Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Турбулентность, динамика атмосферы и климата

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ОЗОНА И МЕРИДИОНАЛЬНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ В ЗИМНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ

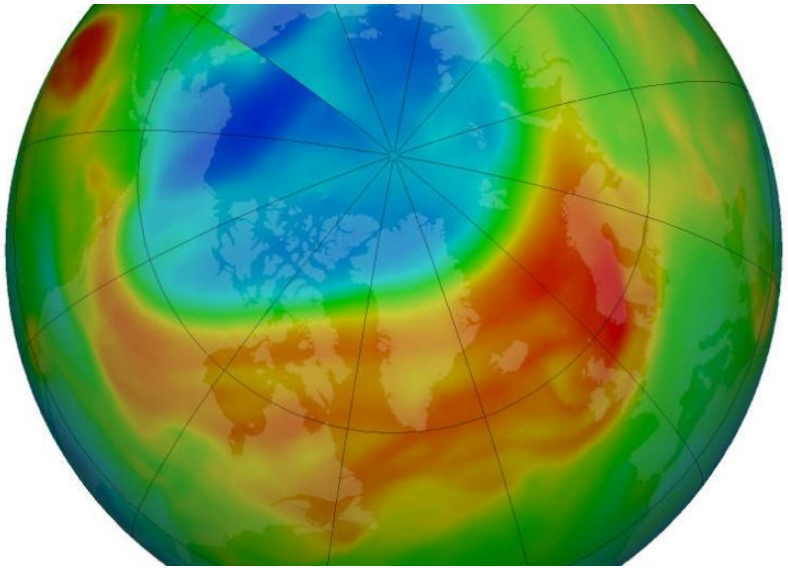
ЕРМАКОВА Т.С. (СПБГУ, РГГМУ)

КОВАЛЬ А.В. (СПБГУ, РГГМУ)

Москва,
2024

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

продемонстрировать связь между фазами тропических атмосферно-океанических колебаний и изменениями глобального содержания озона во внетропической стратосфере в течение бореальной зимы, включая возможное образование озоновых дыр.



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. https://www.mdpi.com/2073-4433/15/6/717

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Фазы Эль-Ниньо Южного Колебания:
индекс Multivariative El Nino Index (MEI) https://psl.noaa.gov/enso/mei/

Фазы Квазидвухлетнего Колебания: расчет фазы КДК по ЕОФ

Влияние осцилляции Маддена–Джулиана и квазидвухлетнего колебания на динамику внетропической стратосферы / К.К. Кандиева, А.И. Погорельцев, О.Г. Анискина, О.С. Зоркальцева, В.И. Мордвинов // Геомагнетизм и аэрономия. – 2019. – том 59, № 1. – С. 114-124.
DOI:10.1134/S0016794018060068

ФАЗЫ	El Niño	La Niña
WQBO	1982-1983 1992-1993 1994-1995	1998-1999 2007-2008 2010-2011
EQBO	1986-1987 2002-2003 2009-2010	1999-2000 2011-2012 2017-2018

Данные реанализа MERRA2: отношение смеси озона (кг/кг), температура, геопотенциальная высота, компоненты ветра

Расчёт остаточной меридиональной циркуляции

$$\overline{v}^* = \overline{v} - \frac{1}{\partial\overline{\theta}/\partial z}\left(-\frac{\overline{v'\theta'}}{H} + \frac{\partial\overline{v'\theta'}}{\partial z} - \frac{\overline{v'\theta'}}{\partial\overline{\theta}/\partial z}\frac{\partial^2\overline{\theta}}{\partial z^2}\right)$$

$$\overline{w}^* = \overline{w} + \frac{1}{a\cos\varphi}\frac{1}{\partial\overline{\theta}/\partial z}\left(-\sin\varphi\,\overline{v'\theta'} + \cos\varphi\left(\frac{\partial\overline{v'\theta'}}{\partial\varphi} - \frac{\overline{v'\theta'}}{\partial\overline{\theta}/\partial z}\frac{\partial^2\overline{\theta}}{\partial z\partial\varphi}\right)\right)$$

Koval, A. V.; Wen Chen; Didenko, K. A.; Ermakova, T. S.; Gavrilov, N. M.; Pogoreltsev, A. I.; Toptunova, O. N.; Ke Wei; Yarusova, A. N. and Zarubin, A. S. Modelling the residual mean meridional circulation at different stages of sudden stratospheric warming events. Ann. Geophys., 2021, 39, pp. 357–368; DOI: 10.5194/angeo-39-357-2021.

