



ОБЗОР ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУД АТМОСФЕРНЫХ ПРИЛИВОВ ОТ ФАЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Коваль А.В.¹, Диденко К.А.^{1,2}, Ермакова Т.С.^{1,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, a.v.koval@spbu.ru

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Троицк, Россия

³ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: a.v.koval@spbu.ru

V Всероссийская конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата»
9–21 ноября 2024 г. Москва

Введение

- ❖ Глобальные атмосферные волны, включая солнечные термические приливы, оказывают существенное влияние на динамику атмосферы, при этом на высотах мезосферы и нижней термосферы (МНТ) приливы, наряду с гравитационными волнами, играют основную роль в формировании термодинамического режима атмосферы.
- ❖ Солнечные термические приливы – это колебания глобального масштаба с периодами солнечных суток (24 ч) и его гармоник (12, 8 и 6 ч), основным механизмом генерации которых является воздействие прямого солнечного излучения на атмосферу.
- ❖ Помимо обмена импульсом со средним течением, приливы играют важную роль в нелинейных взаимодействиях планетарных волн (ПВ), модулируя их сигнал в МНТ области и, таким образом, способствуя распространению ПВ в верхнюю термосферу.
- ❖ **Естественные тропические осцилляции**, такие как Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), квазивухлетнее колебание (КДК) стратосферного экваториального зонального ветра, а также цикличность солнечной активности, влияют на региональную и глобальную циркуляцию, включая условия для генерации и распространения атмосферных волн различного масштаба. Сигнал от этих тропических осцилляций способен распространяться как в термосферу, так и в высокие широты, оказывая существенное влияние и на стратосферный полярный вихрь посредством дальних связей.

Цель исследования

Изучение зависимости амплитуд атмосферных приливов от фаз естественных тропических осцилляций: квазидвухлетнего колебания зонального ветра в экваториальной стратосфере (КДК) и Эль-Ниньо Южного колебания (ЭНЮК).

Объект исследования: мигрирующие суточный и полусуточный приливы, немигрирующие суточный и полусуточный приливы. Исследование проведено для бореальной зимы (январь - февраль) – сезон максимальной волновой активности планетарных волн (ПВ), вовлеченных в процесс генерации немигрирующих приливов.

- Сложность изучения влияния КДК/ЭНЮК связана прежде всего с ограниченным временным рядом наблюдений глобальной атмосферной циркуляции.

Например, в работе Ermakova et al. (2024), по данным реанализа MERRA2 в «спутниковую» эру (после 1980 года) удалось выделить только по 3 года каждой комбинации КДК/ЭНЮК в зимний период.

- Кроме этого, КДК/ЭНЮК представляют собой осцилляции с близкими периодами, что осложняет выделение прямого эффекта от каждой, особенно в МНТ области, характеризующейся сильной изменчивостью.
- Дополнительная сложность в выделении эффектов от тропических осцилляций вносит тот факт, что ЭНЮК способно контролировать период КДК.

Проведенное нами численное моделирование в «идеализированных» условиях, с использованием 3-мерной нелинейной модели средней и верхней атмосферы МСВА, позволило получить статистически значимые оценки изменений амплитуд приливов, изолировав воздействие КДК и ЭНЮК.

Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК)

В экваториальной области Тихого океана:

Фаза «Эль-Ниньо»

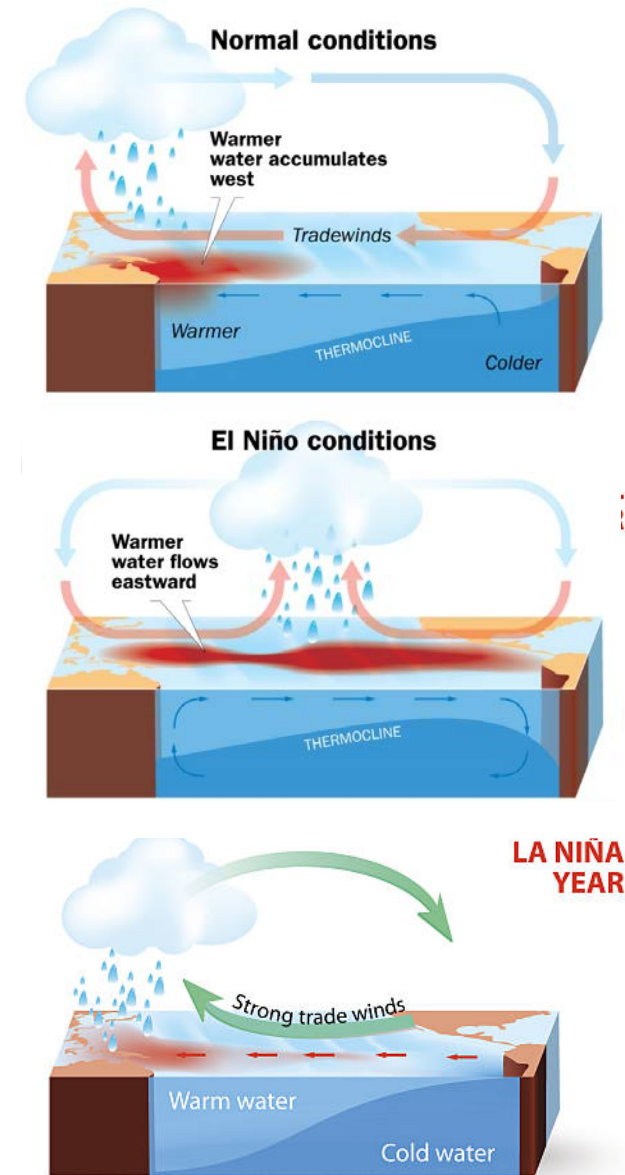
Запад: Высокое атмосферное давление. Из-за нарушения циркуляции ячейки Уокера и ослабления пассатов воздух здесь опускается, а не поднимается. В результате выпадает меньше среднего количества осадков, что приводит к засухам и лесным пожарам.

