Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
Лаборатория Взаимодействия океана и атомсферы и мониторинга климатических изменений

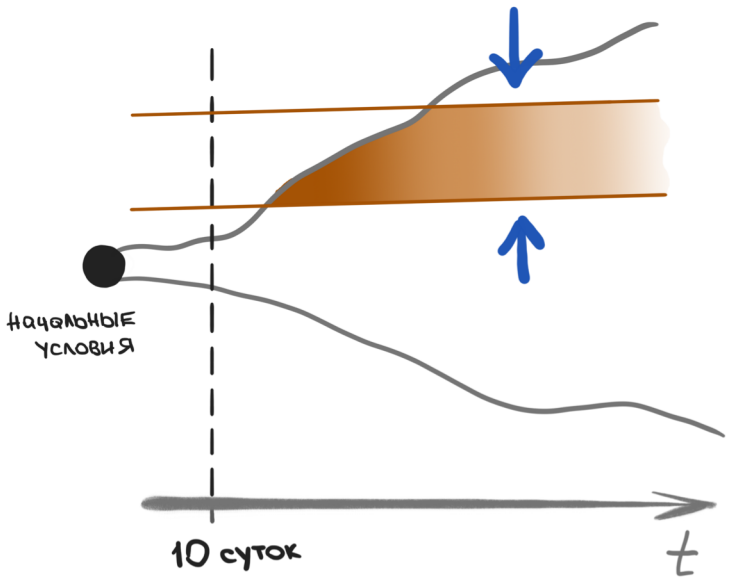
ЭНЮК и изменчивость стратосферного полярного вихря, как факторы формирования предсказуемости погоды на внутрисезонном временном масштабе в Атлантико-Европейском секторе

Юлия Зюляева, Дарья Собаева
*yulia@sail.msk.ru

Photofriendly

Актуальность

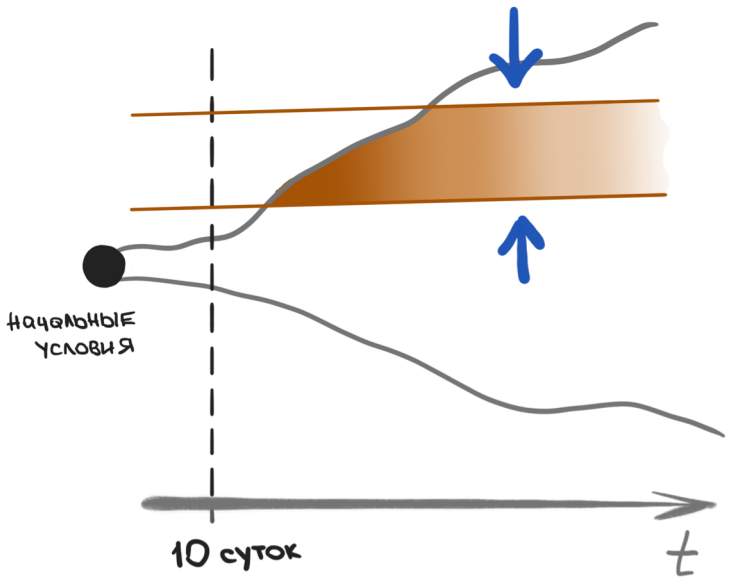
- Детерминистический прогноз погоды – предел 10 дней
- За пределом 10 дней – прогноз статистических свойств атмосферных условий
(Среднее состояние атмосферы за некоторый период времени, вероятность тех или иных событий…)
- Низкочастотные компоненты климатической системы:
  - Аномалии ТПО (тропический пояс)
  - Мощность снежного покрова
  - Протяженность морского льда
  - Осцилляция Маддена — Джулиана
  - …



- Не оказывают непосредственное влияние на синоптические процессы, а накладывают ограничения на изменчивость погоды и климата и тем самым увеличивают предсказуемость за пределы 10 дневного периода

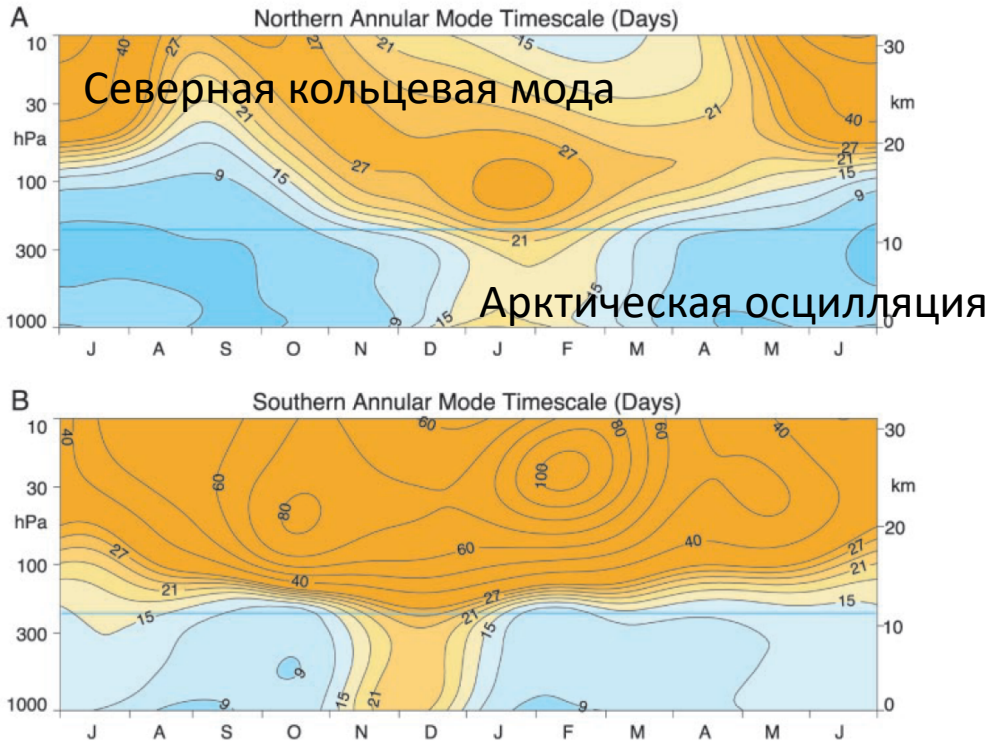
Актуальность

- Детерминистический прогноз погоды – предел 10 дней
- За пределом 10 дней – прогноз статистических свойств атмосферных условий
(Среднее состояние атмосферы за некоторый период времени, вероятность тех или иных событий…)
- Низкочастотные компоненты климатической системы:
  - Аномалии ТПО (тропический пояс)
  - Мощность снежного покрова
  - Протяженность морского льда
  - Осцилляция Маддена — Джулиана
  - Стратосферная динамика



- Не оказывают непосредственное влияние на синоптические процессы, а накладывают ограничения на изменчивость погоды и климата и тем самым увеличивают предсказуемость за пределы 10 дневного периода

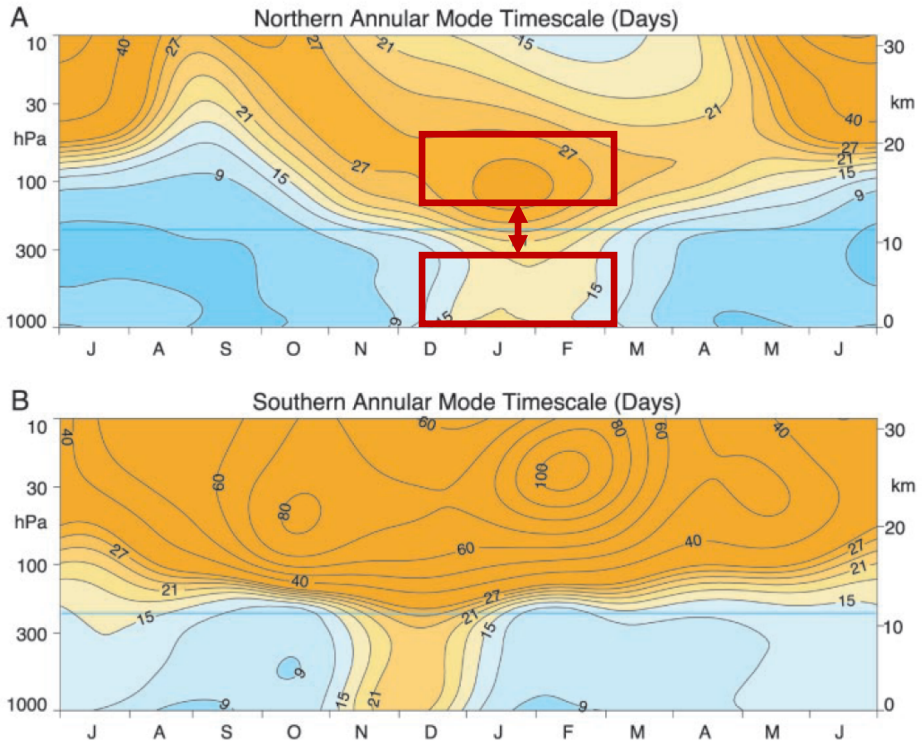
Стратосферно-тропосферное взаимодействие



- Временной масштаб жизни (e-folding time) возмущений в стратосфере больше чем в тропосфере на протяжении всего года

Stratospheric Memory and Skill of Extended-Range Weather Forecasts (Baldwin et al., 2003)

Стратосферно-тропосферное взаимодействие



- Временной масштаб жизни (e-folding time) возмущений в стратосфере больше чем в тропосфере на протяжении всего года
- Самое продолжительное время жизни возмущений в нижней тропосфере наблюдается зимой и совпадает с максимумом в нижней стратосфере.

Stratospheric Memory and Skill of Extended-Range Weather Forecasts (Baldwin et al., 2003)

Отклик тропосферной динамики на экстремальные состояния стратосферного полярного вихря

1. Влияние на характер распространения планетарных волн

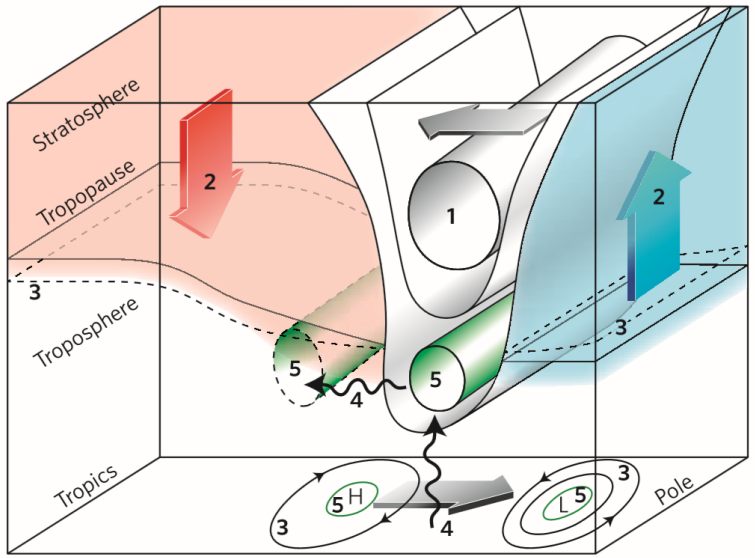
- Вертикальное распространение
- Диссипация
- Отражение

Kidston, Joseph, et al. "Stratospheric influence on tropospheric jet streams, storm tracks and surface weather." *Nature Geoscience* 8.6 (2015): 433-440.

Отклик тропосферной динамики на экстремальные состояния стратосферного полярного вихря

1. Влияние на характер распространения планетарных волн

- Вертикальное распространение
- Диссипация
- Отражение



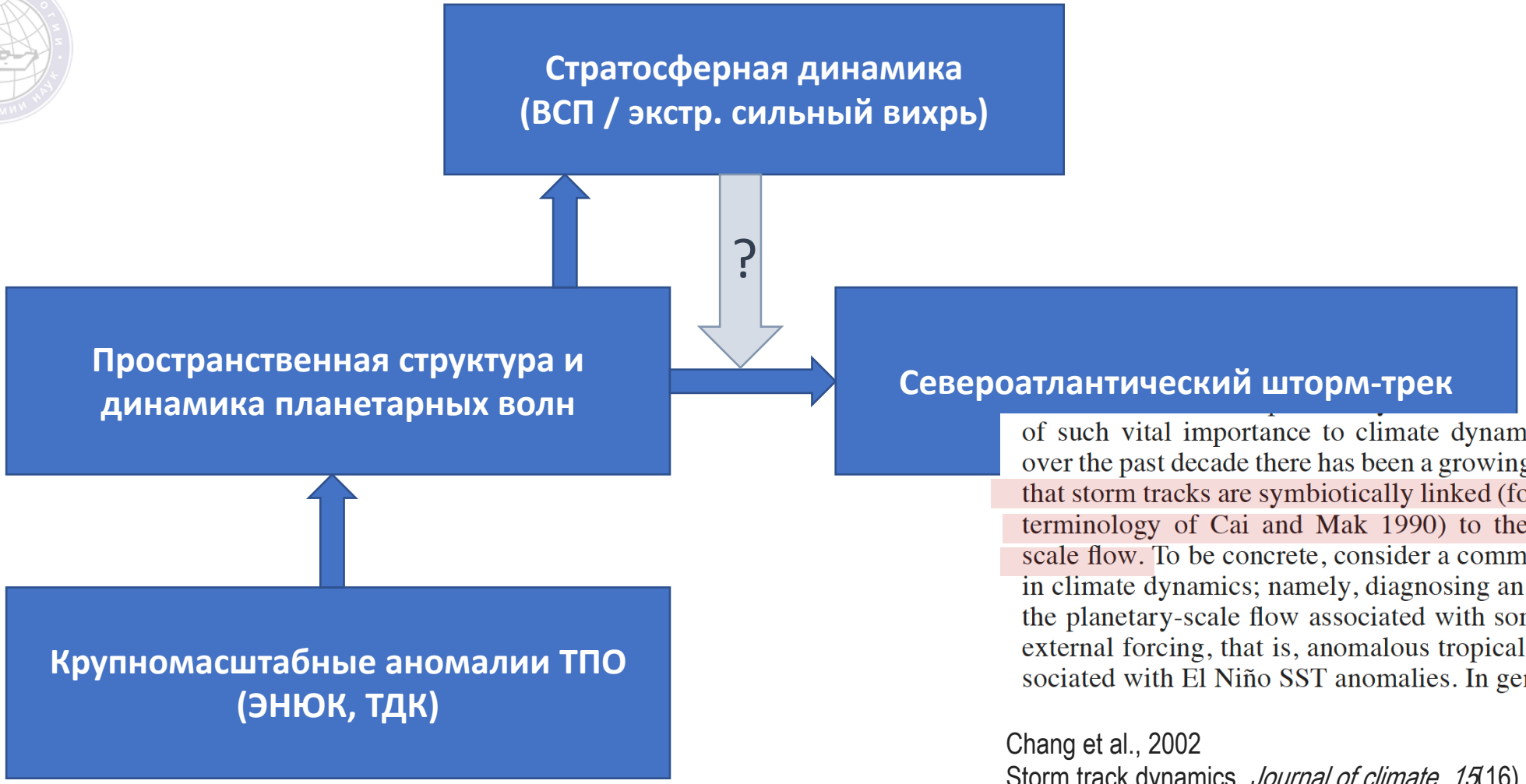
2. Изменение высоты тропопаузы

Зонально осредненное уравнение для импульса
(Transformed Eulerian Mean equation, TEM)

$$\overline{u_t} = \underbrace{\overline{v^*}\left(f - (a\cos\phi)^{-1}(\bar{u}\cos\phi)_\phi\right) - \overline{w^*}\,\overline{u_z}}_{\text{Остаточная меридиональная циркуляция}} + \underbrace{(\rho_0 a\cos\phi)^{-1}\nabla\cdot F + \bar{X}}_{\text{Распространение волн}}$$

Ослабление волновой активности ведет к усилению СПВ, соответственно усиливается остаточная меридиональная циркуляция, что приводит к перемещению массы с полюса на юг, снижение за счет этого давления в полярной области и происходит адиабатическое охлаждение за счет вертикального поднятия над полюсом и компенсационного опускания в низких и умеренных широтах

Kidston, Joseph, et al. "Stratospheric influence on tropospheric jet streams, storm tracks and surface weather." *Nature Geoscience* 8.6 (2015): 433-440.



of such vital importance to climate dynamics. Rather, over the past decade there has been a growing realization that storm tracks are symbiotically linked (following the terminology of Cai and Mak 1990) to the planetary-scale flow. To be concrete, consider a common problem in climate dynamics; namely, diagnosing an anomaly in the planetary-scale flow associated with some imposed external forcing, that is, anomalous tropical heating associated with El Niño SST anomalies. In general, a cor-

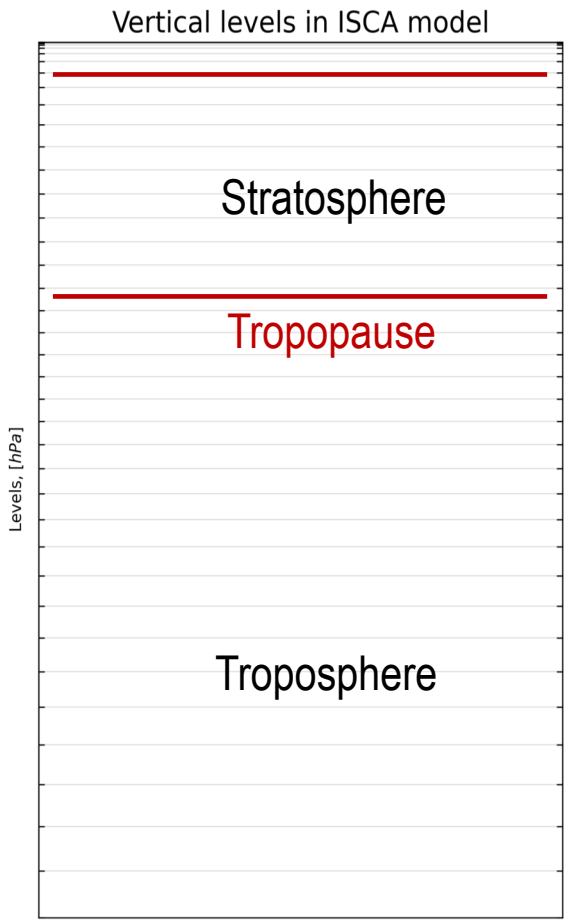
...

