

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

ВЛИЯНИЕ КВАЗИДВУХЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ НА ДИНАМИКУ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОЛЯРНЫХ ВИХРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2023 г. В. В. Зуев^a, Э. А. Масленникова^{a, b, *}, Е. С. Савельева^a

^aИнститут мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН, Томск, Россия

^bНациональный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: maslennikovaerika@gmail.com

Поступила в редакцию 16.12.2022 г.

Период существования полярных озоновых аномалий зависит от фазы квазидвухлетней цикличности (КДЦ). КДЦ определяет расположение субтропической критической линии ветра, которое влияет на распространение планетарных волн в стратосферу. В результате, во время западной фазы КДЦ наблюдается усиление полярного вихря, а во время восточной — его ослабление, что проявляется в сроках, продолжительности и интенсивности разрушения стратосферного озона. Полярные озоновые аномалии формируются внутри устойчивого полярного вихря в период с конца зимы по весну в результате протекания гетерогенных и фотохимических реакций разрушения озона в присутствии солнечного излучения. Работа посвящена исследованию влияния фаз КДЦ на разных изобарических уровнях на динамику стратосферных полярных вихрей на основе спутниковых данных Goddard Space Flight Center NASA. Показано, что преобладающее влияние на динамику полярных вихрей оказывает КДЦ на уровне 30 гПа. В динамике антарктического полярного вихря это проявляется с сентября по декабрь, особенно в октябре и ноябре, а в динамике арктического полярного вихря — на протяжении всего периода его существования.

Ключевые слова: квазидвухлетняя цикличность, стратосферные полярные вихри, зональный ветер

DOI: 10.31857/S0205961423050093, **EDN:** XOGYAA

ВВЕДЕНИЕ

Механизм влияния квазидвухлетней цикличности (КДЦ) на стратосферные полярные вихри был выявлен американскими учеными Holton J.R. и Tan H.-C. в 1980 г. и получил название механизм Холтона–Тана (the Holton–Tan mechanism) (Holton, Tan, 1980). Они показали, что КДЦ определяет расположение субтропической критической линии ветра (линия, где среднезональное значение скорости ветра переходит через 0), тем самым влияя на распространение планетарных волн в стратосферу. В результате во время западной фазы КДЦ наблюдается усиление полярного вихря, а во время восточной — его ослабление, что проявляется в продолжительности, масштабах и интенсивности разрушения стратосферного озона в период с конца зимы по весну. Границы полярного вихря представляют собой динамический барьер, препятствующий меридиональному переносу стратосферного озона из тропических и средних широт в полярную область (Manney et al., 1994; Sobel et al., 1997). При этом внутри полярного вихря при экстремально низких температурах (ниже -78°C) формируются полярные стратосферные облака (ПСО), на поверхности и в объе-

ме которых протекают гетерогенные реакции с высвобождением молекулярного хлора. При появлении солнечного излучения над полярным регионом молекулярный хлор фотодиссоциирует с образованием радикалов хлора, вступающих в каталитический цикл разрушения озона (Finlayson-Pitts, Pitts, 2000). Арктические озоновые аномалии, формирующиеся во время восточной фазы КДЦ, как правило, наблюдаются в январе (после чего происходит разрушение полярного вихря), а во время западной — в период с февраля по апрель (Zuev et al., 2017).

Влияние КДЦ на полярные вихри было рассмотрено в ряде работ (Thomas et al., 2009; Camp, Tung, 2007; Hampson, Haynes, 2006; Pascoe et al., 2006; Naito, Yoden, 2006; Kinnersley, Tung, 1999; Naoe, Shibata, 2010; O’Sullivan, Young, 1992; Hu, Tung, 2002; Ruzmaikin et al., 2005; Агеева и др., 2017; Кривошукский, Репнев, 2012; Погорельцев, Савенкова, 2010). Арктический полярный вихрь существенно более подвержен воздействию КДЦ, чем антарктический (Ford et al., 2009; Chen, Wei, 2009; Calvo et al., 2007; Niwano, Takahashi, 1998; Hitchman, Huesmann, 2009; Thomas et al., 2009; Погорельцев, Савенкова, 2010). В Арктике влия-

ние КДЦ на динамику полярного вихря проявляется с зимы по весну, в то время как в Антарктике — только поздней весной (с октября по декабрь) (Garfinkel, Hartmann, 2007; Klekociuk et al., 2011; Naigh, Roscoe, 2009). Происходящее при западной фазе КДЦ смещение критической линии ветра способствует расширению пояса ветров, господствующих в нижней тропической стратосфере, и последующему повышению температуры нижней субтропической стратосферы (Garfinkel et al., 2012). Потепление в субтропической стратосфере приводит к увеличению стратосферного меридионального температурного градиента и последующему усилению полярного вихря (Zuev, Savelieva, 2019a, 2019b).

Целью данной работы является исследование влияния фаз КДЦ на разных изобарических уровнях на динамику стратосферных полярных вихрей на основе спутниковых данных Goddard Space Flight Center NASA.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Работа осуществлена на основе спутниковых данных Goddard Space Flight Center (GSFC) NASA о средней скорости зонального ветра на 60° ю.ш./с.ш. для уровней 50, 30 и 10 гПа за период с 1979 по 2021 гг. (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>). Среднемесячные данные о скорости зонального ветра на 60° ю.ш./с.ш. получены по данным Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), созданного Goddard Earth Observing System Data Assimilation System (GEOS DAS) на основе спутниковых данных GSFC NASA. MERRA-2 — это первый долгосрочный глобальный реанализ, который усваивает данные космических наблюдений за аэрозолями и представляет их взаимодействие с другими физическими процессами в климатической системе (Gelaro et al., 2017).

