

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

КВАЗИДВУХЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ РАДИОТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ АТЛАНТИКИ

© 2011 г. Г. Р. Хайруллина, Н. М. Астафьева*

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН, Москва

*E-mail: ast@iki.rssi.ru

Поступила в редакцию 10.08.2010 г.

Изучаются межгодовые колебания тропосферы и, в особенности, квазидвухлетние колебания (КДК) — яркий пример квазирегулярной изменчивости атмосферы на межгодовых масштабах. В отличие от большинства исследований, посвященных КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере, в данной работе исследуются межгодовые колебания радиотеплового поля Земли. Используются данные микроволнового спутникового мониторинга — глобальные радиотепловые поля из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>) за период 1999–2006 гг. на частотах, содержащих информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосферы. Поскольку влага вморожена в движения воздуха, на суточных радиотепловых полях области повышенного влагосодержания являются трассерами — отпечатками пространственно-временной динамики тропосферы. Анализ пространственно-временной структуры серий глобальных радиотепловых полей позволил изучить структуру межгодовых колебаний тропосферы и, в частности, КДК. Показано, что КДК, являющиеся важнейшим процессом экваториальной стратосферы, характерны и для радиотеплового поля Земли в микроволновом диапазоне, т.е. для тропосферы. Широтная структура КДК тропической области тропосферы неодинаковая в разных полушариях.

Ключевые слова: микроволновый спутниковый мониторинг, глобальное радиотепловое поле, межгодовая изменчивость атмосферы, квазидвухлетние колебания, методика широтно-временной диаграммы

ВВЕДЕНИЕ

Квазидвухлетние колебания (КДК) — яркий пример высокочастотной квазирегулярной изменчивости атмосферы (и климата) Земли на межгодовых масштабах. КДК обнаружены при изучении смены направлений двух систем зональных ветров — восточного ветра Кракатау (после извержения вулкана пыль обогнула Землю по экватору за две недели) и западного ветра Берсона (наблюдается на высотах около 15 км вблизи тропопаузы). Изменение направления ветра с западного на восточное и наоборот происходило с периодом около 26 мес. (Reed et al., 1961). Для обозначения этих квазипериодических колебаний введен термин QBO (Quasi-Biennial-Oscillation) или КДК (Angell, Korshover, 1964). КДК зонального ветра наблюдаются в экваториальной стратосфере на высотах ~16–50 км; смена направления ветра происходит сверху вниз без потери амплитуды. Распространяющиеся вниз западная и восточная фазы среднего зонального ветра сменяют друг друга с периодом от 22 до 34 мес. (в среднем немного больше 28 мес.).

КДК проявляются в изменении различных климатических переменных. В приэкваториальной стратосфере КДК обнаружены в распределении зонального ветра (Reed et al., 1961; Naujokat, 1986;

Baldwin, Gray, 2001; Randel et al., 2004), озона (Angell, Korshover, 1967; Kiss et al., 2007), температуры (Angell, Korshover, 1967; Рязанова, 1967; Randel et al., 2004) и давления (Рязанова, 1967). Проведенное в конце 1990-х гг. изучение КДК в разных широтных зонах тропосферы и стратосферы (Мохов и др., 1997) показало, что КДК достаточно четко проявляются для различных климатических переменных в средних и высоких широтах, а амплитуды колебаний, в частности амплитуды КДК приповерхностной температуры воздуха, во внетропических и тропических широтах вполне сопоставимы.

Впервые механизм формирования КДК зонального ветра описан в (Lindzen, Holton, 1968), где показано, что основной механизм формирования КДК в экваториальной стратосфере связан с нелинейным взаимодействием вертикально распространяющихся экваториальных волн с зональным ветром. Основным носителем этого взаимодействия предполагались планетарные волны — смешанные гравитационные волны Россби, распространяющиеся в западном направлении, и волны Кельвина, распространяющиеся в восточном направлении. Впоследствии было показано, что энергии этих волн недостаточно и необходимо рассматривать весь спектр экваториальных волн, возникающих в

тропической тропосфере и распространяющихся вертикально вверх в стратосферу, взаимодействуя с КДК. Генерируемые в стратосфере, КДК распространяются вверх, вниз и вдоль меридиана, что вовлекает во взаимодействие тропосферу, стратосферу и мезосферу в глобальных масштабах.