Восток: Низкое атмосферное давление. Более теплые поверхностные воды, принесенные с запада обычно более слабым экваториальным противотечением.

Фаза «Ла-Нинья»

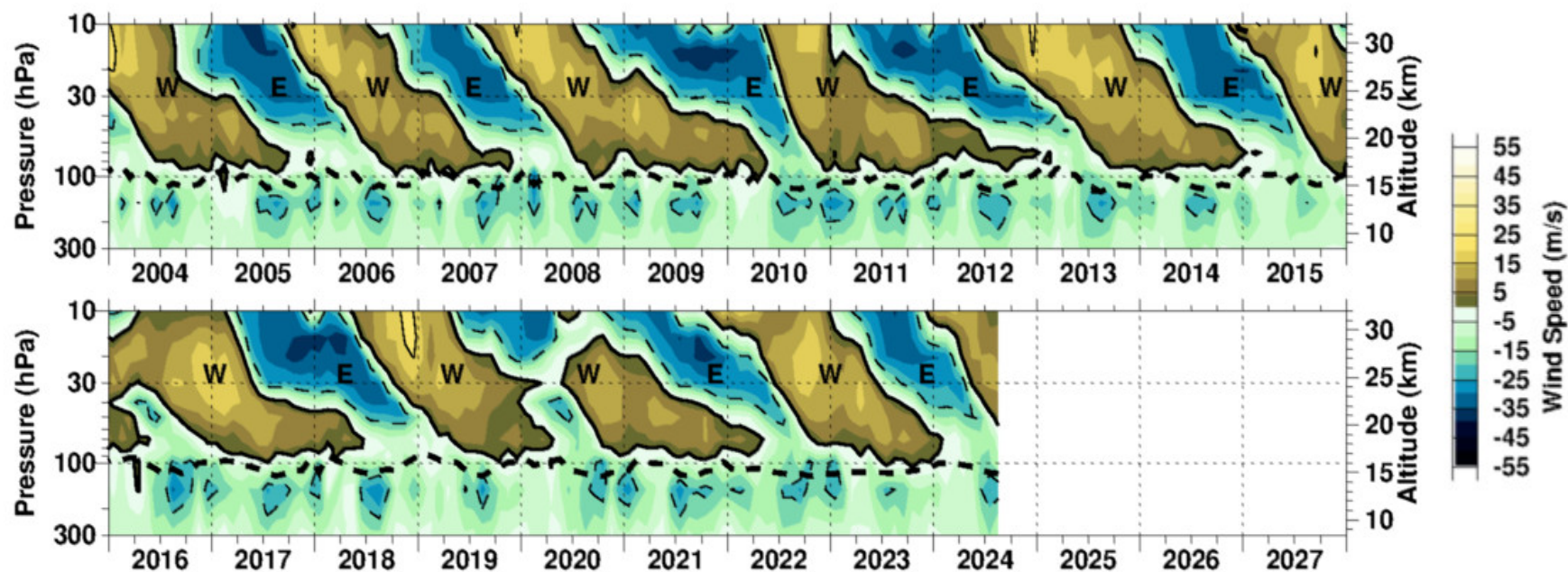
Запад: Низкое атмосферное давление. Поднимающийся воздух вызывает конденсацию и, следовательно, увеличение количества осадков.

Восток: Высокое атмосферное давление. Холодная поверхностная вода. Усиление восточного пассата. Сильный апвеллинг. Уменьшение количества осадков.