Значения средней скорости зонального ветра на 60° ю.ш./с.ш. используются для характеристики скорости ветра в области границ антарктического и арктического стратосферных полярных вихрей (https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/wind_2022_MERRA2_SH.html). Стратосферные полярные вихри, особенно арктический, как правило, не центрированы относительно полюса и могут занимать меньшую площадь, чем область внутри 60° ш. (т.е. их границы, особенно арктического, часто не совпадают с 60° ш.). Тем не менее, эта характеристика использовалась в работе для исследования влияния КДЦ на динамику полярных вихрей, поскольку влияние КДЦ распространяется главным образом на зональный ветер, что проявляется в динамике полярных вихрей.

Фазы КДЦ определялись по скорости зонального ветра на уровнях 10, 20, 30, 50 и 70 гПа в районе

экватора по данным Института метеорологии, Берлин (Institute of Meteorology, Department of Earth Sciences; <http://www.geo.fu-berlin.de/met/ag/strat/produkte/qbo/qbo.dat>) (Baldwin et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ, ИХ АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среднемесячные значения средней скорости зонального ветра на 60° ш. для уровней 50, 30 и 10 гПа усреднялись за период с 1979 по 2021 гг. отдельно для западной и восточной фаз КДЦ на уровнях 10, 20, 30, 50 и 70 гПа. Для анализа влияния фаз КДЦ на динамику полярных вихрей из средних значений скорости зонального ветра на 60° ш., усредненных за период с 1979 по 2021 гг. для западной фазы КДЦ, вычитались соответствующие значения для восточной фазы КДЦ. Полученные разности значений скорости зонального ветра приведены на рис. 1 и 2, соответственно для Южного и Северного полушария.

Как видно из рис. 1 наибольшая разность между значениями средней скорости зонального ветра на 60° ю.ш. для западной и восточной фаз наблюдается в весенний период: усиление антарктического полярного вихря во время западной фазы наблюдается с сентября по декабрь при определении фазы КДЦ по уровню 30 гПа. Это хорошо согласуется с другими исследованиями (Zuev, Savelieva, 2019a, 2019b), согласно которым антарктический полярный вихрь становится более подверженным влиянию внеполярной стратосферы в весенний и, особенно, поздневесенний период, в то время как зимой он достаточно устойчив. В свою очередь обратный результат проявляется при расчете разностей для фаз КДЦ на уровне 10 гПа, из чего можно сделать вывод о том, что уровень 10 гПа не подходит для расчета фаз КДЦ при определении влияния КДЦ на антарктический полярный вихрь. Из всей выборки минимальные изменения прослеживаются при расчете разностей для фаз КДЦ на уровне 70 гПа, соответственно этот уровень также не является определяющим во влиянии КДЦ на полярный вихрь. Разности, рассчитанные для фаз КДЦ на уровнях 50 и 20 гПа, отражают результаты, близкие к значениям разностей, рассчитанных для фаз КДЦ на уровне 30 гПа, но ниже последних. Таким образом, опираясь на спутниковые данные NASA GSFC о скорости зонального ветра на 60° ю.ш. за период с 1979 по 2021 гг., можно сделать вывод о том, что преобладающее влияние на динамику антарктического полярного вихря оказывают фазы КДЦ на уровне 30 гПа (при западной фазе наблюдается усиление вихря, при восточной — ослабление), что проявляется с сентября по декабрь, с ростом к ноябрю. Полученный вывод о периоде влияния КДЦ на антарктический полярный вихрь согласуется с результатами (Garfinkel, Hartmann, 2007).

