



Отклик атмосферной циркуляции внетропических широт на Эль-Ниньо

Гущина Дарья, Гвоздева Анна

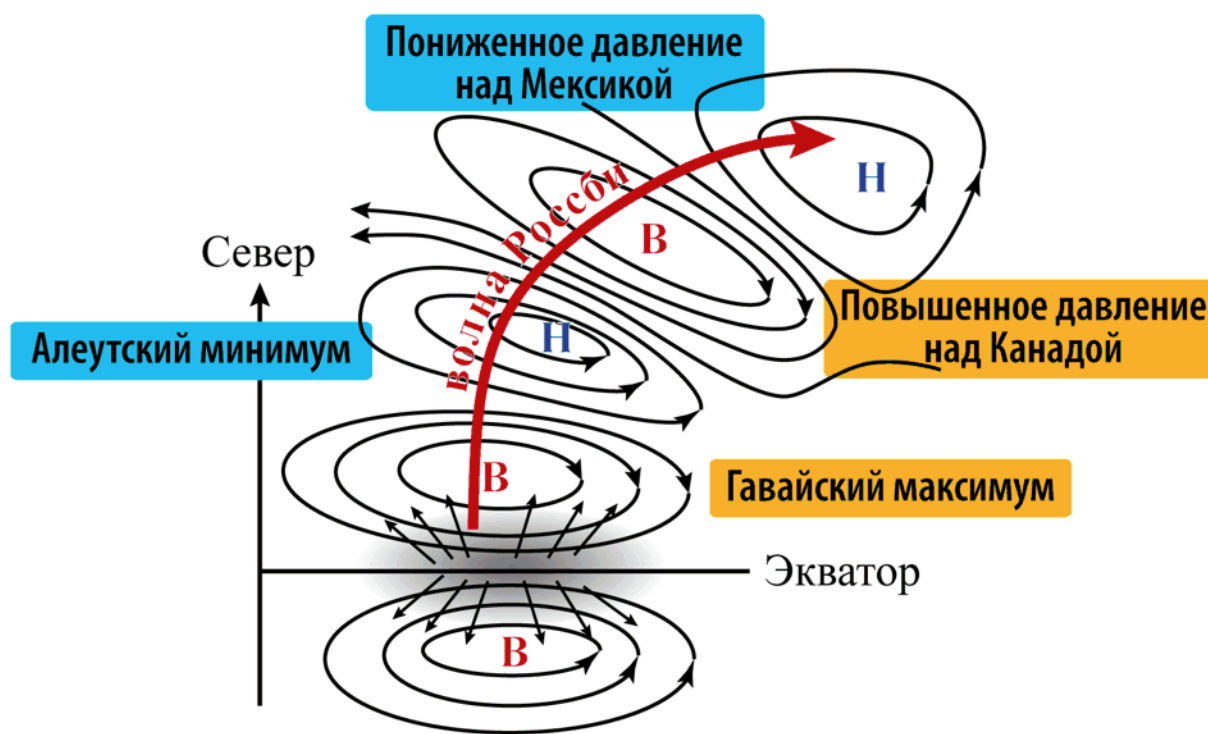
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии

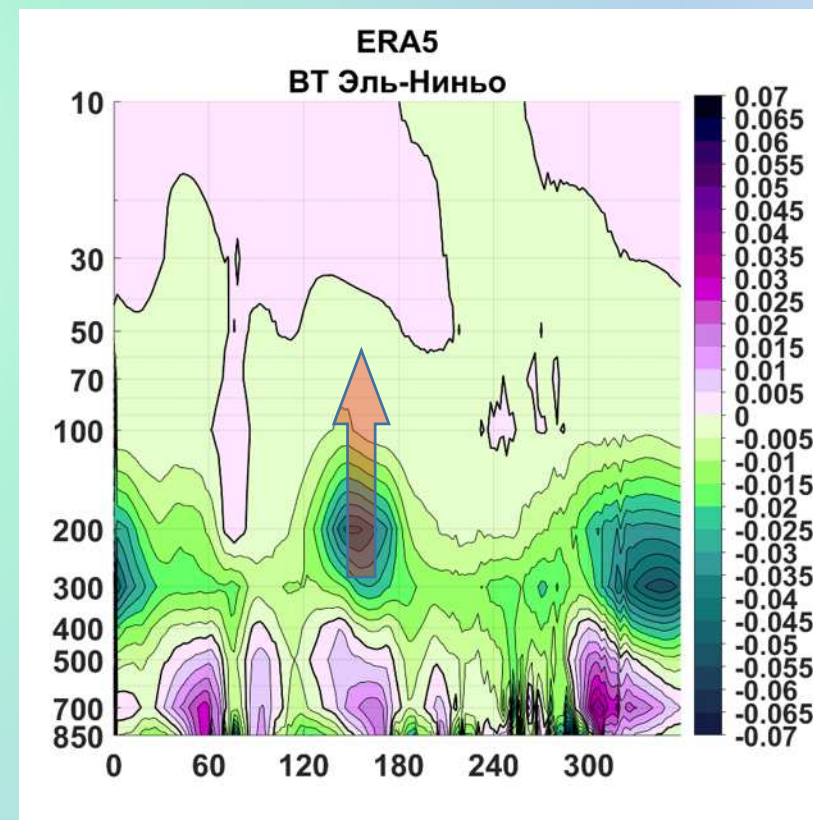
Мотивация

- Аномалии температуры поверхности океана в тропиках через аномальные потоки тепла и влаги создают сигнал, распространяющийся по горизонтали и вертикали
- Это вызывает отклик в циркуляции умеренных и полярных широт

Тропосфера – планетарная волна Россби



Стратосфера – поток волновой активности из тропосферы



[Trenberth et al. 1998]

- Сигнал из тропиков вызывает возмущения циркуляции в тропосфере и стратосфере внетропических широт

Почему нас это интересует?



Аномалии циркуляции в стратосфере могут влиять на аномалии погоды



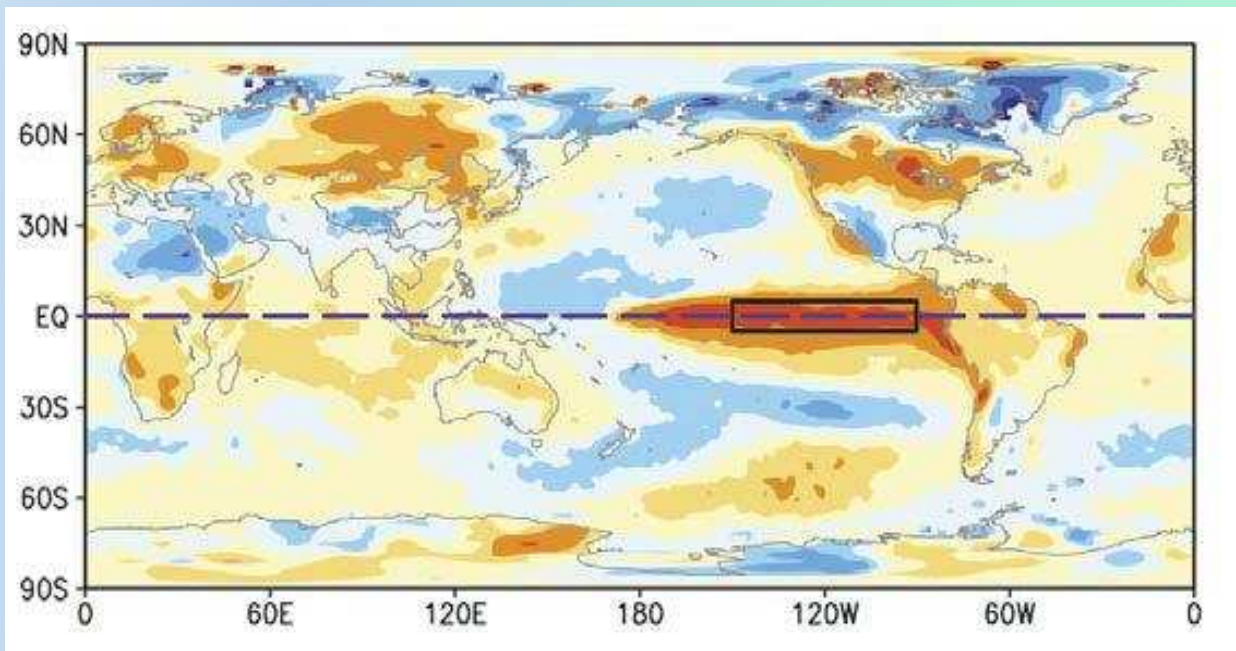
Сигнал из тропиков может усиливать потепление, вызванное глобальной тенденцией («полярное усиление»)

Разнообразие Эль-Ниньо

“No two El Niños are alike”

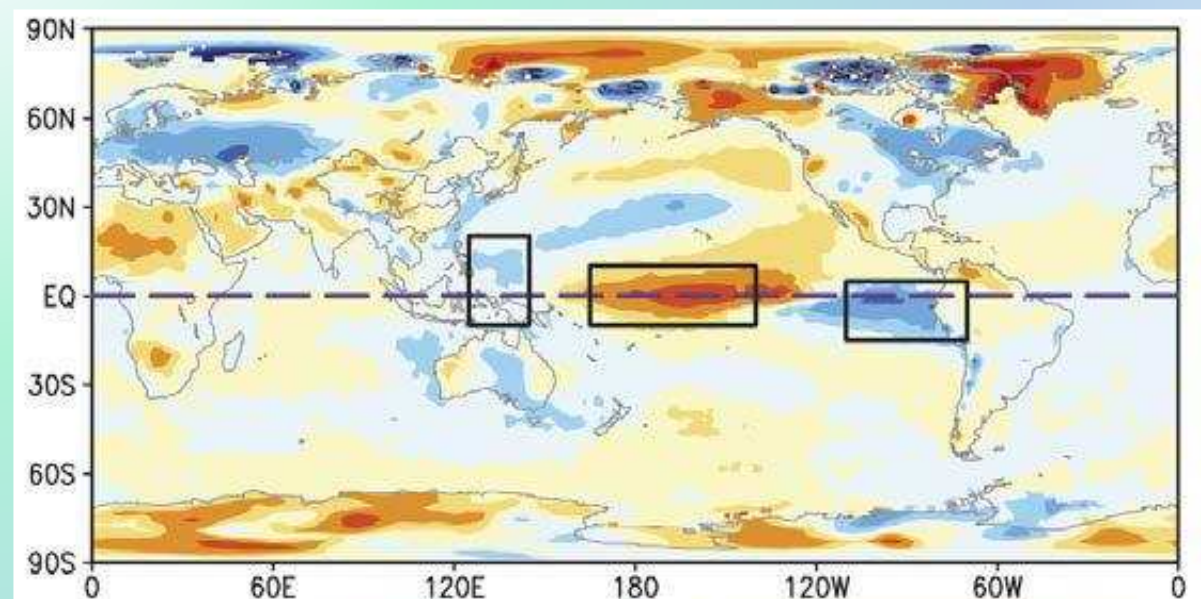
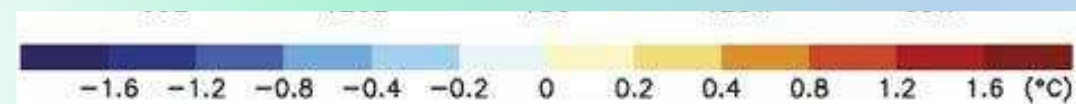
K. Wyrтки

