



**V Всероссийская конференция с международным участием,
посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова**

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА



Прогнозируемые изменения главных мод долгопериодной климатической изменчивости в XXI веке моделью Земной системы ИВМ РАН

**Гвоздева Анна Вячеславовна^{1,2}, Гущина Дарья Юрьевна^{1,2},
Мухартова Юлия Вячеславовна^{1,2}, Володин Евгений Михайлович²**

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

Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской Академии Наук

г. Москва, 21 ноября 2024 г.

Мотивация

Критически важна верификация модели Земной системы ИВМ РАН и как для анализа воспроизведения современного климата, так и для прогнозирования будущих климатических изменений.

В условиях меняющегося климата, когда особенно сильное потепление происходит в полярных широтах, последствия событий Эль-Ниньо становятся более ощутимыми в арктических регионах.

Использование данных, полученных с помощью моделирования, позволяет в перспективе изучить модификацию главных мод долгопериодной климатической изменчивости в будущем климате.

Привлечение модельных данных дает возможность в дальнейшем исследовать изменения отклика в будущем климате.

Данные:

Для оценки современного климата использовались:

1. Реанализ ERA5 с 1985 по 2014 гг. с шагом $0,25^\circ \times 0,25^\circ$;
2. Модель INM-CM6-M «исторического» эксперимента (сценарий historical) с 1985 по 2014 гг. с шагом $1,25^\circ \times 1^\circ$.

Для анализа модификации главных мод долгопериодной климатической изменчивости в будущем климате были использованы данные модели INM-CM6-M с 2071 по 2100 гг. с шагом $1,25^\circ \times 1^\circ$:

- 5 членов ансамбля для сценариев SSP 1-2.6, 2-4.5, 3-7.0
- 3 члена ансамбля для сценария SSP 5-8.5.

Для анализа модификации удаленного отклика на события 2 типов Эль-Ниньо были использованы данные модели INM-CM6-M с 2015 по 2100 гг.

Методика: PNA, AO, AAO, NAO

1. Пространственная структура Тихоокеанского-Северо-Американского колебания (PNA) определялась как регрессия аномалий геопотенциала на уровне 500 гПа зимой Северного полушария (декабрь-январь-февраль) на индекс PNA, который рассчитывался по следующей формуле:

$$PNA = Z \times (15^\circ \text{ с. ш.} - 25^\circ \text{ с. ш.}, 180 - 140^\circ \text{ з. д.})$$

$$- Z \times (40^\circ \text{ с. ш.} - 50^\circ \text{ с. ш.}, 180 - 140^\circ \text{ з. д.})$$

$$+ Z \times (45^\circ \text{ с. ш.} - 60^\circ \text{ с. ш.}, 125^\circ \text{ з. д.} - 105^\circ \text{ з. д.})$$

$$- Z \times (25^\circ \text{ с. ш.} - 35^\circ \text{ с. ш.}, 90^\circ \text{ з. д.} - 70^\circ \text{ з. д.}),$$

Z – среднее по указанному в скобках региону значение среднемесячных аномалий геопотенциала на уровне 500 гПа

2. Арктическая (AO) и Антарктическая (AAO) осцилляции рассчитывались как 1 мода разложения на ЭОФ среднемесячных значений аномалий геопотенциала на уровне 1000 и 700 гПа севернее 20° с.ш. и южнее 20° ю.ш. зимой (декабрь-январь-февраль) и летом (июнь-июль-август) Северного полушария, соответственно.
3. Североатлантическое колебание (NAO) рассчитывалось как 1 мода разложения на ЭОФ среднемесячных значений аномалий давления на уровне моря и температуры воздуха на 2 м в широтно-долготном участке, предложенном в работе (Hurrell, 1995): $20-80^\circ$ с.ш., 90° з.д. – 40° в.д.

Методика: выделение двух типов Эль-Ниньо

Моды ЭОФ разложения аномалий ТПО

Расчет аномалий ТПО в приэкваториальной части Тихого океана

ЭОФ-разложение

Выделение двух типов Эль-Ниньо по [Takahashi K., et al., 2011] через временные коэффициенты при первой и второй моде ЭОФ:

$$\begin{aligned} \text{С индекс} &= \frac{\text{PC1} + \text{PC2}}{\sqrt{2}} \quad \text{— ЦТ Эль-Ниньо} \\ \text{Е индекс} &= \frac{\text{PC1} - \text{PC2}}{\sqrt{2}} \quad \text{— ВТ Эль-Ниньо} \end{aligned}$$

В моделях INM-CM вместо PC2 использовались PC3

EOF1

EOF2

EOF1

EOF3

Percentage of variance = 31.81%

Percentage of variance = 4.38% (7.95%)

Percentage of variance = 41.71%

Percentage of variance = 6.11% (8.69%)

Percentage of variance = 49.98%

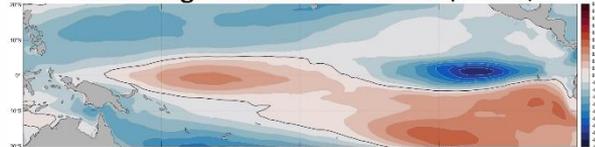
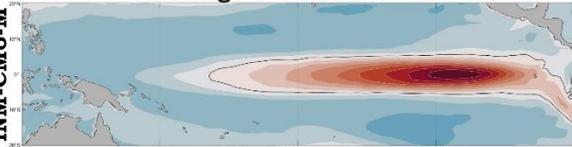
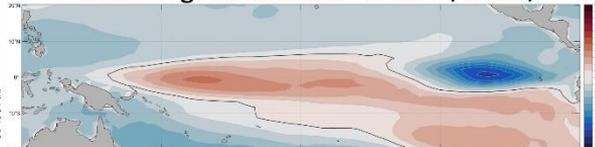
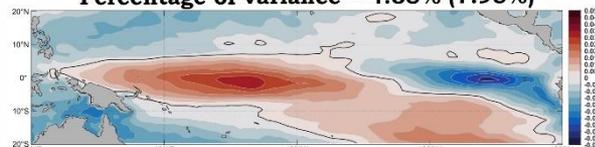
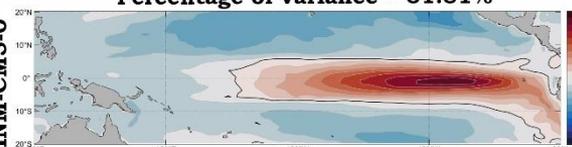
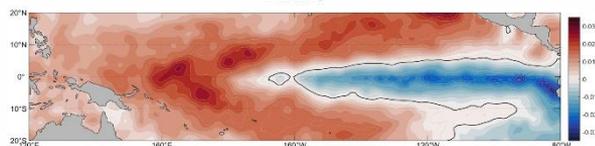
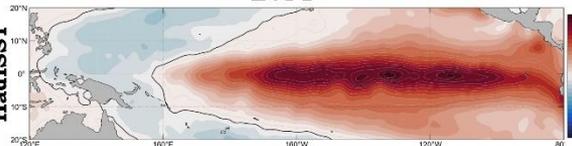
Percentage of variance = 4.96% (9.05%)