МОДЕЛЬ СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Механистическая модель (*Pogoreltsev, A. I. (2007), Generation of normal atmospheric modes by stratospheric vacillations. Izvestiya Atmos. Ocean. Phys. 43(4), 423–435.)***.**

В модели решается система простых гидродинамических уравнений в сферической системе координат на горизонтальной сетки 64 х 36 и 56 вертикальных уровнях – от поверхности до высоты 300 км (лог-изобарическая высота).

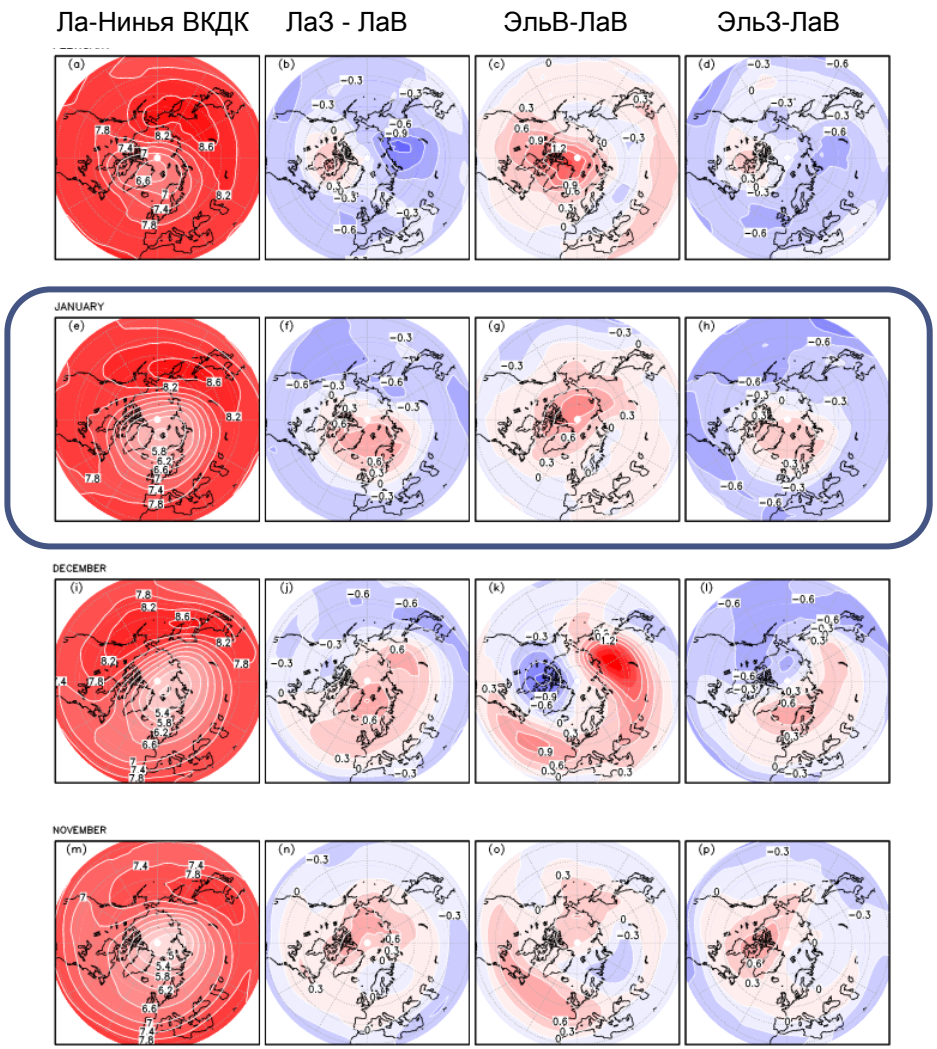
Фаза КДК задаётся наджингом (*Koval, A.V.; Gavrilov, N.M.; Pogoreltsev, A.I.; Kandieva, K.K. Dynamical impacts of stratospheric QBO on the global circulation up to the lower thermosphere. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2022, 127; DOI:10.1029/2021JD036095***.) исходя из среднезональных значений зональной компоненты ветра в тропической стратосфере.**