Chang et al., 2002
Storm track dynamics. *Journal of climate*, *15*(16)

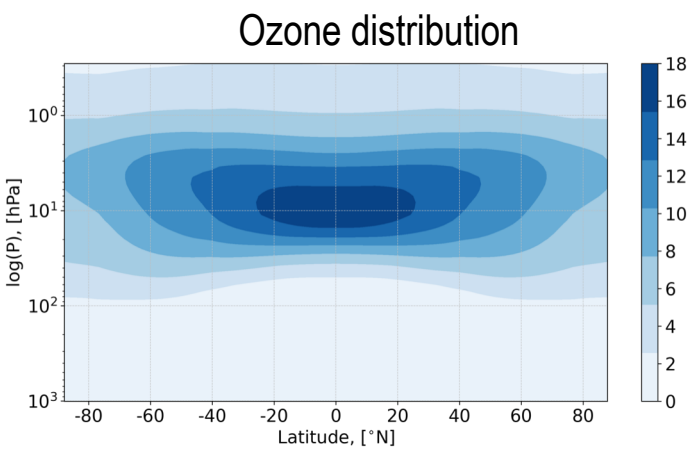
Влияет ли пространственная структура квазистационарных планетарных волн, сформированная крупномасштабными аномалиями ТПО в Тихом океане на отклик Североатлантического шторм-трека на экстремальные состояния стратосферного полярного вихря?

Модельные эксперименты

ISCA – open source framework for idealized modeling of the global circulation of planetary atmospheres.
GFDL dynamical core. [Vallis, 2018]



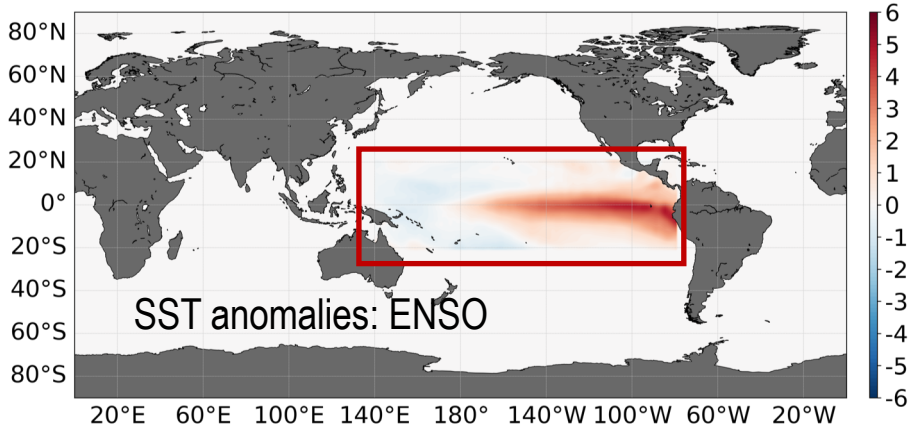
- Высота верхней границы 0.02hPa (~ 73km).
- Диссипативный верхний слой (sponge layer, 150 Pa)
- Вертикальное разрешение: 40 уровней (18 выше тропопаузы).
- Горизонтальное спектральное разрешение: T42 (lat x lon 64 x 128).
- Фиксированное зонально симметричное распределение озона.

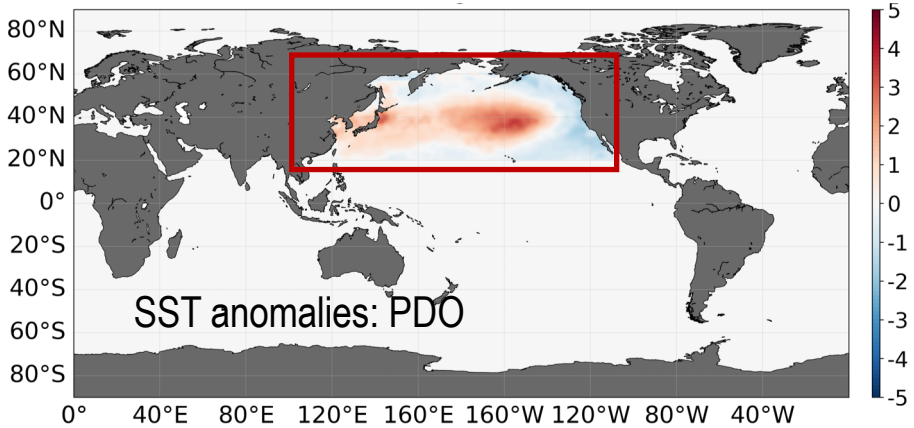


[Sobaeva et al., 2023]

Модельные эксперименты

ТПО граничные условия





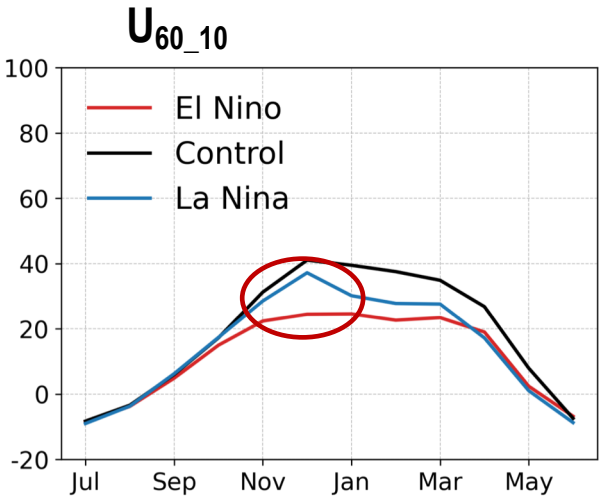
$$T = T_{AMIP} + 2*T_{anom}$$

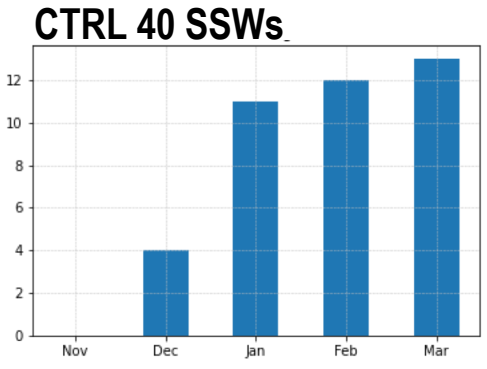
Boundary Conditions		Pacific Decadal Oscillation		
		Neutral	Positive Phase	Negative Phase
ENSO	Neutral	+ (control)	+	+
	El Niño	+	+	+
	La Niña	+	+	+

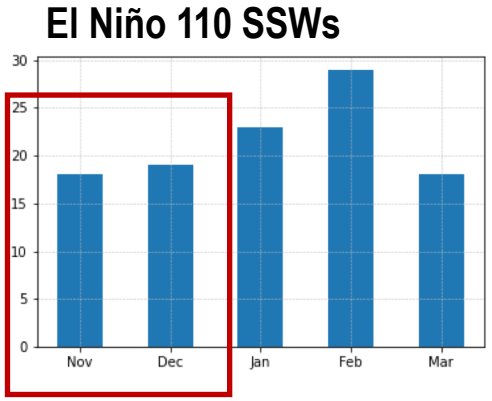
Продолжительность эксперимента – 100 лет

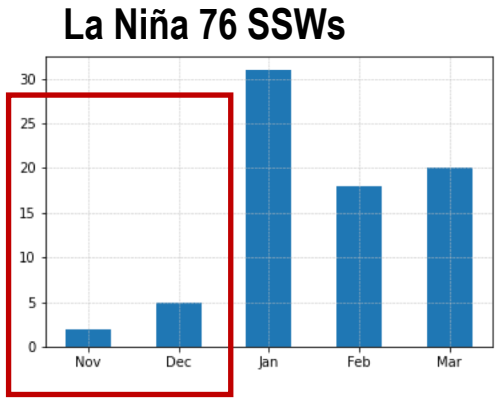
Временной шаг интегрирования – 6 часов

Внезапные стратосферные потепления

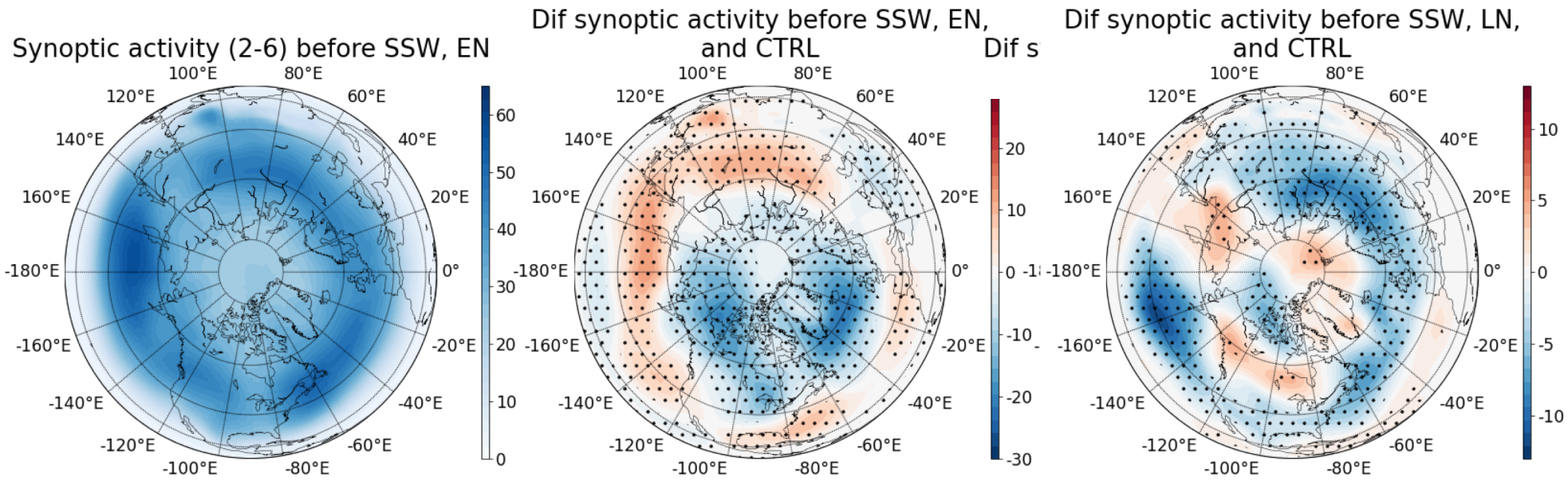






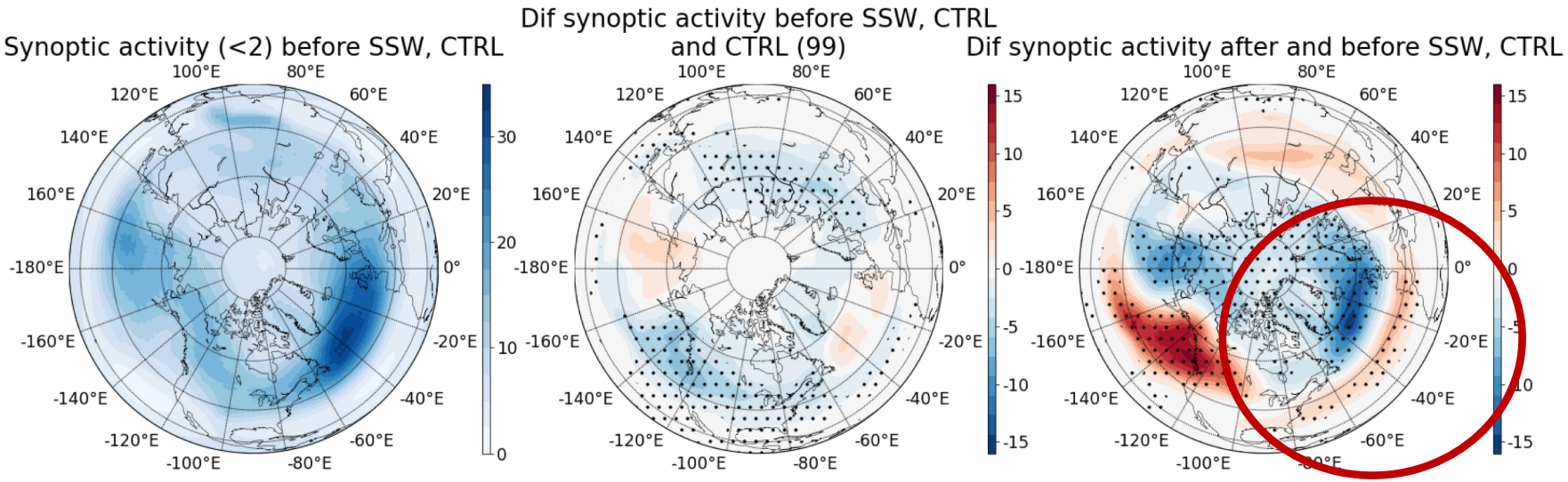


Синоптическая активность (2 недели до ВСП)

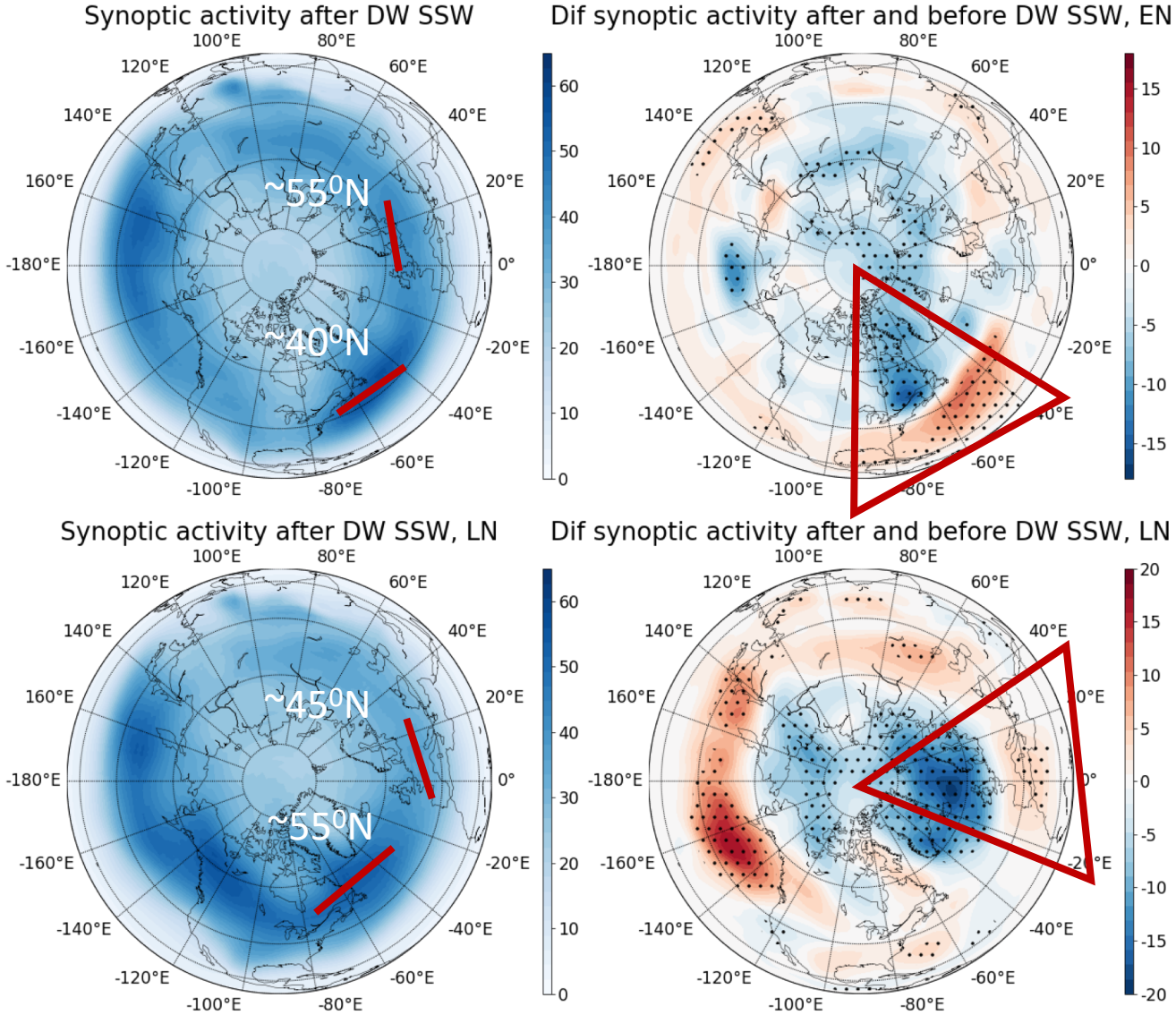


- В ЭН эксперименте синоптическая активность выше на юге чем на севере относительно контрольного эксперимента
- В ЛН эксперименте наблюдается снижение синоптической активности в Атлантическом регионе, и меридиональное смещение шторм-трека не выражено.