HadISST

INM-CM5-0

INM-CM6-L

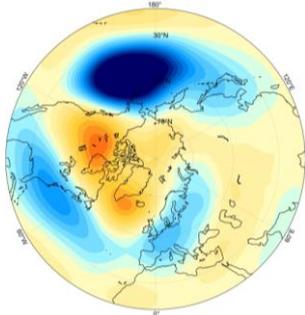
INM-CM6-M



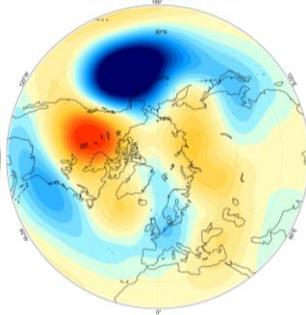
Результаты: положительная фаза PNA

По сценариям SSP 1-2.6, 2-4.5, 3-7.0 и 5-8.5 модель INM-CM6-M к концу XXI века прогнозирует ослабление Тихоокеанско–Североамериканского колебания

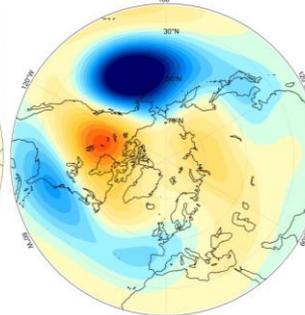
ERA5
1985-2014



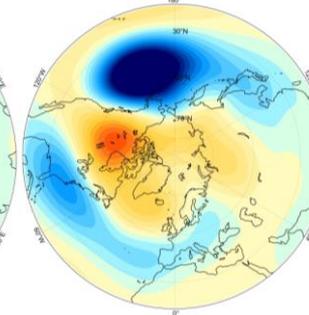
INM-CM6-M
«historical» run
1985-2014



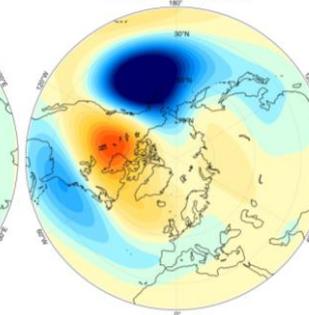
INM-CM6-M
SSP1–2.6
1971-2100



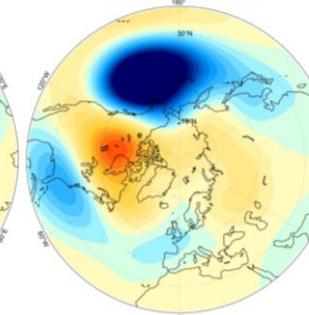
INM-CM6-M
SSP2–4.5
1971-2100



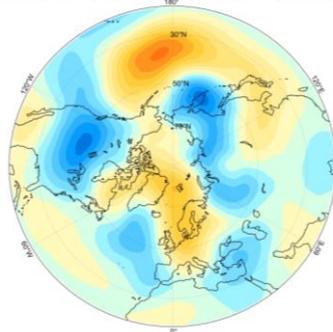
INM-CM6-M
SSP3–7.0
1971-2100



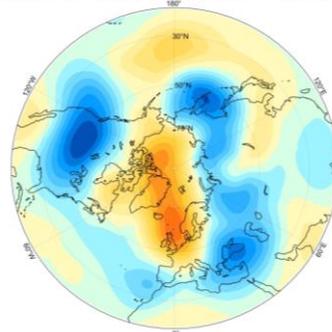
INM-CM6-M
SSP5–8.5
1971-2100



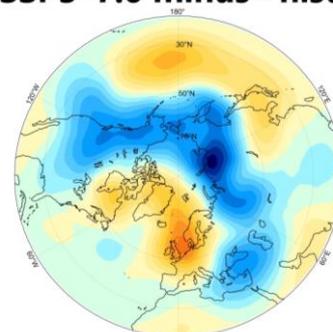
INM-CM6-M
SSP1–2.6 minus «hist»



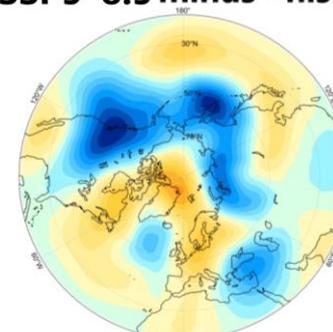
INM-CM6-M
SSP2–4.5 minus «hist»