Фаза ЭНЮК задаётся параметризацией тепла при конденсации водяного пара в нижней тропической стратосфере (1. *Ermakova, T.S.; Aniskina, O.G.; Statnaia, I.A.; Motsakov, M.A.; Pogoreltsev, A.P. Simulation of the ENSO influence on the extra-tropical middle atmosphere. Earth Planets Space, 2019, 71, 8; DOI:10.1186/s40623-019-0987-9.*

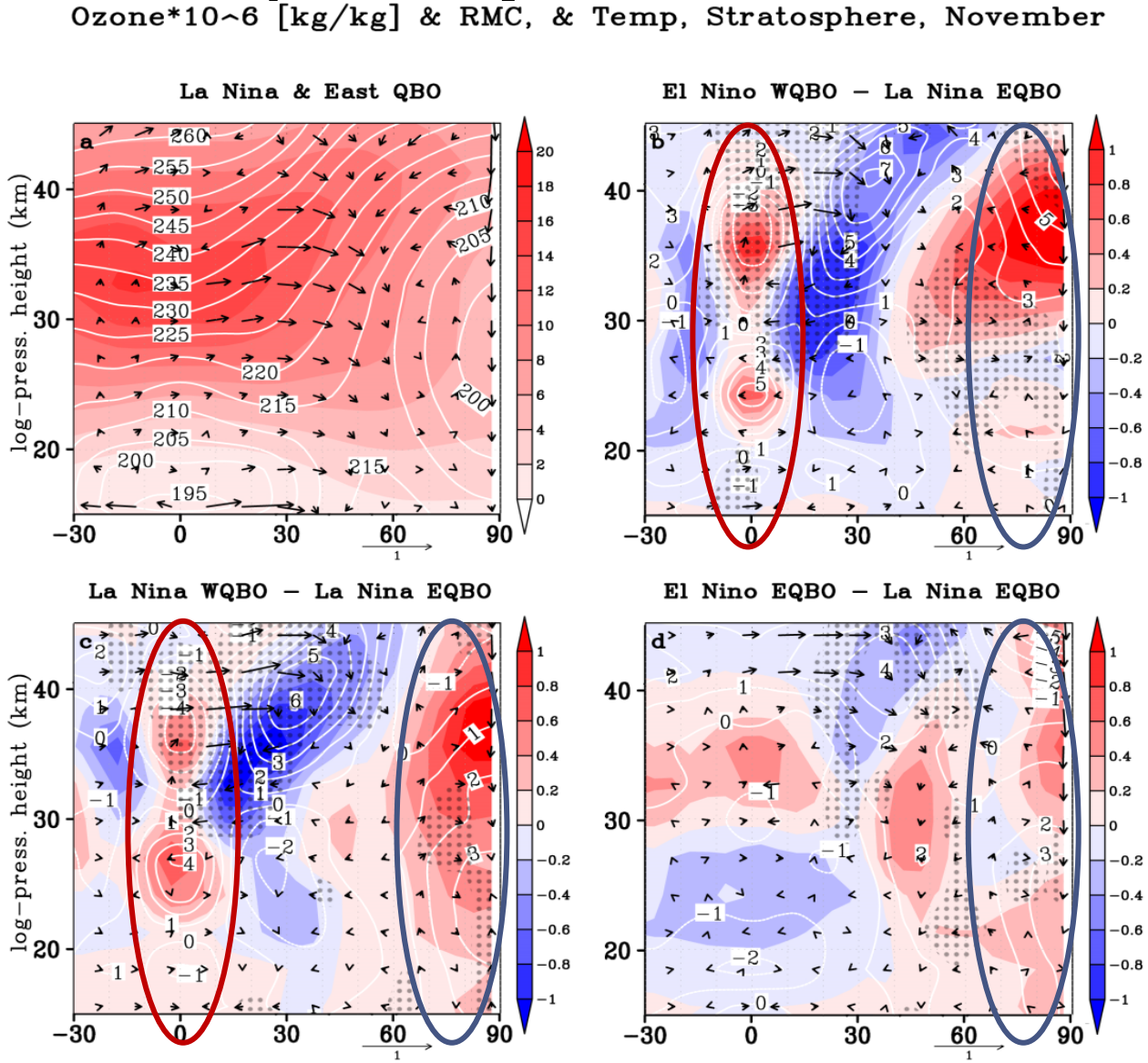
2. Ермакова Т.С., Статная И.А., Федулина И.Н., Суворова Е.В., Погорельцев А.И. Трехмерная полуэмпирическая климатическая модель распределения водяного пара и ее использование в радиационном блоке модели средней и верхней атмосферы // Метеорология и гидрология. 2017. № 9. С. 75–82. **).**