Квазидвухлетнее колебание (КДК)

- Квазидвухлетнее колебание (КДК) экваториального зонального ветра в стратосфере является одной из важных особенностей динамики средней атмосферы.
- Направление зонального ветра меняется на противоположное с периодом от 22 до 34 месяцев при среднем значении 28 месяцев. При этом, граница между восточным и западным ветром со временем опускается со скоростью ~ 1 км/месяц.
- Принято рассматривать две: западную и восточную фазы.



Зональный ветер на экваторе с 2004 по 2024 годы (сезонный ход удален).

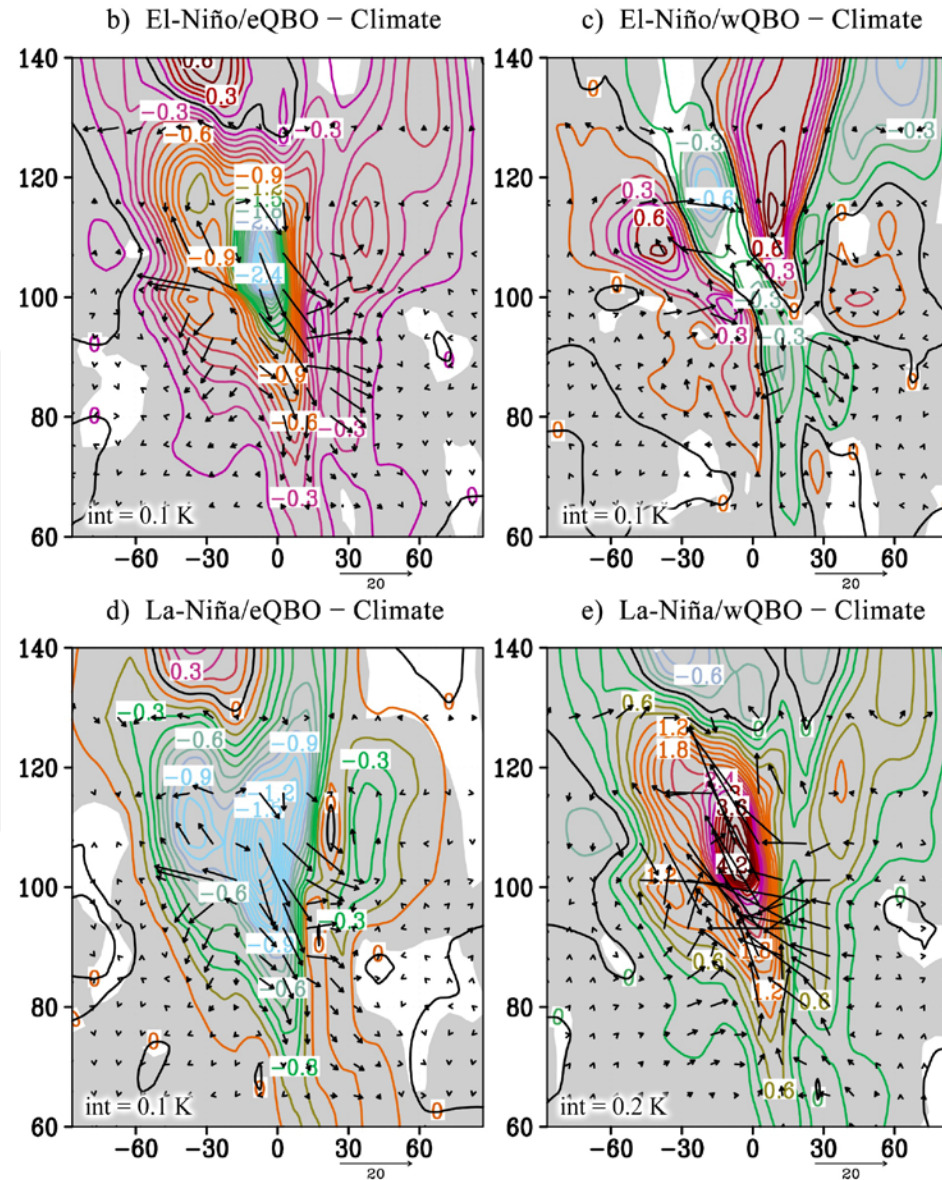
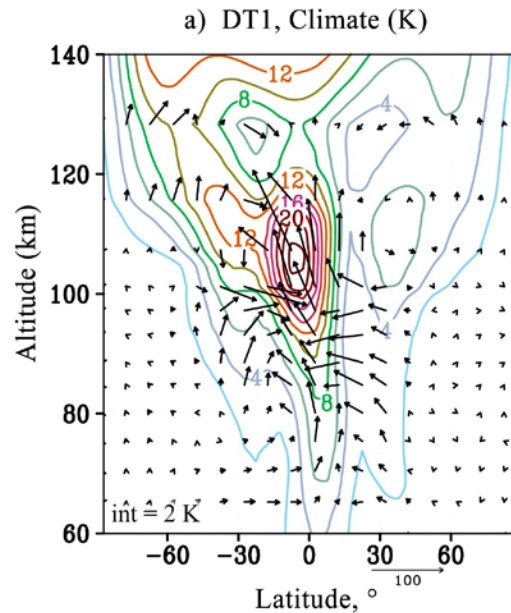
Модель «МСВА»