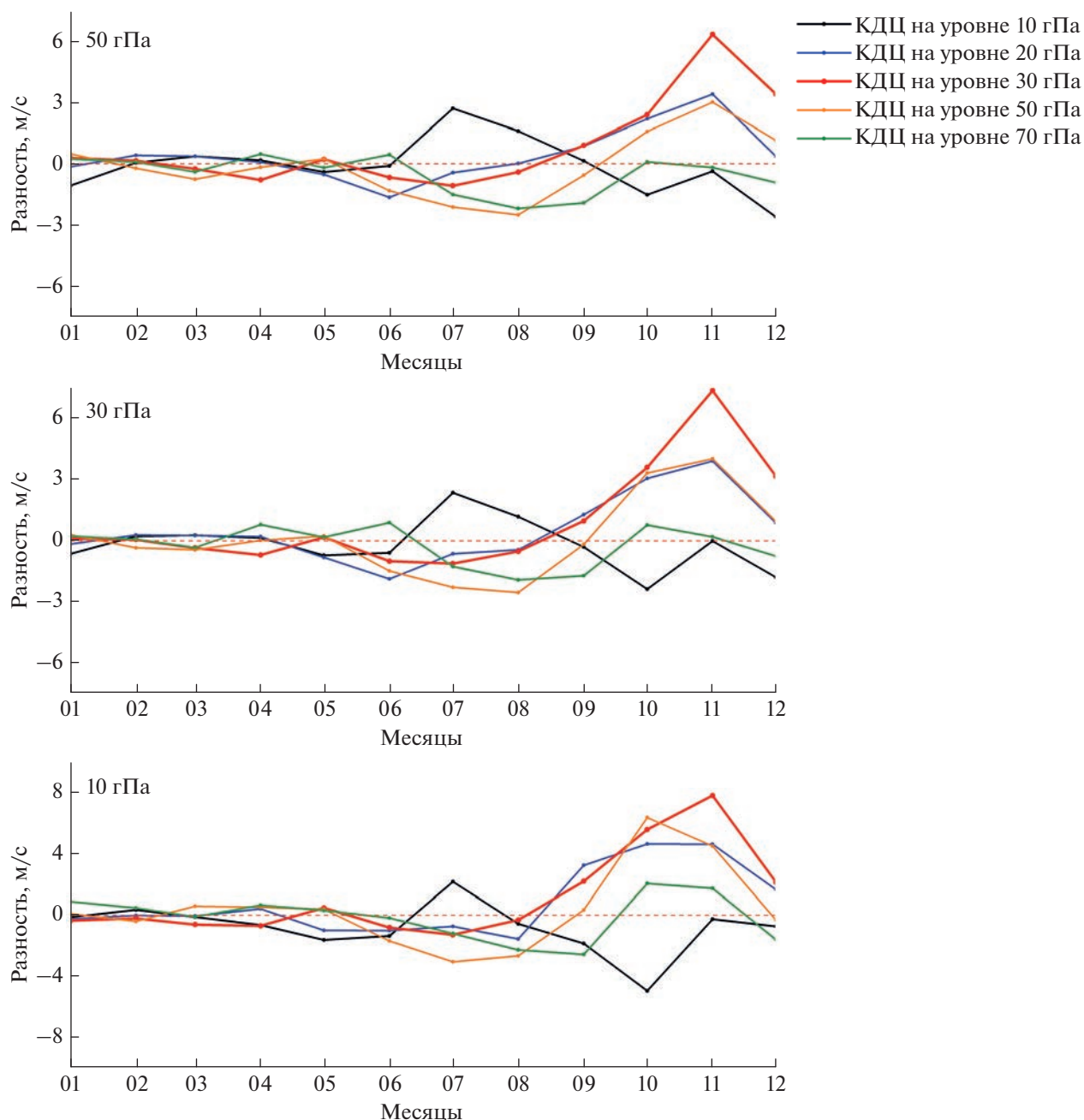


Рис. 1. Разность значений средней скорости зонального ветра на 60° ю.ш. на уровнях 50, 30 и 10 гПа, усредненных за период с 1979 по 2021 гг. для западной и восточной фаз КДЦ на уровнях 10, 20, 30, 50 и 70 гПа.

Как видно из рис. 2, влияние КДЦ на арктический полярный вихрь наблюдается на протяжении всего периода его существования: с октября по апрель. Осенью и в первой половине зимы наблюдаются высокие значения разности между значениями средней скорости зонального ветра на 60° с.ш. для западной и восточной фаз КДЦ на уровнях 70 и 50 гПа, а весной — для фаз КДЦ на уровнях 20 и 10 гПа. В то время как влияние КДЦ на уровне 30 гПа прослеживается на протяжении

всего периода существования арктического полярного вихря. Поскольку такой период влияния КДЦ согласуется с большинством исследований (Chen, Wei, 2009; Calvo et al., 2007; Niwano, Takahashi, 1998), то можно сделать вывод о том, что в Северном полушарии, как и в Южном, на динамику полярного вихря наибольшее влияние оказывают фазы КДЦ на уровне 30 гПа (западная фаза способствует усилению вихря, а восточная —