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ОЗОНА В СТРАТОСФЕРЕ В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ ФАЗ

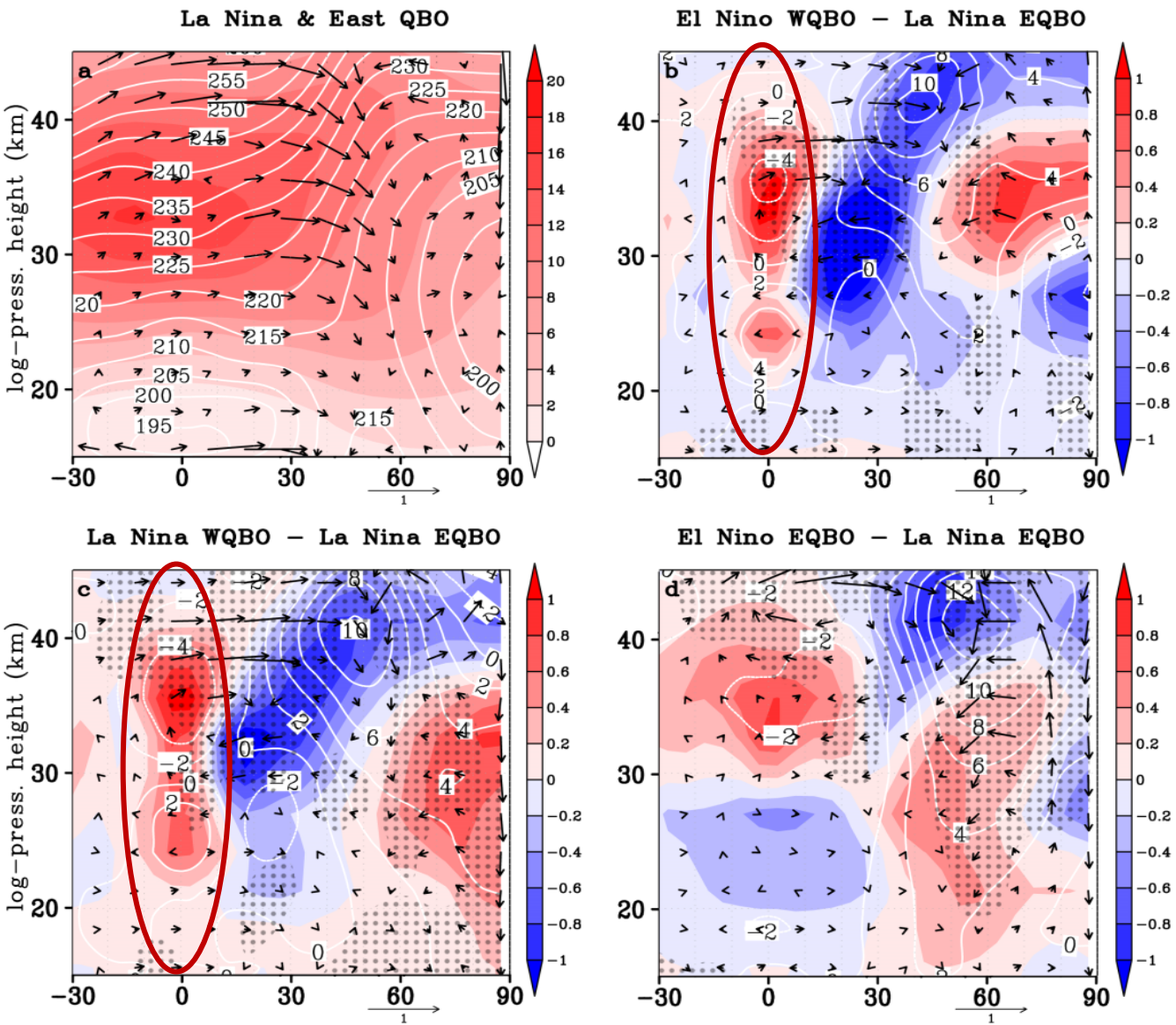
В условиях Ла-Нинья и восточного КДК к февралю наблюдается «кумулятивный» эффект, который выражается в самом низком содержании озона в полярной стратосфере по сравнению с другими комбинациями тропических колебаний, независимо от ВСП.