- ✗ 3-мерная нелинейная механистическая модель общей циркуляции атмосферы. Создана на основе модели СОММА (Кельнский университет). Основана на стандартной системе примитивных уравнений сферической системе координат.
- ✗ Горизонтальная сетка 36x64 узла по широте и долготе соответственно. Вертикальная сетка – log-изобарическая вертикальная координата, 56 узлов от поверхности до 300-400 км.
- ✗ Радиационный модуль МСВА учитывает радиационное нагревание атмосферы за счет солнечного и инфракрасного излучения. Задано 3-мерное распределение озона. Термосфера включает параметризацию нагрева в крайнем ультрафиолетовом диапазоне.
- ✗ МСВА использует три параметризации гравитационных волн с разными фазовыми скоростями, включая орографические волны.
- ✗ Для различных комбинаций фаз КДК и ЭНЮК были рассчитаны ансамбли общей циркуляции атмосферы для периода декабрь-февраль, состоящие из 10 реализаций. Всего 4 ансамбля, соответствующие разным комбинациям КДК – ЭНЮК. Особенности учета фаз КДК/ЭНЮК, подробное описание процессов, задействованных в текущей версии модели, см. Ermakova et al. (2024); Koval et al. (2022).

Ermakova, T., Koval, A., Didenko, K., Aniskina, O., Okulicheva, A. Influence of Natural Tropical Oscillations on Ozone Content and Meridional Circulation in the Boreal Winter Stratosphere. Atmosphere 2024, 15, 717. Doi: 10.3390/atmos15060717

Koval, A.V., Gavrilov, N.M., Pogoreltsev, A.I., Kandieva, K.K. (2022) Dynamical impacts of stratospheric QBO on the global circulation up to the lower thermosphere // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 127, e2021JD036095. DOI 10.1029/2021JD036095

Мигрирующий суточный прилив ($m=1$)