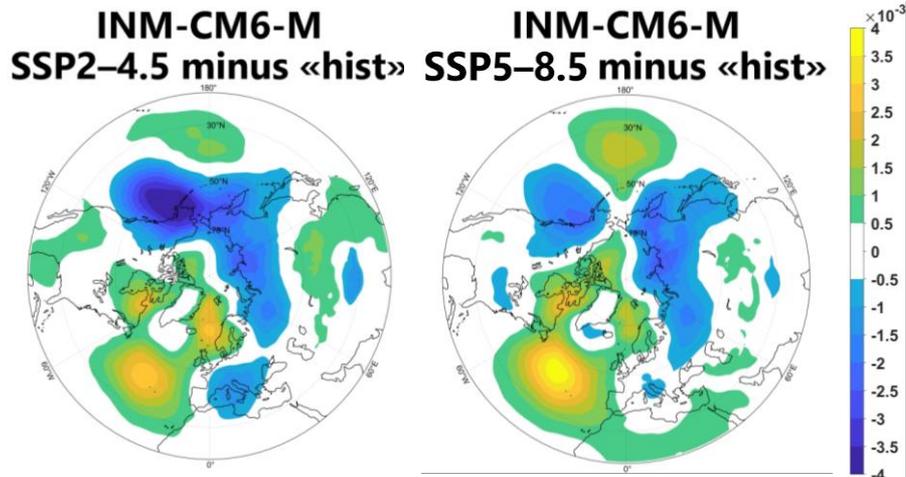
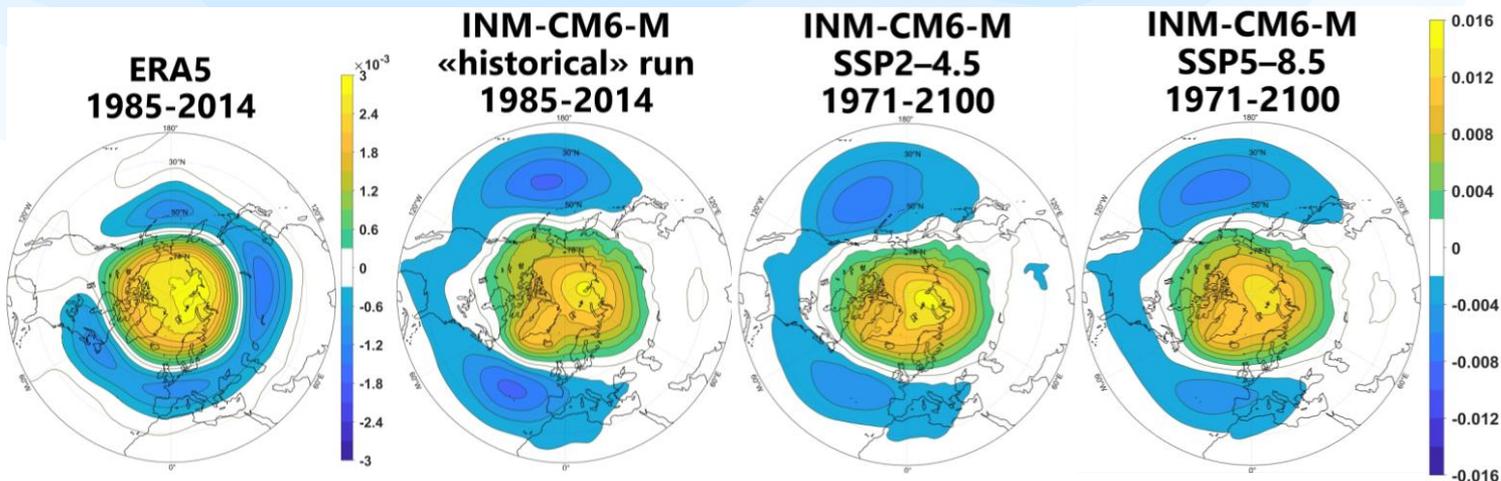
INM-CM6-M
SSP3–7.0 minus «hist»



INM-CM6-M
SSP5–8.5 minus «hist»

