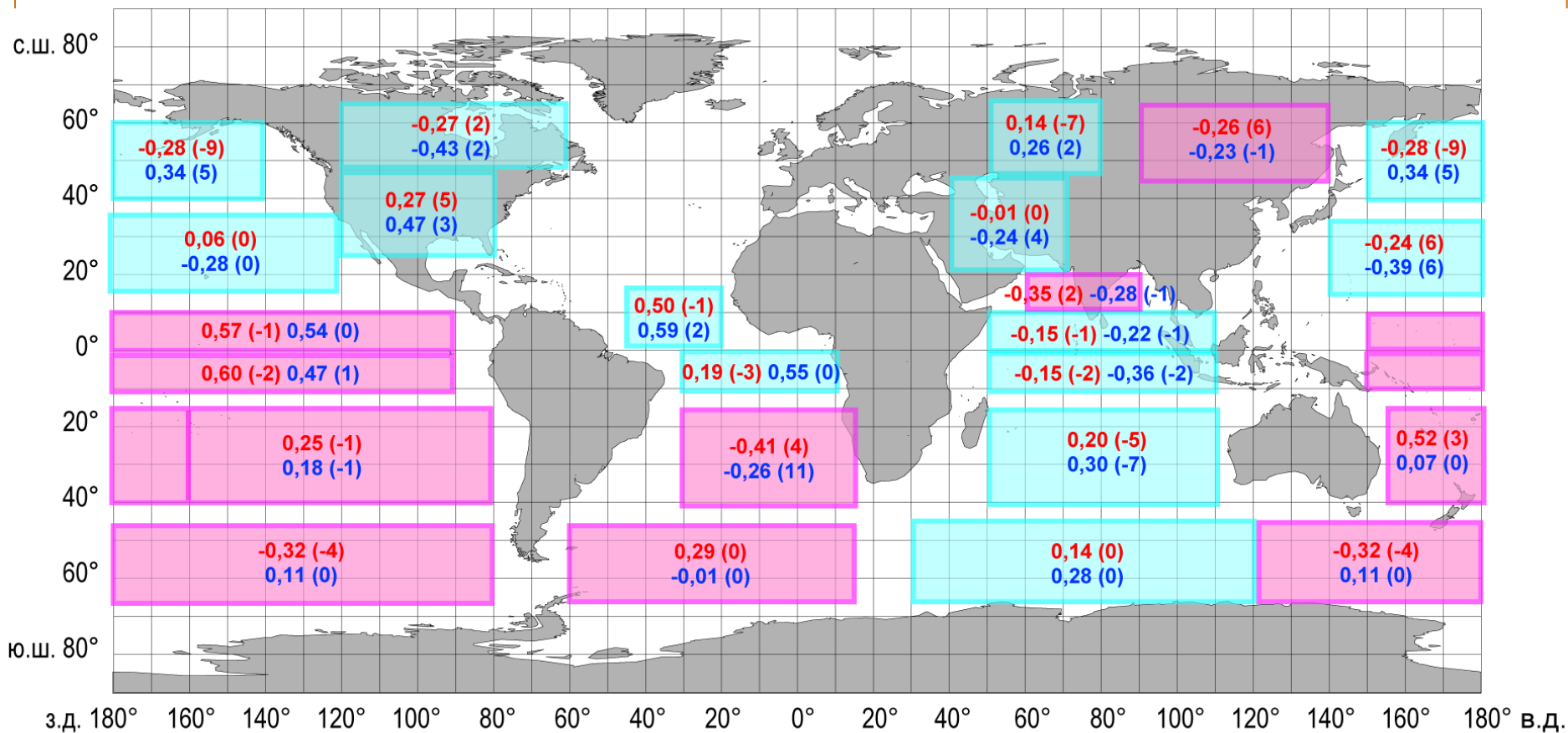
CP 850hPa



EP 850hPa



Связи с циркуляцией в центрах действия атмосферы.