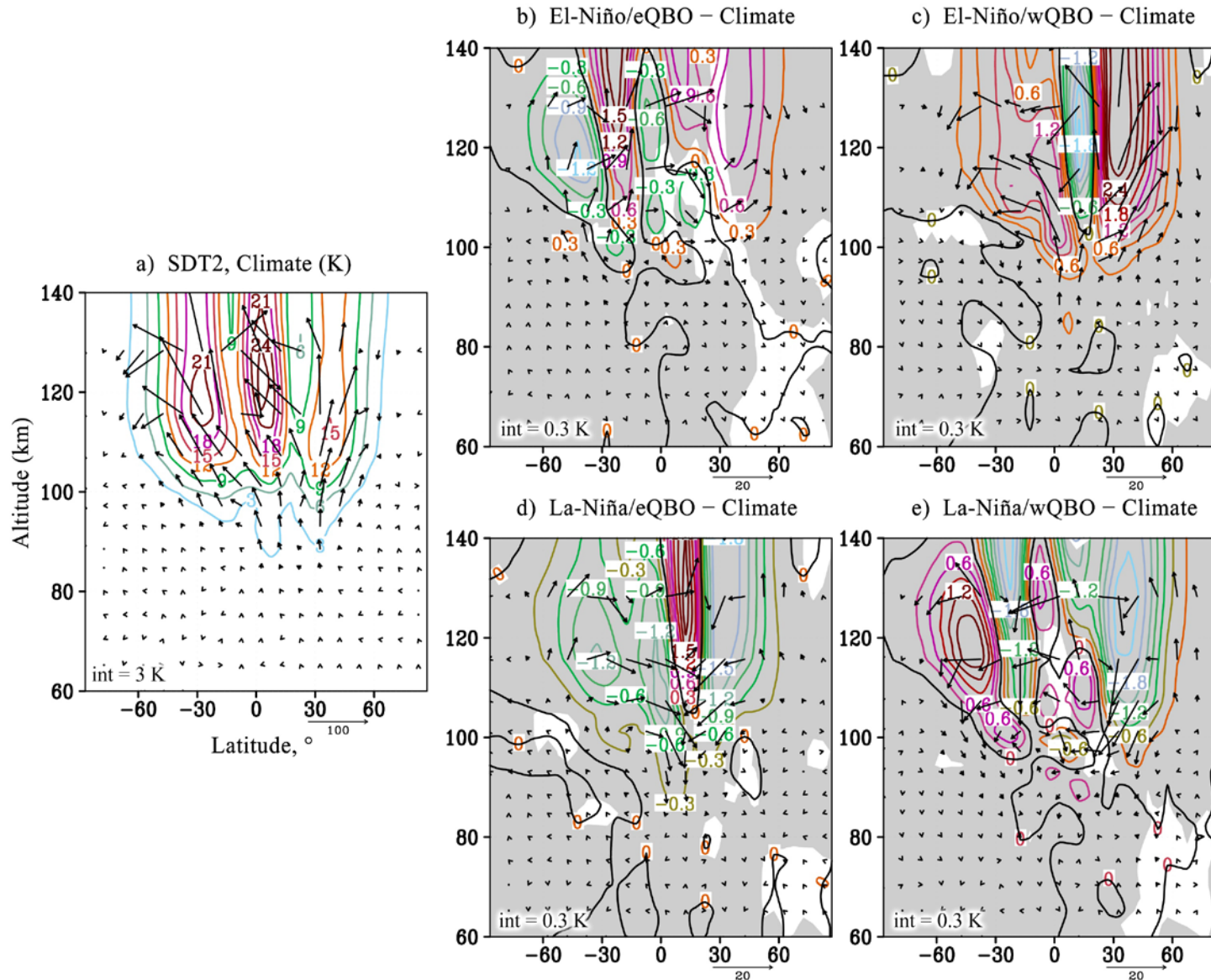


(a) Высотно-широтное распределение амплитуды вариаций температуры (K), вызванной суточным мигрирующим приливом ($m=1$) осредненное по всем комбинациям КДК/ЭНЮК

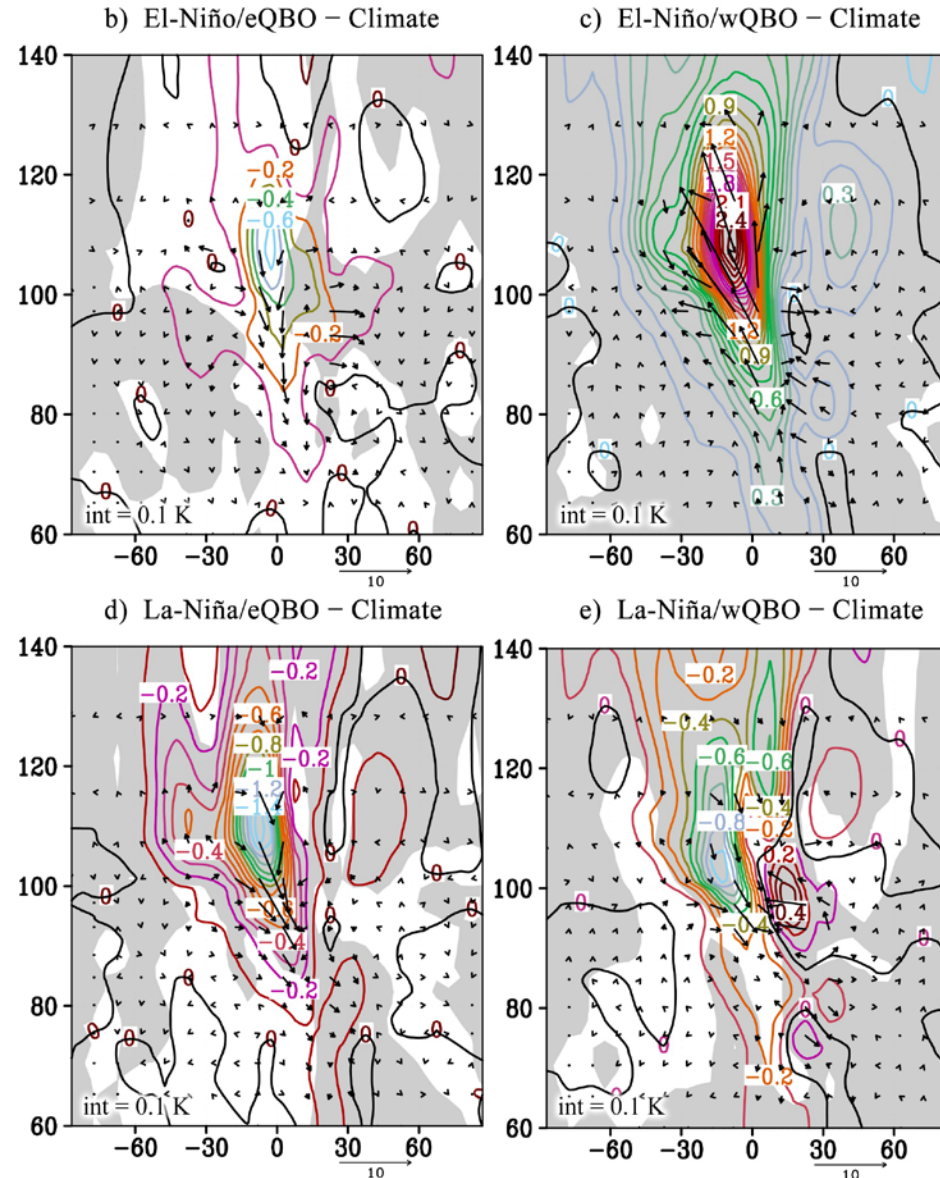