Смещение Атлантического шторм-трека на юг после ВСП в контрольном эксперименте



Смещение Атлантического шторм-трека на юг после ВСП в ЭН и ЛН экспериментах



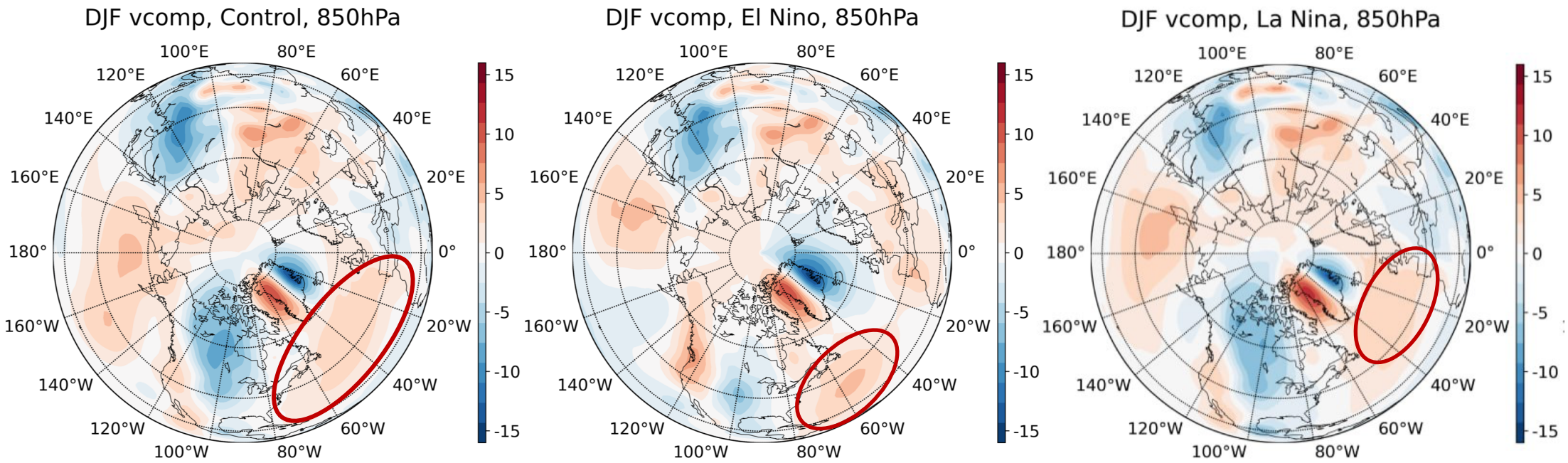
Отклик в западной части Атлантического океана

Отклик в восточной части Атлантического океана

[Зюляева и др., 2023]

Пространственная структура планетарных волн

Меридиональная компонента скорости ветра на 850 гПа, среднее за 100 лет



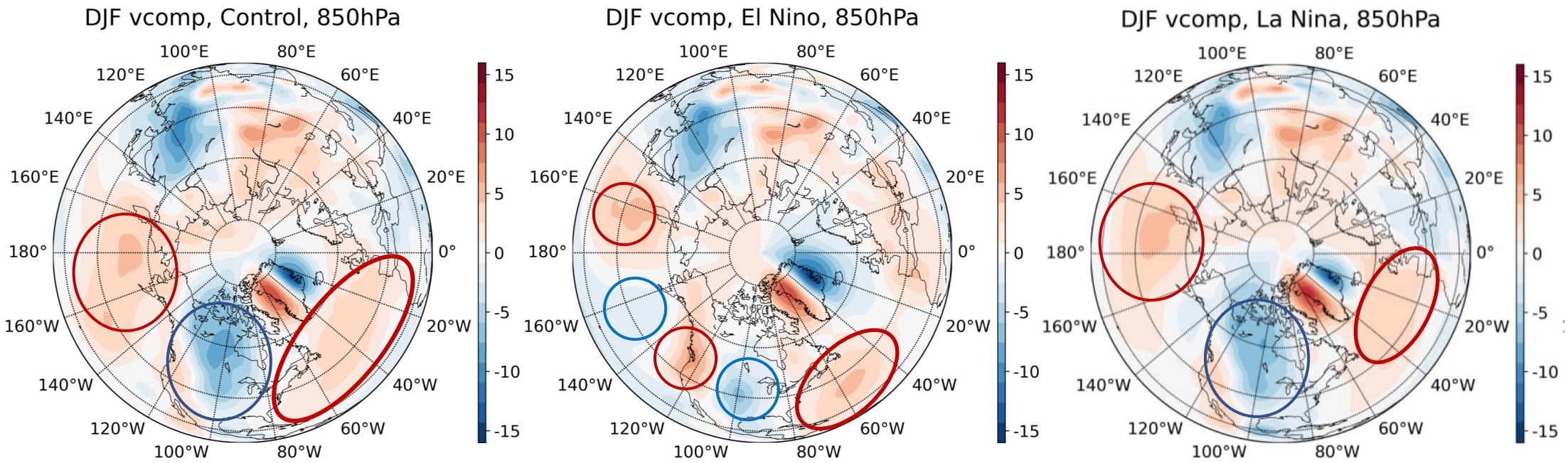
Западная часть

Восточная часть

- Регион, где наблюдается сдвиг шторм-трека на юг, соответствует региону положительных значений меридиональной компоненты скорости ветра.

Пространственная структура планетарных волн

Меридиональная компонента скорости ветра на 850 гПа, среднее за 100 лет

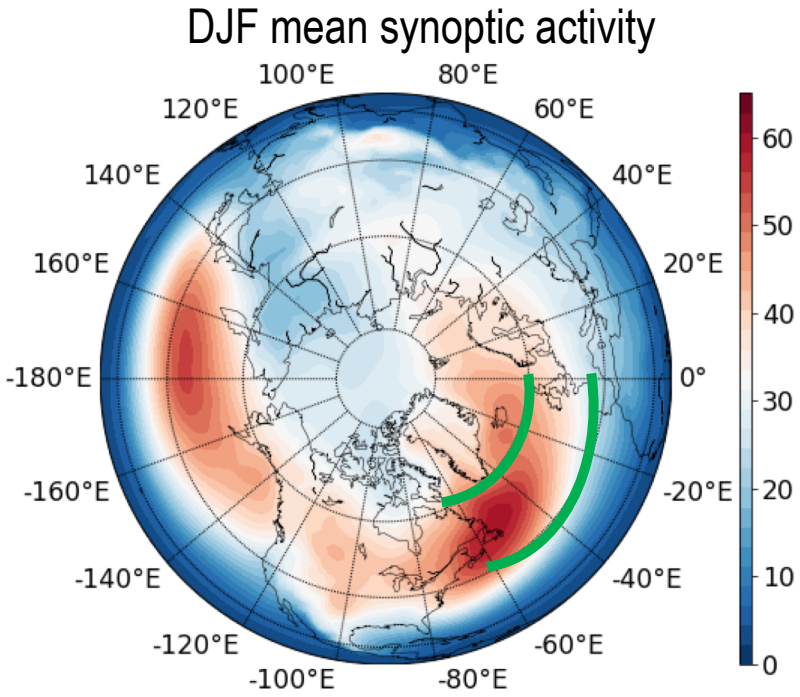


Западная часть

Восточная часть

- Регион, где наблюдается сдвиг шторм-трека на юг, соответствует региону положительных значений меридиональной компоненты скорости ветра.

Прогностический потенциал (декабрь–февраль)

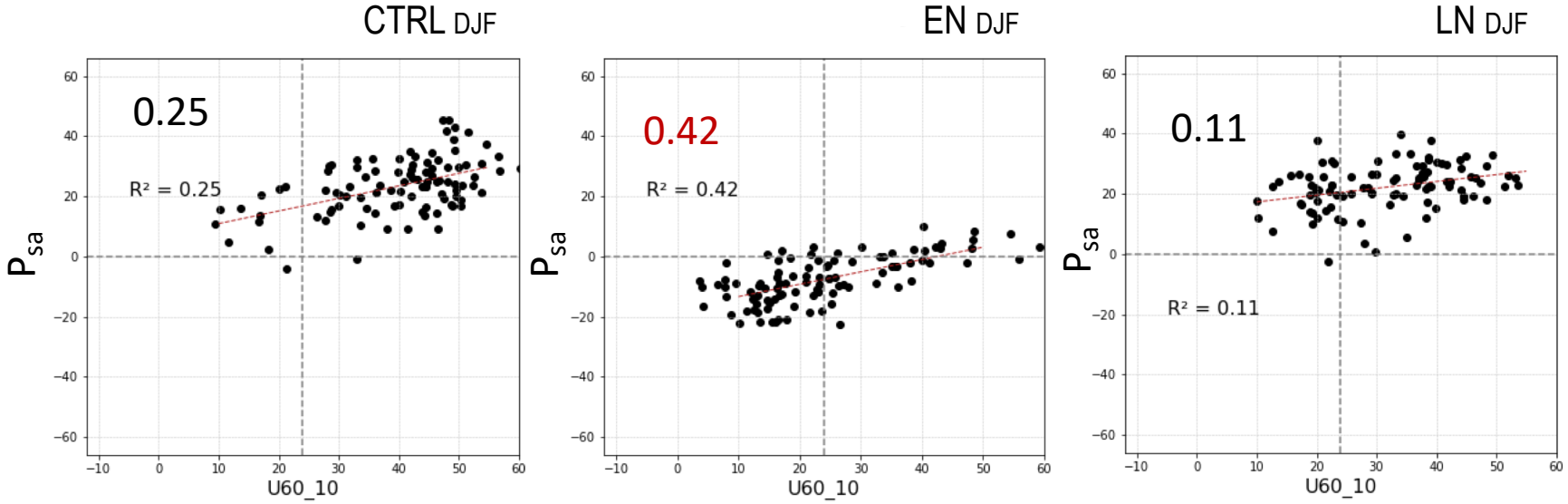


P_{sa} = synac(60) – synac(40)

P_{sa} < 0, син. активность выше на юге

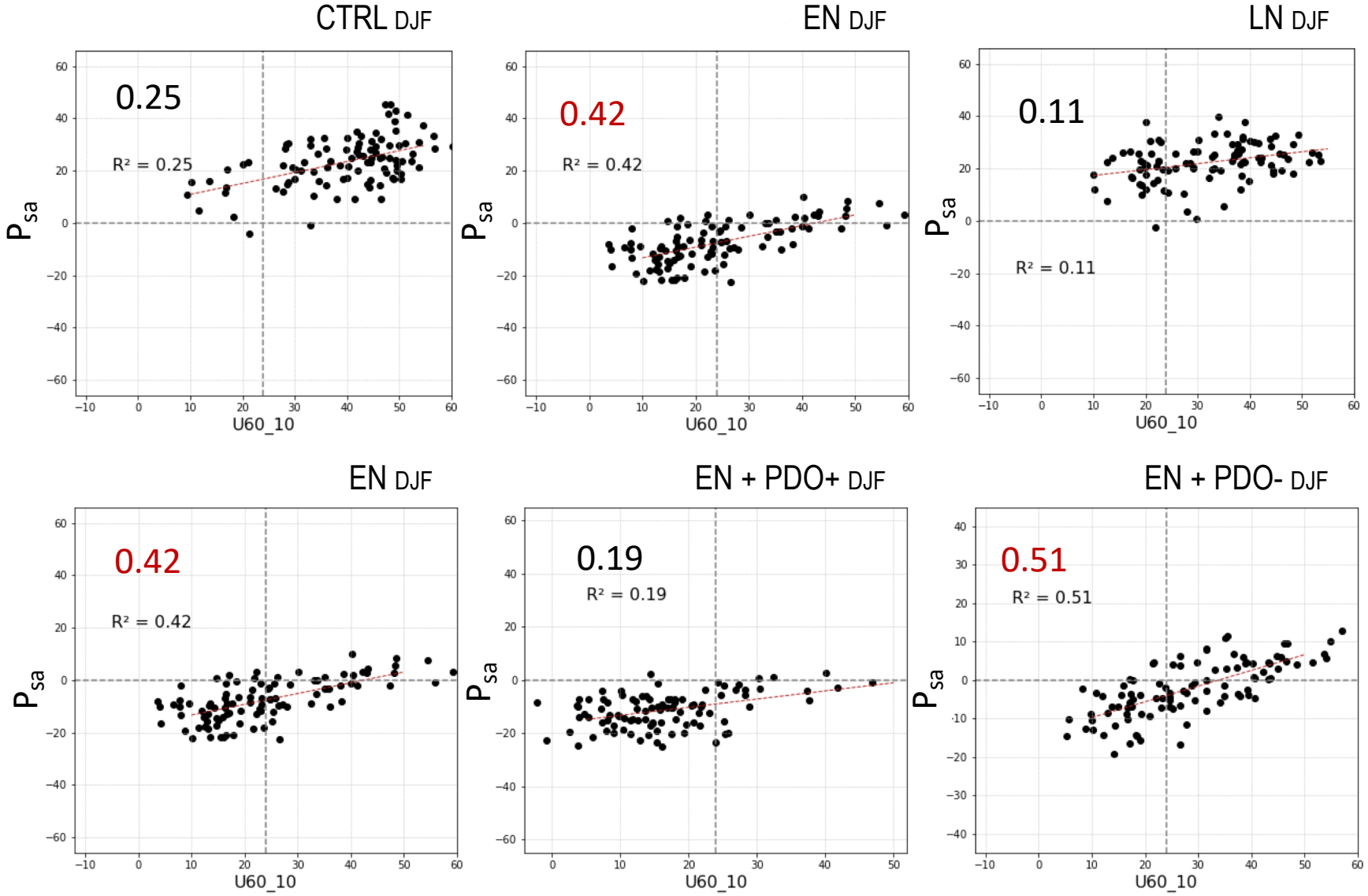
P_{sa} > 0, син. активность выше на севере

Прогностический потенциал (декабрь–февраль)



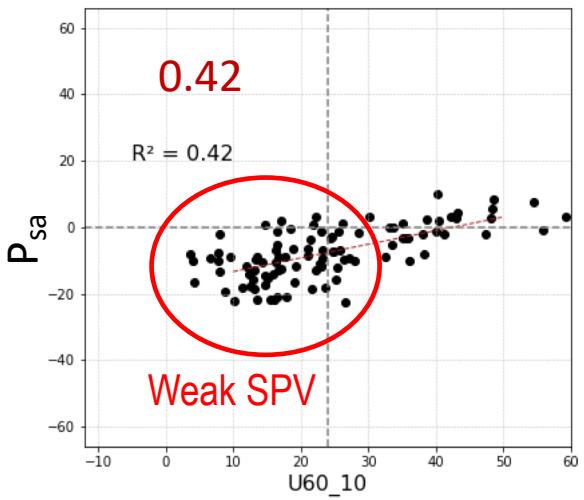
~ 42% изменчивости P_{sa} связано с средним за декабрь–февраль значением U_{60_10} в ЭН эксп.