**Каноническое Эль-Ниньо
(Восточно-тихоокеанское)**



**Эль-Ниньо Модоки
(Центрально-тихоокеанское)**

[Weng et. al., 2008]



Определение типа Эль-Ниньо[Takahashi et al., 2011]:

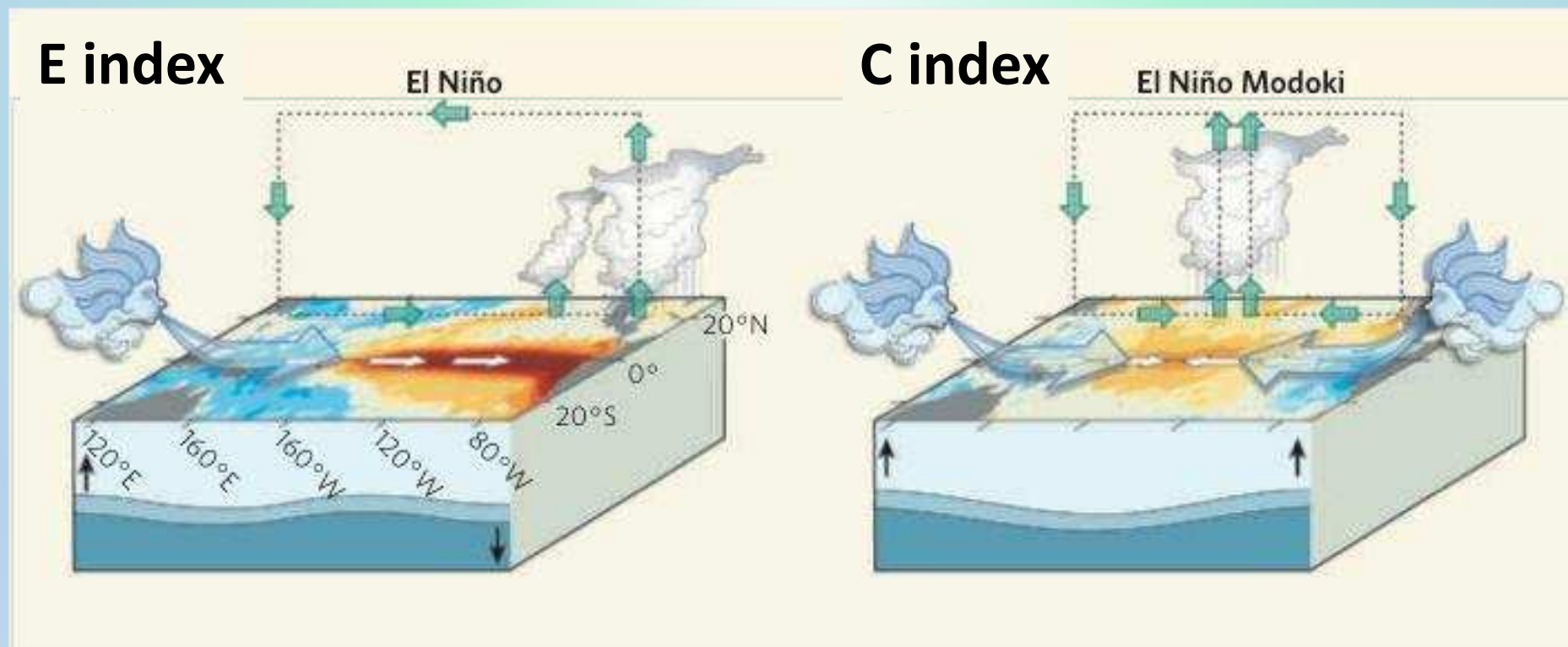
$$C \text{ index} = \frac{PC1+PC2}{\sqrt{2}}$$

Центрально-тихоокеанское Эль-Ниньо

$$E \text{ index} = \frac{PC1-PC2}{\sqrt{2}}$$

Восточно-тихоокеанское Эль-Ниньо

PC1 и PC2 - Главные компоненты ЭОФ1 и ЭОФ2 аномалий ТПО в экваториальном Тихом океане



Данные

- среднемесячные значения геопотенциала и температуры на уровнях **1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 100, 70, 50, 30 и 10 гПа** реанализа **ERA5** за период с 1959 по 2021 гг. с шагом $0.25^\circ \times 0.25^\circ$;
* в Южном полушарии на уровнях с 700 гПа.
- температура поверхности океана из архива данных HadISST за период с 1959 по 2021 гг. с шагом $1^\circ \times 1^\circ$.

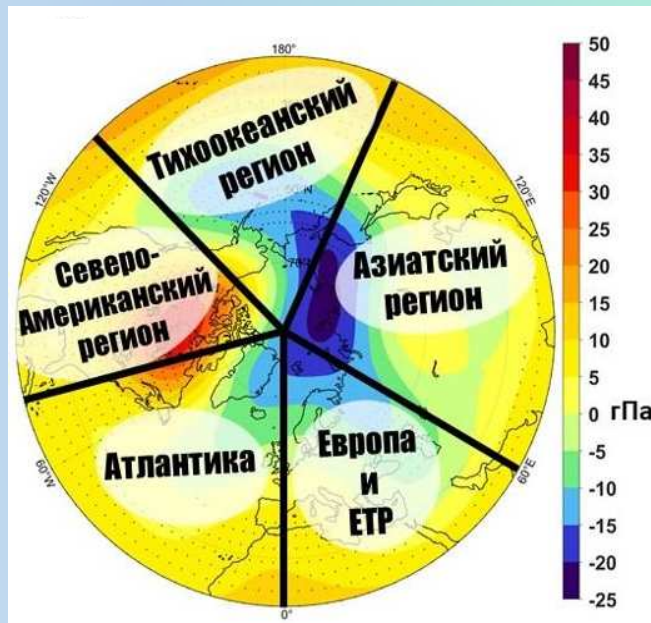
Методика

Линейная регрессия аномалий температуры и геопотенциала на С+, С- и Е индексы

- Аномалии рассчитаны путем удаления сезонного хода, усредненного за период с 1959 по 2021 год;
- Из данных удален линейный тренд, рассчитанный за период с 1959-2021 гг.;
- Регрессии рассчитаны отдельно для каждого месяца с октября по май в Северном полушарии и для каждого месяца года в Южном полушарии;
- Значимость коэффициентов регрессии оценена с помощью t-критерия Стьюдента.

Схематичное представление регионов осреднения

Северное полушарие



1. 75°з.д.-0° (Атлантика)
2. 0°-60° в.д. (Европа и ЕТР)
3. 60°-135° в.д. (Азиатский регион)
4. 135° в.д.-135° з.д. (Тихоокеанский регион)
5. 135°-75° з.д. (Северо-Американский район)

Широтные z-t профили

(осреднение по кругу широты)

1. полярные широты (70°-90° с.ш., ю.ш.)
2. умеренные широты (50°-70° с.ш., ю.ш.)
3. субтропические широты (20°-50° с.ш., ю.ш.)

Долготные z-t профили

(осреднение 20°-90° с.ш., ю.ш.)

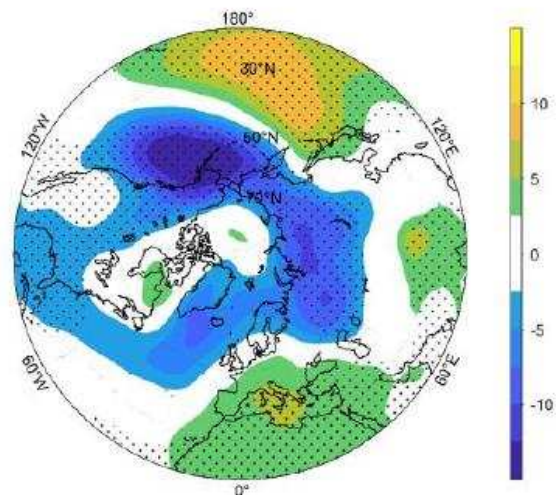
Южное полушарие



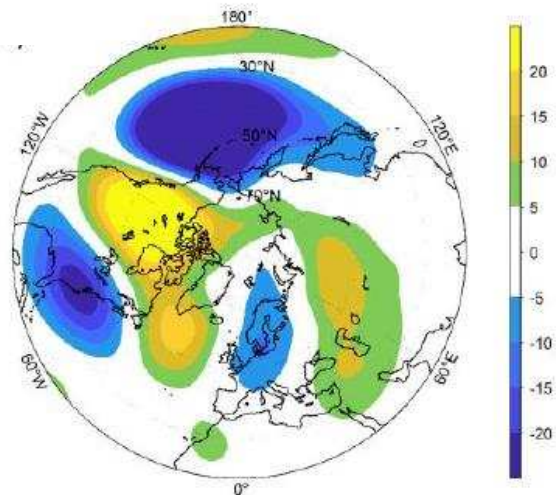
1. 70°з.д.-0° (Атлантика)
2. 0°-60° в.д. (Африканский регион)
3. 60°-110° в.д. (Индийский регион)
4. 110° в.д.-180° (Австралийский регион)
5. 180°-70° з.д. (Тихоокеанский регион)

Тропосфера

ВТ Эль-Ниньо отклик циркуляции – структура
Тихоокеанско-Северо-американского
колебания (PNA)

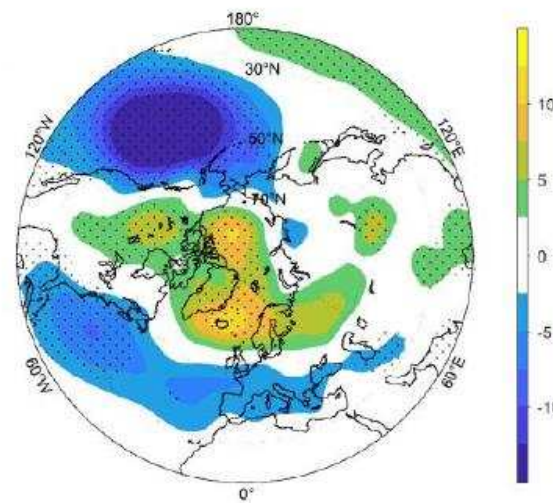


Регрессия аномалий
геопотенциала на 1000
гПа на Е индекс

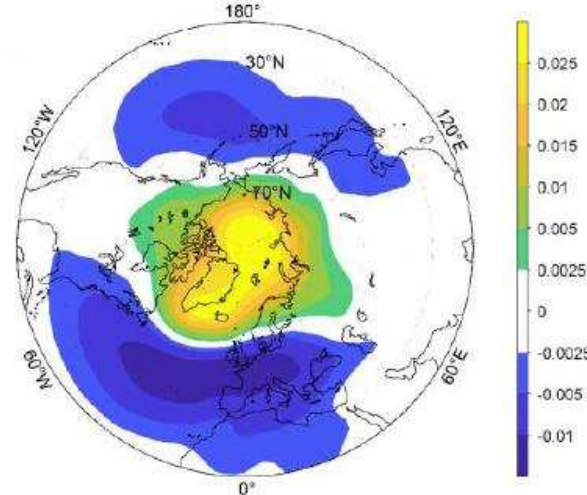


Положительная фаза
PNA

ЦТ Эль-Ниньо отклик циркуляции – структура
Арктической осцилляции (АО)