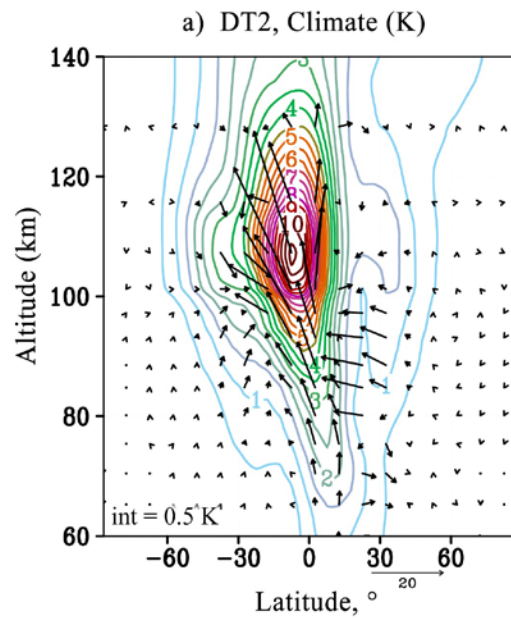
(b-e) Изменения амплитуд прилива при Эль-Ниньо + вКДК, Эль-Ниньо + зКДК, Ла-Нинья + вКДК и Ла-Нинья + зКДК. Серым фоном выделены статистически значимые приращения.