Прогностический потенциал (декабрь–февраль)

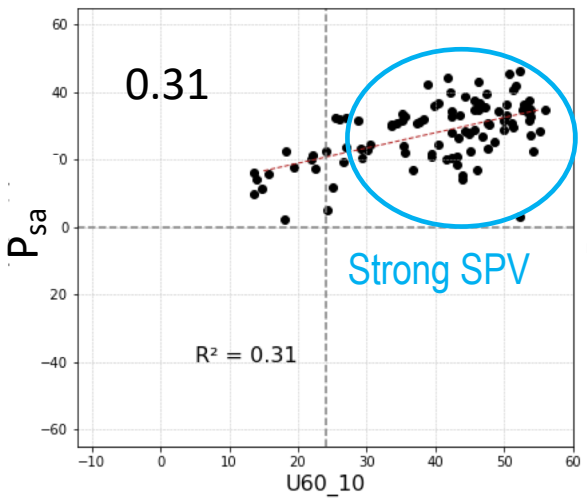


Прогностический потенциал (декабрь–февраль)

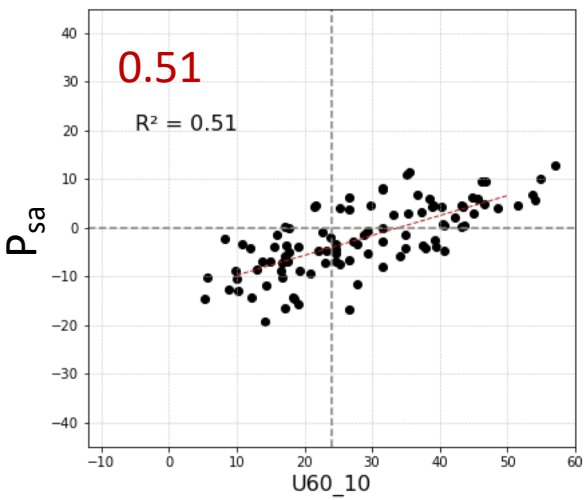
EN DJF



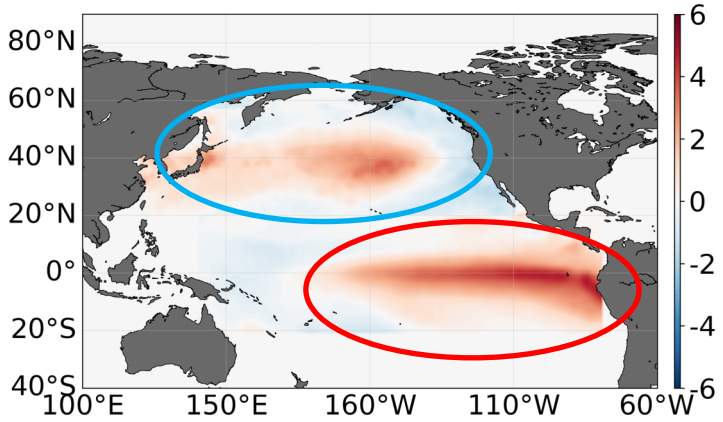
PDO- DJF



EN + PDO- DJF



SST anomalies: EN + PDO-



Пространственная структура планетарных волн

Изменчивость интенсивности СПВ

Среднее положение шторм-трека в Атлантическом регионе до ВСП

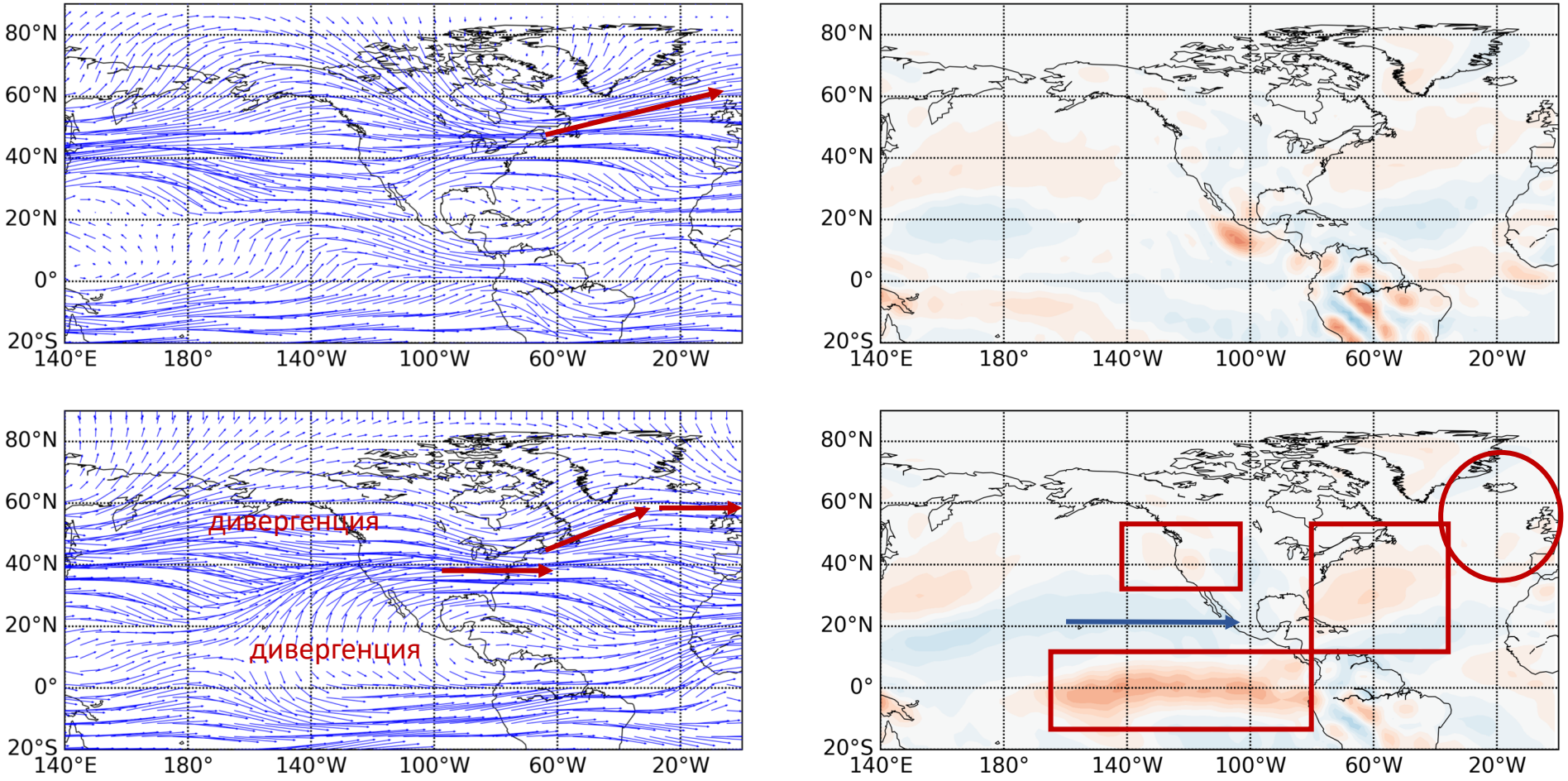
Прогностический потенциал (декабрь–февраль)

Скорость ветра на уровне 175 гПа

Дивергенция ветра на уровне 175 гПа

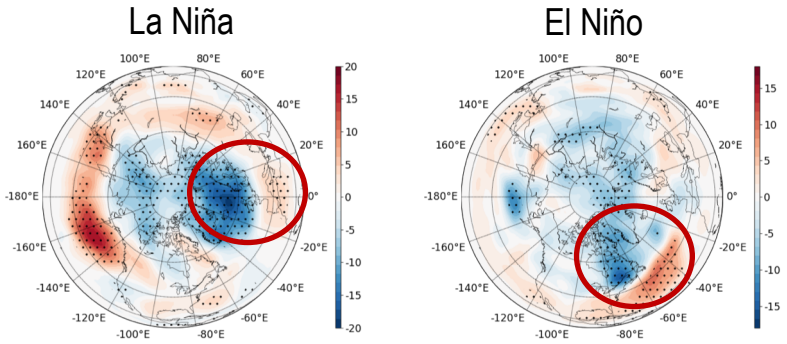
CTRL DJF

EN DJF



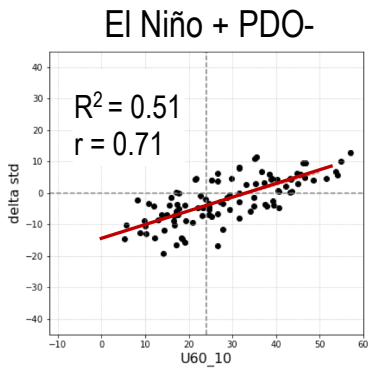
Основные выводы

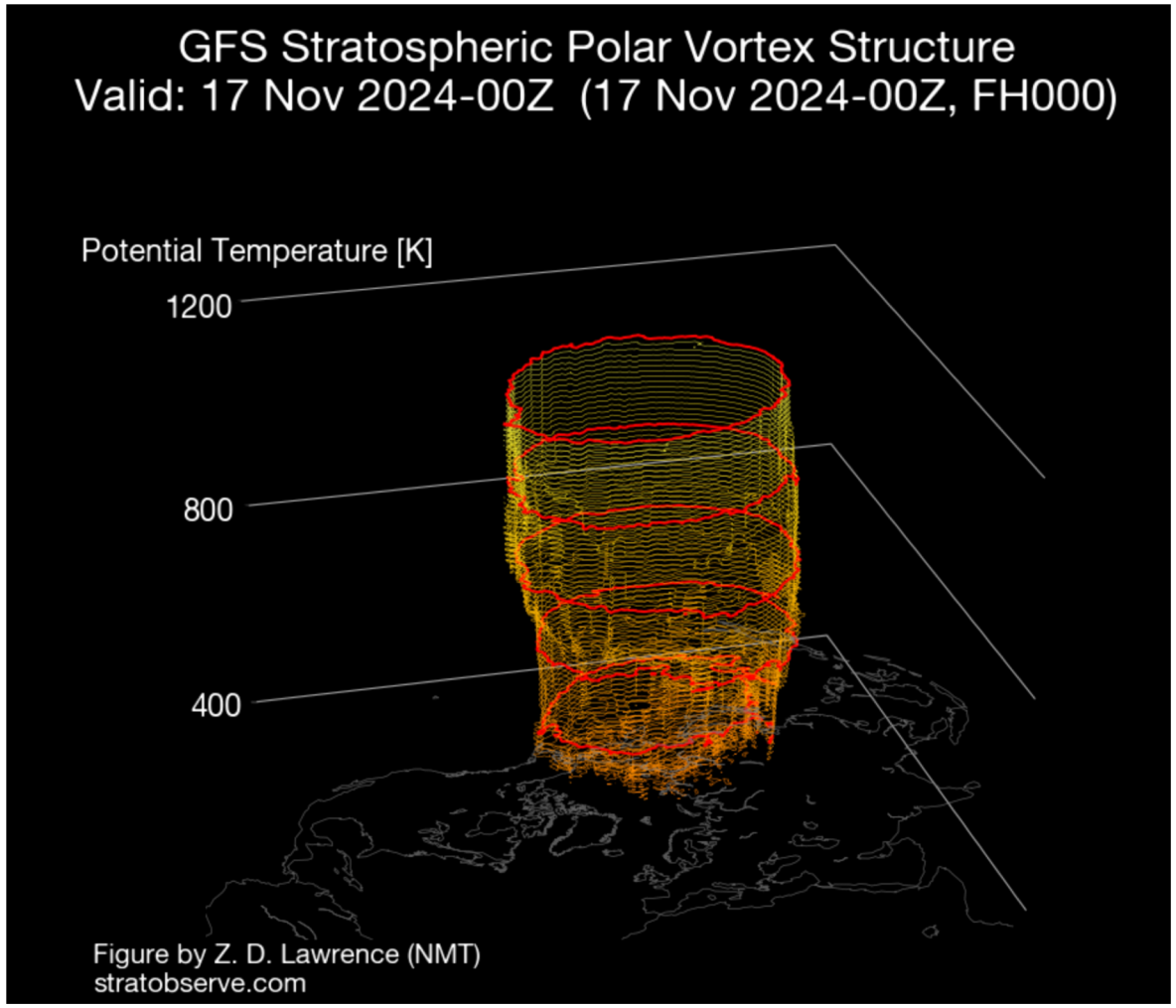
1.



На **субсезонном масштабе,** в годы с ЭН отклик шторм-трека в Атлантическом океане наблюдается в западной части региона, а в годы ЛН – в восточной.

2. На **сезонном масштабе** стратосферная динамика имеет максимальный прогностический потенциал в годы с событиями ЭН, которые происходит на фоне отрицательной фазы ТДК. В зимней сезон (декабрь–февраль) до 50% изменчивости положения шторм-трека в Северо-Атлантическом регионе связано с интенсивностью СПВ.