Среднезональное содержание озона (заливка), температура (изолинии), ОМЦ (стрелочки). Ноябрь

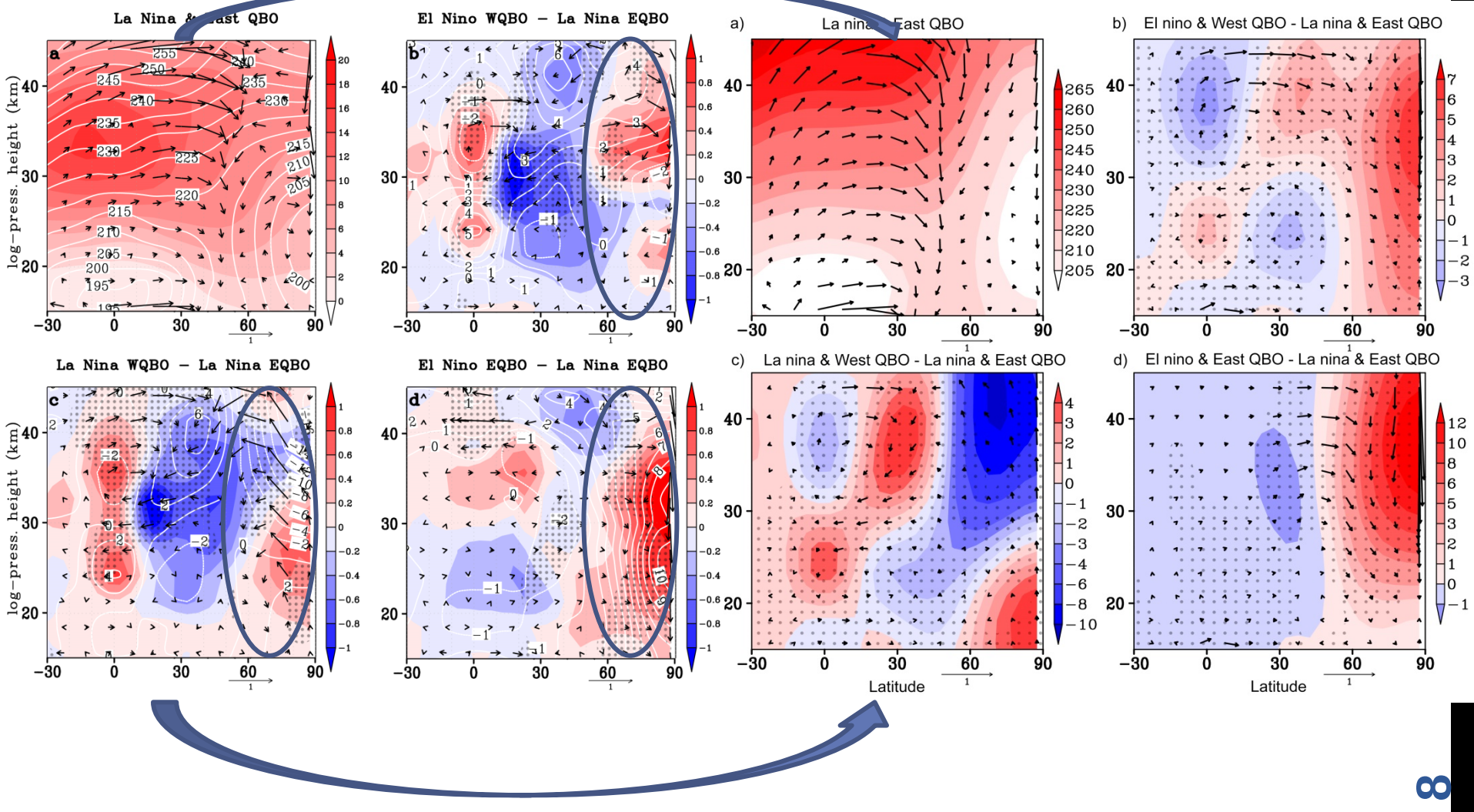


Среднее содержание озона (заливка), температура (изолинии), ОМЦ (стрелочки). Декабрь



Среднее содержание озона (заливка), температура (изолинии), ОМЦ (стрелочки) по данным реанализа. Январь

Средняя температура (заливка), ОМЦ (стрелочки) в январе по данным МСВА



ВЫВОДЫ:

Характер поведения ОМЦ различен в условиях Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Перенос из тропической в полярную стратосферу во время положительной фазы ЭНЮК сильнее в тропиках на высотах, где содержание озона выше по сравнению с Ла-Нинья. Характер переноса способствует выносу озона в нижние слои мезосферы, что связано с более сильной вертикальной составляющей ОМЦ при Эль-Ниньо. Во время отрицательной фазы ЭНЮК перенос из тропиков в полярную стратосферу параллелен поверхности, и его усиление наблюдается в слоях с низким содержанием озона в тропической стратосфере.

Фаза КДК проявляется в разных распределениях озона в экваториальной стратосфере, а также в усилении/ослаблении вторичной меридиональной циркуляции в тропиках.