Стрелками показаны соответствующие потоки ЭП и их приращения (m^2/s^2 , вертикальная компонента умножена на 100).

Мигрирующий полсуточный прилив ($m=2$)



Немигрирующий суточный прилив ($m=2$)

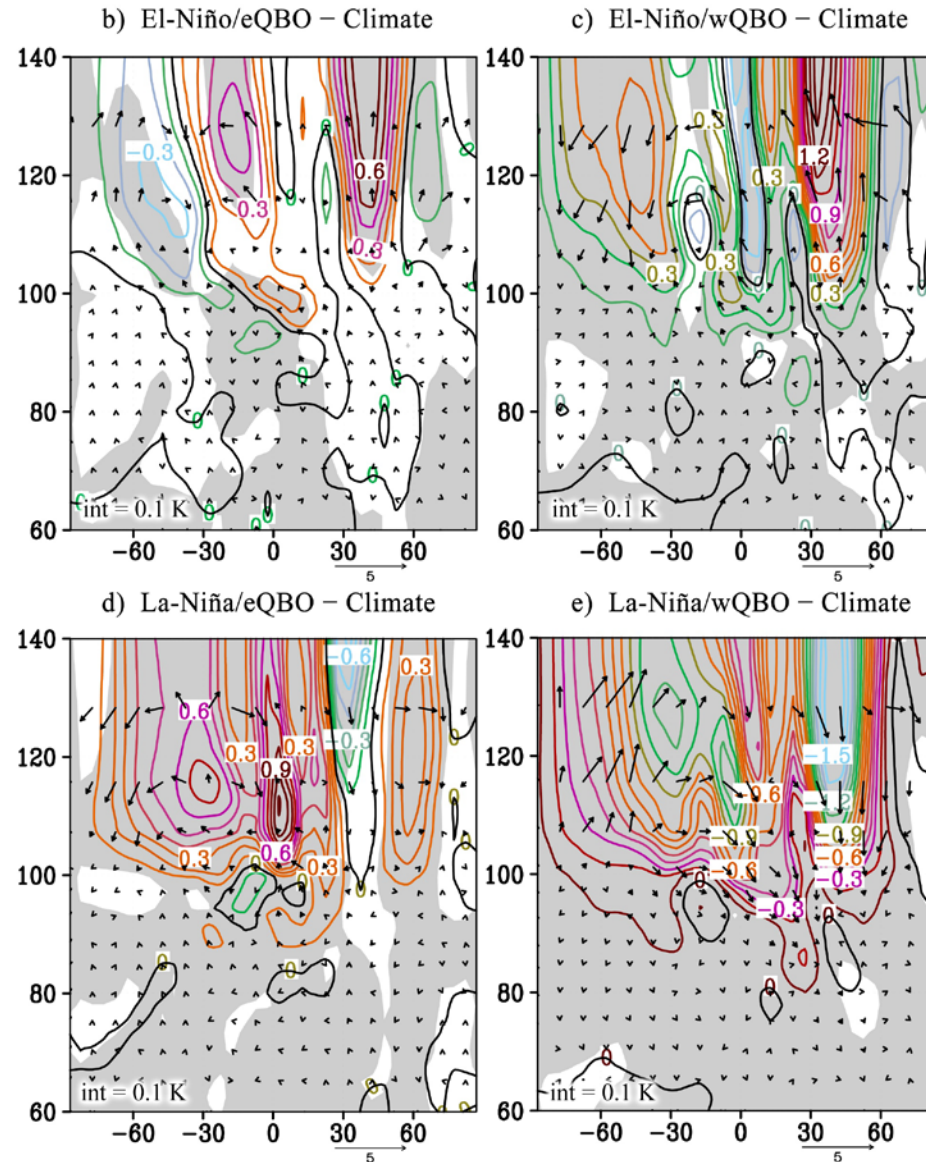
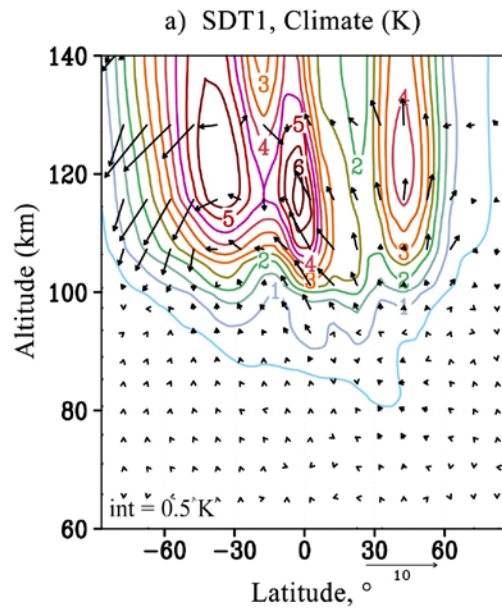