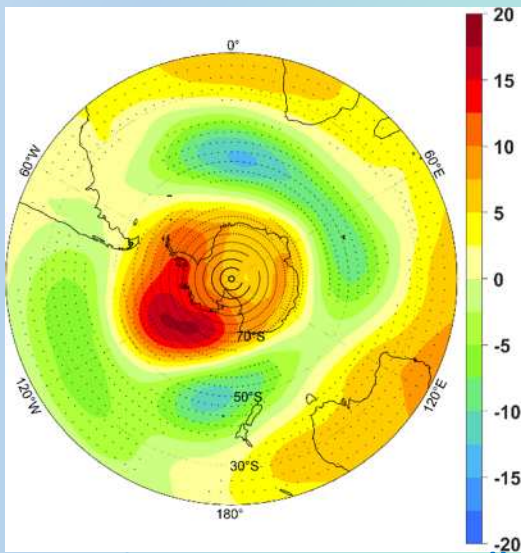
Регрессия аномалий
геопотенциала на 1000
гПа на С индекс



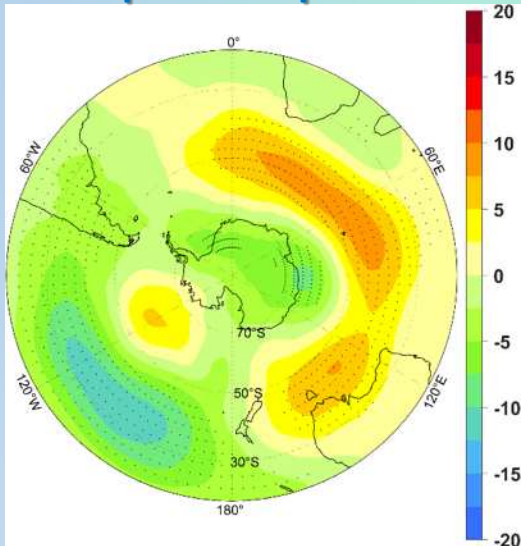
Отрицательная
фаза АО

Тропосфера

ВТ Эль-Ниньо



Отрицательная фаза Антарктической осцилляции



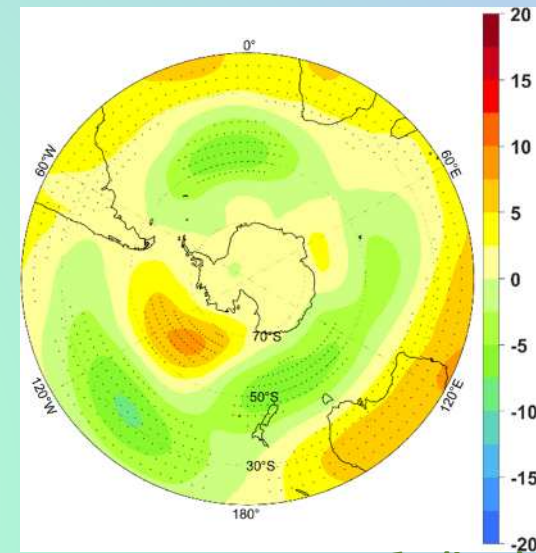
Положительная фаза Антарктической осцилляции

Зима

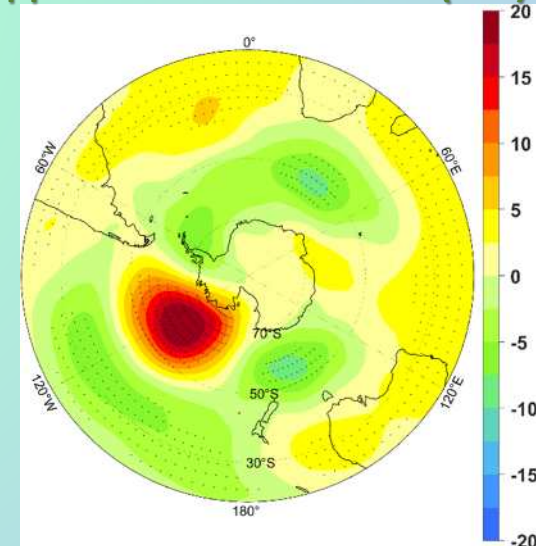
Регрессия аномалий
геопотенциала на 700 гПа на
индексы Эль-Ниньо

Лето

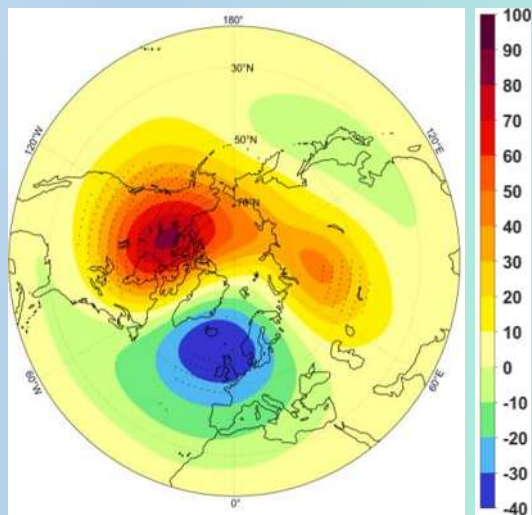
ЦТ Эль-Ниньо



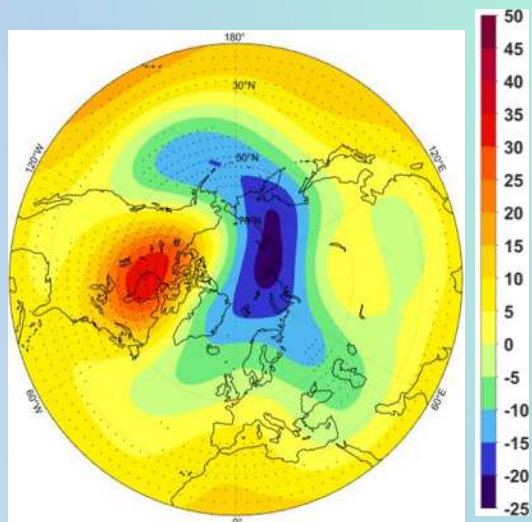
Длинная волна Россби (k=2)



ВТ Эль-Ниньо



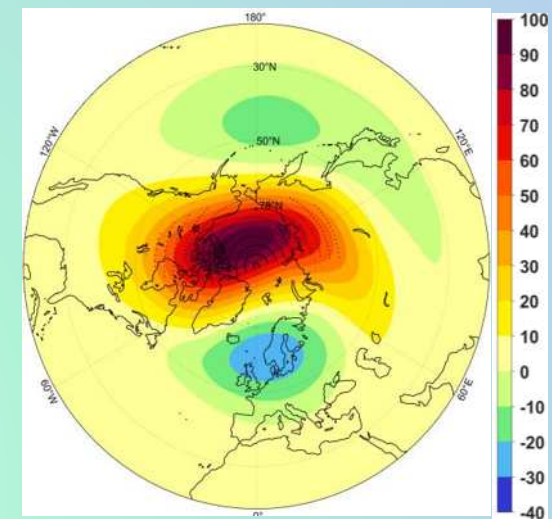
Ослабление циркумполярного вихря (ЦПВ) на 70 гПа, усиление ЦПВ на 10 гПа



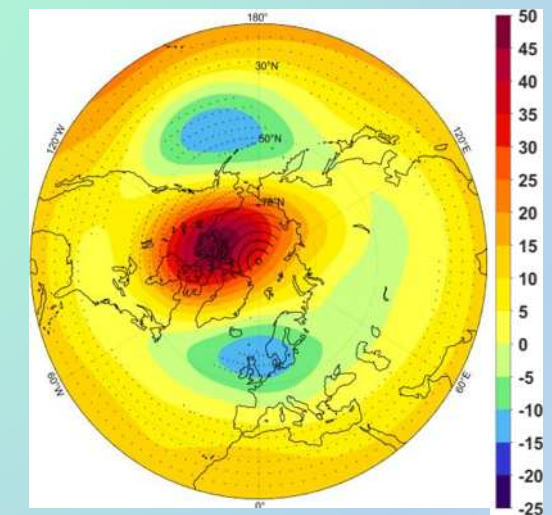
Стратосфера

Нижняя стратосфера 70 гПа

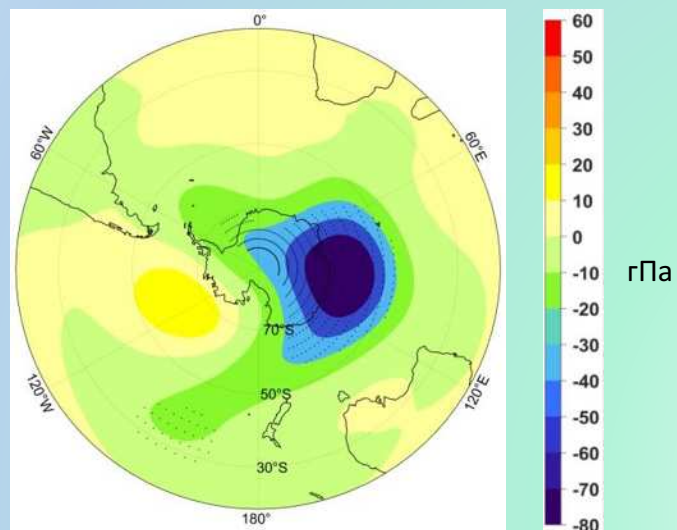
ЦТ Эль-Ниньо



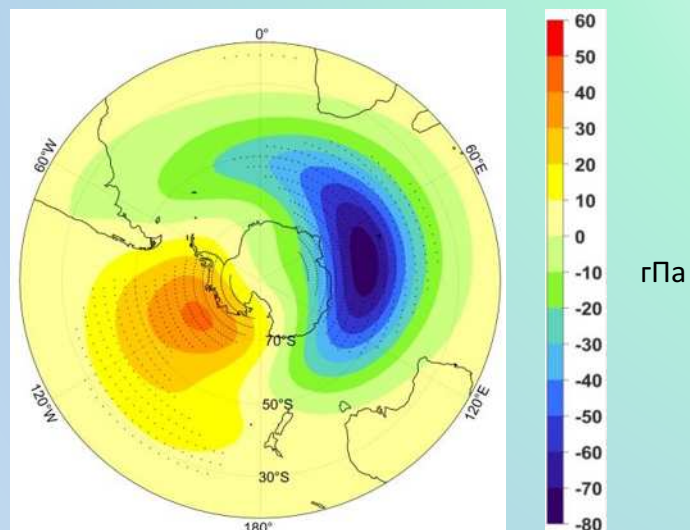
Ослабление ЦПВ



ВТ Эль-Ниньо



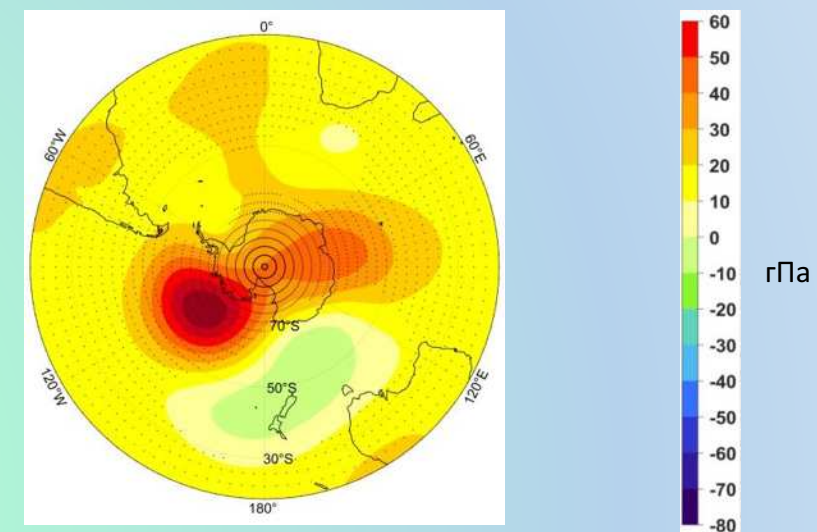
**Усиление ЦПВ в Восточном полушарии,
ослабление в Западном**