Разные фазы ЭНЮК и КДК могут в значительной степени компенсировать или усиливать друг друга в результирующем поле озона над полюсом. Таким образом, оценки естественной изменчивости озона должны учитывать как фазу КДК, так и фазу ЭНЮК.

ВЫВОДЫ:

Из-за особенной ОМЦ в условиях Ла-Нинья и восточного КДК к февралю наблюдается «кумулятивный» эффект, который выражается в самом низком содержании озона в полярной стратосфере по сравнению с другими комбинациями тропических колебаний. ВСП различной интенсивности наблюдались практически в каждую исследованную зиму. Вклад, который вносит отдельное ВСП в содержание озона, оценить практически невозможно. Стоит отметить, что зимой в условиях Ла-Нинья-восточного КВК также наблюдались сильные ВСП. Однако заметного увеличения содержания озона по сравнению с другими комбинациями не наблюдалось из-за слабого КДК.

Численное моделирование термодинамической структуры стратосферы для разных комбинаций ЭНЮК-КДК позволило рассмотреть статистически значимые приращения ОМЦ и температуры, вызванные изменениями рассматриваемых фаз. Преимуществом численного моделирования в данном случае стало то, что мы могли рассматривать влияние изменений фаз тропических колебаний в чистом виде, без учета дополнительных факторов, связанных с изменчивостью стратосферы.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!