(a) Высотно-широтное распределение амплитуды вариаций температуры (K), вызванной суточным немигрирующим приливом ($m=2$) осредненное по всем комбинациям КДК/ЭНЮК

(b-e) Изменения амплитуд прилива при Эль-Ниньо + вКДК, Эль-Ниньо + зКДК, Ла-Нинья + вКДК и Ла-Нинья + зКДК. Серым фоном выделены статистически значимые приращения.

Стрелками показаны соответствующие потоки ЭП и их приращения (m^2/c^2 , вертикальная компонента умножена на 100).

Немигрирующий полусуточный прилив ($m=1$)

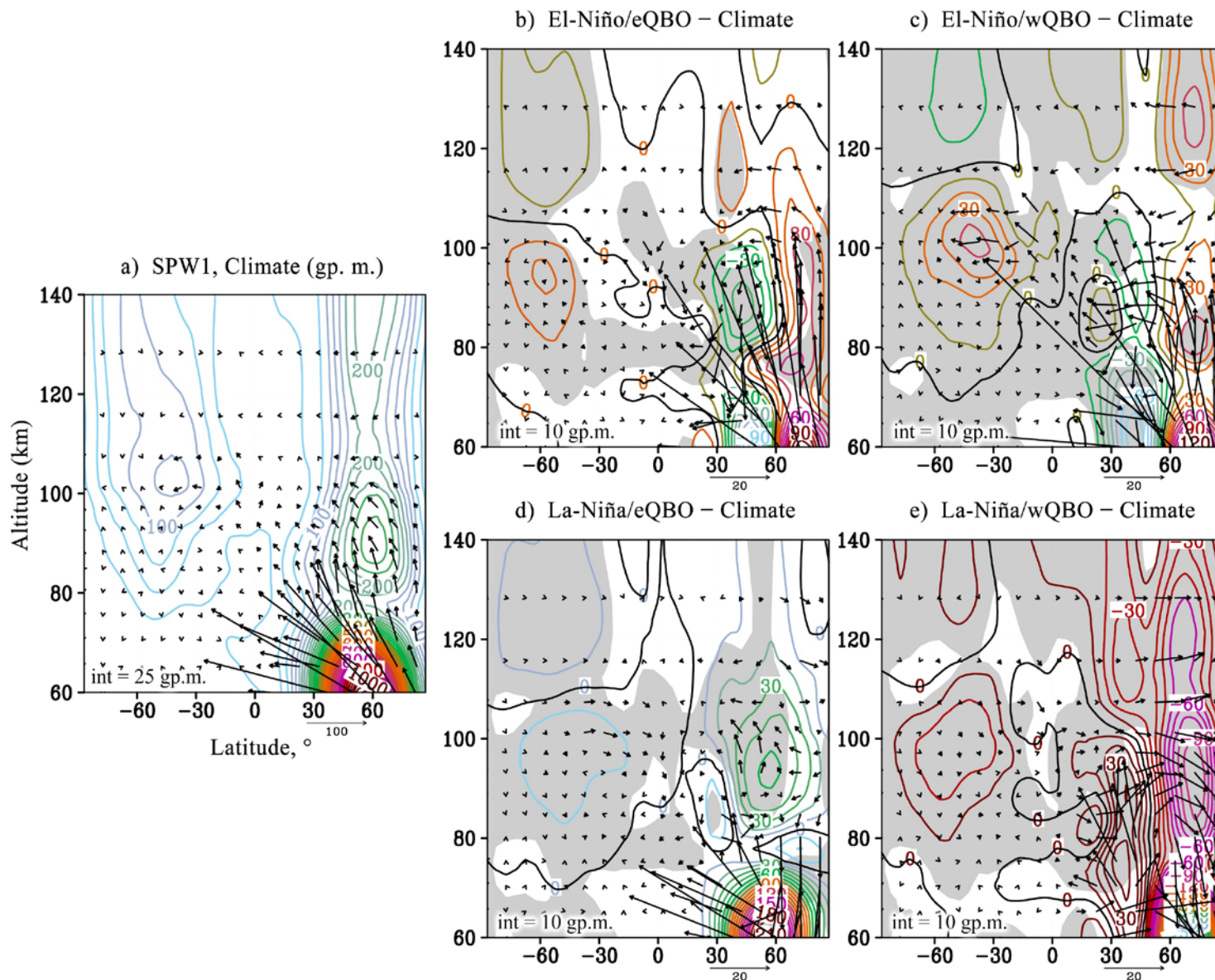


(a) Высотно-широтное распределение амплитуды вариаций температуры (K), вызванной полусуточным немигрирующим приливом ($m=1$) осредненное по всем комбинациям КДК/ЭНЮК

(b-e) Изменения амплитуд прилива при Эль-Ниньо + вКДК, Эль-Ниньо + зКДК, Ла-Нинья + вКДК и Ла-Нинья + зКДК. Серым фоном выделены статистически значимые приращения.

Стрелками показаны соответствующие потоки ЭП и их приращения (m^2/s^2 , вертикальная компонента умножена на 100).

Стационарная ПВ ($m=1$)



(a) Высотно-широтное распределение амплитуды вариаций геопотенциальной высоты стационарной ПВ с $m=1$ (гпм), вызванной суточным мигрирующим приливом ($m=1$) осредненное по всем комбинациям КДК/ЭНЮК

(b-e) Изменения амплитуд прилива при Эль-Ниньо + ВКДК, Эль-Ниньо + зКДК, Ла-Нинья + ВКДК и Ла-Нинья + зКДК. Серым фоном выделены статистически значимые приращения.

Стрелками показаны соответствующие потоки ЭП и их приращения (m^2/c^2 , вертикальная компонента умножена на 100).

Выводы

- ✓ Мигрирующий суточный прилив DT1 имеет тенденцию усиливаться в термосфере при зКДК и при Ла-Нинья. Ослабление/усиление DT1 сопровождается ослаблением/усилением восходящего потока ЭП что можно интерпретировать как ослабление/усиление распространения волновой активности из нижележащих слоев атмосферы.
- ✓ Для полусуточного мигрирующего прилива SDT2 эффект от ЭНЮК просматривается более явно, чем от КДК: при фазе Эль-Ниньо наблюдается уменьшение амплитуды прилива в экваториальной области и ее увеличение к югу и к северу от этой области, не зависимо от фазы КДК.
- ✓ Дополнительный вклад в изменение амплитуды мигрирующих приливов может играть усиление волновой активности ПВ1, что способствует усилению процесса генерации немигрирующих приливов и, соответственно передаче части импульса вторичному колебанию.
- ✓ Суточный немигрирующий прилив DT2, в отличие от мигрирующего DT1, усиливается при Эль-Ниньо, особенно сильно это проявляется при зКДК. Это объясняется изменением волновой активности ПВ1, нелинейное взаимодействие DT1 с которой генерирует DT2.
- ✓ Зависимость от волновой активности ПВ1 характерна и для структуры полусуточного немигрирующего прилива SDT1. Это хорошо просматривается на примере фазы Ла-Нинья: ослабление волновой активности при зКДК приводит к ослаблению SDT1 на всех широтах, а усиление ПВ1 при вКДК способствует усилению немигрирующего SDT1 и ослаблению мигрирующего SDT2.

Анализ численных экспериментов подтверждает существующие представления о существенной пространственно-временной изменчивости атмосферных приливов и демонстрирует важнейший источник этой изменчивости, связанный с комбинациями динамического воздействия КДК – ЭНЮК.