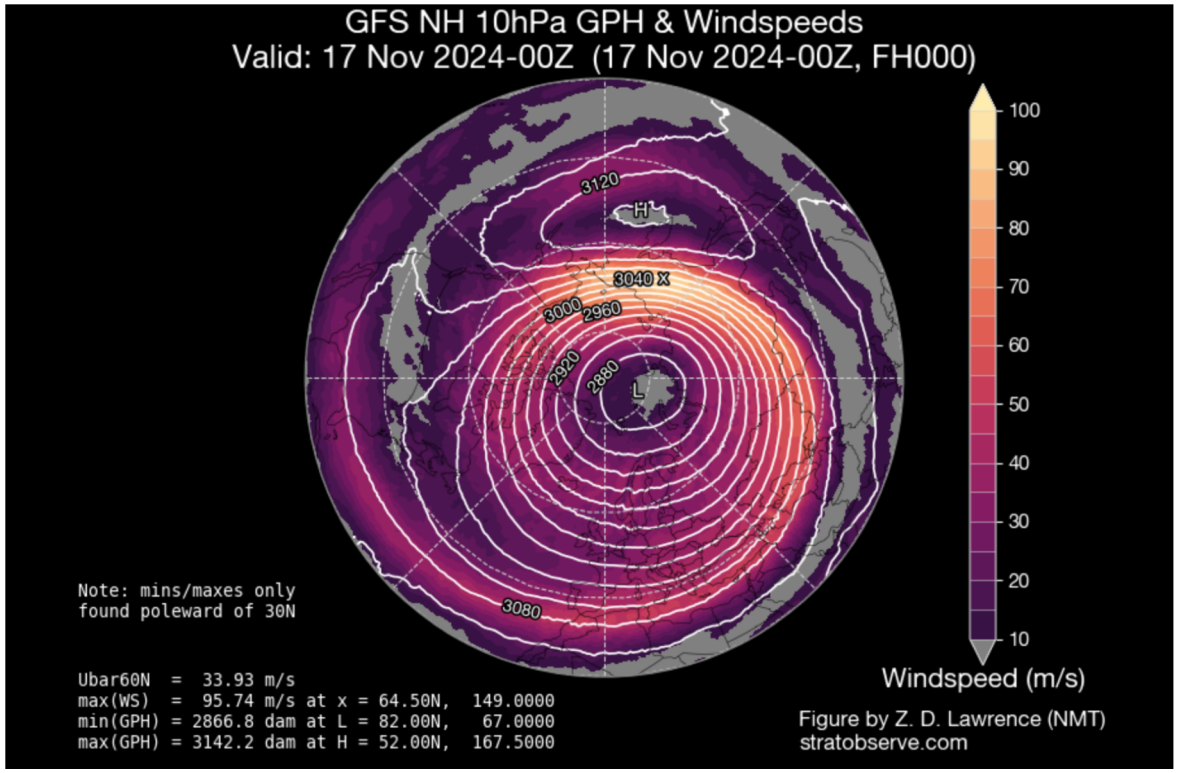
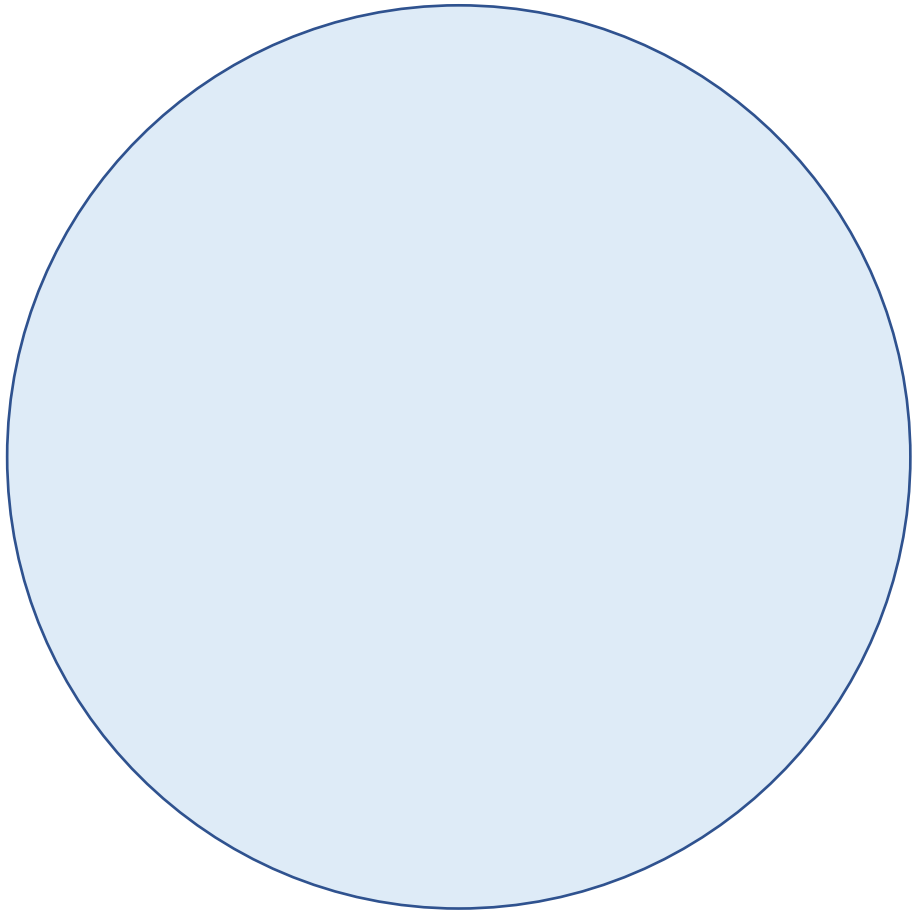
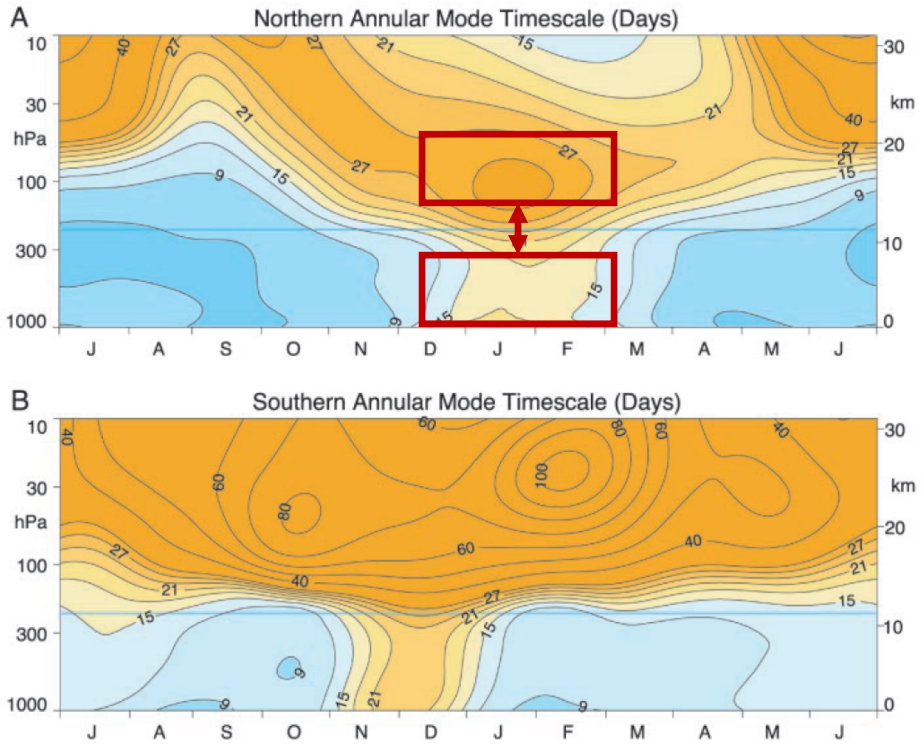


Figure by Z. D. Lawrence (NMT)
stratobserve.com
Data source: GFS, http://nomads.ncep.noaa.gov:9090/dods/gfs_0p50/

Спасибо за внимание!



Стратосферно-тропосферное взаимодействия



- Временной масштаб жизни (e-folding time) возмущений в стратосфере больше чем в тропосфере на протяжении всего года
- Самое продолжительное время жизни возмущений в нижней тропосфере наблюдается зимой и совпадает с максимумом в нижней стратосфере.

the time scale
of the tropospheric annular mode is a maximum
when the amplitude of lower stratospheric
annular-mode anomalies is largest

Data
analysis (23) suggests that there is a linear
relationship between NAM anomalies in the

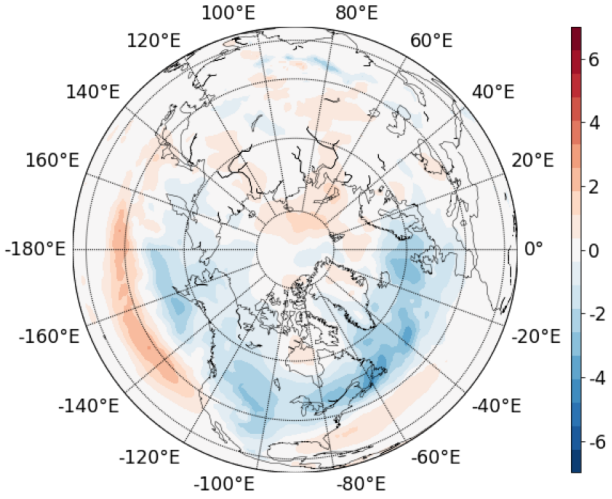
Stratospheric Memory and Skill of Extended-Range Weather Forecasts (Baldwin et al., 2003)

Воспроизведение синоптической активности в модели

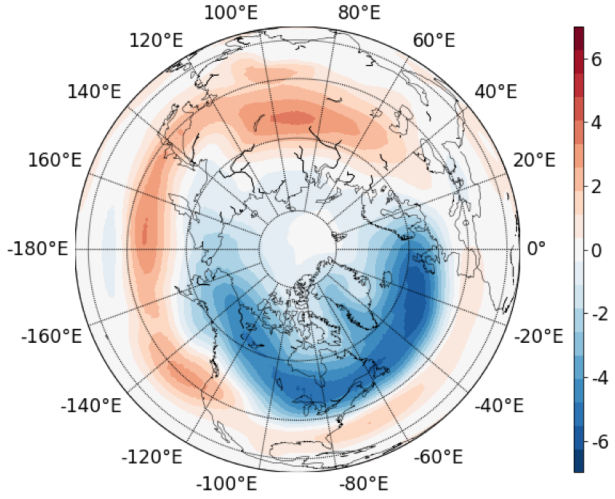
Эйлеров подход

Синоптическая активность

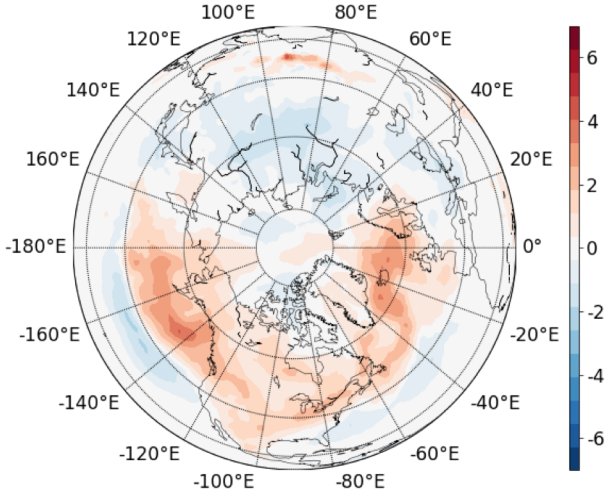
JRA-55 El Niño – non El Niño (<2 days)



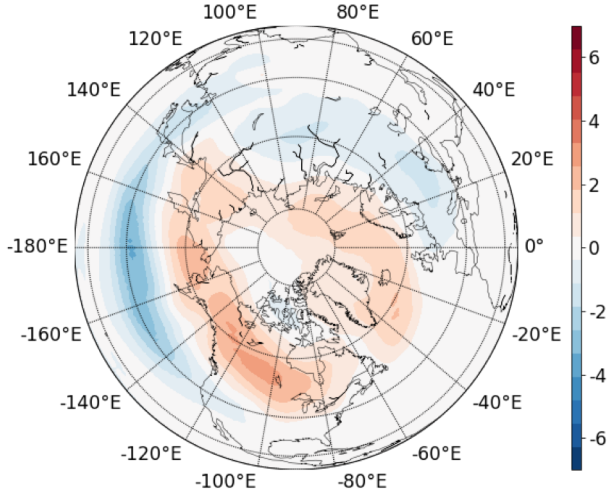
El Niño – CTRL (<2 days)



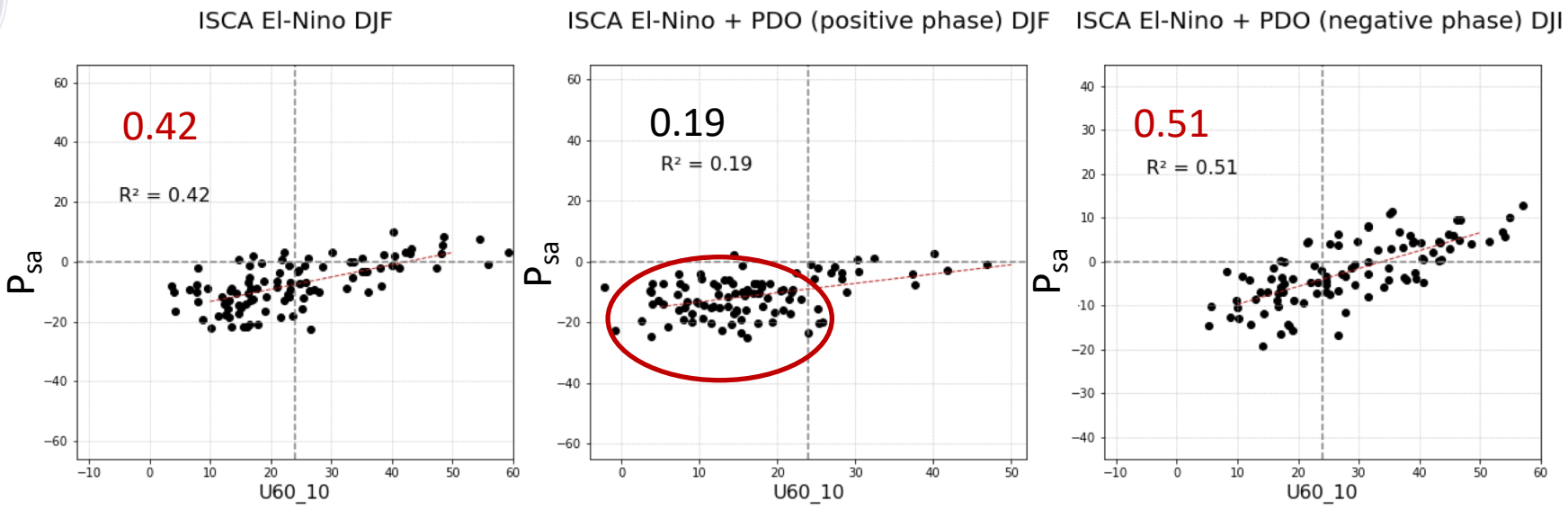
JRA-55 La Niña – non La Niña (<2 days)

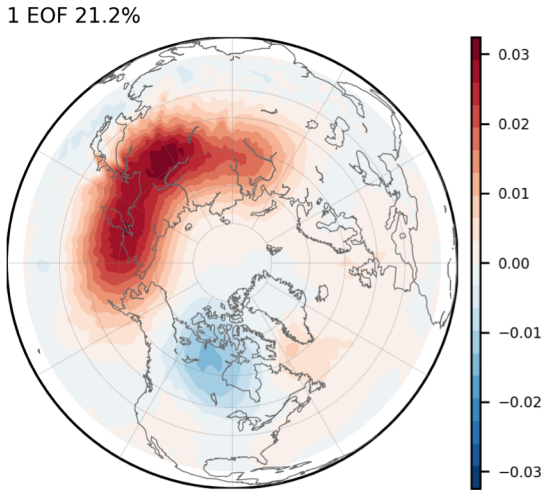


La Niña – CTRL (<2 days)