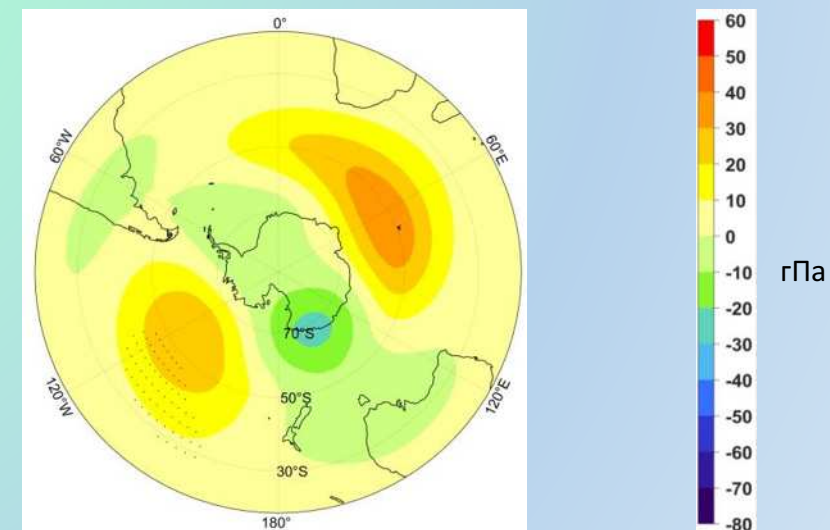
Стратосфера

Нижняя стратосфера 70 гПа

ЦТ Эль-Ниньо

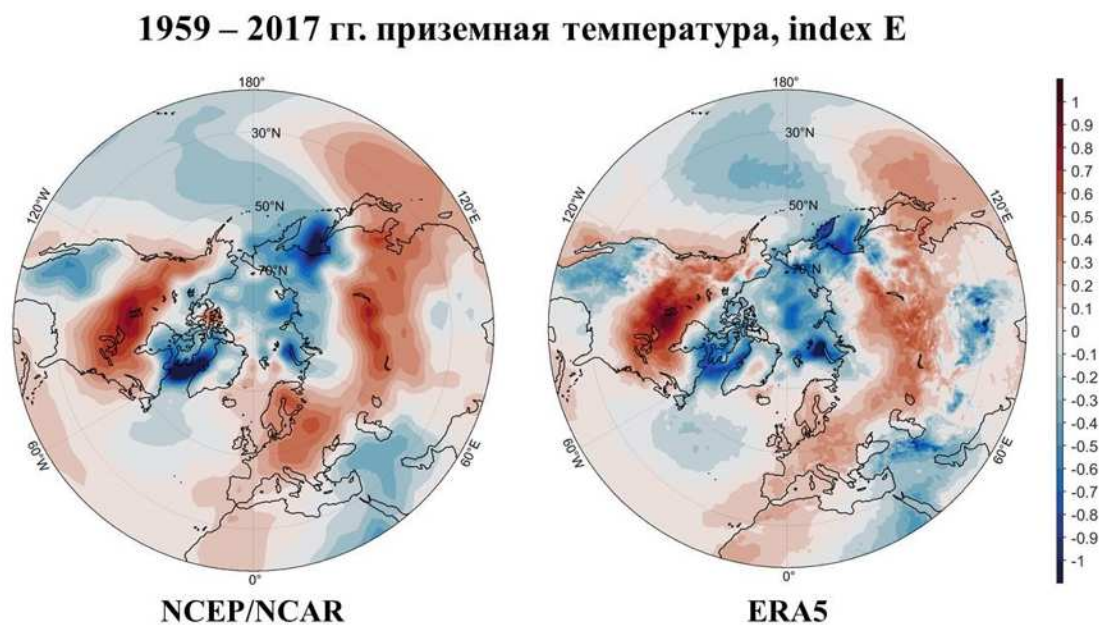


**Ослабление ЦПВ на 70 гПа,
усиление на 10 гПа**

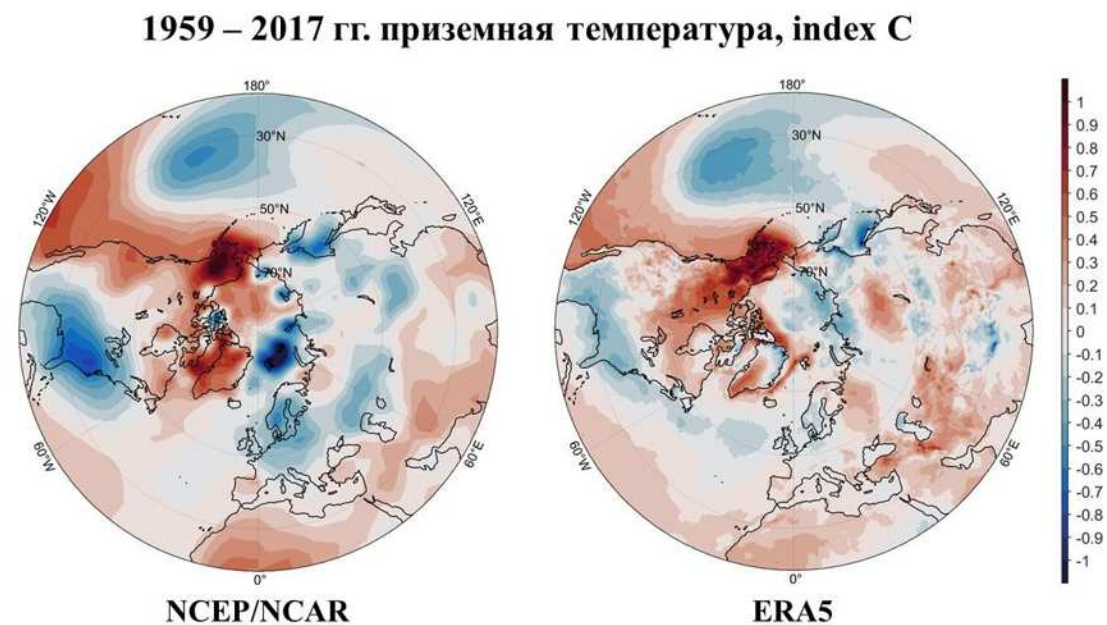


Регрессия аномалий температуры на 2 метрах на индексы Эль-Ниньо.

Е индекс



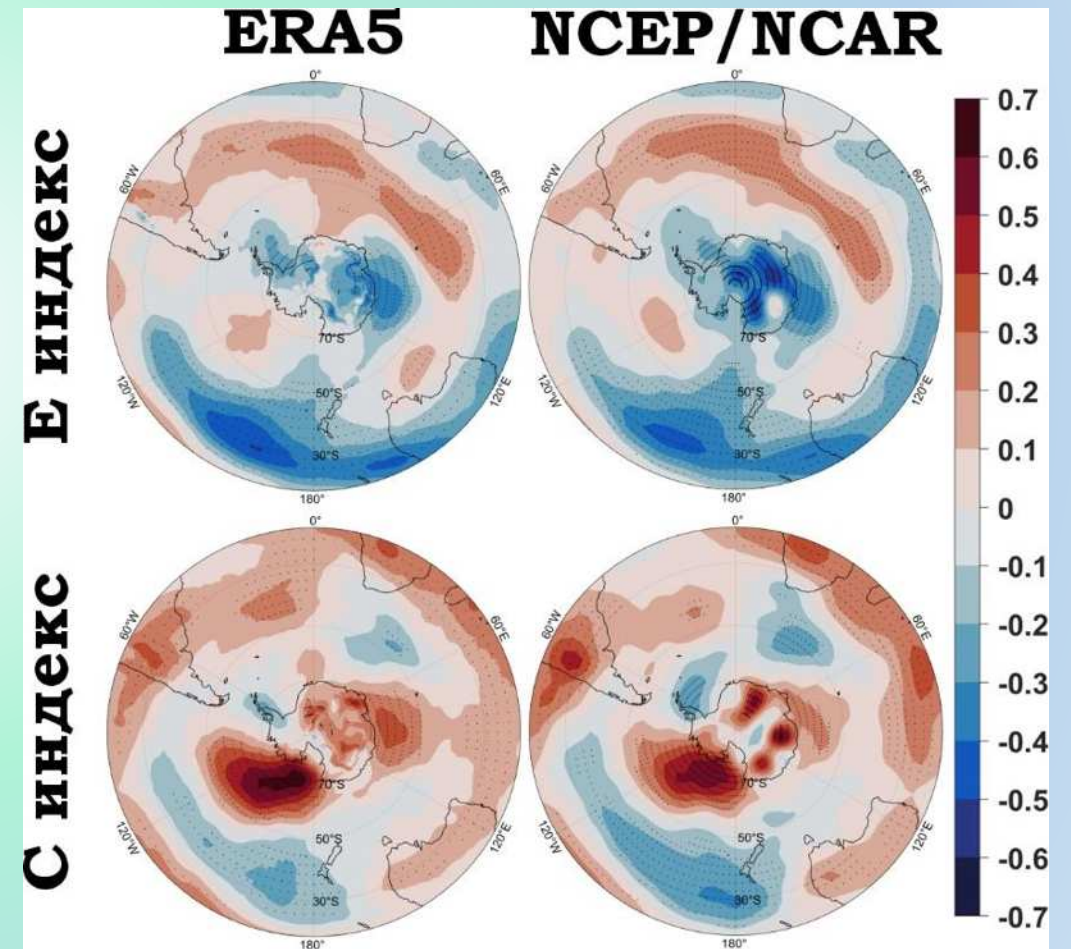
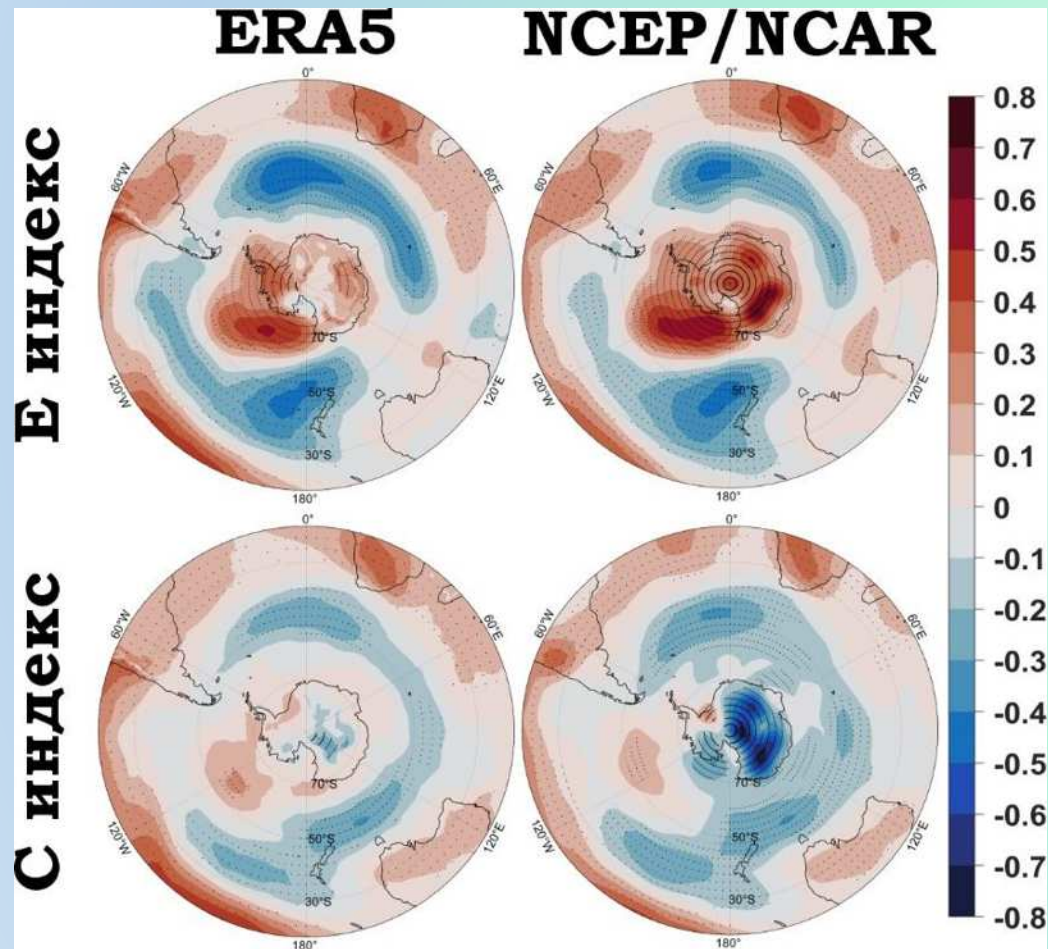
С индекс