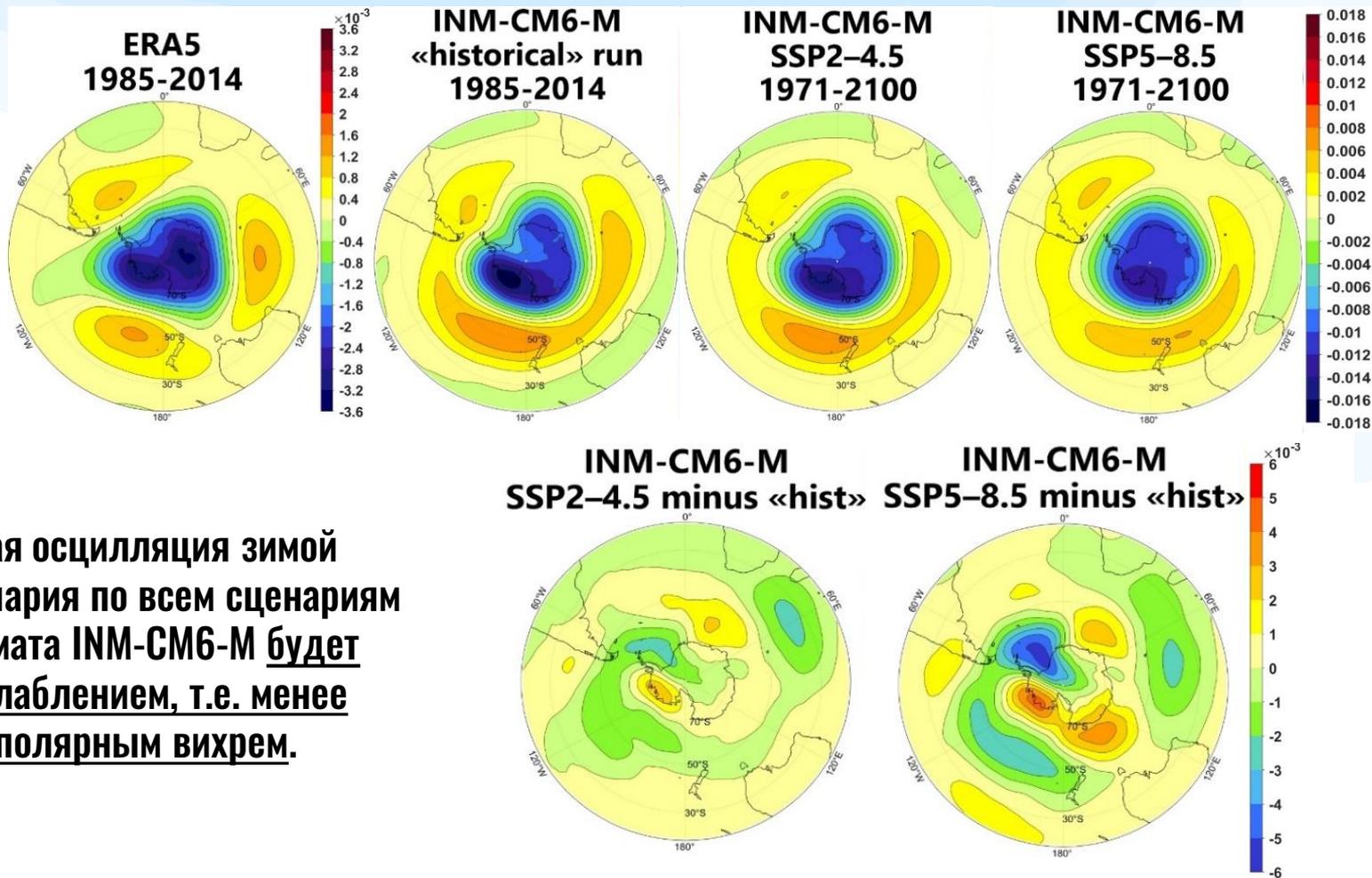


Результаты: отрицательная фаза А0



Арктическая осцилляция будет чаще характеризоваться положительной фазой и, следовательно, более интенсивным полярным вихрем в Северном полушарии по данным сценария SSP5-8.5 модели INM-CM6-M

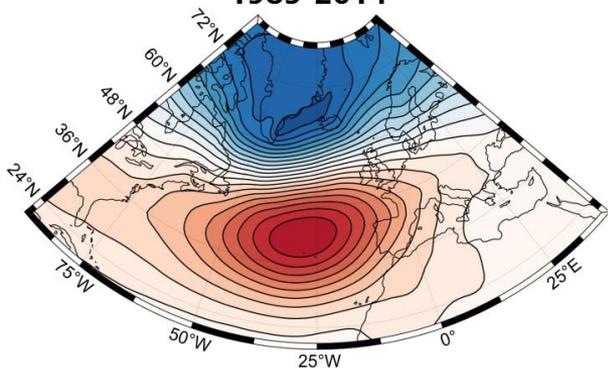
Результаты: положительная фаза ААО



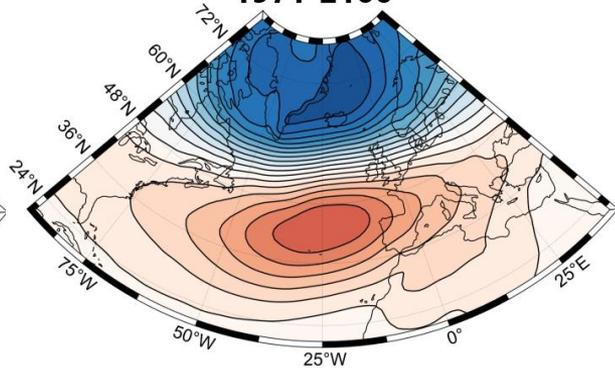
Антарктическая осцилляция зимой Южного полушария по всем сценариям будущего климата INM-CM6-M будет отличаться ослаблением, т.е. менее интенсивным полярным вихрем.

Результаты: положительная фаза NAO

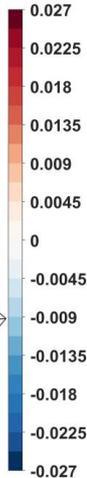
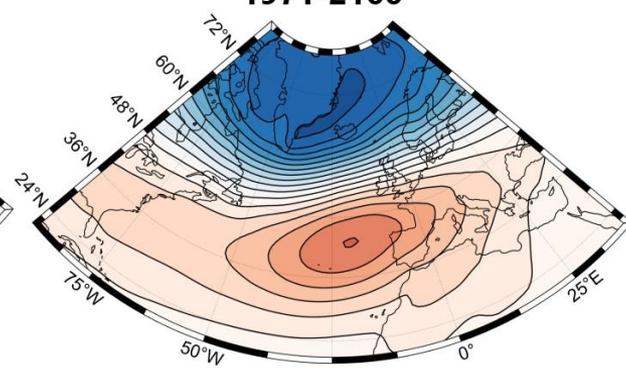
INM-CM6-M
«historical» run
1985-2014



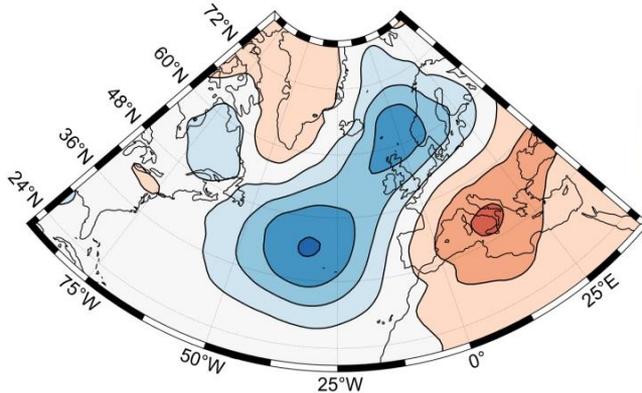
INM-CM6-M
SSP2-4.5
1971-2100



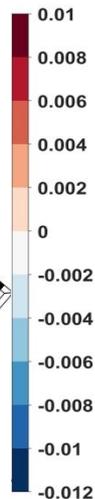
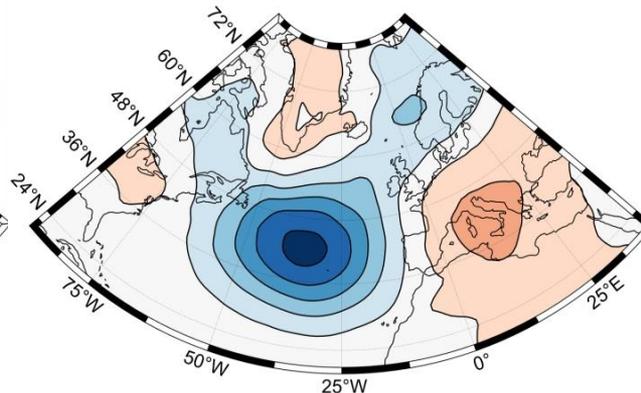
INM-CM6-M
SSP5-8.5
1971-2100