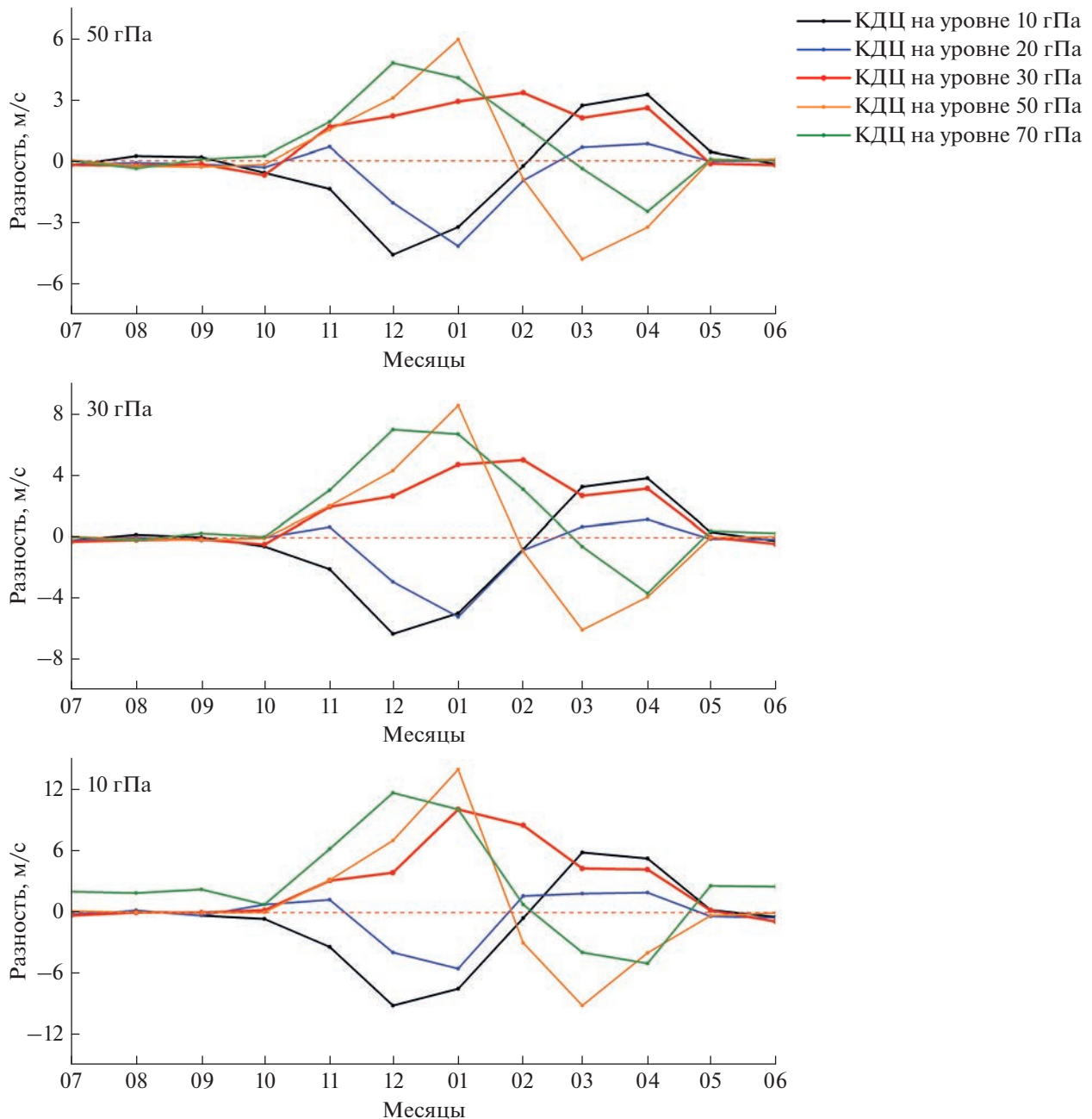


Рис. 2. Разность значений средней скорости зонального ветра на 60° с.ш. на уровнях 50, 30 и 10 гПа, усредненных за период с 1979 по 2021 гг. для западной и восточной фаз КДЦ на уровнях 10, 20, 30, 50 и 70 гПа.

ослаблению), что проявляется на протяжении всего периода существования вихря.

На рис. 3 приведены внутригодовые изменения значений средней скорости зонального ветра на 60° ю.ш./с.ш. на уровнях 50, 30 и 10 гПа, усредненных за период с 1979 по 2021 гг. для западной и восточной фаз КДЦ на уровне 30 гПа. Вследствие того, что арктический полярный вихрь значительно меньше антарктического по площади и, как правило, смещен относительно полюса, то

значения средней скорости зонального ветра на 60° с.ш. значительно ниже соответствующих значений для 60° ю.ш. Антарктический полярный вихрь существует с апреля по ноябрь—декабрь, арктический вихрь существует с ноября по январь—апрель. Антарктический полярный вихрь в зимний период достаточно устойчив, а влияние КДЦ проявляется весной, особенно в октябре и ноябре (рис. 3). В то время как в динамике арктического полярного вихря значительное влияние