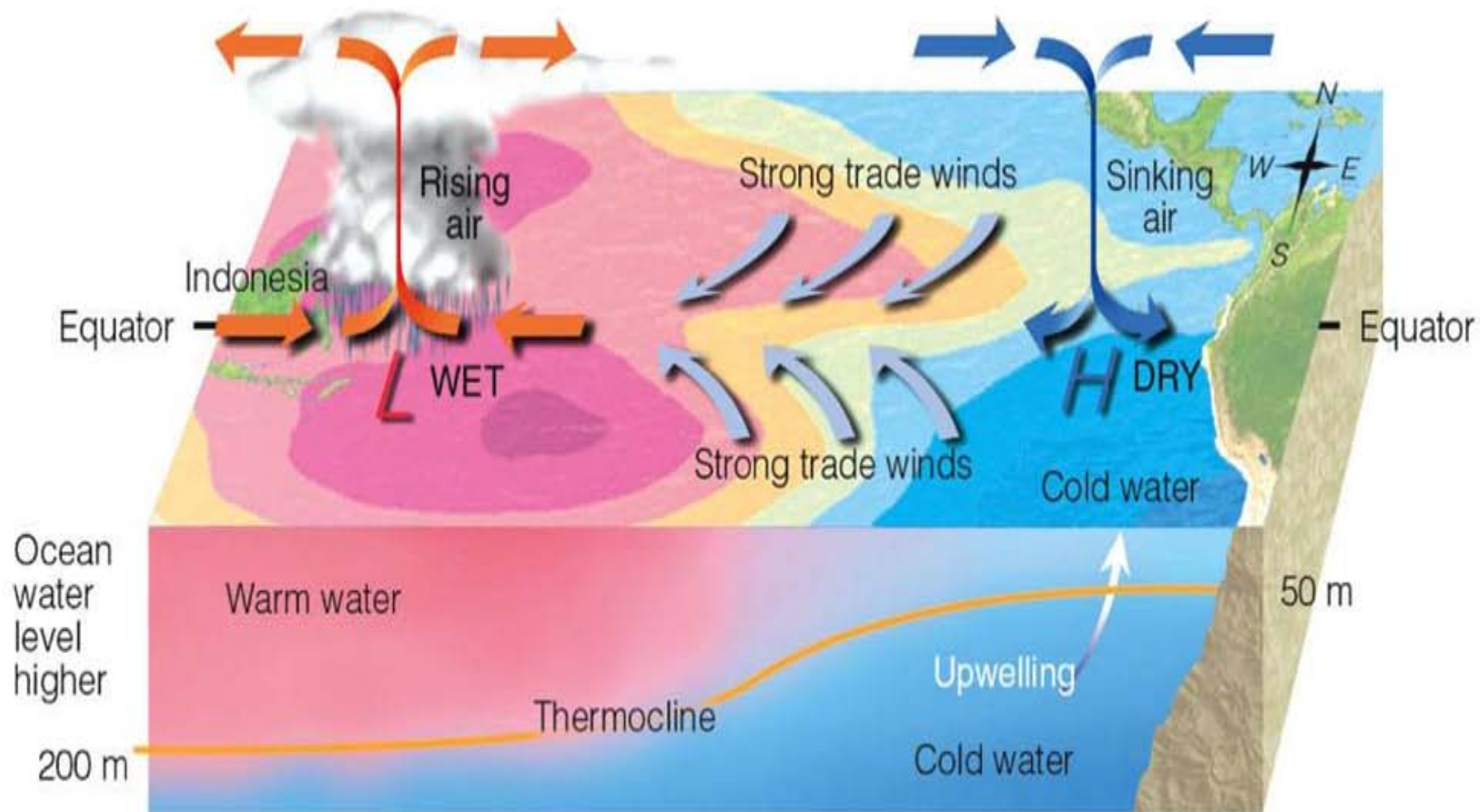


Контуры, в которых коэффициент корреляции больше при каноническом Эль-Ниньо



Контуры, в которых коэффициент корреляции больше при Эль-Ниньо Модоки

Почему ЦТ Эль-Ниньо имеет дальние связи сильнее?