Регрессия аномалий температуры на 2 метрах на индексы Эль-Ниньо.

Зима

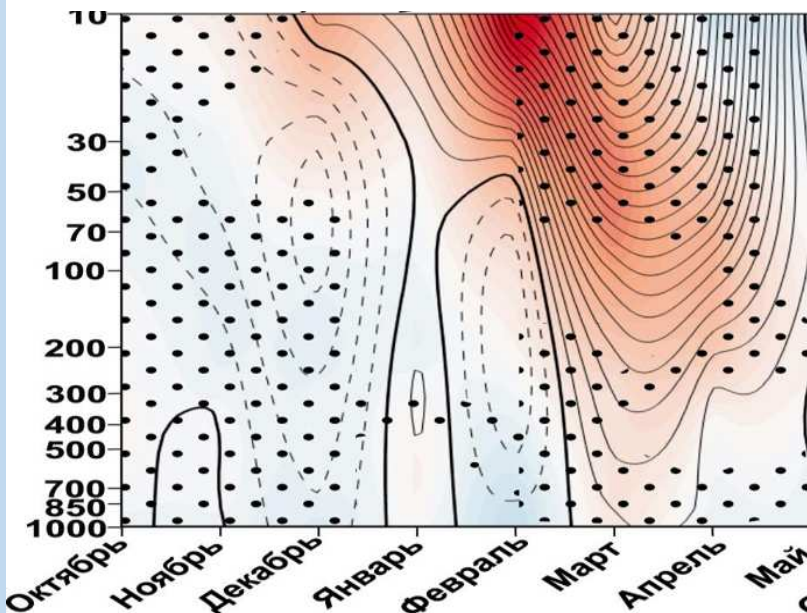
Лето



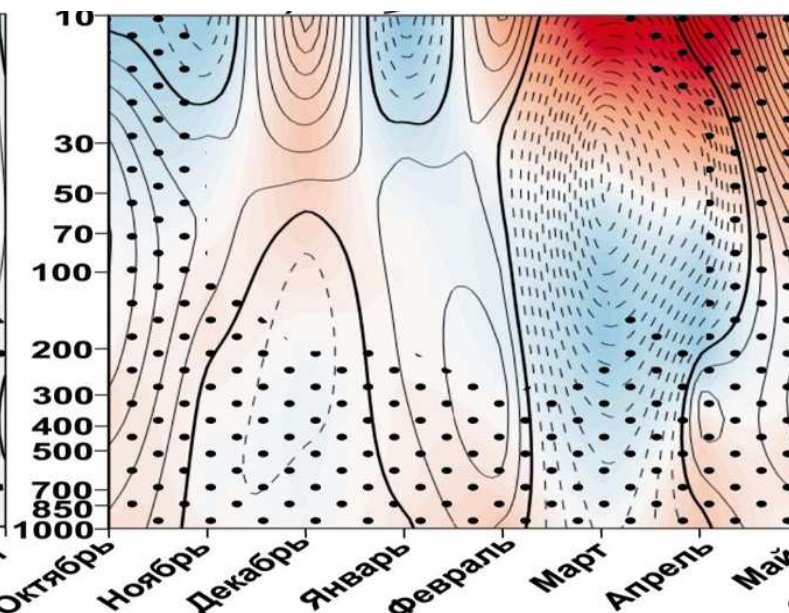
Полярные широты. Северное полушарие

Регрессия аномалий геопотенциала (изолинии) и температуры (закраска) на индексы Е (ВТ Эль-Ниньо), С+ (ЦТ Эль-Ниньо) и С- (Ла-Нинья)

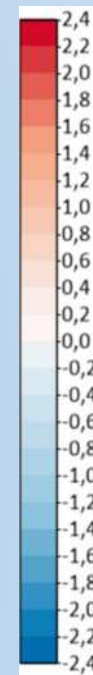
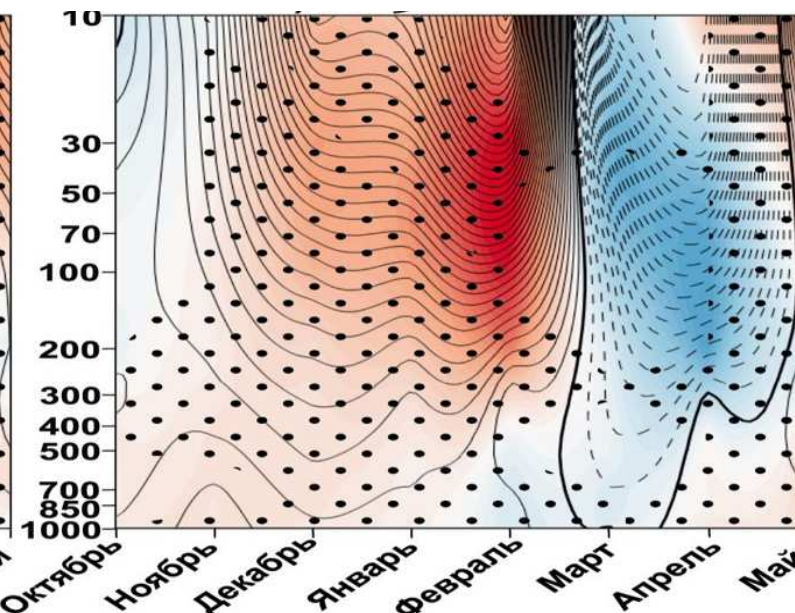
ВТ Эль-Ниньо



ЦТ Эль-Ниньо



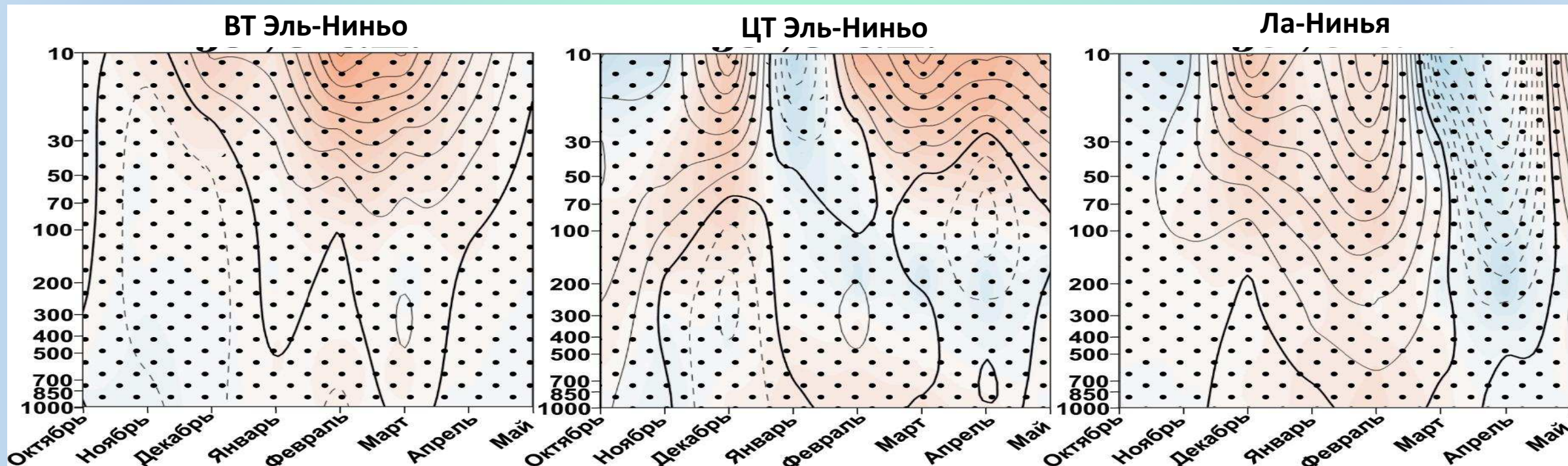
Ла-Нинья



- Ослабление циркумполярного вихря с декабря по май.
- при Эль-Ниньо положительные аномалии геопотенциала, т.е. ослабление циркумполярного вихря, сигнал проникает из средней стратосферы до нижней тропосферы
- Положительные аномалии температуры в области ослабленного ЦПВ
- Неустойчивое ослабление ЦПВ, начинается раньше, чем при ВТ
- Усиление циклонической аномальной нагрев циркуляции проникает в тропосферу
- Двуслойная структура аномалий геопотенциала - усиление ЦПВ, аномальное охлаждение температуры
- При Эль-Ниньо усиление ЦПВ, аномальное охлаждение
- При Ла-Нинья – ослабление ЦПВ, аномальный нагрев
- Усиление ЦПВ с октября по март, далее перестройка на летнюю циркуляцию
- Сигнал распространяется на тропосферу и стратосферу
- Аномальный нагрев/охлаждение при ослаблении/усилении ЦПВ.
- Однослойная структура