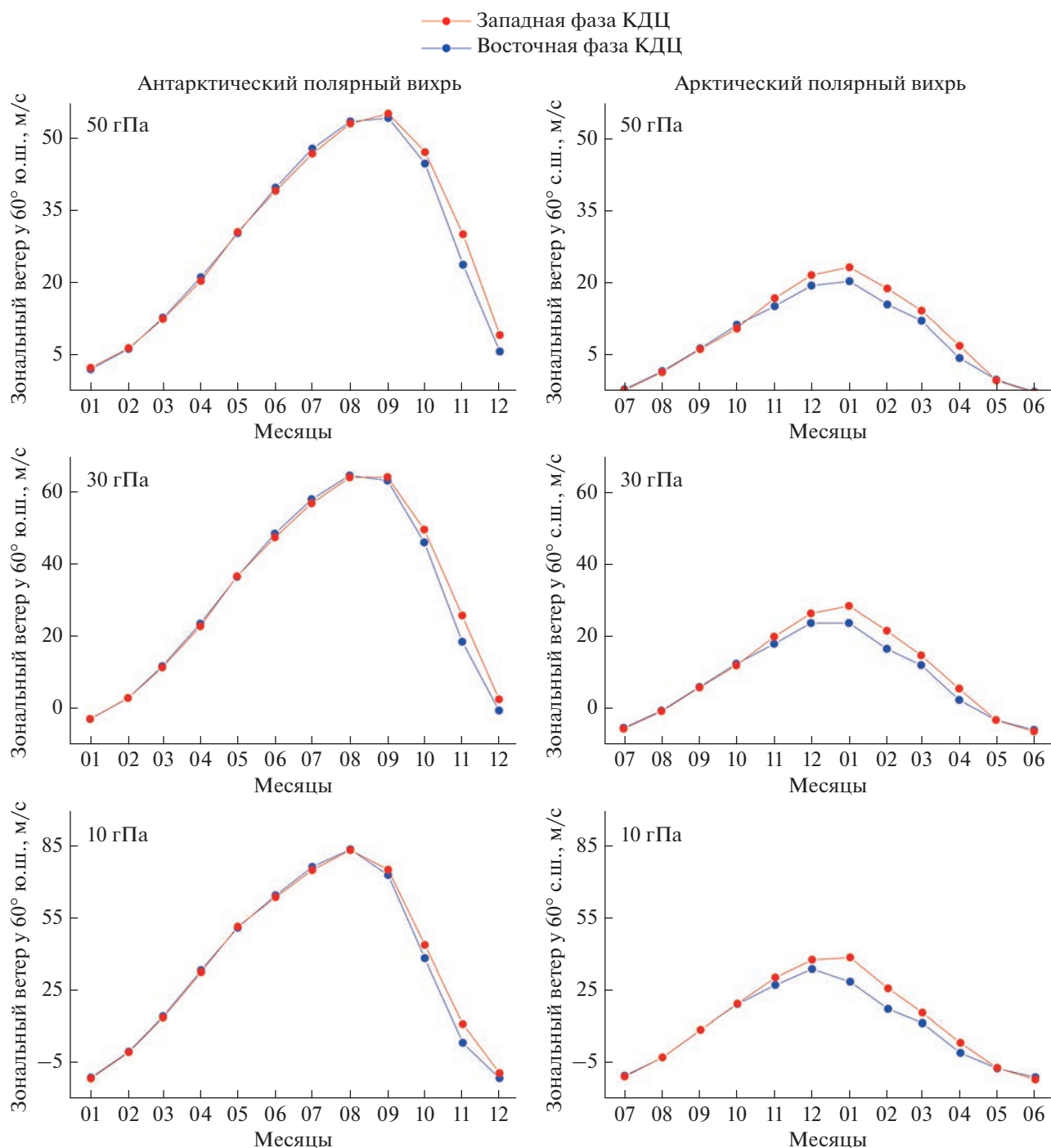


Рис. 3. Внутригодовой ход значений средней скорости зонального ветра на 60° ю.ш./с.ш. на уровнях 50, 30 и 10 гПа, усредненных за период с 1979 по 2021 гг. для западной и восточной фаз КДЦ на уровне 30 гПа.

КДЦ проявляется на протяжении всего периода его существования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе для исследования влияния фаз КДЦ на разных изобарических уровнях на динамику

стратосферных полярных вихрей использовались спутниковые данные GSFC NASA за период с 1979 по 2021 гг. Для характеристики скорости ветра в области границ полярных вихрей использовалась средняя скорость зонального ветра на 60° ш., поскольку влияние КДЦ проявляется именно на зональный ветер (таким образом, рас-

пространяясь на динамику полярного вихря). Были получены разности значений средней скорости зонального ветра на 60° ш. для западной и восточной фаз КДЦ (из средних значений для западной фазы вычитались средние значения для восточной фазы на разных изобарических уровнях). Показано, что преобладающее влияние на динамику полярных вихрей оказывает КДЦ на уровне 30 гПа (при западной фазе наблюдается усиление вихря, при восточной — ослабление). В динамике антарктического полярного вихря это проявляется с сентября по декабрь, особенно в октябре и ноябре, а в динамике арктического полярного вихря — на протяжении всего периода его существования.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках государственной темы № 121031300156-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агеева В.Ю., Груздев А.Н., Елохов А.С., Мохов И.И., Зуева Н.Е. Внезапные стратосферные потепления: статистические характеристики и влияние на общее содержание NO₂ и O₃ // Изв. РАН. ФАО. 2017. Т. 53. № 5. С. 545–555. [Ageyeva V.Y., Gruzdev A.N., Elokhov A.S., Mokhov I.I., Zueva N.E. Sudden stratospheric warmings: statistical characteristics and influence on NO₂ and O₃ total contents // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2017. V. 53. № 5. P. 477–486. <https://doi.org/10.1134/S0001433817050036>. <https://doi.org/10.7868/S0003351517050014>
- Кривоуцкий А.А., Репнев А.И. Результаты российских исследований средней атмосферы в 2007–2010 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 3. С. 334–345. [Krivolutsky A.A., Repnev A.I. Results of Russian studies of the middle atmosphere, 2007–2010 // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2012. V. 48. № 3. P. 299–308. <https://doi.org/10.1134/S000143381203005X>. <https://doi.org/10.31857/S0002-351555648-65>
- Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н. Межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы // Ученые записки РГГМУ. 2010. № 11. С. 53–62.
- Фролькис В.А., Кароль И.Л., Киселёв А.А. Существует ли связь между квазидвухлетними колебаниями атмосферы и изменениями содержания озона и температуры в Антарктиде? // Труды ГГО. 2021. № 601. С. 19–34.
- Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., Hamilton K., Haynes P.H., Randel W.J., Holton J.R., Alexander M.J., Hirota I., Horinouchi T., Jones D.B.A., Kinnnersley J.S., Markwardt C., Sato K., Takahashi M. The quasi-biennial oscillation // Rev. Geophys. 2001. V. 39. № 2. P. 179–229. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8217-7_4
- Camp C.D., Tung K.-K. The influence of the solar cycle and QBO on the late-winter stratospheric polar vortex // J. Atmos. Sci. 2007. V. 64. № 4. P. 1267–1283. <https://doi.org/10.1175/JAS3883.1>
- Chen W., Wei K. Interannual variability of the winter stratospheric polar vortex in the Northern Hemisphere and their relations to QBO and ENSO // Adv. Atmos. Sci. 2009. V. 26. № 5. P. 855–863. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8168-6>
- Calvo N., Giorgetta M.A., Peña-Ortiz C. Sensitivity of the boreal winter circulation in the middle atmosphere to the quasi-biennial oscillation in MAECHAM5 simulations // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. № 10. P. D10124. <https://doi.org/10.1029/2006JD007844>
- Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications. California: Academic Press, 2000. 969 p.
- Ford E.A.K., Hibbins R.E., Jarvis M.J. QBO effects on Antarctic mesospheric winds and polar vortex dynamics // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36. № 20. P. L20801. <https://doi.org/10.1029/2009GL039848>
- Garfinkel C.I., Hartmann D.L. Effects of the El Niño–Southern Oscillation and the Quasi-Biennial Oscillation on polar temperatures in the stratosphere // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. № 19. P. D19112. <https://doi.org/10.1029/2007JD008481>
- Garfinkel C.I., Shaw T.A., Hartmann D.L., Waugh D.W. Does the Holton–Tan mechanism explain how the quasi-biennial oscillation modulates the Arctic polar vortex? // J. Atmos. Sci. 2012. V. 69. № 5. P. 1713–1733. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0209.1>
- Gelaro R., McCarty W., Suárez M.J., Todling R., Molod A., Takacs L., Randles C.A., Darmenov A., Bosilovich M.G., Reichle R., Wargan K., Coy L., Cullather R., Draper C., Akella S., Buchard V., Conaty A., da Silva A.M., Gu W., Kim G.-K., Koster R., Lucchesi R., Merkova D., Nielsen J.E., Partyka G., Pawson S., Putman W., Rienecker M., Schubert S.D., Sienkiewicz M., Zhao B. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) // J. Climate. 2017. V. 30. № 14. P. 5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- Holton J.R., Tan H.C. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb // J. Atmos. Sci. 1980. V. 37. № 10. P. 2200–2208. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)037<2200:TIOTEQ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1980)037<2200:TIOTEQ>2.0.CO;2)
- Hampson J., Haynes P. Influence of the equatorial QBO on the extratropical stratosphere // J. Atmos. Sci. 2006. V. 63. № 3. P. 936–951. <https://doi.org/10.1175/JAS3657.1>
- Hu Y., Tung K.K. Tropospheric and equatorial influences on planetary-wave amplitude in the stratosphere // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29. № 2. P. 1019. <https://doi.org/10.1029/2001GL013762>
- Hitchman M.H., Huesmann A.S. Seasonal influence of the quasi-biennial oscillation on stratospheric jets and Rossby wave breaking // J. Atmos. Sci. 2009. V. 66. № 4. P. 935–946. <https://doi.org/10.1175/2008JAS2631.1>
- Haigh J.D., Roscoe H.K. The final warming date of the Antarctic polar vortex and influences on its interannual variability // J. Climate. 2009. V. 22. № 22. P. 5809–5819. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2865.1>
- Kinnnersley J.S., Tung K.K. Mechanisms for the extratropical QBO in circulation and ozone // J. Atmos. Sci. 1999. V. 56. № 12. P. 1942–1962.