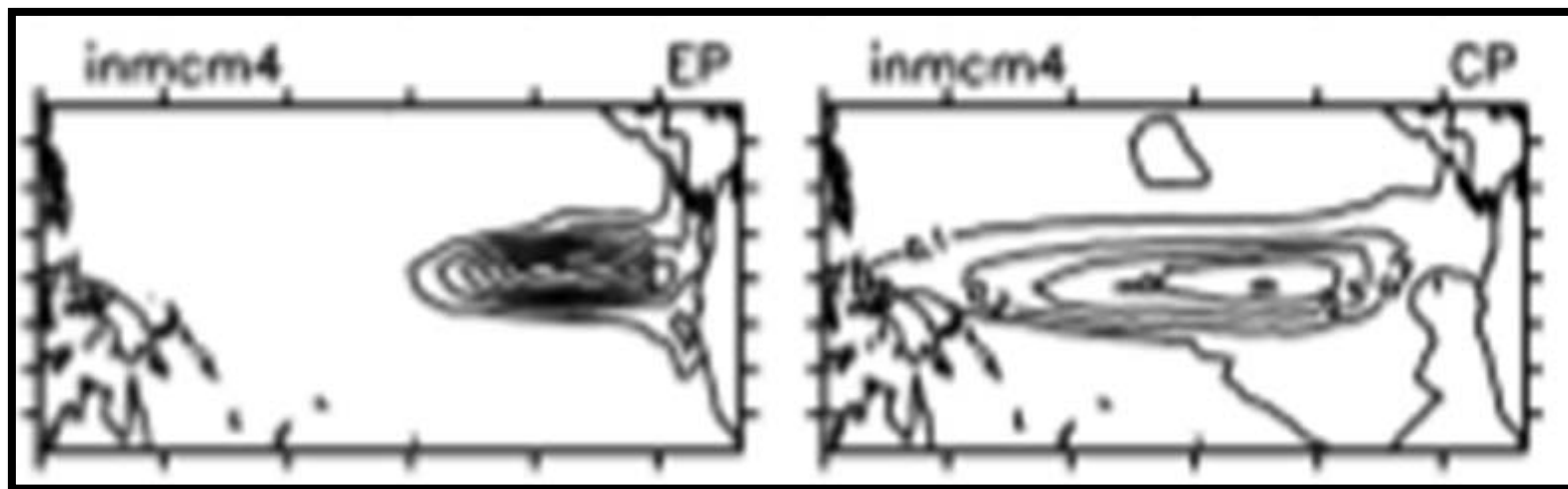


(a) Non-El Niño conditions

Источник - Australian Meterological Bureau, 2007

Модель INMCM4

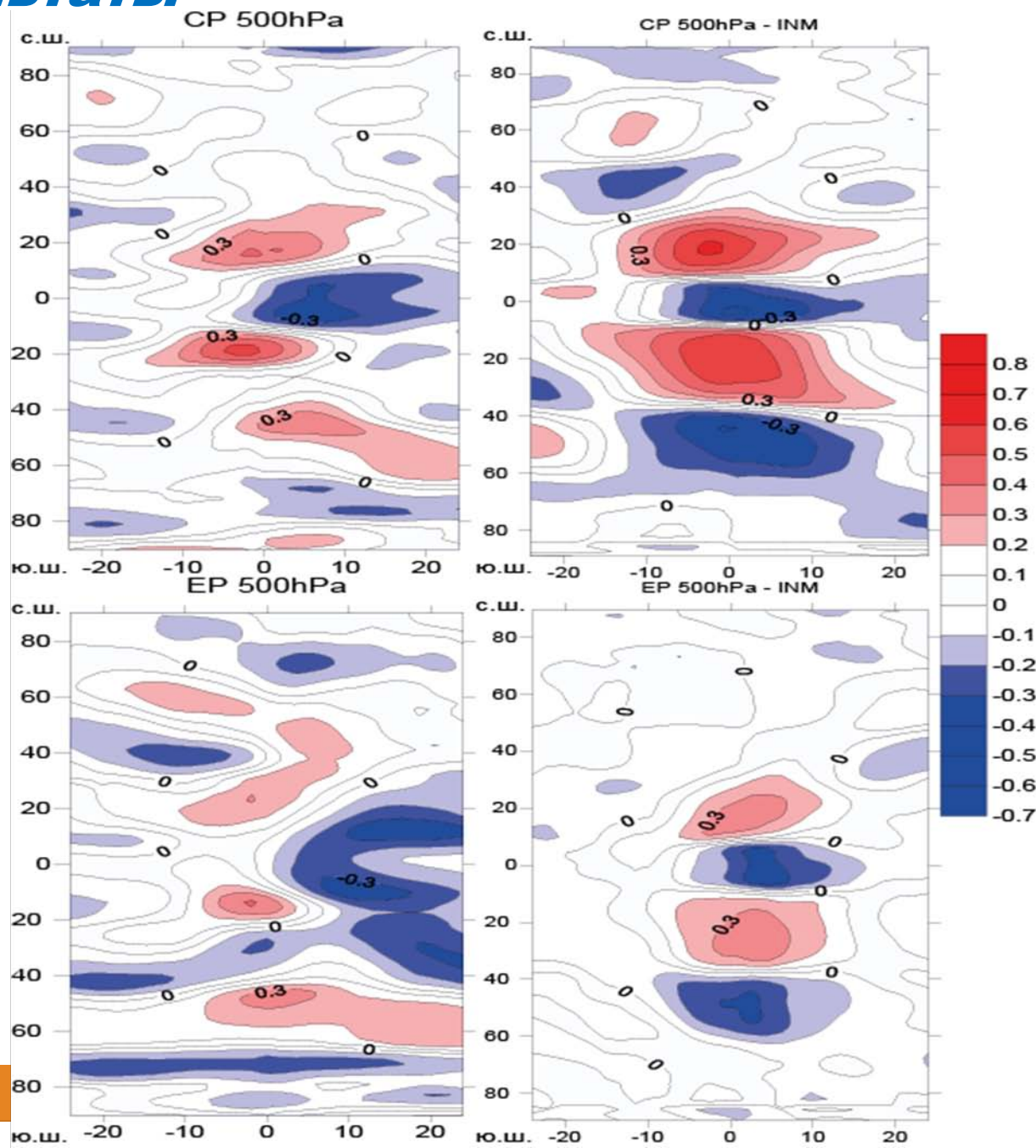
- Включает в себя два основных блока:
- 1) Модель общей циркуляции атмосферы ($2^\circ \times 1.5^\circ$ градуса по долготе и широте, 21 уровень по вертикали до 10 гПа),