Несмотря на значимость КДК для динамики атмосферы и межгодовых изменений климата и на то, что об их существовании известно довольно давно, в настоящее время лишь немногие климатические модели способны воспроизводить это явление, см., например (Giorgetta et al., 2006; Кулямин и др., 2009). Причина в том, что механизмы формирования КДК достаточно сложны и до конца не изучены. Считается, что КДК возбуждаются в приэкваториальных широтах взаимодействием между средним зональным потоком и распространяющимися вертикально экваториальными волнами, генерируемыми в тропосфере, — главным образом это волны Кельвина и смешанные гравитационные волны Россби (в энергоактивной экваториальной зоне эти волны могут возбуждаться конвективными возмущениями).

Модель общей циркуляции Института вычислительной математики (ИВМ РАН) $2^\circ \times 2.5^\circ \times 80$ с высоким вертикальным разрешением (Кулямин и др., 2009) описывает КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере и воспроизводит близкие к наблюдаемым колебания. КДК возбуждались двумя механизмами: взаимодействие планетарных волн со средним зональным потоком и обрушение гравитационных волн. Результаты показали синхронизацию этих двух процессов между собой. Показано, что при совместном включении двух волновых источников ведущую роль в формировании периода и несимметрии восточной и западной фаз КДК играют планетарные волны, а короткие волны подкачивают в колебательную систему дополнительную энергию. В результате моделирования КДК зонального ветра получены в узкой широтной области стратосферы — от 10° с.ш. до 10° ю.ш. В более высоких широтах, выше 15° широты, КДК зонального ветра в обоих полушариях не обнаружены. В модели Института Макса Планка MAECHAM5 (Giorgetta et al., 2006) получены восточные характеристики КДК при высоком разрешении и заниженных частотах гравитационных волн, что находится в согласии с результатами модели ИВМ РАН $2^\circ \times 2.5^\circ \times 80$ (Кулямин и др., 2009).

В настоящей работе представлены некоторые результаты изучения широтной структуры КДК в тропосфере Земли по данным микроволнового спутникового мониторинга. Анализировались поля радиояркостной температуры T_r из электронной коллекции глобальных радиотепловых полей GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>). Поля T_r электронной коллекции построены по полосовым данным спутников программы DMSP (De-

fense Meteorological Satellite Program, <http://dm-sp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html>) с помощью алгоритма межвиткового и кросс-аппаратного выравнивания и дополнения (Астафьева и др., 2006). Установленные на аппаратах серии DMSP радиометры SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) регистрируют излучение на частотах, несущих информацию о влаго- и водосодержании атмосферы. Тропосфера содержит более 95% водяного пара, молекулы которого интенсивно поглощают инфракрасные лучи во всем диапазоне (за исключением “окна” на длинах волн 8–13 мкм). Водяной пар в движении воздуха — он переносится и контролируется крупномасштабными и мелкомасштабными движениями. В результате области повышенного влаго- и водосодержания на суточных радиотепловых полях являются отпечатками пространственно-временной динамики атмосферы. Электронная коллекция GLOBAL-Field содержит по два поля в сутки за период 1995–2007 гг. с разрешением $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ по поверхности Земли, что позволяет изучать атмосферные движения на масштабах от сотни километров до планетарных и от суточных до межгодовых, а также пространственную структуру межгодовых колебаний атмосферы и, в частности, структуру КДК земной тропосферы на разных широтах.

Таким образом, ранние наблюдения показали, что КДК проявляются в изменении различных климатических характеристик, в частности в стратосфере, — в распределении зонального ветра и озона (в тропиках), температуры и давления (в тропических и внетропических широтах), а также в тропосфере — в распределении приповерхностной температуры воздуха (в тропических и внетропических широтах). При этом изучались данные наземных наблюдений, полученные, как правило, в виде локальных (точечных) измерений. В настоящей работе впервые проведено исследование КДК по данным спутникового мониторинга Земли, предоставляющим информацию в виде глобальных полей наблюдаемых характеристик. Только приборы, установленные на искусственных спутниках Земли, могут обеспечить глобальные наблюдения в виде полей с необходимыми для дальнейшего анализа пространственной частотой и временной регулярностью. На основе полученных при исследовании Земли из космоса глобальных радиотепловых полей изучена широтная структура КДК в тропосфере.