[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<1942:MFTEQI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<1942:MFTEQI>2.0.CO;2)

Klekociuk A.R., Tully M.B., Alexander S.P., Dargaville R.J., Deschamps L.L., Fraser P.J., Gies H.P., Henderson S.I., Javorniczky J., Krummel P.B., Petelina S.V., Shanklin J.D., Siddaway J.M., Stone K.A. The Antarctic ozone hole during 2010 // *Aust. Meteorol. Ocean.* 2011. V. 61. № 4. P. 253–267. <https://doi.org/10.22499/2.6104.006>

Manney G.L., Zurek R.W., O'Neill A., Swinbank R. On the motion of air through the stratospheric polar vortex // *J. Atmos. Sci.* 1994. V. 51. № 20. P. 2973–2994. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1994\)051<2973:OT-MOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1994)051<2973:OT-MOAT>2.0.CO;2)

Naito Y., Yoden S. Behavior of planetary waves before and after stratospheric sudden warming events in several phases of the equatorial QBO // *J. Atmos. Sci.* 2006. V. 63. № 6. P. 1637–1649. <https://doi.org/10.1175/JAS3702.1>

Naoe H., Shibata K. Equatorial quasi-biennial oscillation influence on northern winter extratropical circulation // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115. № 19. P. D19102. <https://doi.org/10.1029/2009JD012952>

Niwano M., Takahashi M. The influence of the equatorial QBO on the Northern Hemisphere winter circulation of a GCM // *J. Meteor. Soc. Jpn.* 1998. V. 76. № 3. P. 453–461. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.76.3_453

O'Sullivan D., Young R. Modeling the quasi-biennial oscillation's effect on the winter stratospheric circulation // *J. Atmos. Sci.* 1992. V. 49. № 24. P. 2437–2448. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1992\)049<2437:MTQBOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1992)049<2437:MTQBOE>2.0.CO;2)

Pascoe C.L., Gray L.J., Scaife A.A. A GCM study of the influence of equatorial winds on the timing of sudden stratospheric warmings // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. № 6.

P. L06825.

<https://doi.org/10.1029/2005GL024715>

Ruzmaikin A., Feynman J., Jiang X., Yung Y.L. Extratropical signature of the quasi-biennial oscillation // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110, № 11. P. D11111. <https://doi.org/10.1029/2004JD005382>

Sobel A.H., Plumb R.A., Waugh D.W. Methods of calculating transport across the polar vortex edge // *J. Atmos. Sci.* 1997. V. 54. № 18. P. 2241–2260. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<2241:MOC-TAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<2241:MOC-TAT>2.0.CO;2)

Thomas M.A., Giorgetta M.A., Timmreck C., Graf H.-F., Stenchikov G. Simulation of the climate impact of Mt. Pinatubo eruption using ECHAM5 – Part 2: Sensitivity to the phase of the QBO and ENSO // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. № 9. P. 3001–3009. <https://doi.org/10.5194/acp-9-3001-2009>

Thomas M.A., Timmreck C., Giorgetta M.A., Graf H.-F., Stenchikov G. Simulation of the climate impact of Mt. Pinatubo eruption using ECHAM5 – Part 1: Sensitivity to the modes of atmospheric circulation and boundary conditions // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. № 2. P. 757–769. <https://doi.org/10.5194/acp-9-757-2009>