- 2) Модель общей циркуляции океана ($1^\circ \times 0.5^\circ$ по долготе и широте в обобщенных сферических координатах, 40 уровней по вертикали).



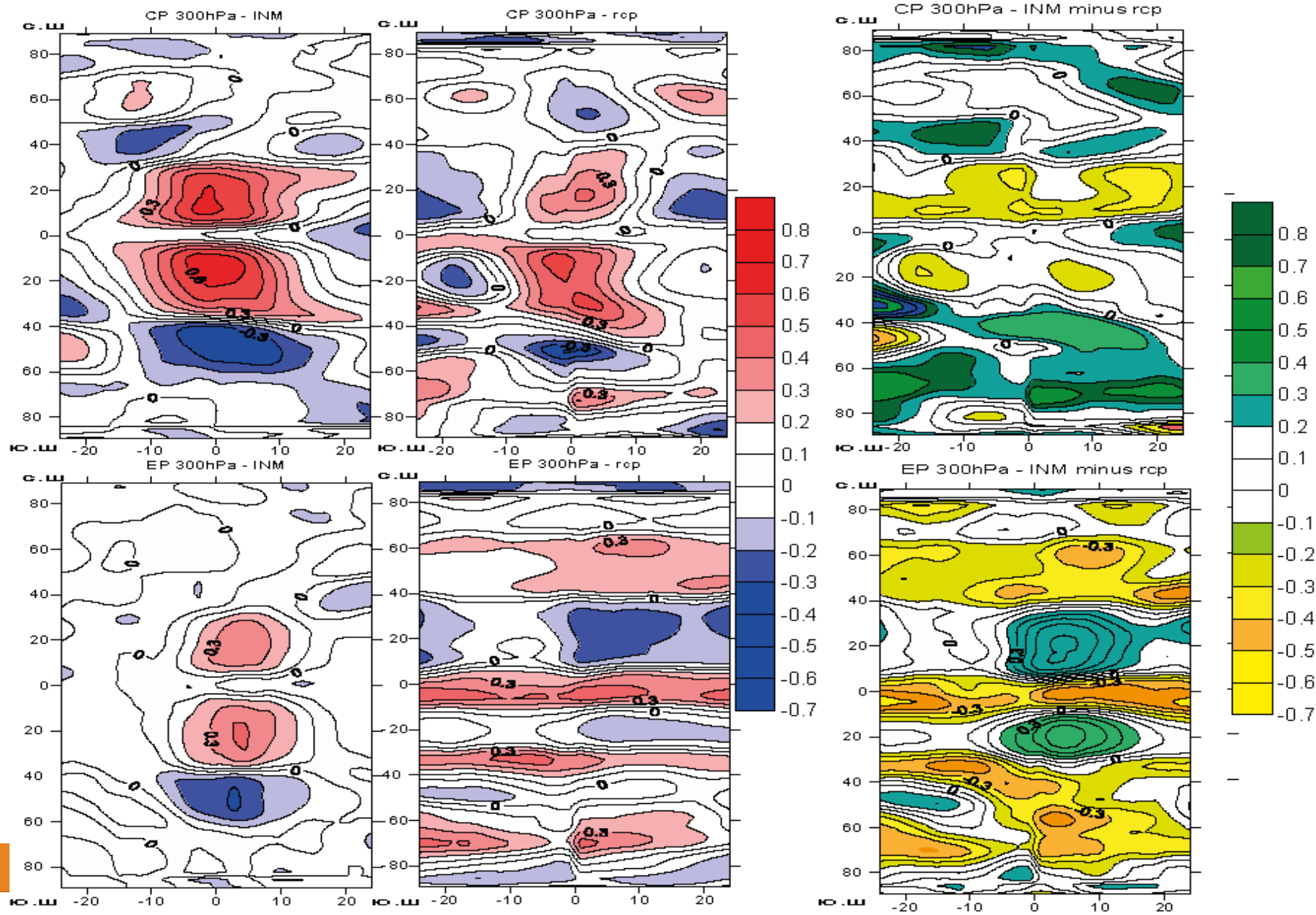
Источник - Kao and Yu. Regression EOF-method for EP and CP-El Nino. Journal of climate, Tokyo, 2009