INM-CM6-M
SSP2-4.5 minus «hist»

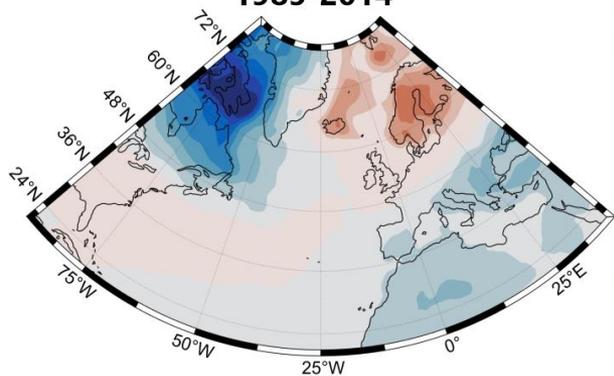


INM-CM6-M
SSP5-8.5 minus «hist»

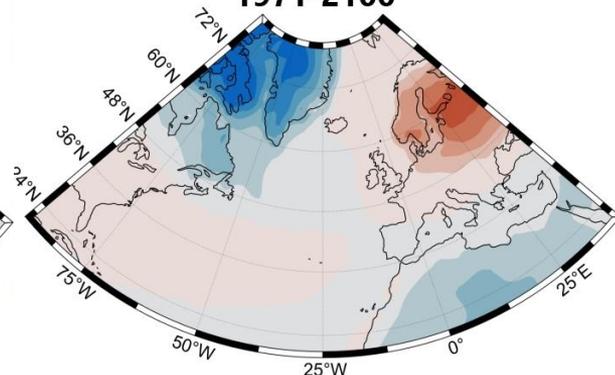


Результаты: положительная фаза NAO

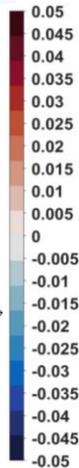
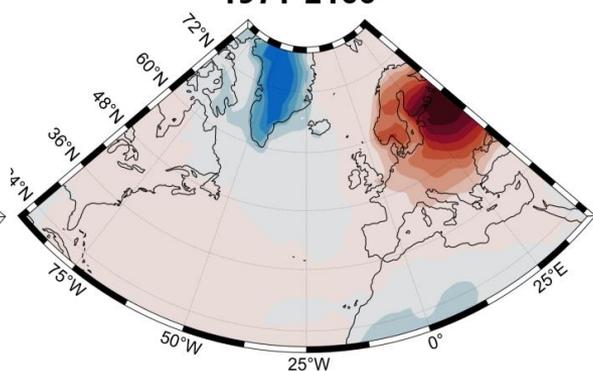
INM-CM6-M
«historical» run
1985-2014



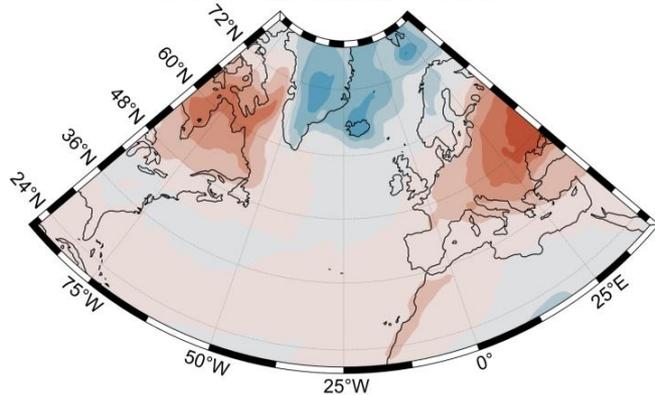
INM-CM6-M
SSP2-4.5
1971-2100



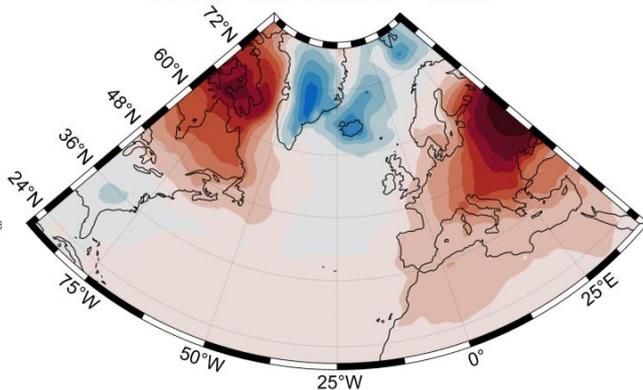
INM-CM6-M
SSP5-8.5
1971-2100



INM-CM6-M
SSP2-4.5 minus «hist»