Умеренные широты. Северное полушарие

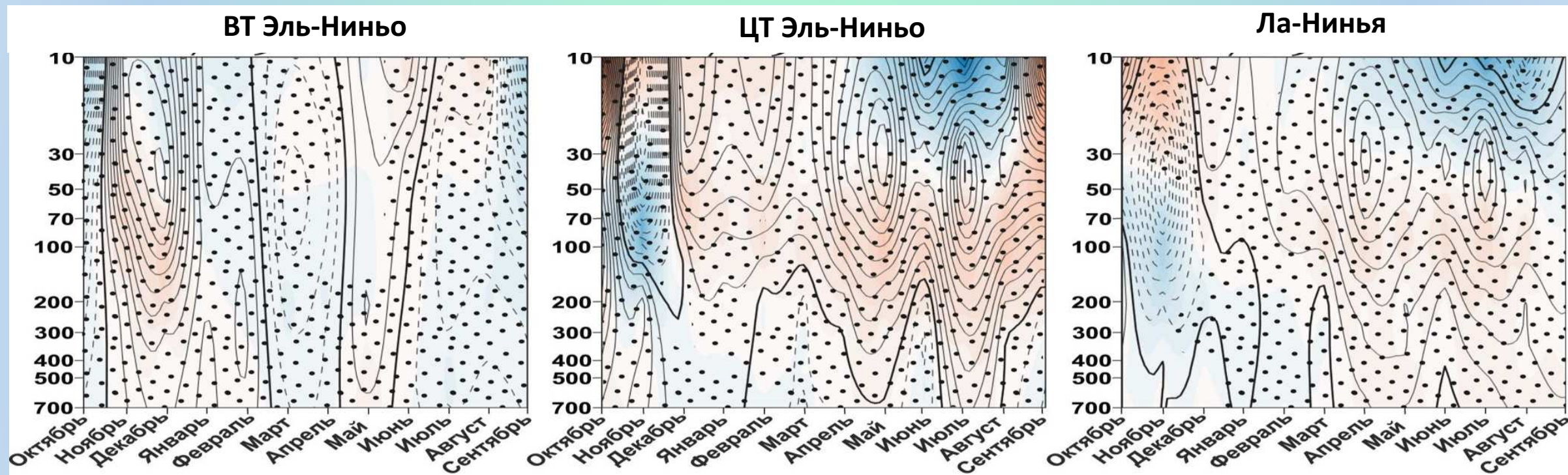
Регрессия аномалий геопотенциала (изолинии) и температуры (закраска) на индексы Е (ВТ Эль-Ниньо), С+ (ЦТ Эль-Ниньо) и С- (Ла-Нинья)



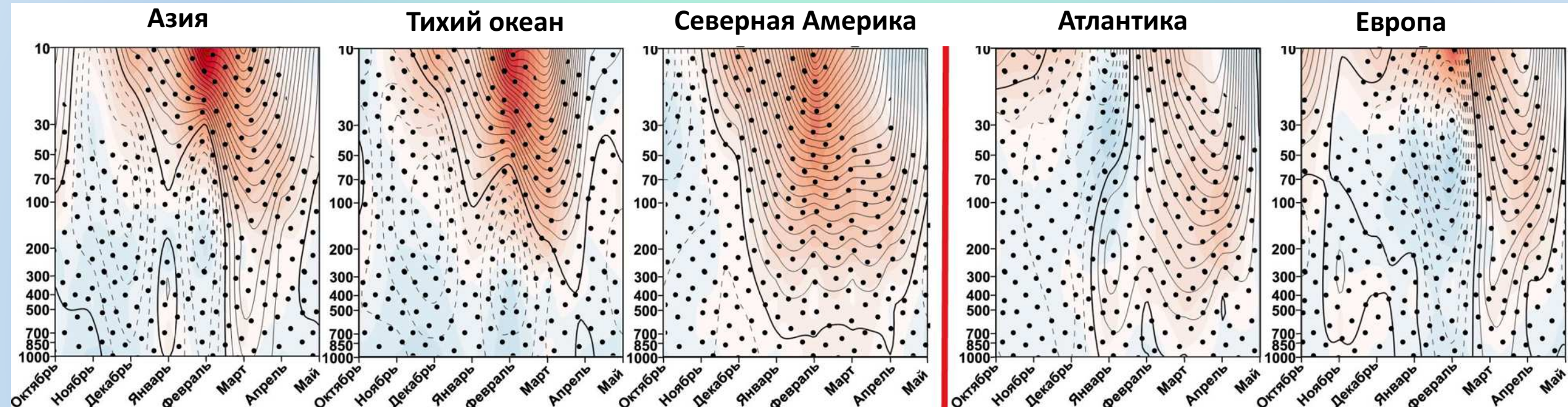
- Ослабление циркумполярного вихря с ноября по май.
- Сигнал распространяется до средней тропосферы
- Положительные аномалии температуры во всей стратосфере и тропосфере
- На фоне ослабления ЦПВ резкое усиление в январе
- Двуслойная структура : противоположные аномалии циркуляции в стратосфере и тропосфере
- Двуслойная структура аномалий температуры
- Усиление ЦПВ с ноября по март, далее перестройка на летнюю циркуляцию
- Сигнал распространяется на тропосферу и стратосферу
- Аномальный нагрев/охлаждение при ослаблении/усилении ЦПВ. Однослойная структура

Полярные широты. Южное полушарие

Регрессия аномалий геопотенциала (изолинии) и температуры (закраска) на индексы Е (ВТ Эль-Ниньо), С+ (ЦТ Эль-Ниньо) и С- (Ла-Нинья)



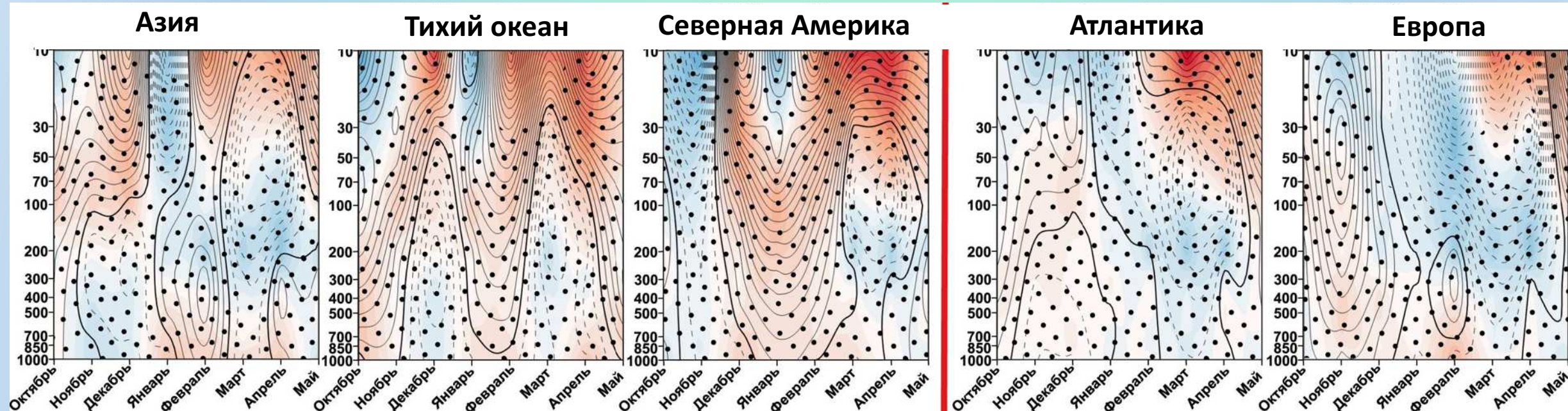
- Усиление ЦПВ при неустойчивом термическом отклике.
- Усиление летнего стратосферного антициклона с отрицательными аномалиями температуры.
- Аномалии циркуляции одного знака в тропосфере и стратосфере.
- Устойчивое ослабление ЦПВ.
- Аномалии температуры противоположного знака в средней и нижней стратосфере.
- Усиление летнего стратосферного антициклона.
- Весь год аномалии циркуляции одного знака в тропосфере и стратосфере
- Устойчивое усиление ЦПВ.
- Аномалии температуры противоположного знака в средней и нижней стратосфере.
- Весь год аномалии циркуляции одного знака в тропосфере и стратосфере.



- Ослабление циркумполярного вихря с ноября по май в стратосфере
- В нижней стратосфере и тропосфере до марта циклоническая аномалия
- В зимние месяцы двуслойная структура аномалий циркуляции и температуры за исключением Северной Америки
- Положительные аномалии температуры соответствуют области ослабления циклона, отрицательные – усилению циклона

- До января-февраля циклонические аномалии, ослабление ЦПВ, начиная со второй половины зимы
- Двуслойная структура аномалий температуры
- **Теплая аномалия в стратосфере на фоне интенсивного ЦПВ над Европой**
- Положительные аномалии температуры соответствуют области ослабления циклона во всей тропосфере и стратосфере

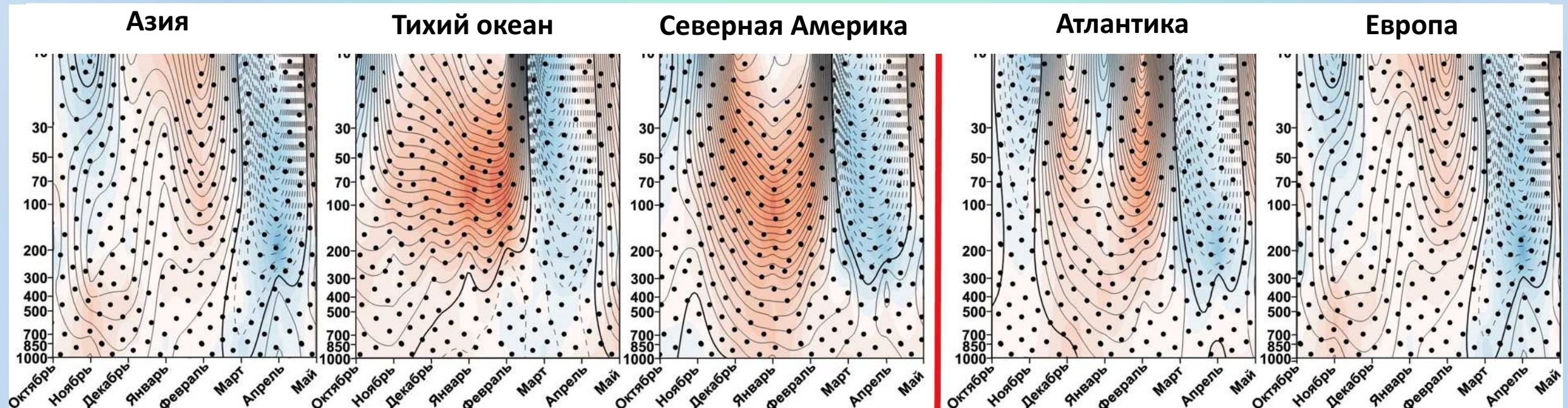
ЦТ Эль-Ниньо. Северное полушарие



- Максимальное ослабление ЦПВ с февраля. Первое ослабление в ноябре
- Аномалии противоположного знака в стратосфере и тропосфере
- Положительные аномалии температуры соответствуют области ослабления циклона, отрицательные – усилению циклона
- Двуслойная и даже трехслойная структура аномалий температуры