Основные результаты

Воспроизведение
моделью
INMCM4
дальних связей
в современном
климате



Оценка изменения отклика зонального переноса на Эль-Ниньо при потеплении климата



Выводы

- Подтверждено, что Эль-Ниньо Модоки вызывает **более интенсивный отклик** в атмосфере субтропических и умеренных широт, чем каноническое Эль-Ниньо. Распространение из тропиков в умеренные широты отклика зонального переноса на Эль-Ниньо Модоки происходит **ярче в Южном Полушарии**. Взаимосвязь аномалий ТПО с циркуляцией в центрах действия атмосферы при каноническом Эль-Ниньо проявляются, в основном, для **соседних центров действия атмосферы** и слабее, чем для Эль-Ниньо Модоки
- Показано, что модель общей циркуляции атмосферы и океана INMCM4 воспроизводит **общие черты** аномалии ТПО в период обоих типов Эль-Ниньо, а также картину дальних связей для Эль-Ниньо Модоки.
- Центрально-Тихоокеанский тип Эль-Ниньо будет проявляться и при возможном потеплении климата конца XXI века. Дальние связи претерпят **небольшие изменения, по сравнению с современным климатом**. Отклик циркуляции в ближайших центрах действия атмосферы на ЦТ Эль-Ниньо останется неизменным.
- 5) В условиях потепления климата каноническое Эль-Ниньо **перестанет существовать** как периодически возникающая аномалия ТПО на востоке Тихого океана, а аномально теплое для современного климата состояние ТПО станет нормальным для конца XXI века

Спасибо за внимание!



Пороги значимости. Данные реанализа

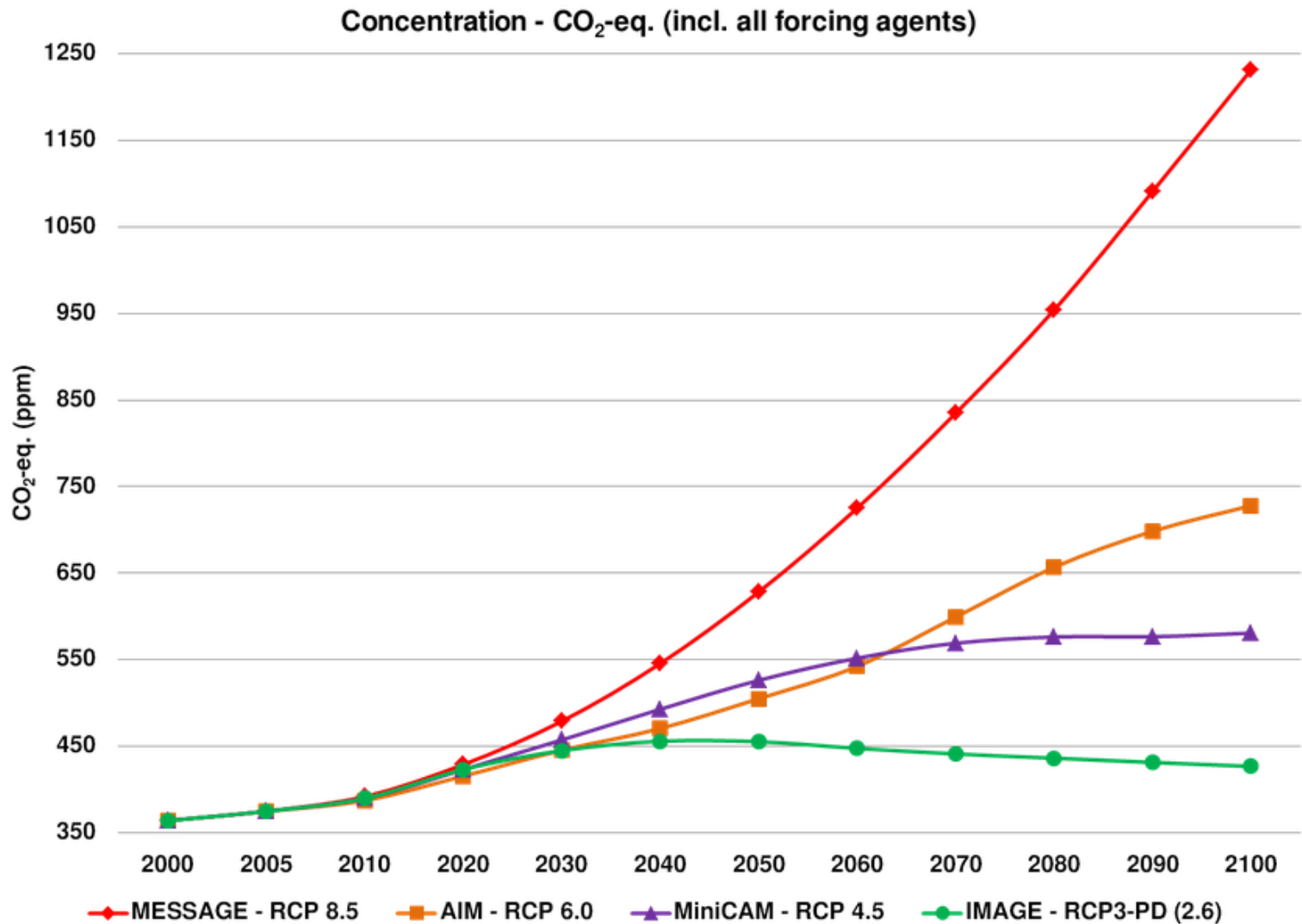
	1	1a	1b	2	2a	2b	3	4	4a	4b	5	6	6a	6b	7	8
200	0,21	0,25	0,22	0,22	0,21	0,21	0,24	0,34	0,21	н/з	0,23	0,25	0,22	0,20	0,21	0,23
300	0,22	0,43	0,24	0,22	0,21	0,23	0,22	0,24	0,36	0,22	0,23	0,31	0,21	0,21	0,21	0,21
500	0,23	0,40	0,38	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,22	0,29	0,43	0,23	0,24	0,44	0,21
700	0,21	0,24	0,21	0,21	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,21	н/з	0,46	0,42	0,46	н/з	0,21
850	0,63	0,21	0,21	0,23	0,20	0,24	0,22	0,24	0,22	0,33	0,26	0,32	0,22	0,20	0,20	0,22
925	0,21	0,26	0,22	0,21	0,24	0,22	0,24	0,20	0,18	0,20	н/з	0,23	0,24	0,20	0,32	0,22
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
200	0,27	0,22	0,21	0,23	0,22	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,21	0,20	0,20	
300	0,53	0,22	0,22	0,23	0,22	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20	0,20	
500	н/з	0,22	0,21	0,22	0,24	0,21	0,22	0,20	0,22	0,22	0,21	0,21	0,22	0,20	0,20	
700	н/з	0,21	0,22	0,25	н/з	0,23	0,22	0,21	0,25	0,33	0,24	0,21	0,24	0,21	0,20	
850	н/з	0,21	0,21	0,40	0,46	0,23	0,23	0,22	0,24	0,36	0,23	0,22	0,46	0,24	0,20	
925	н/з	0,22	0,21	0,20	0,21	0,18	0,40	0,22	0,37	0,38	0,23	0,63	0,24	0,20	0,18	