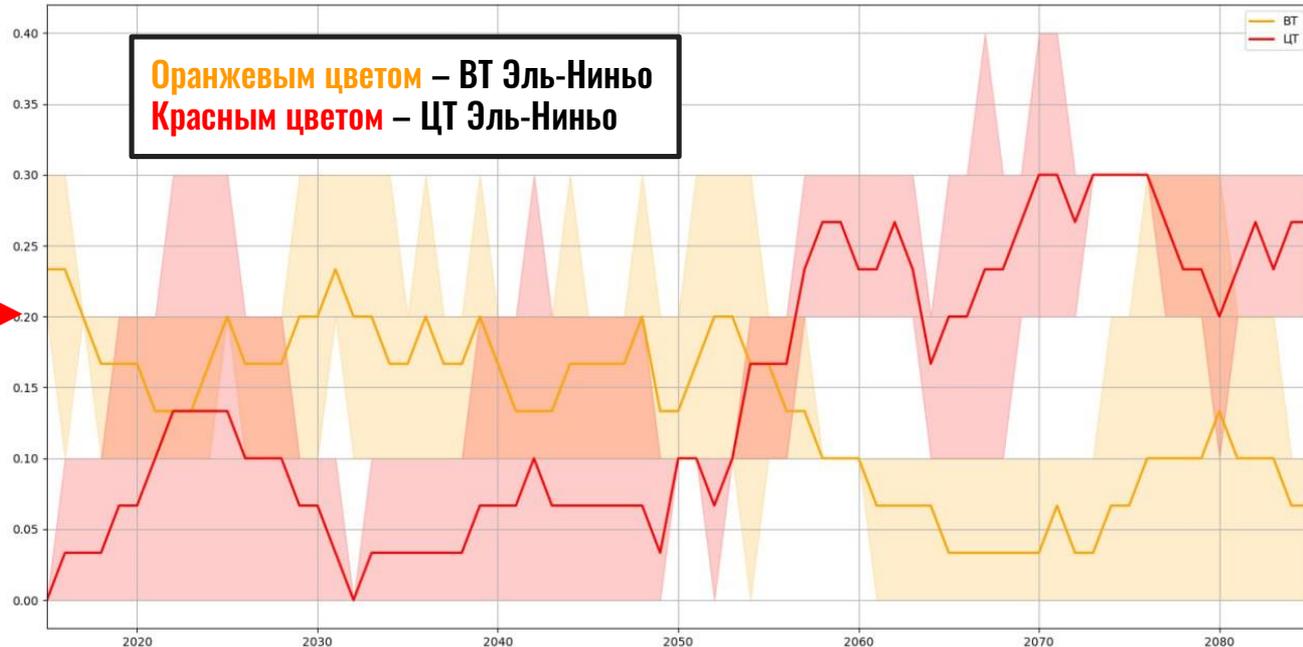
INM-CM6-M
SSP5-8.5 minus «hist»



Результаты: Эль-Ниньо

- Интенсивность ВТ и ЦТ Эль-Ниньо в будущем климате увеличивается.
- Продолжительность ВТ событий возрастет, для ЦТ событий – наоборот: продолжительность не изменится, а повторяемость возрастет.
- Кульминация ЦТ Эль-Ниньо сместится на более ранние сроки - осень Северного полушария.

Изменения числа событий двух типов Эль-Ниньо в будущем климате путем расчета скользящего среднего по 10 годам для периода с 2015 по 2100 гг.