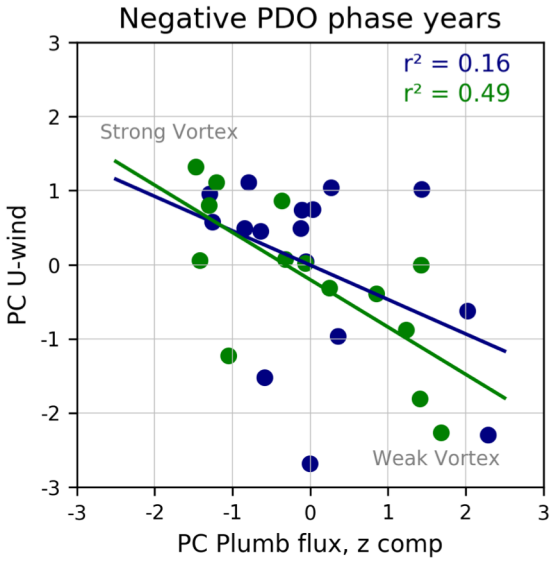


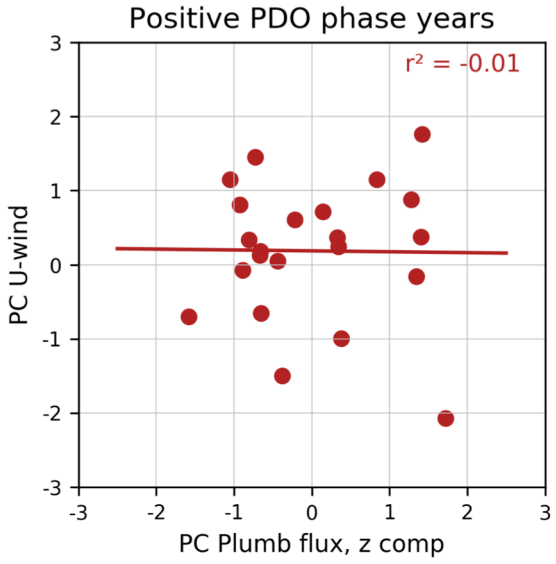
Seasonal forecast (winter DJF) skill





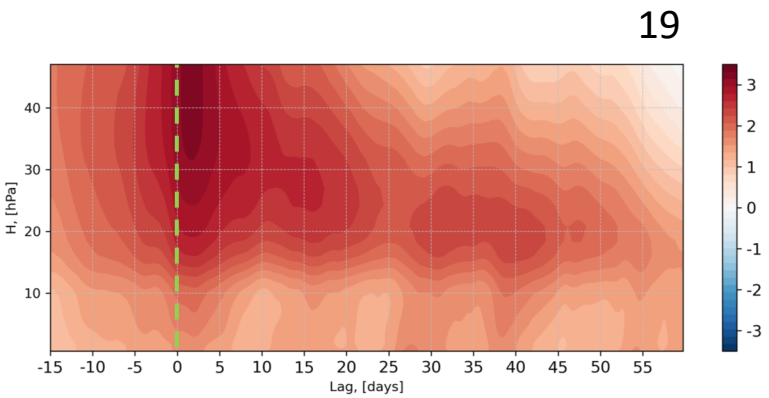
F_z Plumb Flux 1st EOF

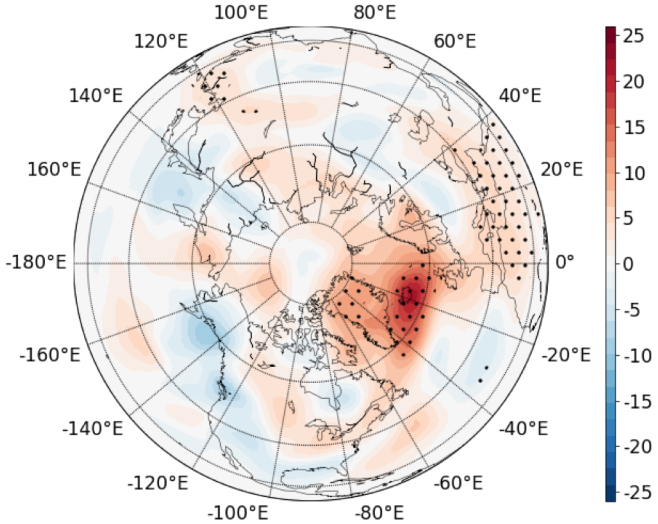




Отклик синоптической активности на экстремально сильный СПВ

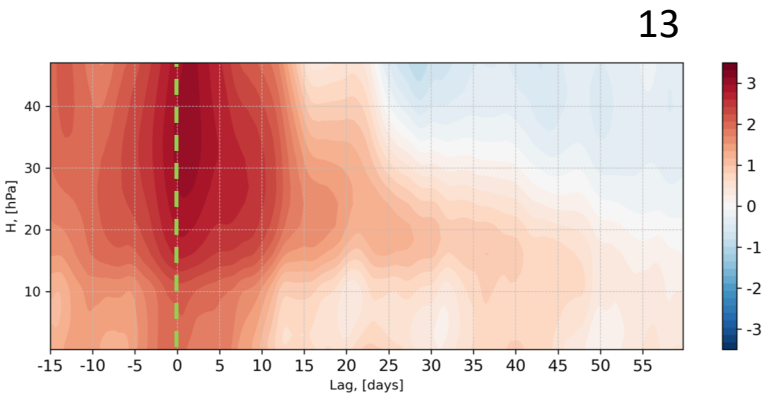
El-Nino

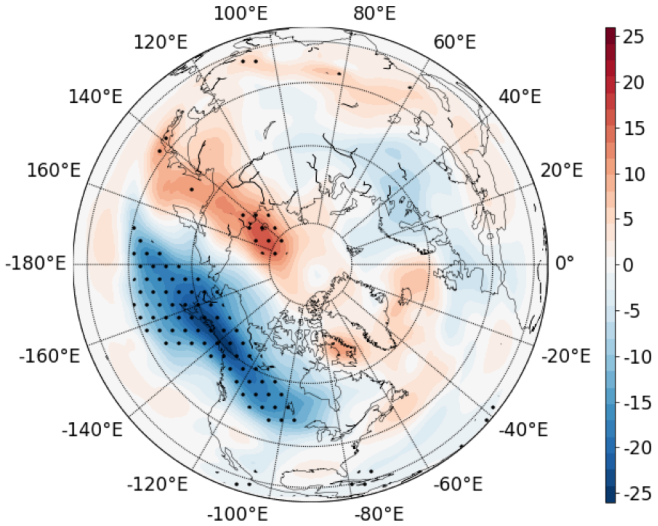




Усиление синоптической активности в северной части Атлантического океана

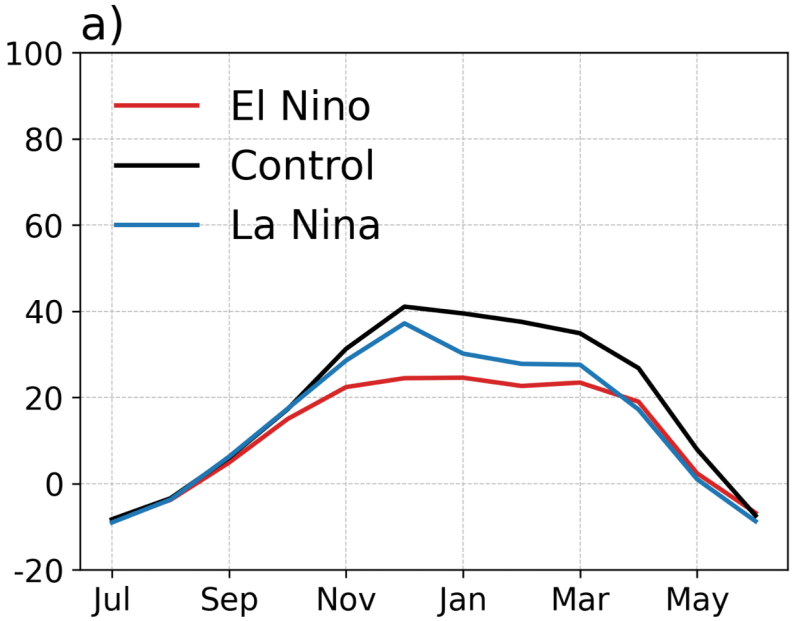
La-Nina





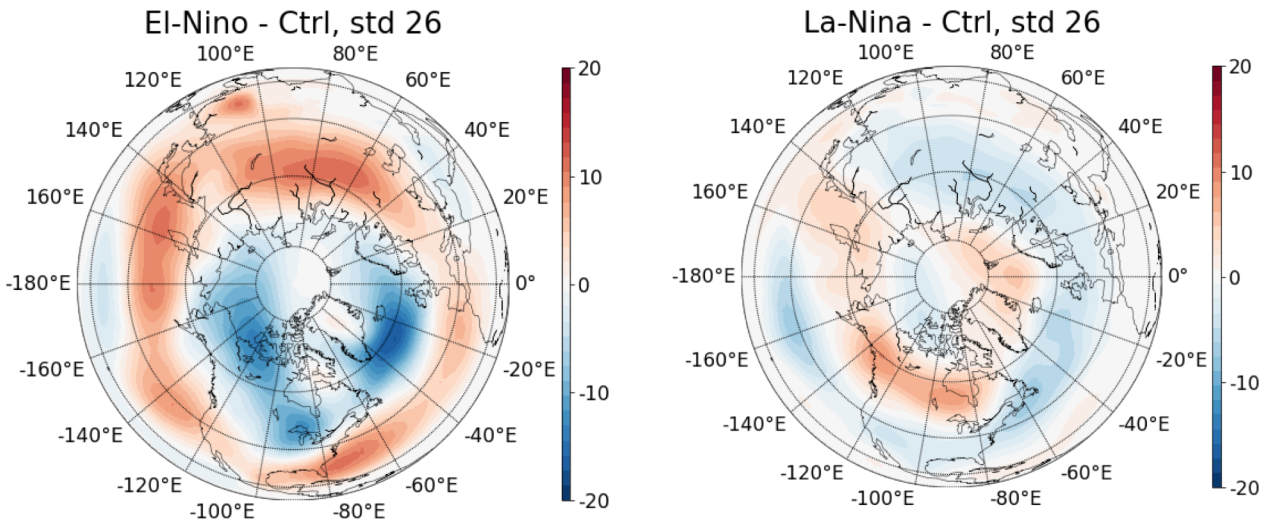
Нет статистически значимого отклика в районе Атлантического океана

Отклик крупномасштабной тропосферной циркуляции на аномалии ТПО Тихого океана

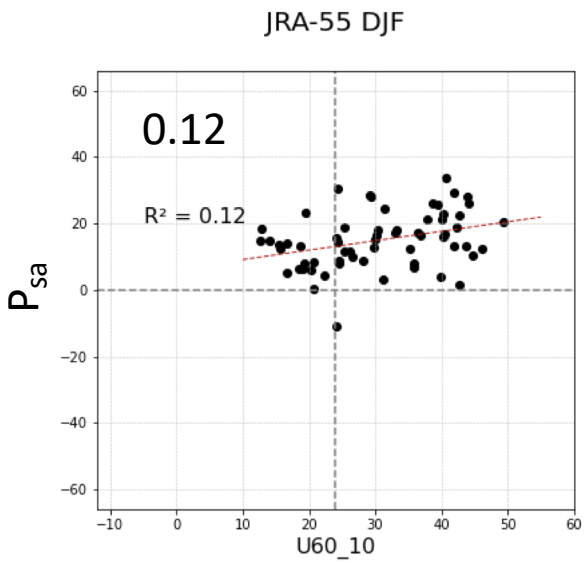


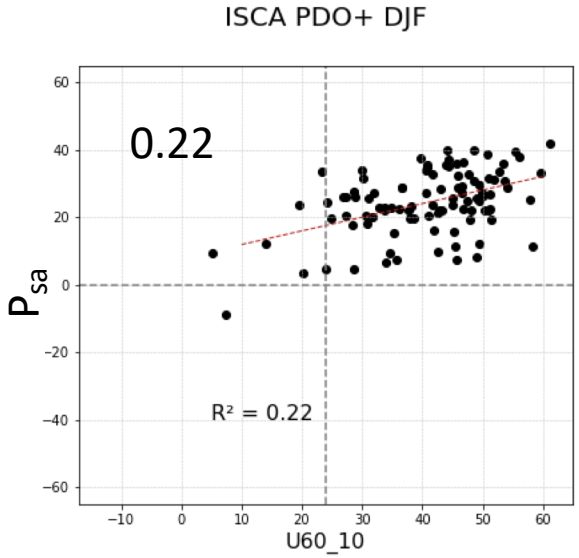
Experiment	SSW (nov-mar)	DW, %	NDW, %	St. events
CTRL	40	65	35	13
El-Nino	110	35	65	19
EN&PDO+	158	34	66	22
EN&PDO-	88	48	52	22
La-Nina	76	51	49	13
LN&PDO+	56	55	45	22
LN&PDO-	60	50	50	26

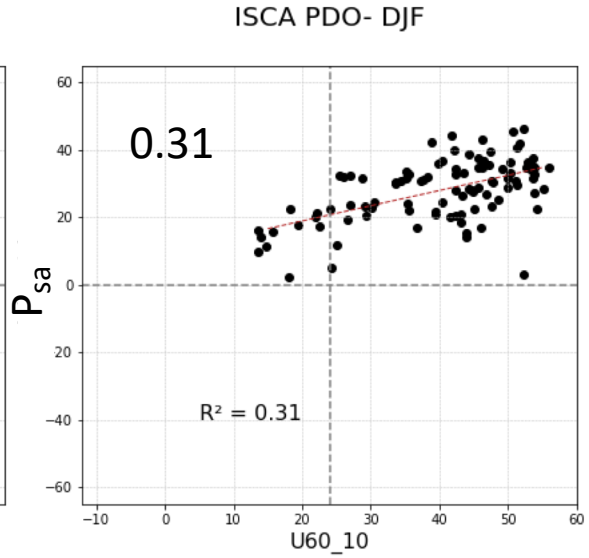
Такая структура аномалий HGT частично объясняет быстрое восстановление вихря после ВСП в эксперименте ЛН

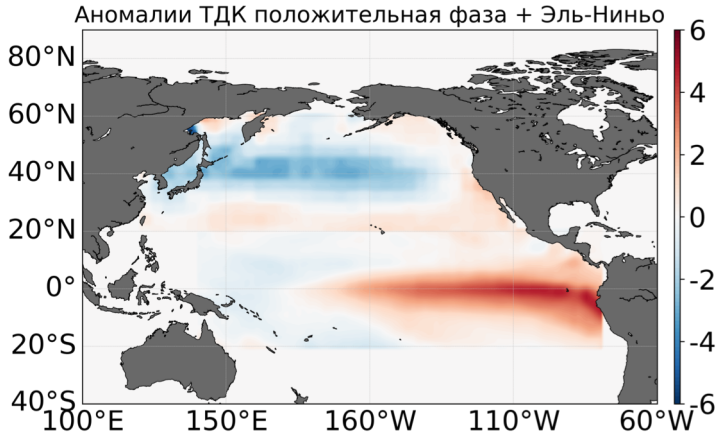

El-Nino - Ctrl, std 26
100°E
80°E
120°E
60°E
140°E
40°E
160°E
20°E
-180°E
0°
-160°E
-20°E
-140°E
-40°E
-120°E
-60°E
-100°E
-80°E
20
10
0
-10
-20

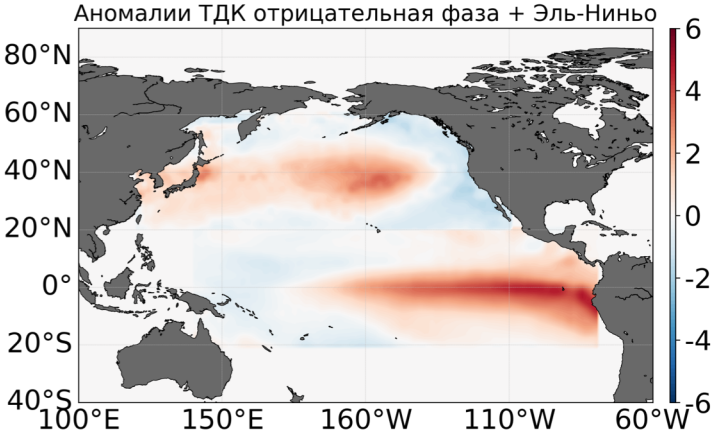
La-Nina - Ctrl, std 26
100°E
80°E
120°E
60°E
140°E
40°E
160°E
20°E
-180°E
0°
-160°E
-20°E
-140°E
-40°E
-120°E
-60°E
-100°E
-80°E
20
10
0
-10
-20

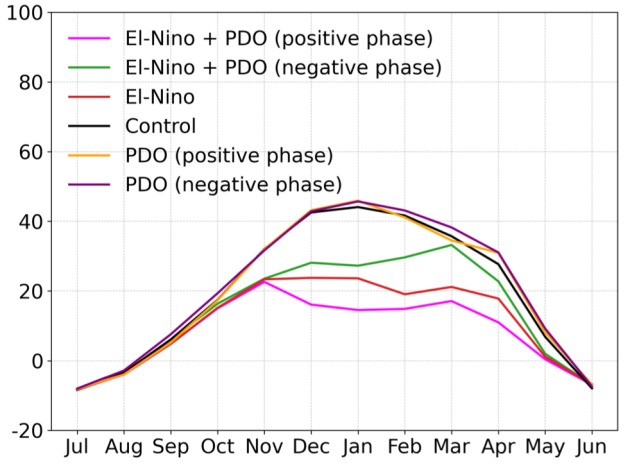

JRA-55 DJF
0.12
R² = 0.12
Psa
U60_10

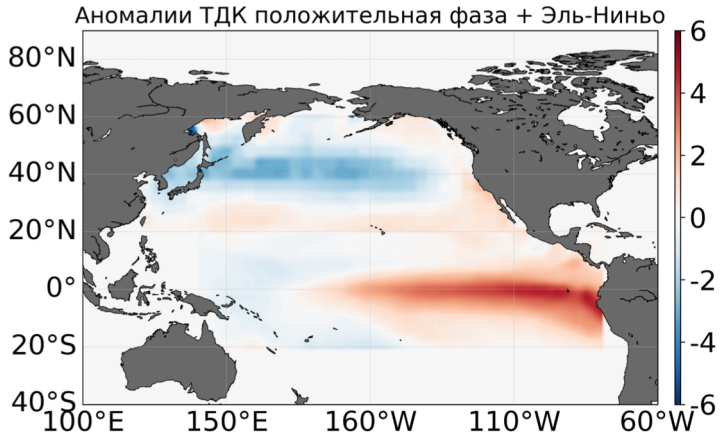

ISCA PDO+ DJF
0.22
R² = 0.22
Psa
U60_10

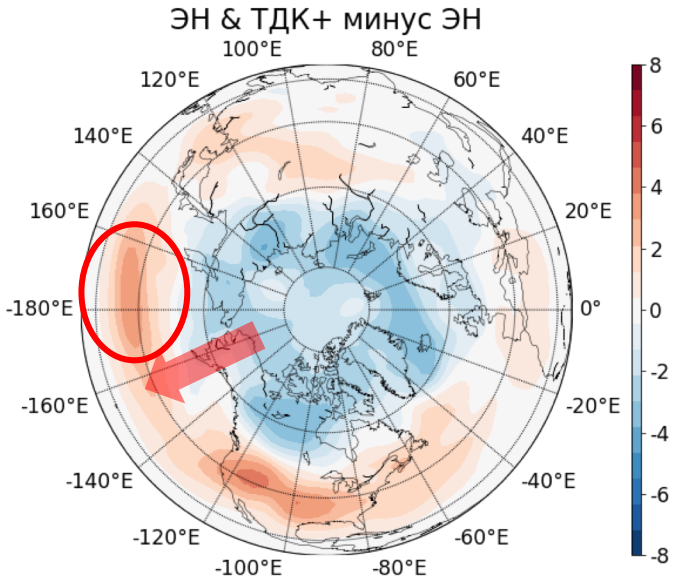

ISCA PDO- DJF
0.31
R² = 0.31
Psa
U60_10


Аномалии ТДК положительная фаза + Эль-Ниньо
80°N
60°N
40°N
20°N
0°
20°S
40°S
100°E
150°E
160°W
110°W
60°W
6
4
2
0
-2
-4
-6