Контрольный эксперимент и тёплый сценарий

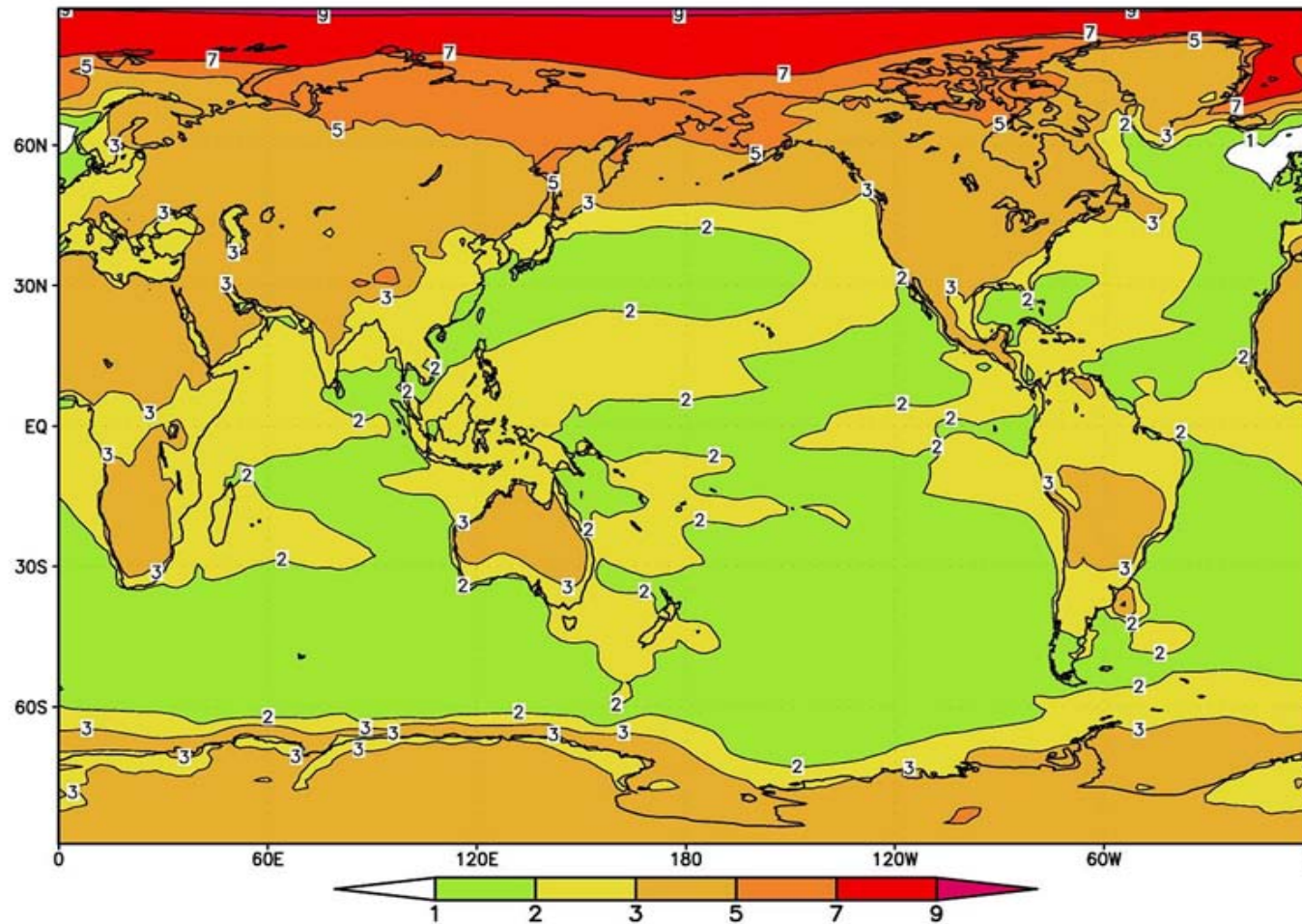
сценарий	номер контура	радиус корреляции (сдвиг, при котором автокорреляция убывает в е раз)	длина ряда/радиус корреляции	порог значимости корреляции, 95%
piControl	1	10	79	0,22
	1a	10	79	0,22
	1b	8	98	0,20
	2	9	87	0,21
	2a	8	98	0,20
	2b	10	79	0,22
	3	8	98	0,20
	4	9	87	0,21
	4a	10	79	0,22
	4b	8	98	0,20
	5	7	112	0,18
	6	11	72	0,23
	6a	10	79	0,22
	6b	9	87	0,21
	7	9	87	0,21
	8	8	98	0,20
	9	8	98	0,20
	10	8	98	0,20
	11	8	98	0,20
	12	9	87	0,21
	13	8	98	0,20
	14	9	87	0,21
	15	7	112	0,18
	16	10	79	0,22
	17	8	98	0,20
	18	9	87	0,21
	19	7	112	0,18
	20	10	79	0,22
	21	8	98	0,20
	22	8	98	0,20
	23	7	112	0,18