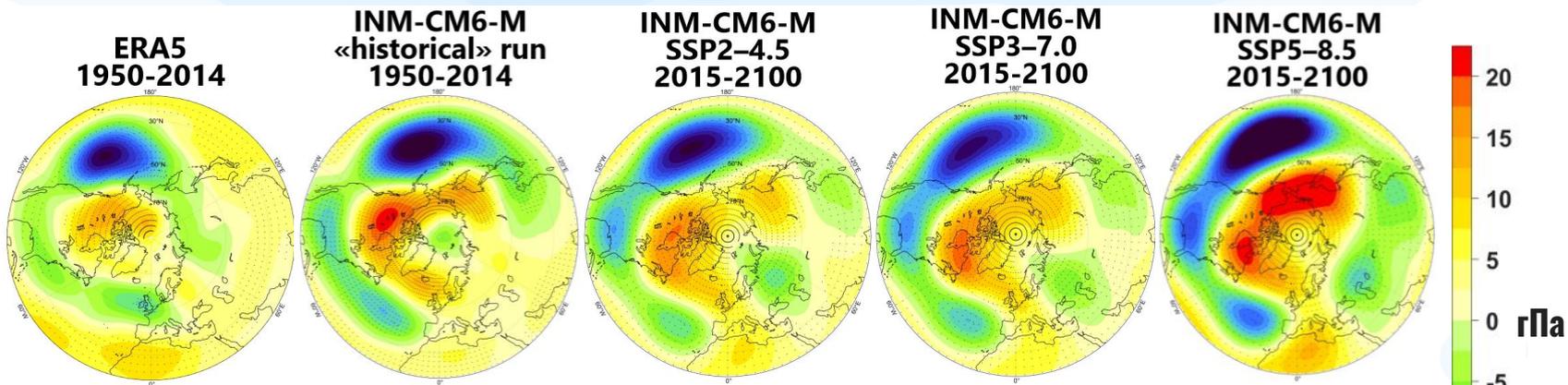


Результаты: тропосферный отклик на события 2 типов Эль-Ниньо

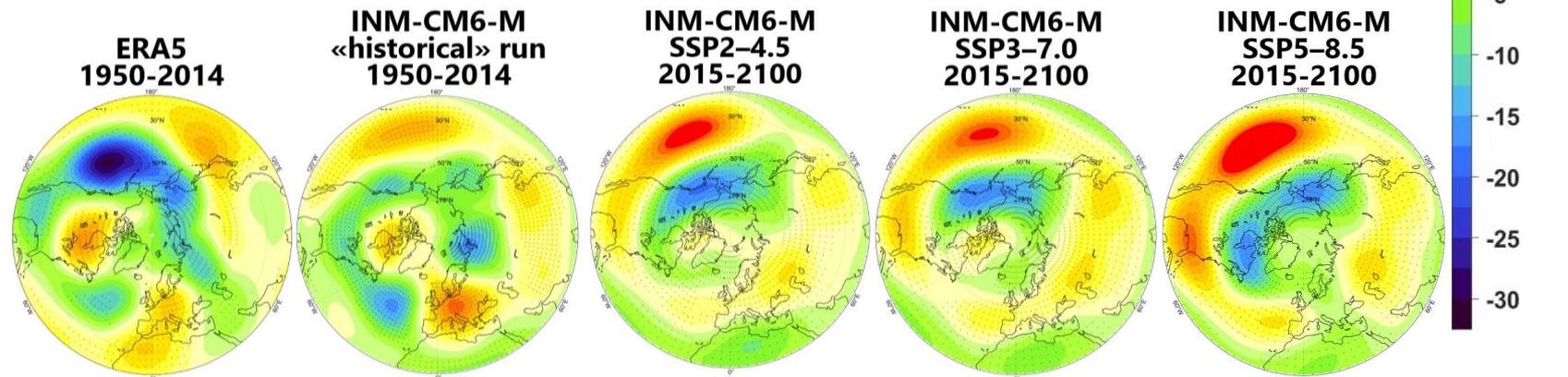
Северное полушарие

Регрессия аномалий геопотенциала за зимние месяцы на уровне 500 гПа

ЦТ
Эль-Ниньо



ВТ
Эль-Ниньо



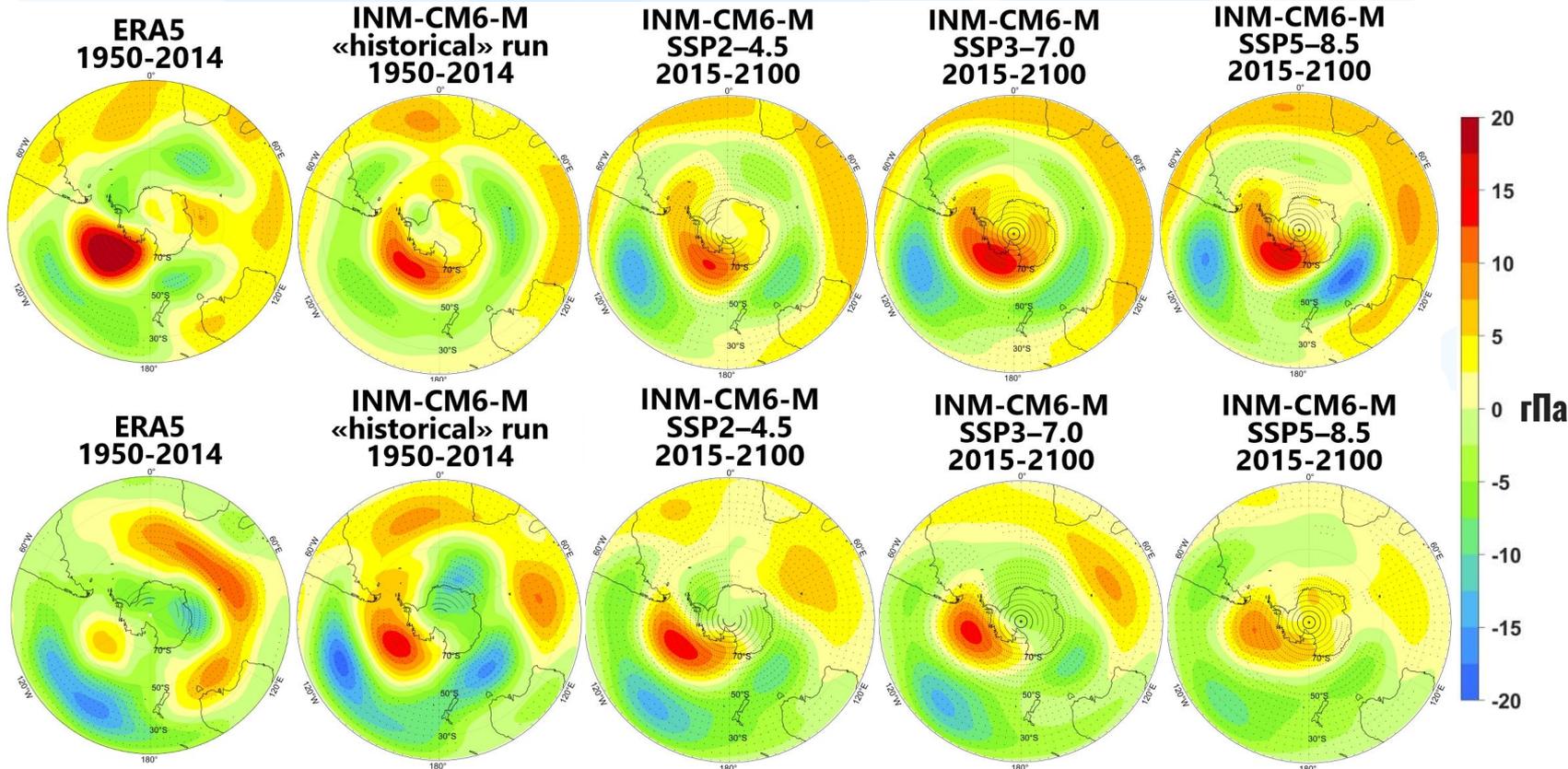
Точечной штриховкой обозначены регрессии, значимые на 90% уровне доверительной вероятности.

Результаты: тропосферный отклик на события 2 типов Эль-Ниньо

Южное полушарие

Регрессия аномалий геопотенциала за зимние месяцы (июнь-июль-август) на уровне 500 гПа

ЦТ
Эль-Ниньо



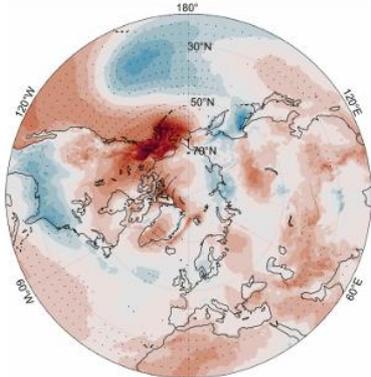
ВТ
Эль-Ниньо

Точечной штриховкой обозначены регрессии, значимые на 90% уровне доверительной вероятности.