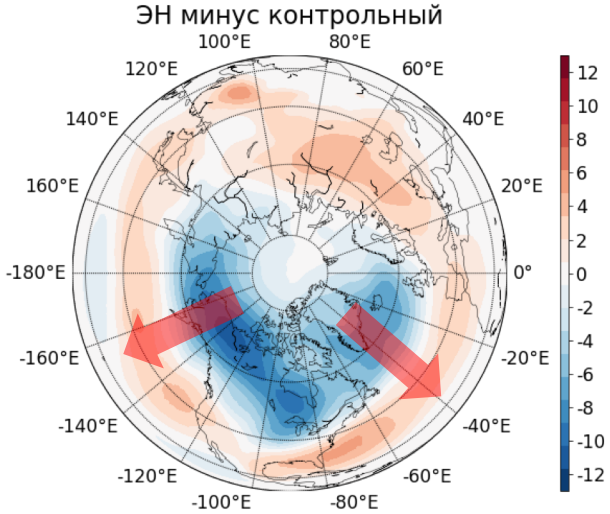

Аномалии ТДК отрицательная фаза + Эль-Ниньо
80°N
60°N
40°N
20°N
0°
20°S
40°S
100°E
150°E
160°W
110°W
60°W
6
4
2
0
-2
-4
-6

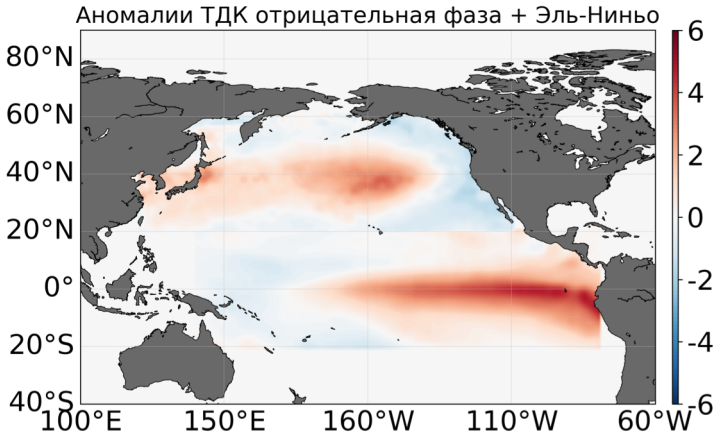


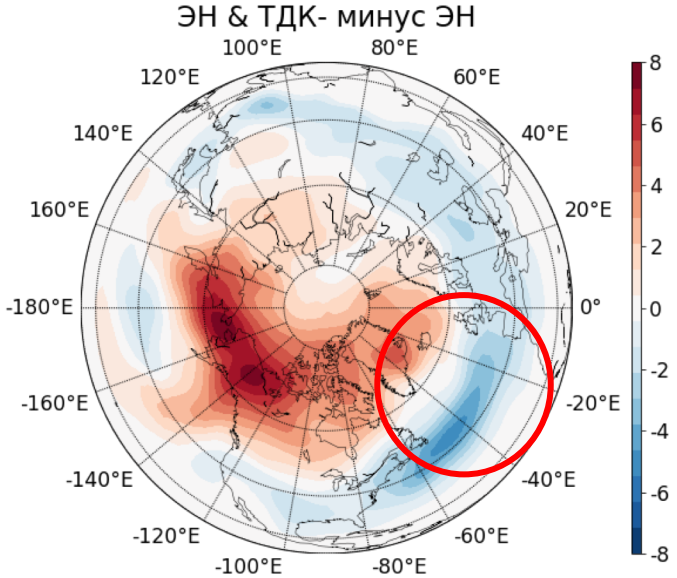




Усиление эффекта ЭН.



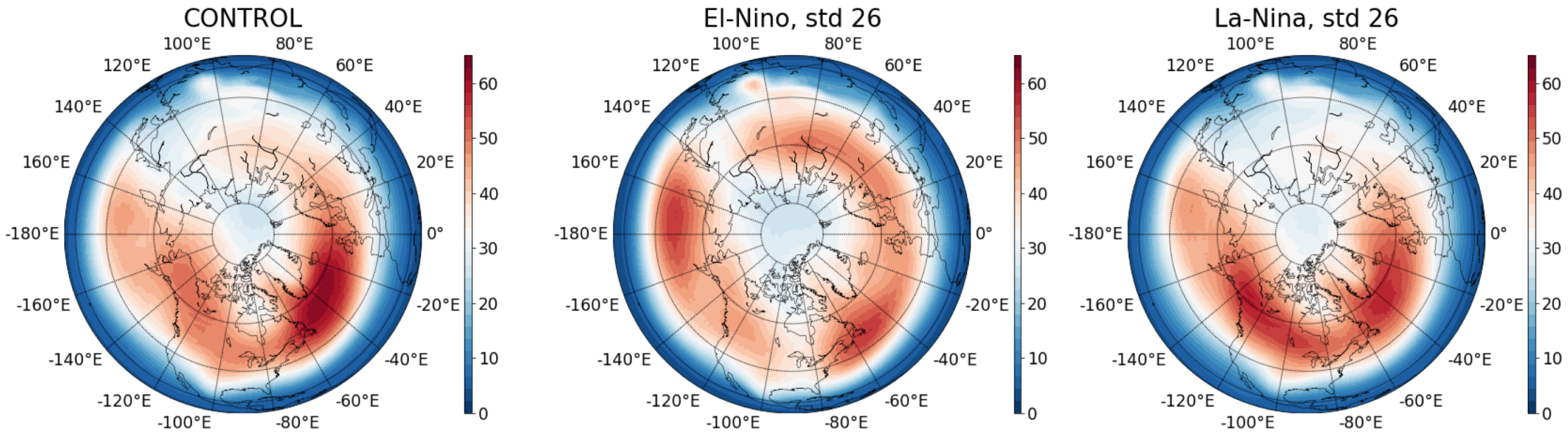




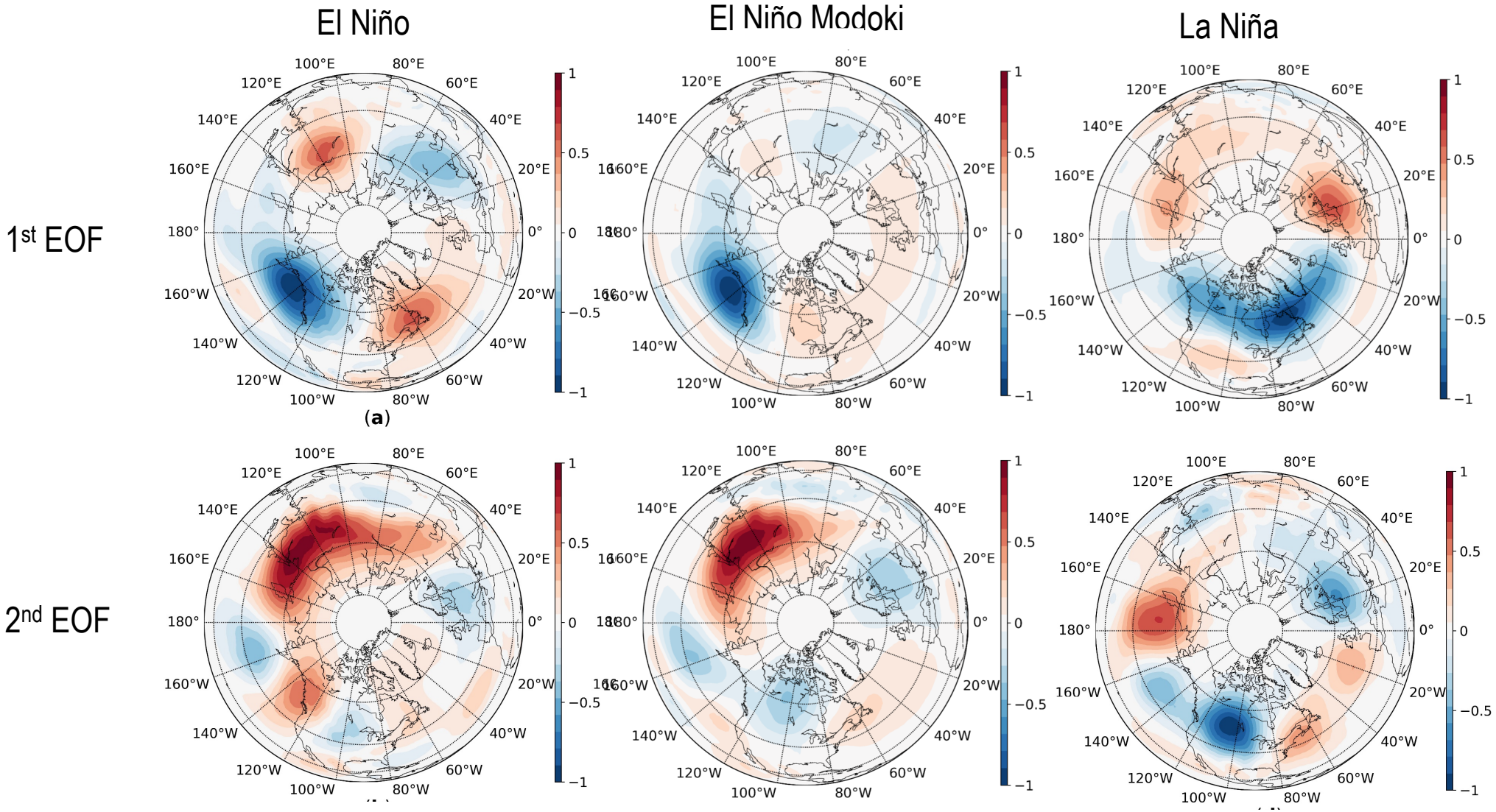
Обнуление эффекта ЭН.

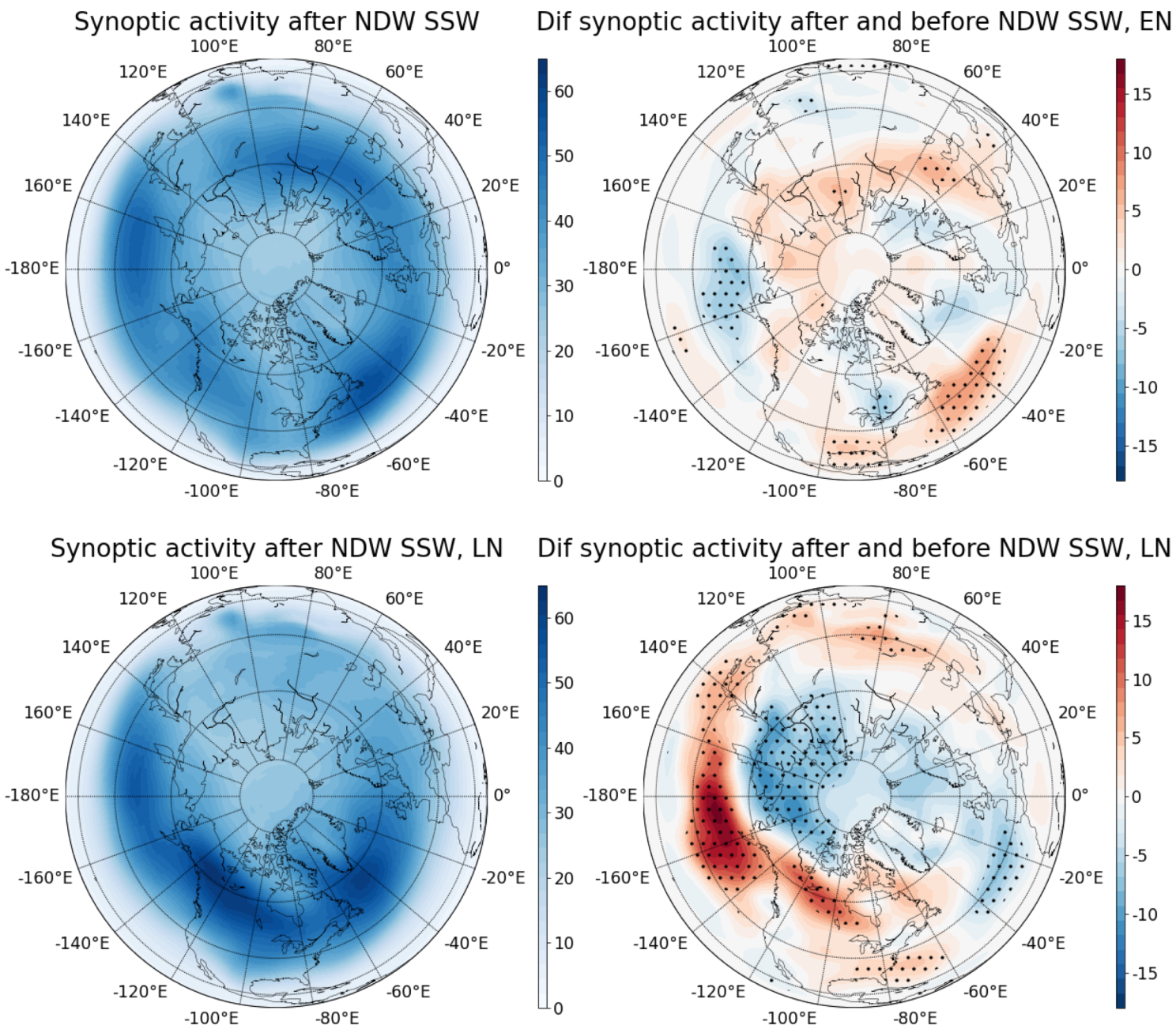
При событиях ЭН
штorм-трек сдвигается к югу.

Воспроизведение синоптической активности



EOF of the vertical component of the Plumb flux at 100 hPa



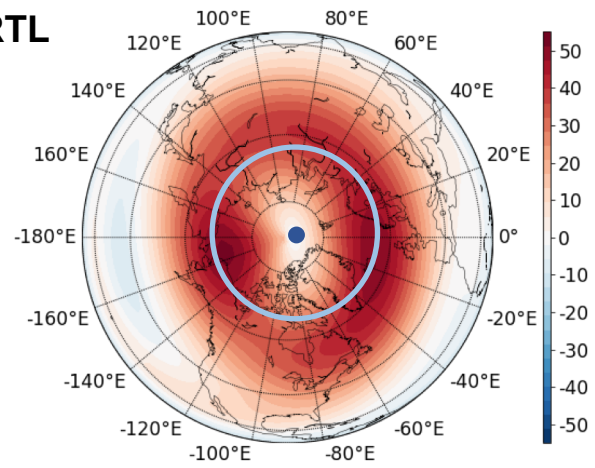

Synoptic activity after NDW SSW
Dif synoptic activity after and before NDW SSW, EN
Synoptic activity after NDW SSW, LN
Dif synoptic activity after and before NDW SSW, LN
100°E
80°E
120°E
60°E
140°E
40°E
160°E
20°E
-180°E
0°
-160°E
-20°E
-140°E
-40°E
-120°E
-60°E
-100°E
-80°E
60
50
40
30
20
10
0
15
10
5
0
-5
-10
-15

Воспроизведение динамики стратосферы Северного полушария

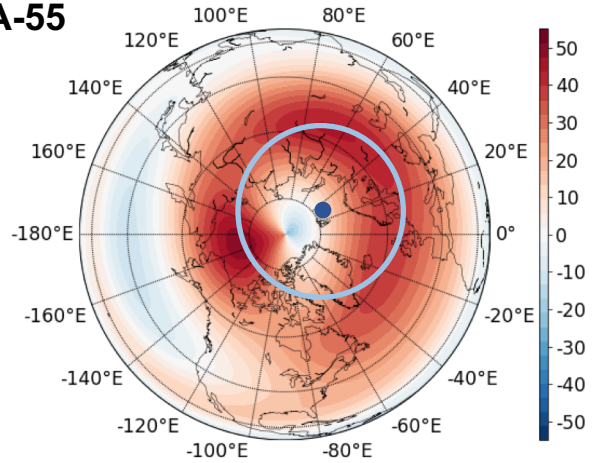
17:50- 18:05 Собаева Д.А., Зюляева Ю.А.