сценарий	номер контура	радиус корреляции (сдвиг, при котором автокорреляция убывает в е раз)	длина ряда/радиус корреляции	порог значимости корреляции, 95%
rcp8.5	1	7	60	0,25
	1a	7	60	0,25
	1b	7	60	0,25
	2	9	47	0,28
	2a	9	47	0,28
	2b	8	53	0,27
	3	11	38	0,31
	4	6	70	0,23
	4a	7	60	0,25
	4b	7	60	0,25
	5	6	70	0,23
	6	8	53	0,27
	6a	12	35	0,24
	6b	8	53	0,27
	7	8	53	0,27
	8	9	47	0,28
	9	6	70	0,23
	10	10	42	0,30
	11	11	38	0,31
	12	9	47	0,28
	13	7	60	0,25
	14	8	53	0,27
	15	8	53	0,27
	16	6	70	0,23
	17	11	38	0,31
	18	7	60	0,25
	19	9	47	0,28
	20	8	53	0,27
	21	8	53	0,27
	22	11	38	0,31
	23	6	70	0,17

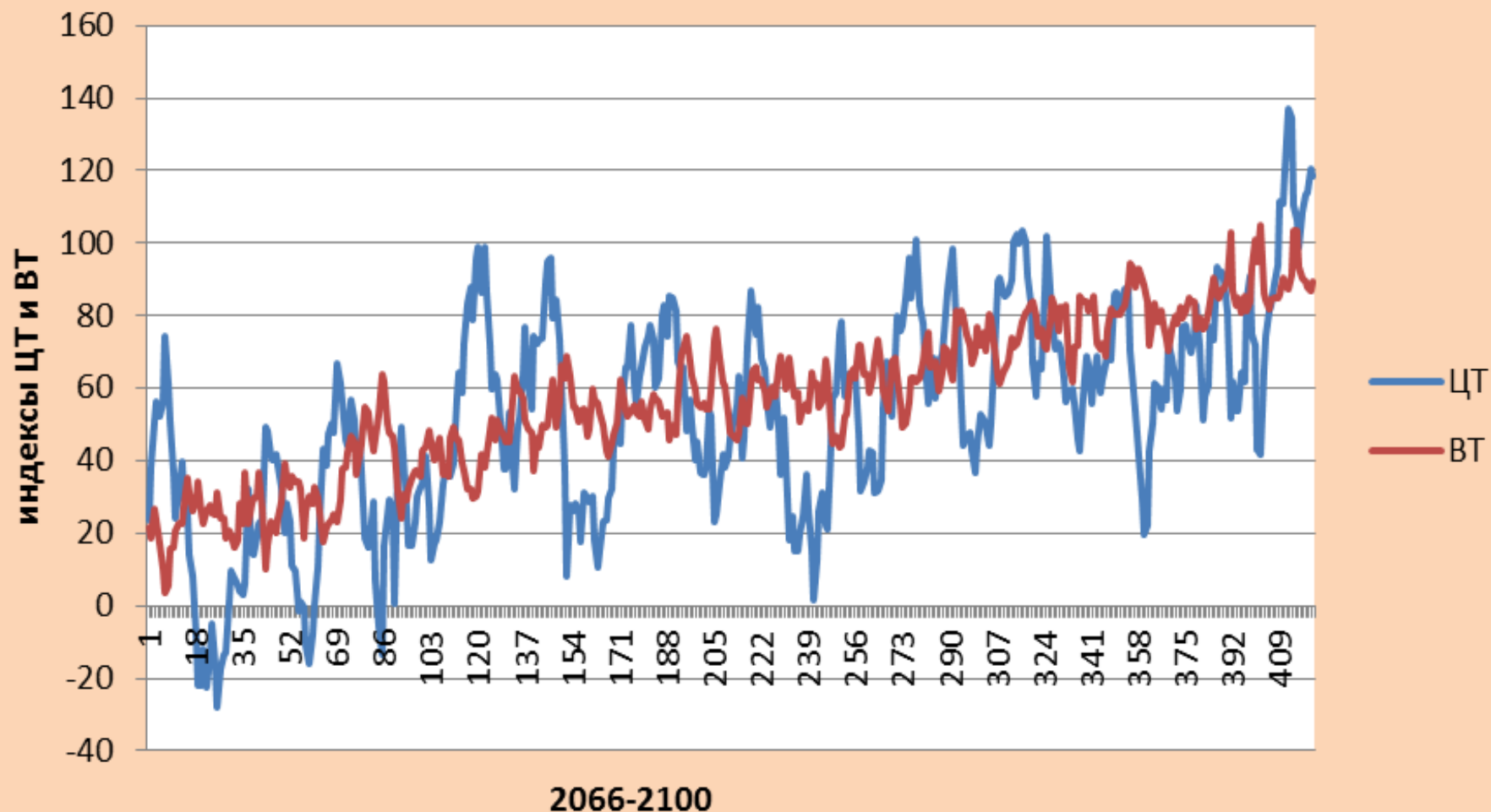
Сценарий RCP 8.5



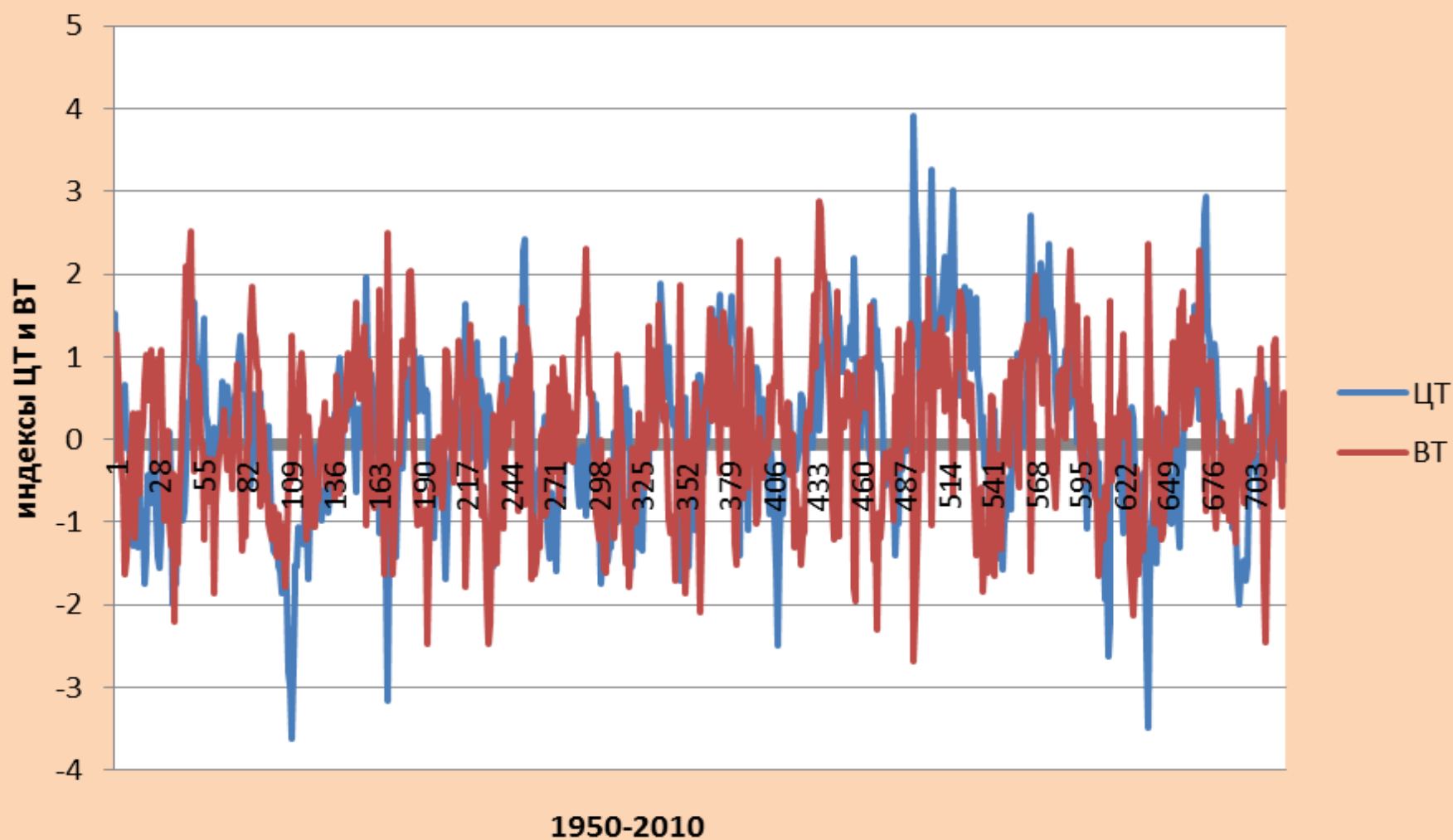
Сценарий RCP 8.5



Изменение среднегодовой температуры в 2081-2100г по сравнению с 1981-2000г по данным модели INMCM4 – сценарий rcp8.5[2]



Ход рассчитанных ЦТ (синим цветом) и ВТ(красным цветом) индексов ЭНЮК по данным эксперимента rcr8.5 модели INMCM4 с 2066 по 2100 гг.



Ход рассчитанных ЦТ(синим цветом) и ВТ(красный) индексов ЭНЮК по данным контрольного эксперимента модели INMCM4 с 1950 по 2010 гг.