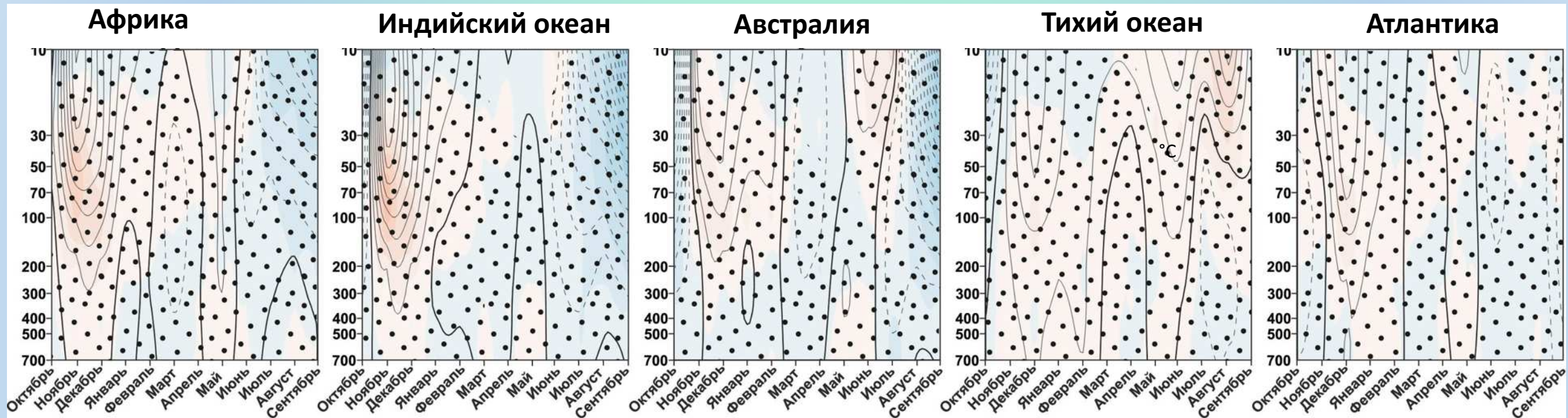
- Преобладают отрицательные аномалии геопотенциала в зимние и весенние месяцы.
- Двуслойная или трехслойная структура аномалий температуры
- **Теплая аномалия в стратосфере на фоне интенсивного ЦПВ над Европой (аналогично ВТ Эль-Ниньо)**
- Положительные аномалии температуры соответствуют области ослабления циклона во всей тропосфере и стратосфере

Ла-Нинья. Северное полушарие



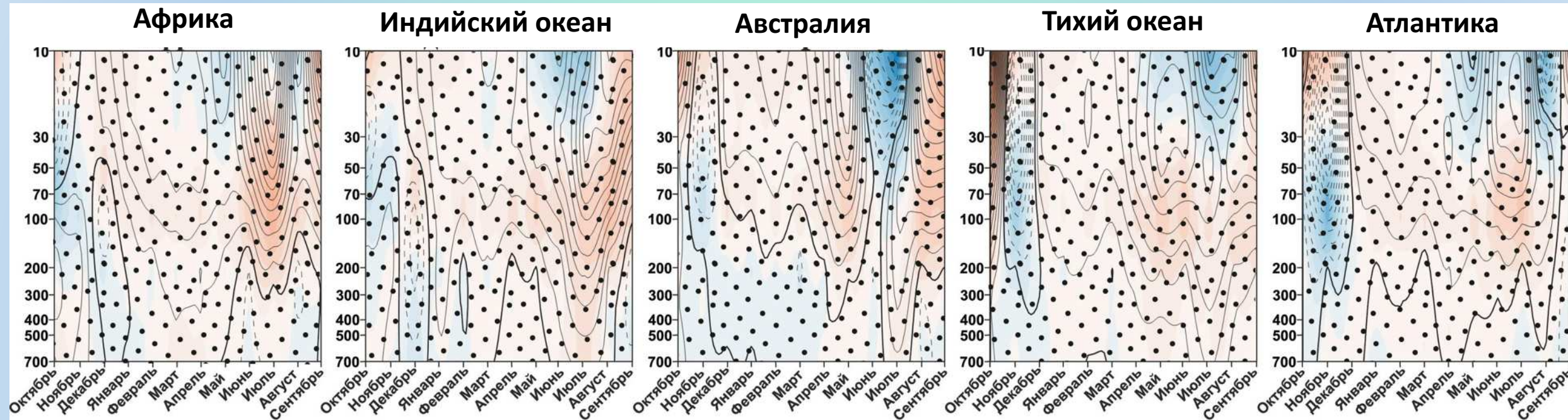
- Значительное усиление циркумполярного вихря до марта. Далее перестройка на летнюю антициклоническую циркуляцию
- Аномалии циркуляции распространяются на всю тропосферу и стратосферу
- Аномалии температуры имеют один знак в тропосфере и стратосфере
- Положительные аномалии температуры соответствуют области ослабления циклона, отрицательные – усилению циклона

- В отличие от Эль-Ниньо структура отклика мало отличается от Азиатско-Тихоокеанского сектора
- Двуслойная структура аномалий температуры
- Положительные аномалии температуры соответствуют области ослабления циклона во всей тропосфере и стратосфере



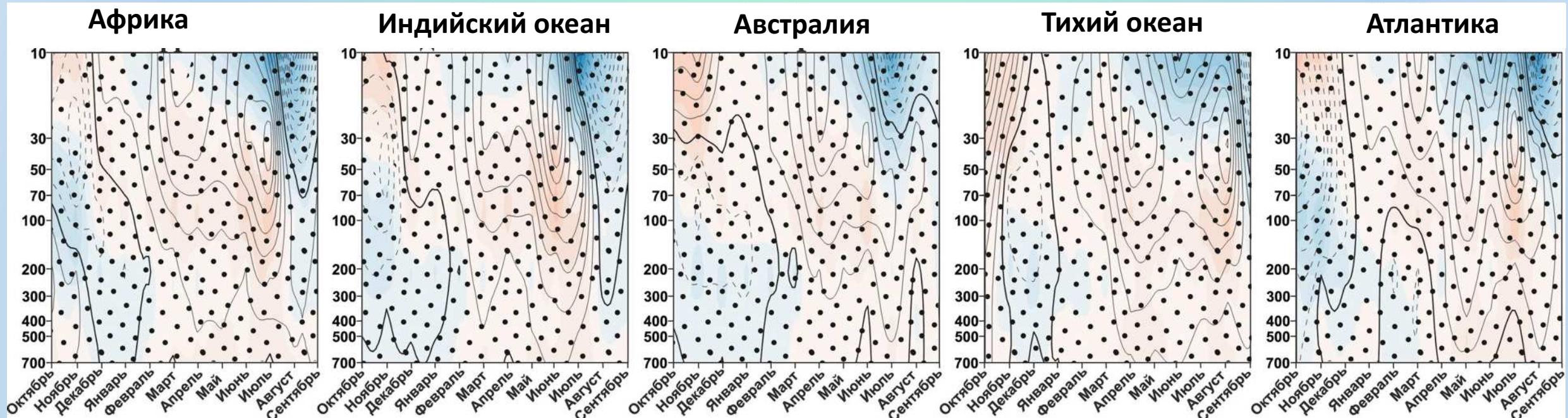
- Летом Южного полушария отмечаются значимые положительные аномалии геопотенциала в стратосфере, что соответствует усиленному летнему антициклону. При этом на 10 гПа усилению антициклонической циркуляции не соответствуют положительные аномалии температуры, а, наоборот, наблюдается аномальное выхолаживание.
- Зимой наблюдается межполушарное различие в реакции стратосферы: усиление (ослабление) ЦПВ в Восточном (Западном) полушарии.
- В целом циркуляционный отклик для всех рассматриваемых регионов отличается однородностью, за исключением региона Тихого океана зимой Южного полушария.

ЦТ Эль-Ниньо. Южное полушарие



- Ослабление ЦПВ фиксируется над Африканским сектором, Индийским и Тихим океаном, однако наблюдаются отрицательные аномалии температуры, вместо аномального потепления в средней стратосфере. В нижней стратосфере и тропосфере при этом преобладают положительные аномалии температуры.
- Над Австралийским и Атлантическим регионами отмечается неустойчивое ослабление ЦПВ.
- Летом Южного полушария над Австралией отклик имеет двухслойную структуру в поле аномалий температуры: в средней стратосфере наблюдается усиление летнего антициклона и нагрев, а в тропосфере усиление циклонической циркуляции и отрицательные аномалии температуры. В остальных районах положительные значения регрессии преобладают во всей рассматриваемой атмосфере.

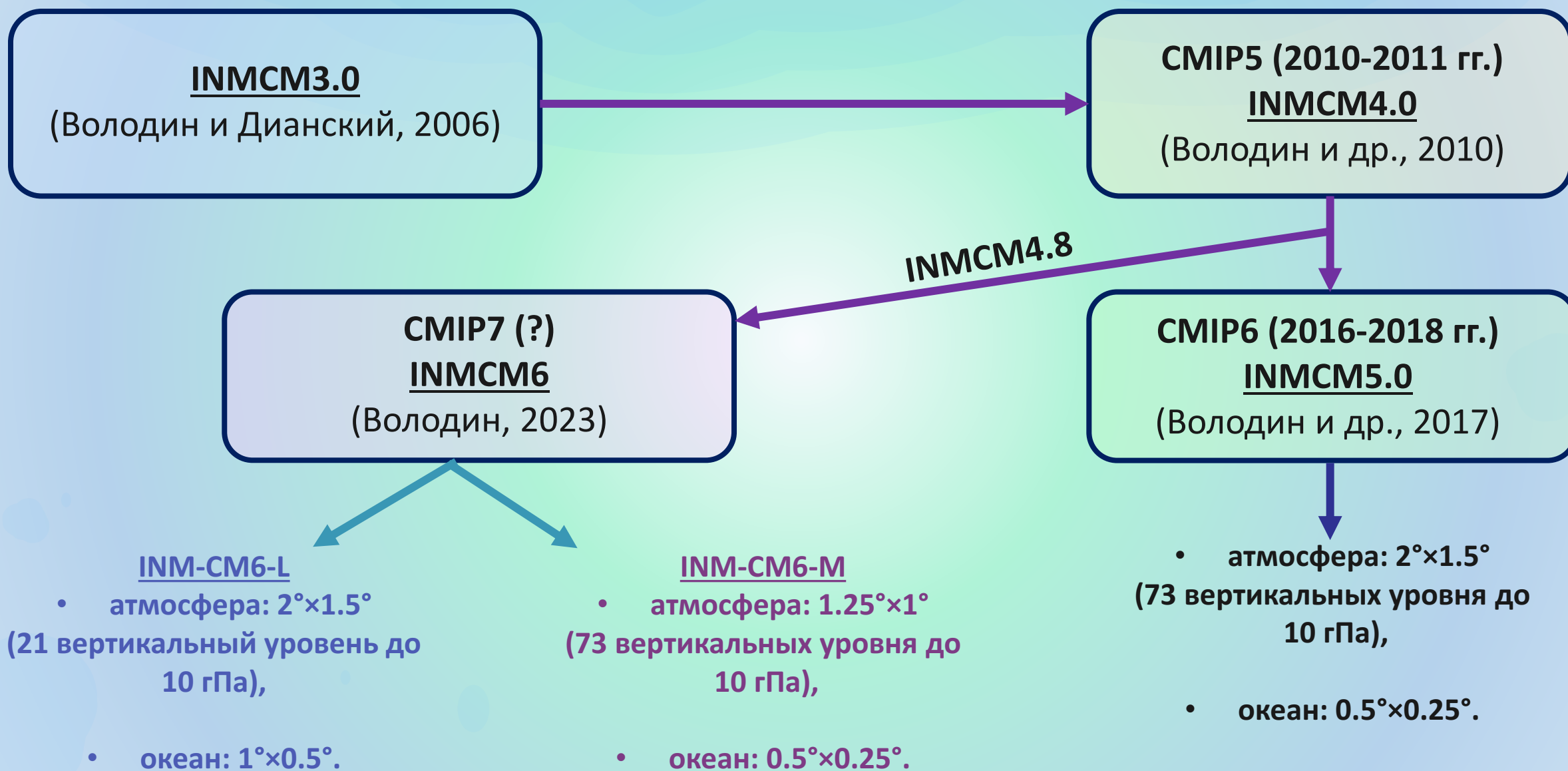
Ла-Нинья. Южное полушарие



- Термодинамический отклик характеризуется двухслойностью.
- Усиление ЦПВ зимой Южного полушария наблюдается с марта по июль в Африканском, Атлантическом регионе, над Индийским океаном. При этом отмечается различная термическая реакция нижней и средней стратосферы.
- Для всех регионов свойственно ослабление ЦПВ с аномальным нагревом стратосферы в августе-сентябре, за исключением Тихого океана.
- Для территории Африканского, Атлантического регионов и Индийского океана характерна более интенсивная перестройка на летний стратосферный антициклон и его значимое преобладание в средней стратосфере в первые летние месяцы Южного полушария. Термический отклик двухслойный.
- Над Тихим океаном и Австралией наблюдается, наоборот, более медленная перестройка на летний антициклон.