ШИРОТНАЯ СТРУКТУРА МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ РАДИОТЕПЛОГО ПОЛЯ НАД АТЛАНТИКОЙ

Межгодовые колебания в структуре радиотеплового поля Земли над Атлантическим океаном изучаются на основе анализа серий глобальных полей радиояркостной температуры T_r (время, широта, долгота) на частоте 19.35 ГГц из электронной коллекции GLOBAL-Field за период 1999–2006 гг. с по-

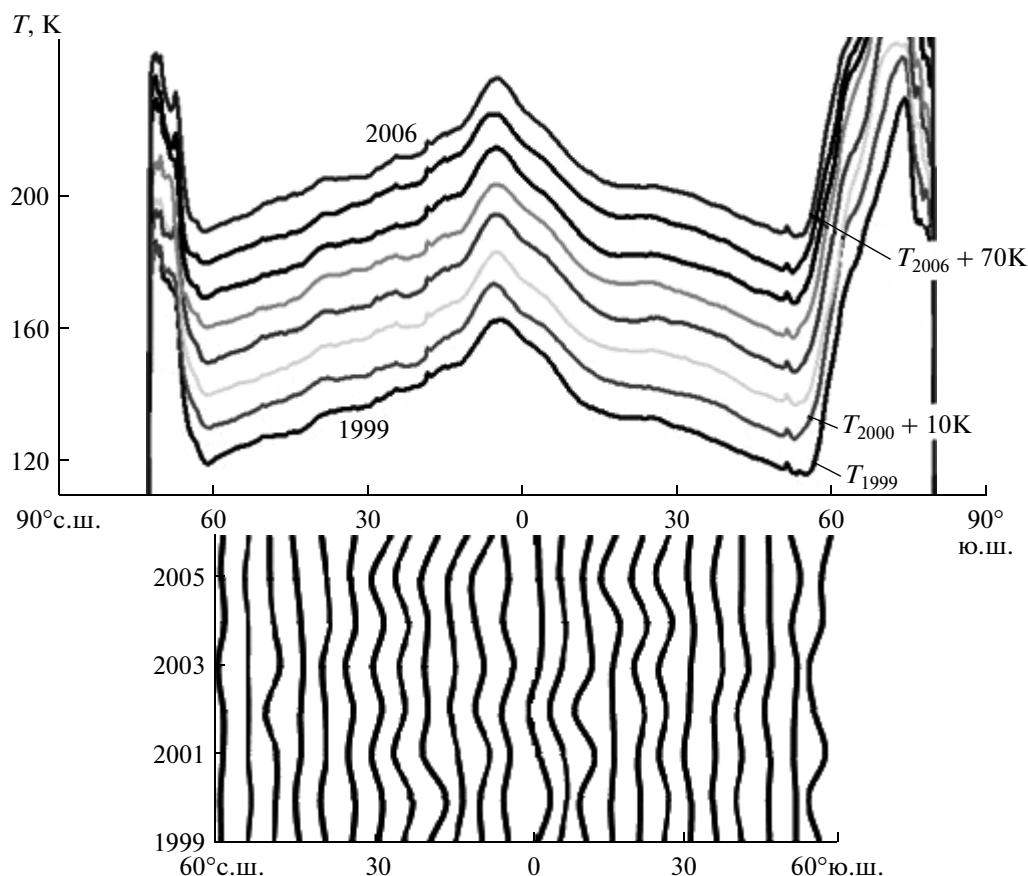


Рис. 1. Кривые широтного распределения T_r (вверху) за период 1999–2006 гг. (годы увеличиваются снизу вверх) и соответствующие кривые межгодовых отклонений T_r (внизу).

мощью методики широтно-временных диаграмм (Астафьева и др., 2007; Хайруллина, Астафьева, 2008; Астафьева, Раев, 2008). Широтно-временные диаграммы строятся следующим образом: на радиотепловом поле выбирается область исследования (в нашем случае это вся акватория Атлантики); радиояркостьная температура в исследуемой области интегрируется по долготе для получения распределения T_r по широте в заданный день; в широтно-временной диаграмме последовательно ото дня ко дню собирается информация об интегральном по долготе распределении T_r на разных широтах. На основе анализа широтно-временных диаграмм можно получить информацию, в частности, о среднегодовом широтном распределении T_r и о межгодовых отклонениях T_r (рис. 1).