Центр действия атмосферы	№ контура	изобарические поверхности, гПа						макс.
		925	850	700	500	300	200	
Экваториальная ложбина Тихого Океана	1	17,37	24,06	11,55	16,00	19,54	22,28	850
север	1a	32,58	-7,36	19,38	5,62	-24,51	-57,43	925
юг	1b	-15,56	31,15	-8,44	10,01	43,76	79,85	925
Гавайский антициклон	2	-52,46	-94,26	-80,21	-112,78	-128,13	-135,54	500
запад	2a	-23,86	-84,40	-61,66	-108,14	-158,15	-183,29	500
восток	2b	-33,25	-36,92	-36,60	-44,79	-36,89	-32,98	500
<i>Алеутский минимум</i>	3	23,08	47,46	59,43	86,42	126,31	133,87	200
Южнотихоокеанский антициклон	4	68,37	106,19	93,19	107,25	47,56	76,75	500
запад	4a	36,12	56,21	53,58	57,73	57,77	51,44	500
восток	4b	33,02	51,56	40,88	51,01	38,87	26,30	500
Циклоны Южного Тихого Океана	5	-120,52	-110,55	-153,55	-154,24	-183,73	-181,70	500
Экваториальная ложбина Индийского океана	6	-32,80	-40,08	-6,30	6,00	-0,03	1,18	925
север	6a	-18,54	-0,75	9,81	7,07	-4,13	-9,43	925
юг	6b	-13,32	0,75	-15,18	-0,75	4,05	10,14	925
<i>Индийский муссон</i>	7	9,67	1,26	-4,51	-23,67	-41,23	-48,47	925
<i>Маскаренский антициклон</i>	8	39,20	49,34	84,15	104,56	122,94	143,04	500
<i>Циклоны Южного Индийского Океана</i>	9	-94,65	-111,52	-119,75	-144,10	-181,15	-179,53	500
<i>Азорский антициклон</i>	10	-34,02	-61,09	-54,88	-56,86	32,44	8,35	850
<i>Исландская депрессия</i>	11	14,13	26,72	32,29	45,55	-28,89	64,08	500
<i>Экваториальная ложбина - север, Атлантика</i>	12	-1,47	-8,05	-7,01	-6,60	-31,92	-46,38	925
<i>Экваториальная ложбина - юг, Атлантика</i>	13	2,37	-0,36	4,86	0,70	5,10	8,50	925
<i>Южноатлантический антициклон</i>	14	27,59	37,99	16,73	44,82	43,63	39,30	500
<i>Южноатлантические циклоны</i>	15	-26,37	-33,89	-33,01	-46,90	-64,41	-67,26	500
<i>Полярный фронт - Западная Европа</i>	16	5,00	0,15	3,48	6,13	8,00	12,47	500
<i>Полярный фронт - Восточная Европа</i>	17	-3,54	-2,85	1,76	3,68	15,66	28,11	500
<i>Азиатская ветвь полярного фронта</i>	18	-4,90	-1,66	-4,87	-1,95	3,64	-1,10	850
<i>Отрог Сибирского антициклона</i>	19	-6,96	-5,13	3,47	8,02	30,74	48,14	925
<i>Индийский муссон на материке</i>	20	12,41	7,40	-18,18	-18,40	-29,71	-84,98	850
<i>Сибирский антициклон</i>	21	-2,94	2,59	7,90	12,80	52,03	71,02	925
<i>Мексиканская депрессия</i>	22	-13,02	-6,89	-10,77	-3,83	-1,17	2,72	850
<i>Канадский антициклон</i>	23	18,27	7,72	18,86	16,35	50,78	31,94	850

МОДЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Центр действия атмосферы	№ контура	изобарические поверхности, гПа						max
		925	850	700	500	300	200	
Экваториальная ложбина Тихого Океана	1	2,28	12,59	15,95	13,97	25,74	38,75	700
север	1a	-22,61	-36,73	-7,98	11,11	-25,49	-22,26	850
юг	1b	24,67	48,89	24,88	3,20	50,78	59,42	850
Гавайский антициклон	2	-88,57	-85,05	-90,88	-111,78	-120,76	-133,32	500
запад	2a	-65,97	-68,77	-82,76	-112,05	-135,58	-152,72	500
восток	2b	-43,75	-39,14	-39,01	-44,48	-43,43	-45,88	500
Алеутский минимум	3	49,07	56,54	69,69	96,00	132,03	132,19	500
Южнотихоокеанский антициклон	4	126,15	113,25	108,68	120,10	110,89	110,99	925
запад	4a	69,63	65,76	63,88	70,32	71,83	78,70	500
восток	4b	57,86	48,72	46,03	70,32	40,15	33,22	500
Циклоны Южного Тихого Океана	5	-122,66	-130,36	-149,91	-178,21	-229,45	-255,32	500
Экваториальная ложбина Индийского океана	6	-23,74	-16,87	-0,77	8,93	23,93	35,75	850
север	6a	12,99	20,39	54,68	35,52	-4,39	-19,05	700
юг	6b	-36,54	-37,01	-54,75	-26,08	28,17	54,09	850
Индийский муссон	7	-3,38	-4,22	-8,88	-24,32	-45,09	-54,05	500
Маскаренский антициклон	8	64,33	74,85	96,29	110,10	141,13	188,40	500
Циклоны Южного Индийского Океана	9	-85,60	-92,49	-112,84	-132,83	-164,02	-182,82	500
Азорский антициклон	10	-62,93	-57,32	-47,06	-45,24	-18,42	-5,80	500
Исландская депрессия	11	21,39	25,56	34,09	43,79	58,23	58,66	500
Экваториальная ложбина- север, Атлантика	12	1,86	-3,25	-12,73	-18,24	-42,49	-28,51	925
Экваториальная ложбина- юг, Атлантика	13	-13,07	-1,78	27,04	15,83	20,81	10,63	925
Южноатлантический антициклон	14	54,33	52,30	50,31	53,71	50,75	64,97	925
Южноатлантические циклоны	15	-51,88	-56,90	-67,49	-86,75	-114,92	-125,18	500
Полярный фронт - Западная Европа	16	-1,52	-0,48	2,50	5,38	11,12	19,13	500
Полярный фронт - Восточная Европа	17	0,20	3,06	8,50	14,23	24,86	31,66	500
Азиатская ветвь полярного фронта	18	-3,08	-10,99	-20,53	-16,01	-10,36	-22,41	700
Отрог Сибирского антициклона	19	-3,28	-0,62	8,89	18,41	35,03	43,52	925
Индийский муссон на материке	20	-5,74	-10,10	-29,73	-46,91	-70,03	-93,15	500
Сибирский антициклон	21	4,88	11,78	24,91	44,16	72,11	80,95	925
Мексиканская депрессия	22	-9,61	-11,82	-16,19	-9,97	12,85	26,42	925
Канадский антициклон	23	3,09	6,10	15,78	24,83	36,69	40,83	925