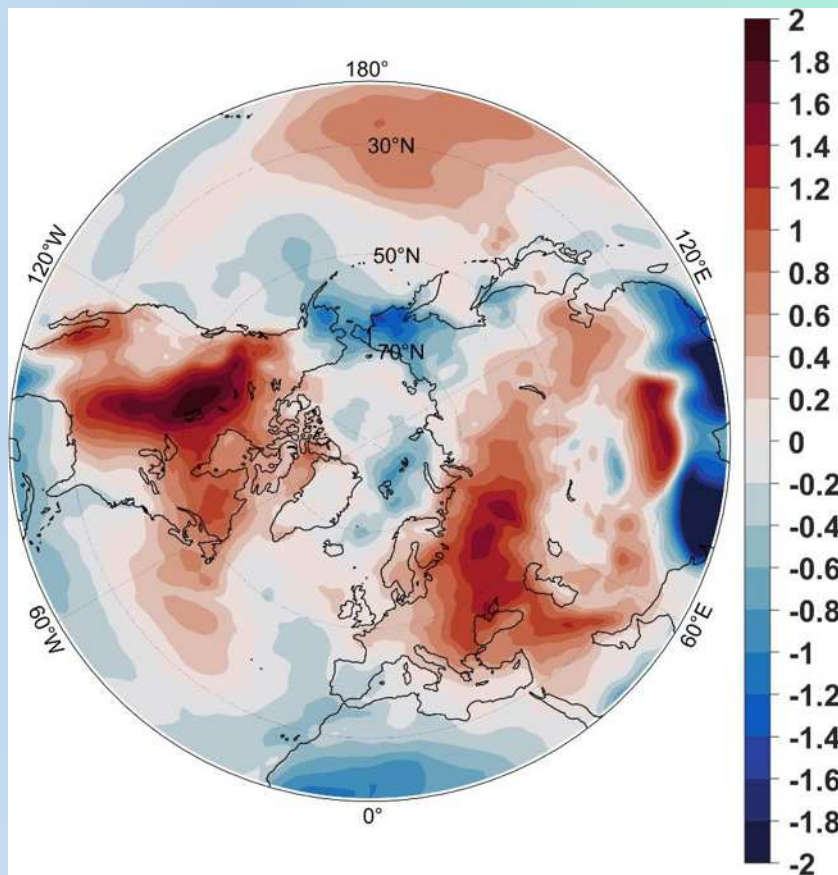
Российская климатическая модель Института вычислительной математики РАН

INM-CM



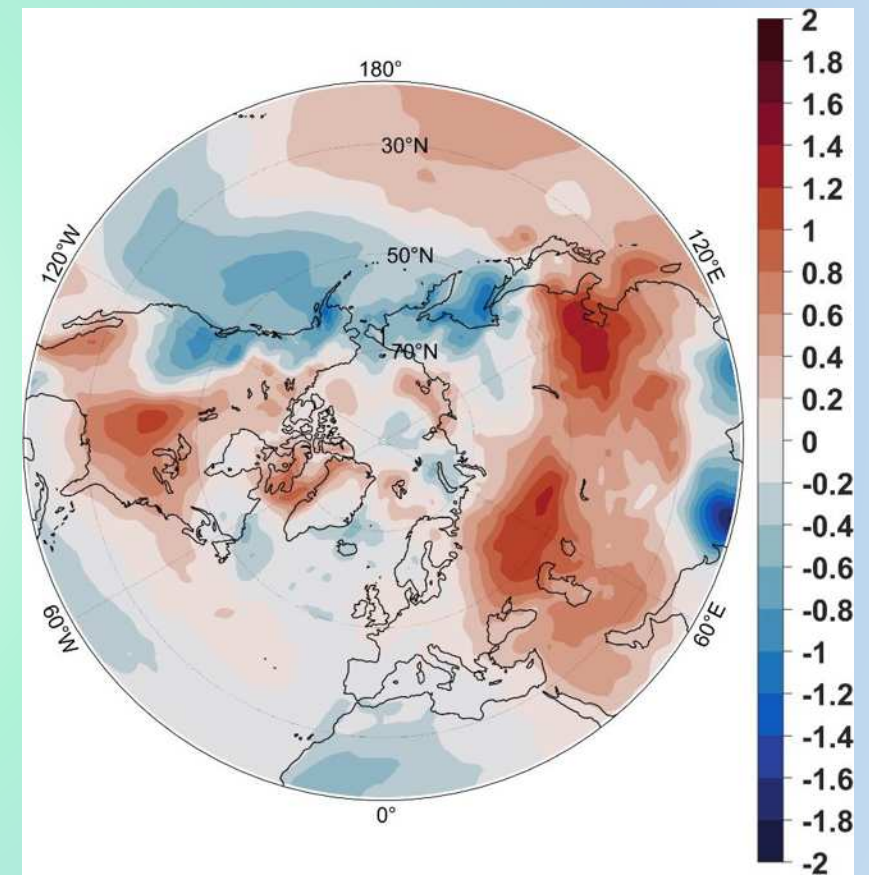
Усиление температурного отклика на Эль-Ниньо в будущем климате

ВТ Эль-Ниньо



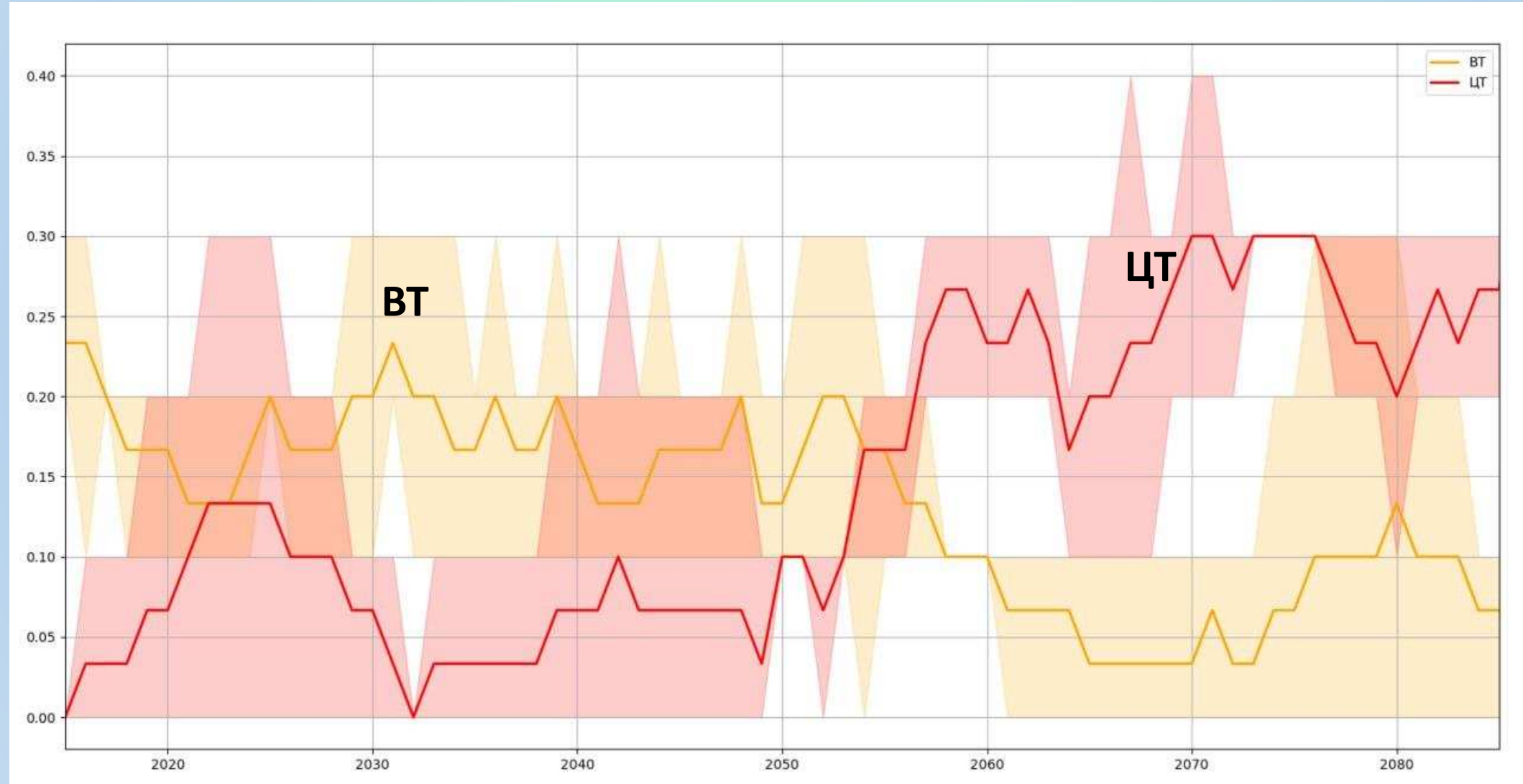
Различия в температурном
отклике на Эль-Ниньо
между сценариями historical
и SSP 5-8.5

ЦТ Эль-Ниньо



Усиление температурного отклика на Эль-Ниньо в будущем климате

Изменение количества Эль-Ниньо (скользящее среднее за 10 лет) по сценарию SSP 5-8.5



Выводы

1

- ТРОПОСФЕРА. В Северном полушарии ВТ Эль-Ниньо вызывает отклик близкий по структуре к РНА, ЦТ – к отрицательной фазе Арктической осцилляции. В Южном полушарии наоборот: ВТ Эль-Ниньо – отрицательная фаза Антарктической осцилляции, ЦТ – волновая структура

2

- СТРАТОСФЕРА. Преобладает ослабление ЦПВ, но в случае ВТ событий – усиление ЦПВ в средней тропосфере. В Южном полушарии отклик летом и зимой противоположный

3

- Северное полушарие: Эль-Ниньо приводит к ослаблению ЦПВ и нагреву стратосферы, Ла Нинья – к усилению ЦПВ и охлаждению стратосферы

4

- Северное полушарие: Два типа термодинамического отклика на Эль-Ниньо: Азиатско-Тихоокеанско-Американский и Атлантико-Европейский

5

- Отклик на Ла-Нинья устойчивее во времени и в пространстве

6

- Циркуляционный отклик в Южном полушарии более однородный в тропосфере и стратосфере во время всех событий ЭНЮК.

7

- Термический отклик на ЭН: Северное полушарие – похолодание в районе полюса, потепление в субполярных широтах. Южное полушарие ВТ – потепление зимой, похолодание летом, ЦТ - наоборот

8

- Термический отклик на Эль-Ниньо может усиливать в будущем климате тенденцию глобального потепления



Спасибо за внимание!