Zuev V.V., Zueva N.E., Savlieva E.S. The role of the Mt. Merapi eruption in the 2011 Arctic ozone depletion // *Atmos. Environ.* 2017. V. 166. P. 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.07.040>

Zuev V.V., Savlieva E. The cause of the spring strengthening of the Antarctic polar vortex // *Dynam. Atmos. Oceans.* 2019a. V. 87. P. 101097. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2019.101097>

Zuev V.V., Savlieva E. The cause of the strengthening of the Antarctic polar vortex during October–November periods // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2019b. V. 190. P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.04.016>

Influence of the Quasi-Biennial Oscillation on the Dynamics of the Stratospheric Polar Vortices According to Satellite Observations

V. V. Zuev¹, E. A. Maslennikova^{1, 2}, and E. S. Savlieva¹

¹*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

²*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

The duration of polar ozone depletion events depends on the phase of the quasi-biennial oscillation (QBO). The QBO determines the location of the subtropical critical wind line that influences the propagation of planetary waves into the stratosphere. As a result, the polar vortex intensifies during the western phase of the QBO and weakens during the eastern phase, which manifests itself in the timing, duration, and intensity of stratospheric ozone depletion. Polar ozone depletion occurs inside the strong polar vortex from late winter to spring due to the occurrence of heterogeneous and photochemical ozone destruction reactions in the presence of solar radiation. We studied the effect of QBO phases at different isobaric levels on the dynamics of the stratospheric polar vortices based on satellite data from the Goddard Space Flight Center NASA. It is shown that the QBO at the 30 hPa pressure level has a predominant effect on the dynamics of the polar vortices. This is observed from September to December, especially in October and November, in the dynamics of the Antarctic polar vortex, and throughout the entire period of its existence in the dynamics of the Arctic polar vortex.

Keywords: quasi-biennial oscillation, stratospheric polar vortices, zonal wind

REFERENCES

- Ageyeva V.Y., Gruzdev A.N., Elokhov A.S., Mokhov I.I., Zueva N.E. Sudden stratospheric warmings: statistical characteristics and influence on NO₂ and O₃ total contents // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2017. V. 53. № 5. P. 477–486. <https://doi.org/10.1134/S0001433817050036>
- Krivolutsky A.A., Repnev A.I. Results of Russian studies of the middle atmosphere, 2007–2010 // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2012. V. 48. № 3. P. 299–308. <https://doi.org/10.1134/S000143381203005X>
- Pogoreltsev A.I., Savenkova E.N. Mezhdugodovaya i klimaticheskaya izmenchivost' srokov vesennej perestrojki cirkulyacii stratosfery [Interannual and climatic variability of breakup date of the stratospheric circulation] // *Uchenye zapiski RGGMU*. 2010. № 11. P. 53–62. (In Russian).
- Frolkis V.A., Karol I.L., Kiselev A.A. Sushchestvuet li svyaz' mezhdru kvazidvuhletnimi kolebaniyami atmosfery i izmeneniyami soderzhaniya ozona i temperatury v Antarktide? [In search of the correlation between quasi-biennial atmospheric fluctuations and ozone concentration and temperature changes in Antarctica] // *Trudy GGO*. 2021. № 601. P. 19–34. (In Russian).
- Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., Hamilton K., Haynes P.H., Randel W.J., Holton J.R., Alexander M.J., Hirota I., Horinouchi T., Jones D.B.A., Kinnnersley J.S., Markwardt C., Sato K., Takahashi M. The quasi-biennial oscillation // *Rev. Geophys.* 2001. V. 39. № 2. P. 179–229. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8217-7_4
- Camp C.D., Tung K.-K. The influence of the solar cycle and QBO on the late-winter stratospheric polar vortex // *J. Atmos. Sci.* 2007. V. 64. № 4. P. 1267–1283. <https://doi.org/10.1175/JAS3883.1>
- Chen W., Wei K. Interannual variability of the winter stratospheric polar vortex in the Northern Hemisphere and their relations to QBO and ENSO // *Adv. Atmos. Sci.* 2009. V. 26. № 5. P. 855–863. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8168-6>
- Calvo N., Giorgetta M.A., Peña-Ortiz C. Sensitivity of the boreal winter circulation in the middle atmosphere to the quasi-biennial oscillation in MAECHAM5 simulations // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. № 10. P. D10124. <https://doi.org/10.1029/2006JD007844>
- Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications. California: Academic Press, 2000. 969 p.
- Ford E.A.K., Hibbins R.E., Jarvis M.J. QBO effects on Antarctic mesospheric winds and polar vortex dynamics // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. № 20. P. L20801. <https://doi.org/10.1029/2009GL039848>
- Garfinkel C.I., Hartmann D.L. Effects of the El Niño–Southern Oscillation and the Quasi-Biennial Oscillation on polar temperatures in the stratosphere // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. № 19. P. D19112. <https://doi.org/10.1029/2007JD008481>
- Garfinkel C.I., Shaw T.A., Hartmann D.L., Waugh D.W. Does the Holton–Tan mechanism explain how the quasi-biennial oscillation modulates the Arctic polar vortex? // *J. Atmos. Sci.* 2012. V. 69. № 5. P. 1713–1733. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0209.1>
- Gelaro R., McCarty W., Suárez M.J., Todling R., Molod A., Takacs L., Randles C.A., Darmenov A., Bosilovich M.G., Reichle R., Wargan K., Coy L., Cullather R., Draper C., Akella S., Buchard V., Conaty A., da Silva A.M., Gu W., Kim G.-K., Koster R., Lucchesi R., Merkova D., Nielsen J.E., Partyka G., Pawson S., Putman W., Rienecker M., Schubert S.D., Sienkiewicz M., Zhao B. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) // *J. Climate*. 2017. V. 30. № 14. P. 5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- Holton J.R., Tan H.C. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb // *J. Atmos. Sci.* 1980. V. 37. № 10. P. 2200–2208. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)037<2200:TIOTEQ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1980)037<2200:TIOTEQ>2.0.CO;2)
- Hampson J., Haynes P. Influence of the equatorial QBO on the extratropical stratosphere // *J. Atmos. Sci.* 2006. V. 63. № 3. P. 936–951. <https://doi.org/10.1175/JAS3657.1>
- Hu Y., Tung K.K. Tropospheric and equatorial influences on planetary-wave amplitude in the stratosphere // *Geophys. Res. Lett.* 2002. V. 29. № 2. P. 1019. <https://doi.org/10.1029/2001GL013762>
- Hitchman M.H., Huesmann A.S. Seasonal influence of the quasi-biennial oscillation on stratospheric jets and Rossby wave breaking // *J. Atmos. Sci.* 2009. V. 66. № 4. P. 935–946. <https://doi.org/10.1175/2008JAS2631.1>
- Haigh J.D., Roscoe H.K. The final warming date of the Antarctic polar vortex and influences on its interannual variability // *J. Climate*. 2009. V. 22. № 22. P. 5809–5819. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2865.1>
- Kinnnersley J.S., Tung K.K. Mechanisms for the extratropical QBO in circulation and ozone // *J. Atmos. Sci.* 1999. V. 56. № 12. P. 1942–1962. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<1942:MFTEQI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<1942:MFTEQI>2.0.CO;2)
- Klekociuk A.R., Tully M.B., Alexander S.P., Dargaville R.J., Deschamps L.L., Fraser P.J., Gies H.P., Henderson S.I., Javorniczky J., Krummel P.B., Petelina S.V., Shanklin J.D., Siddaway J.M., Stone K.A. The Antarctic ozone hole during 2010 // *Aust. Meteorol. Ocean.* 2011. V. 61. № 4. P. 253–267. <https://doi.org/10.22499/2.6104.006>
- Manney G.L., Zurek R.W., O'Neill A., Swinbank R. On the motion of air through the stratospheric polar vortex // *J. Atmos. Sci.* 1994. V. 51, № 20. P. 2973–2994. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1994\)051<2973:OT-MOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1994)051<2973:OT-MOAT>2.0.CO;2)
- Naito Y., Yoden S. Behavior of planetary waves before and after stratospheric sudden warming events in several phases of the equatorial QBO // *J. Atmos. Sci.* 2006. V. 63. № 6. P. 1637–1649. <https://doi.org/10.1175/JAS3702.1>
- Naoe H., Shibata K. Equatorial quasi-biennial oscillation influence on northern winter extratropical circulation // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115. № 19. P. D19102. <https://doi.org/10.1029/2009JD012952>
- Niwano M., Takahashi M. The influence of the equatorial QBO on the Northern Hemisphere winter circulation of a GCM // *J. Meteor. Soc. Jpn.* 1998. V. 76. № 3. P. 453–461. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.76.3_453
- O'Sullivan D., Young R. Modeling the quasi-biennial oscillation's effect on the winter stratospheric circulation // *J. Atmos. Sci.* 1992. V. 49. № 24. P. 2437–2448. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1992\)049<2437:MTQBOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1992)049<2437:MTQBOE>2.0.CO;2)