Зональная компонента скорости ветра на уровне 10 гПа, м/с

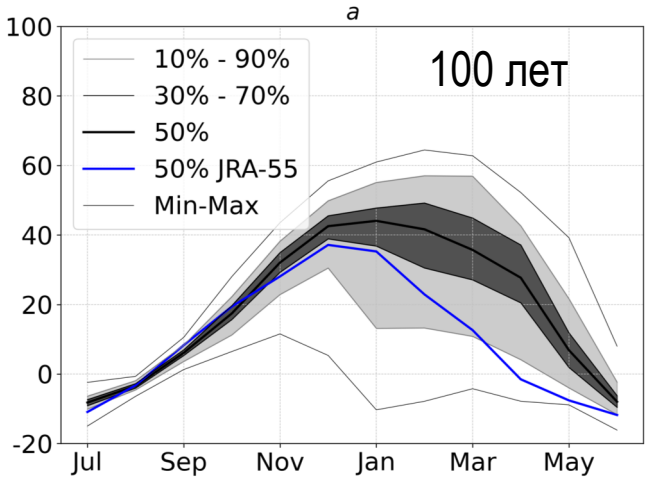
CRTL

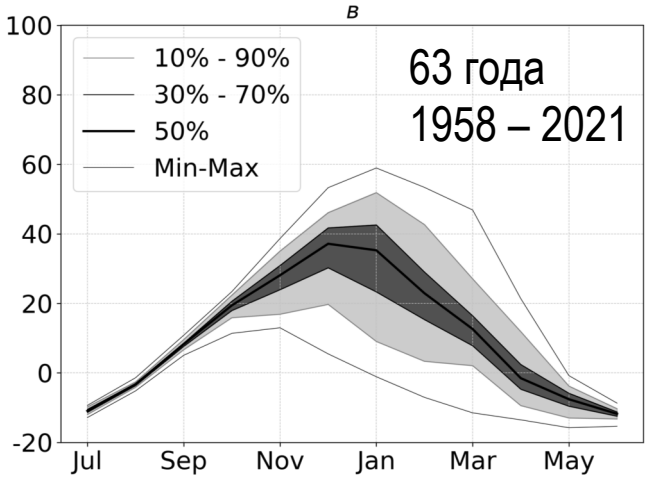


JRA-55



Северное полушарие



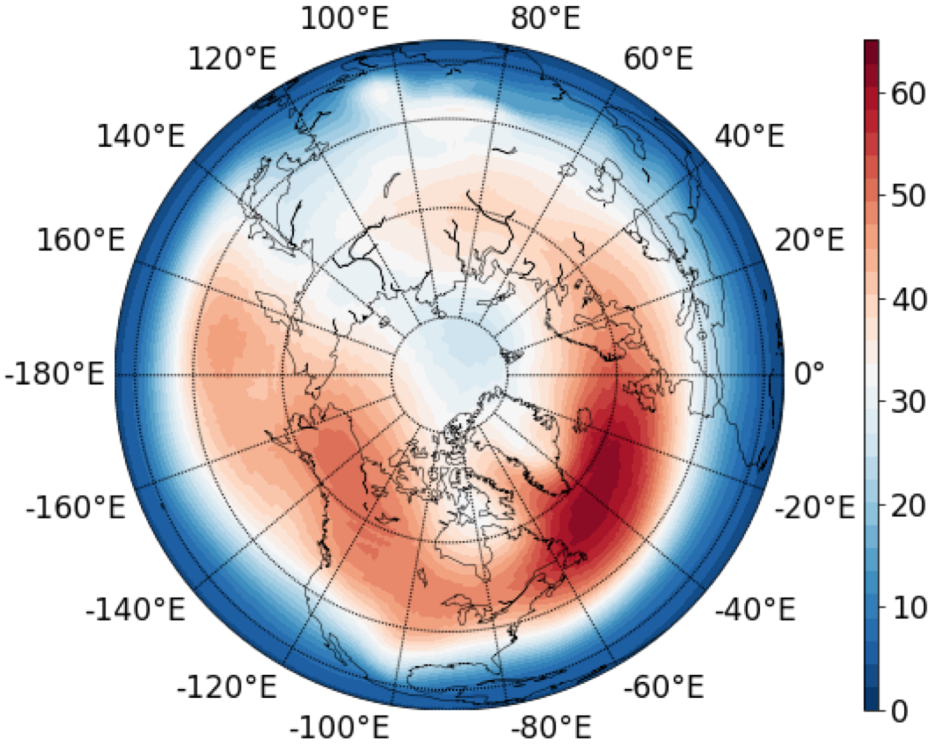


- Интенсивность СПВ в Северном полушарии по модельным данным выше чем по данным JRA-55.
- Изменчивость СПВ в Северном полушарии выше в модельных данных чем в JRA-55.
- Центр СПВ в контрольном эксперименте расположен над полюсом, а в данных реанализа смещен в сторону Евразии.

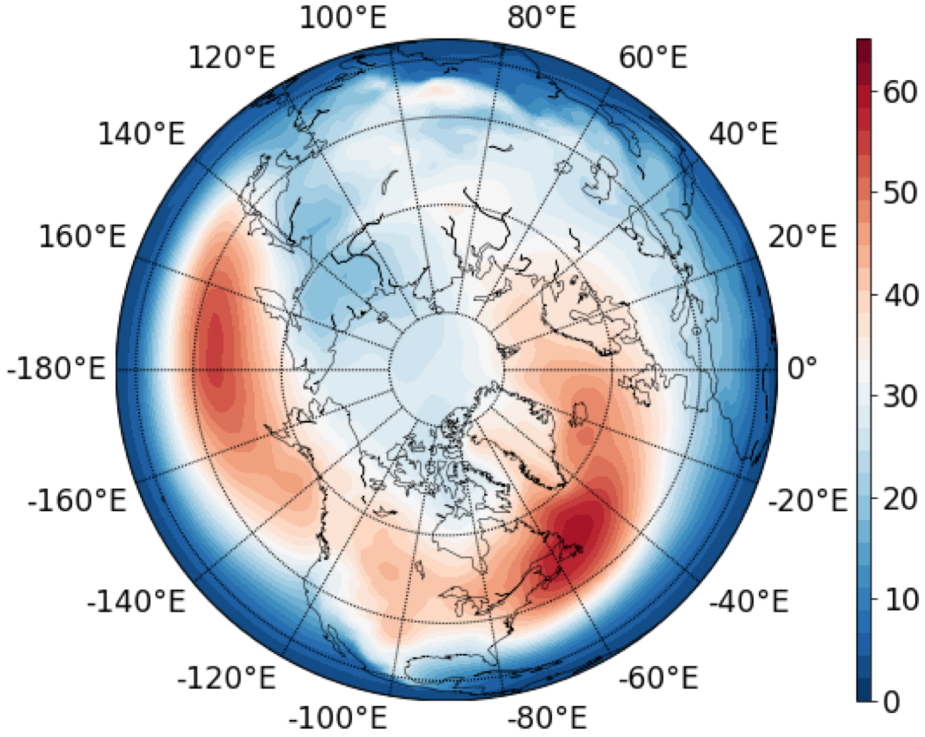
Интенсивность СПВ U_{60_10} – зональная компонента скорости ветра, осредненная вдоль 60 с.ш. на уровне 10 гПа

Воспроизведение синоптической активности

ДЯФ $\sigma(Hgt_{1000})_{2\text{-}6\ дней}$
Контрольный эксперимент



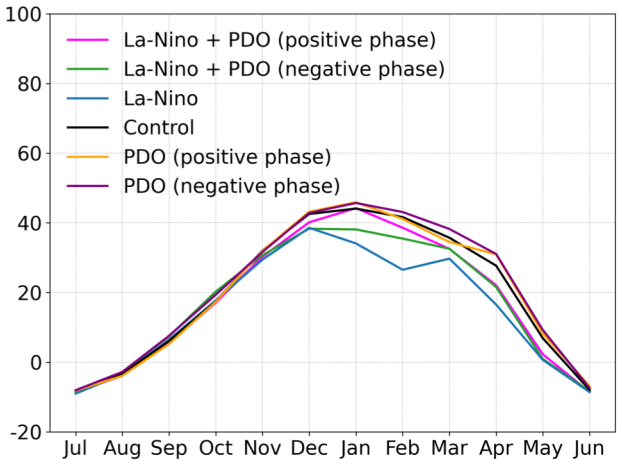
ДЯФ $\sigma(Hgt_{1000})_{2\text{-}6\ дней}$
Реанализ JRA-55

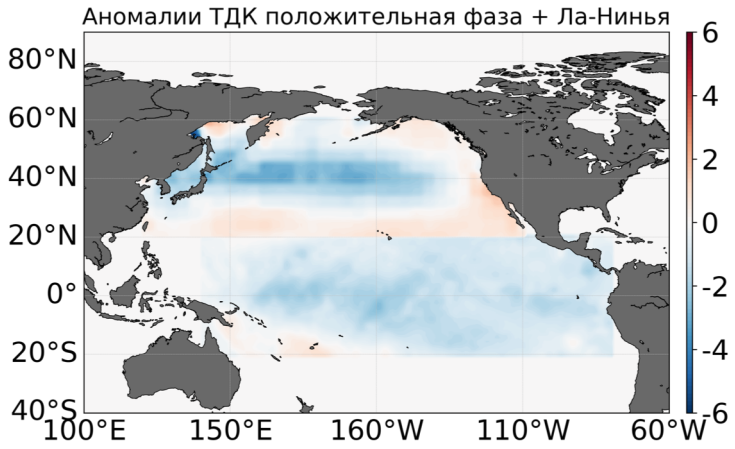


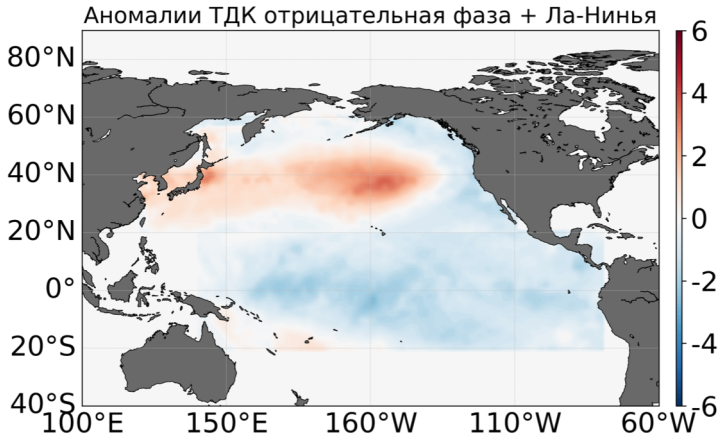
В модельном эксперименте:

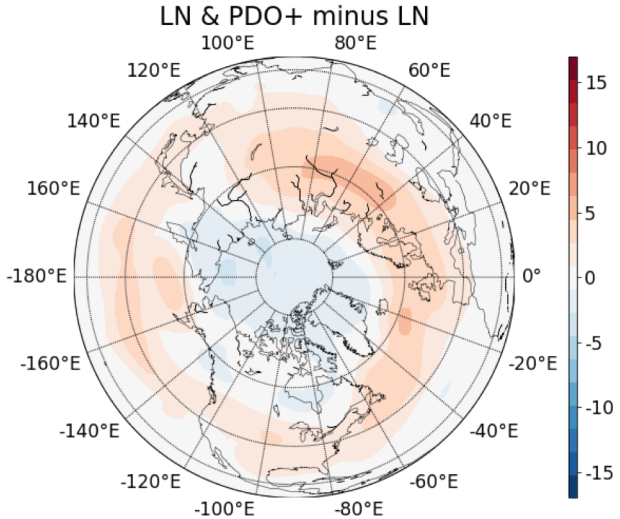
- Воспроизведение основных шторм-треков Северного полушария: в районах Тихого и Атлантического океанов.
- Амплитуда этих шторм-треков меньше.
- Шторм-трек в Тихом океане сильно севернее, в Атлантическом – практически совпадает.

Воспроизведение синоптической активности: Ла-Нинья & ТДК +/-

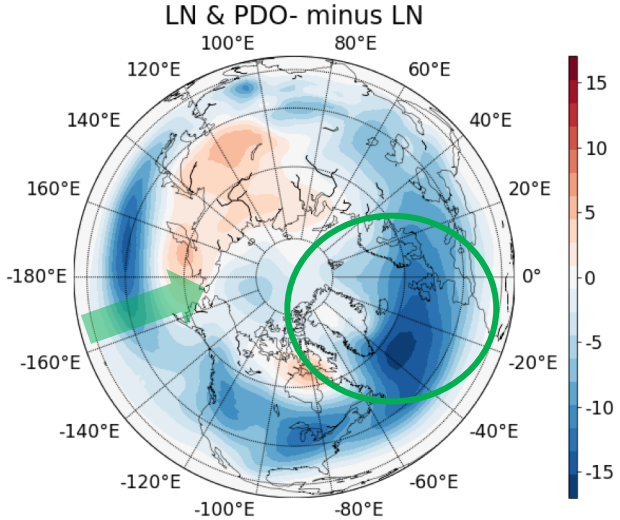






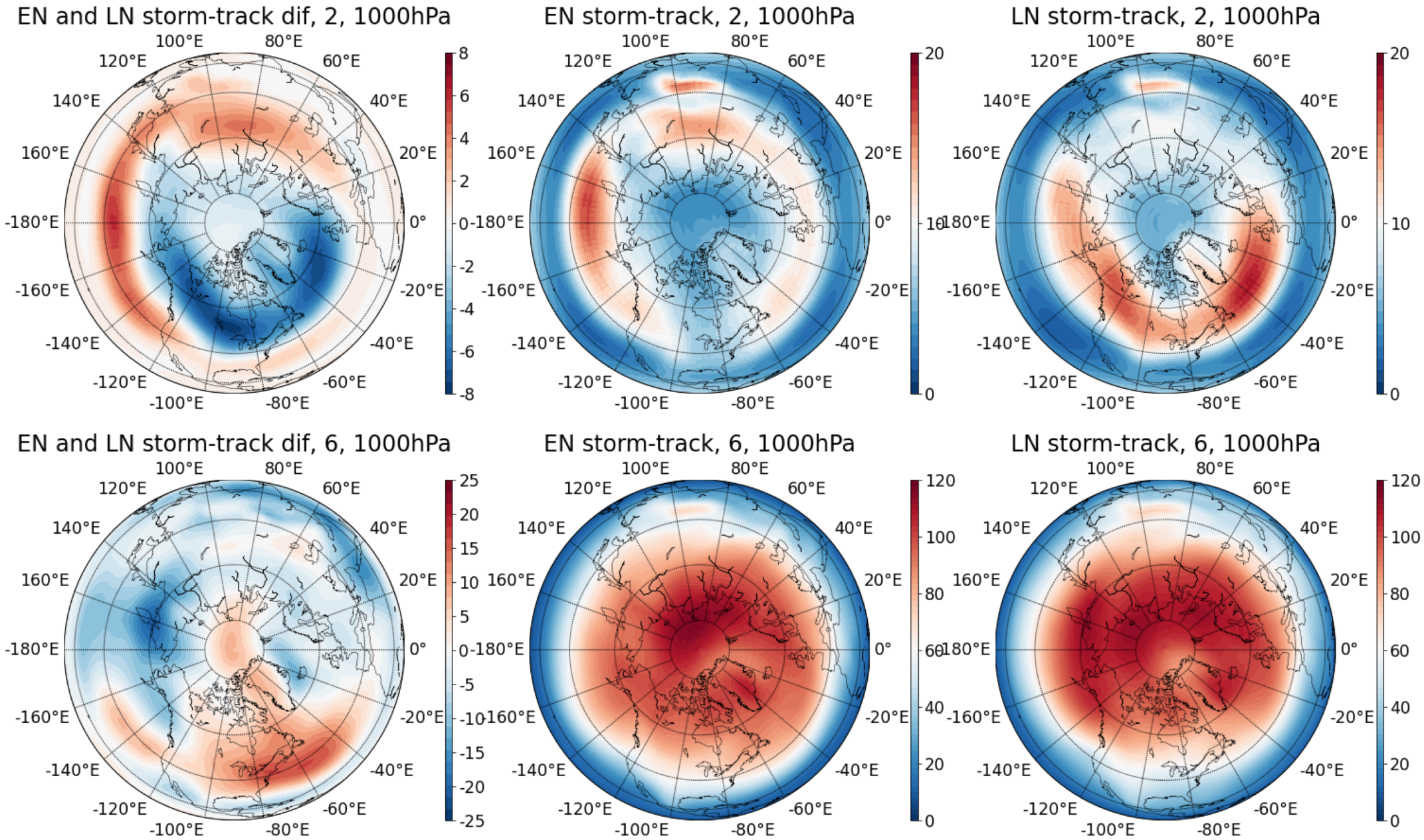


Обнуление эффекта ЛН.



Усиление эффекта ЛН.

При событиях ЛН
шторм-трек сдвигается на север.


EN and LN storm-track dif, 2, 1000hPa
EN storm-track, 2, 1000hPa
LN storm-track, 2, 1000hPa
EN and LN storm-track dif, 6, 1000hPa
EN storm-track, 6, 1000hPa
LN storm-track, 6, 1000hPa
100°E
80°E
60°E
40°E
20°E
0°
-20°E
-40°E
-60°E
-80°E
-100°E
-120°E
-140°E
-160°E
-180°E
160°E
140°E
120°E
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
20
10
0
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
120
100
80
60
40
20
0