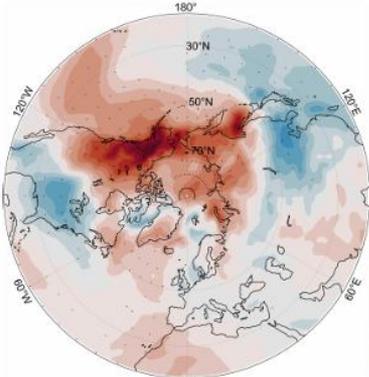
Результаты: отклик в поле аномалий температуры на 2 м на события Эль-Ниньо

ЦТ
Эль-Ниньо

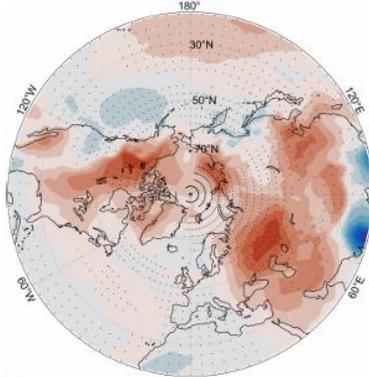
ERA5
1985-2014



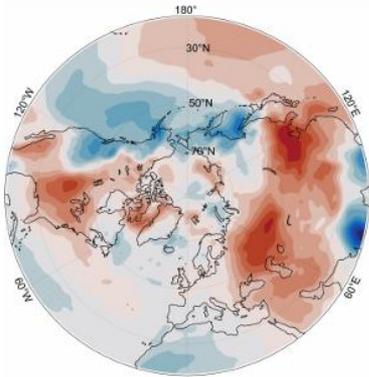
INM-CM6-M
«historical» run
1985-2014



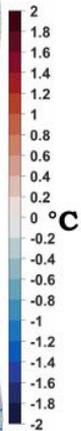
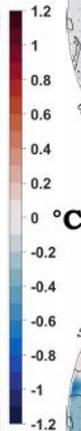
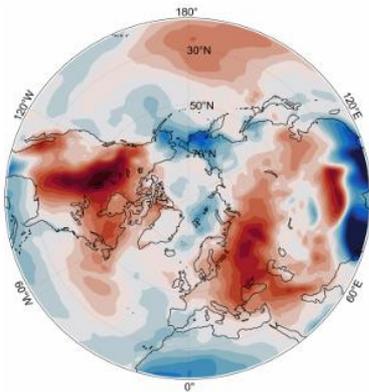
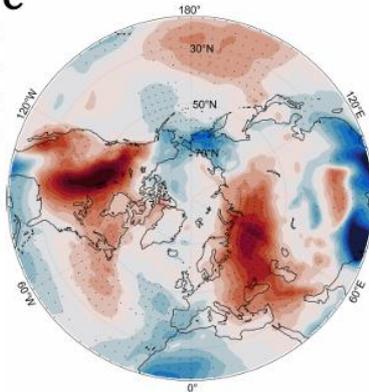
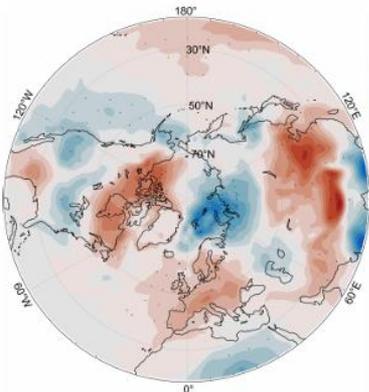
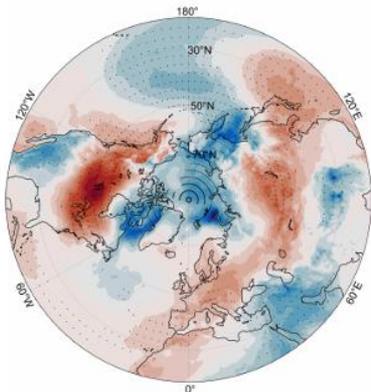
INM-CM6-M
SSP 5-8.5
1970-2100



INM-CM6-M
SSP 5-8.5 minus «historical»



ВТ
Эль-Ниньо



В будущем климате по сценарию ssp5-8.5 оба типа Эль-Ниньо будут способствовать более интенсивному Арктическому усилению в полярных и умеренных широтах России и Северной Америки

Стендовые доклады

K14

Железнова И.В., Гущина Д.Ю.

Воспроизведение глобальной и региональной атмосферной циркуляции в модели INM-CM6M и оценка изменения циркуляции в будущем климате

K9

**Гвоздева А.В., Володин Е.М.,
Гущина Д.Ю.**

Тропосферно-стратосферное взаимодействие в годы Эль-Ниньо и Ла-Нинья: исследование с использованием модели Земной системы ИВМ РАН

Выводы:

- По сценариям будущего климата модели INM-CM6-M к концу XXI века прогнозируется ослабление Тихоокеанско–Североамериканского колебания.
 - Арктическая осцилляция будет чаще характеризоваться положительной фазой и, следственно, более интенсивным полярным вихрем в Северном полушарии по данным сценария SSP5-8.5 модели INM-CM6-M.
 - Антарктическая осцилляция зимой Южного полушария по всем сценариям будущего климата INM-CM6-M будет отличаться ослаблением, т.е. менее интенсивным полярным вихрем.
 - Ожидается увеличение роли NAO среди всех мод климатической изменчивости.
- Интенсивность ВТ и ЦТ Эль-Ниньо в будущем климате увеличивается.
 - Продолжительность ВТ событий возрастет, при неизменной повторяемости, для ЦТ событий – наоборот: продолжительность не изменится, а повторяемость возрастет.
 - Кульминация ЦТ Эль-Ниньо сместится на более ранние сроки - осень Северного полушария.
- Отклик на события двух типов Эль-Ниньо в тропосфере Северного полушария будет усиливаться по данным всех сценариев будущего климата модели INM-CM6-M. При этом при рассмотрении сценария SSP5-8.5 события ВТ Эль-Ниньо в будущем климате будут способствовать усилению, а не ослаблению полярного вихря в средней тропосфере Северного полушария.
 - Отклик зимой и летом Южного полушария становится интенсивнее только во время ЦТ Эль-Ниньо. В условиях самого жесткого сценария климата будущего стирается разница в отклике на два типа Эль-Ниньо в тропосфере Южного полушария.