- Pascoe C.L., Gray L.J., Scaife A.A.* A GCM study of the influence of equatorial winds on the timing of sudden stratospheric warmings // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. № 6. P. L06825. <https://doi.org/10.1029/2005GL024715>
- Ruzmaikin A., Feynman J., Jiang X., Yung Y.L.* Extratropical signature of the quasi-biennial oscillation // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. № 11. P. D11111. <https://doi.org/10.1029/2004JD005382>
- Sobel A.H., Plumb R.A., Waugh D.W.* Methods of calculating transport across the polar vortex edge // *J. Atmos. Sci.* 1997. V. 54. № 18. P. 2241–2260. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<2241:MOC-TAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<2241:MOC-TAT>2.0.CO;2)
- Thomas M.A., Giorgetta M.A., Timmreck C., Graf H.-F., Stenchikov G.* Simulation of the climate impact of Mt. Pinatubo eruption using ECHAM5 – Part 2: Sensitivity to the phase of the QBO and ENSO // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. № 9. P. 3001–3009. <https://doi.org/10.5194/acp-9-3001-2009>
- Thomas M.A., Timmreck C., Giorgetta M.A., Graf H.-F., Stenchikov G.* Simulation of the climate impact of Mt. Pinatubo eruption using ECHAM5 – Part 1: Sensitivity to the modes of atmospheric circulation and boundary conditions // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. № 2. P. 757–769. <https://doi.org/10.5194/acp-9-757-2009>
- Zuev V.V., Zueva N.E., Savelieva E.S.* The role of the Mt. Merapi eruption in the 2011 Arctic ozone depletion // *Atmos. Environ.* 2017. V. 166. P. 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.07.040>
- Zuev V.V., Savelieva E.* The cause of the spring strengthening of the Antarctic polar vortex // *Dynam. Atmos. Oceans.* 2019a. V. 87. P. 101097. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2019.101097>
- Zuev V.V., Savelieva E.* The cause of the strengthening of the Antarctic polar vortex during October–November periods // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2019b. V. 190. P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.04.016>