В верхней части рис. 1 представлены кривые среднегодового широтного распределения T_r над Атлантикой, полученные путем усреднения по времени информации, содержащейся в построенной за год широтно-временной диаграмме (Астафьева, Хайруллина, 2010). Кривые показаны в плоскости (широта, T_r): по оси абсцисс отложена широта от 90° с.ш. до 90° ю.ш., по оси ординат — T_r от 120 до 250K; нижняя кривая соответствует 1999 г., годы

увеличиваются снизу вверх, верхняя кривая соответствует 2006 г. Для удобства кривые для каждого года смещены относительно кривых для ближайших лет на 10 К.

В нижней части рис. 1 представлены кривые межгодовых отклонений T_r (кривые ΔT_r), характеризующие межгодовые особенности распределения радиояркостьной температуры. Кривые ΔT_r строятся следующим образом: на каждой широте фиксируется и берется за начало отсчета значение среднегодовой T_r по данным 1999 г.; затем на каждой широте вычисляются отклонения среднегодовых T_r в последующие годы от значений 1999 г. На рис. 1 кривые ΔT_r показаны в плоскости (широта, время): по оси абсцисс отложена широта от 60° с.ш. до 55° ю.ш., по оси ординат — время в годах (1999–2006 гг.); кривые ΔT_r построены через каждые 5° широты.

Анализ кривых ΔT_r позволил исследовать широтные особенности межгодового распределения T_r , выявить области с квазипериодическими колебаниями и сравнить фазы колебаний на разных широтах.

На рис. 2 (на цветн. вклейках) слева представлен фрагмент глобального радиотеплового поля — поле

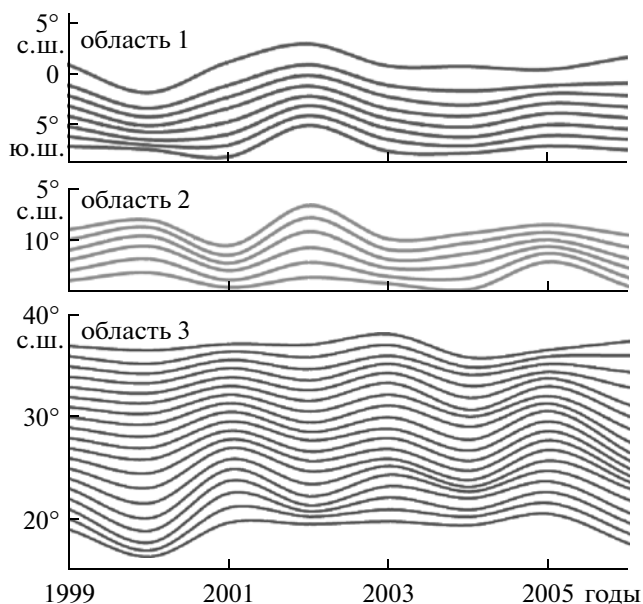


Рис. 3. Кривые межгодовых отклонений Tr , характерные для областей 1, 2 и 3.

над акваторией Атлантики, а также кривые ΔTr (справа) в плоскости (время, широта): по оси абсцисс отложено время в годах (1999–2006 гг), по оси ординат — широта от 55° ю.ш. до 65° с.ш.

Для наглядности кривые ΔTr в широтных диапазонах, где они имеют схожую структуру колебаний, показаны на рис. 2 одним цветом (см. ниже), в переходных областях между ними — зеленым цветом. Выделяются широтные диапазоны (они обозначены скобками и цифрами), для которых характерны почти однофазные квазипериодические колебания: близкие к четырехлетним в диапазоне широты 1° с.ш.– 7° ю.ш. (коричневые кривые), КДК в диапазонах широты 5° – 17° с.ш., 46° – 53° с.ш., 8° – 14° ю.ш. и 34° – 46° ю.ш. (оранжевые) и КДК со сдвигом фазы в диапазонах широты 19° – 37° с.ш. и 16° – 32° ю.ш. (темно-красные); на высоких широтах наблюдаются узкие широтные диапазоны с разнофазными КДК (сиреневые кривые). Представленные результаты демонстрируют, что в тропосфере над Атлантикой существуют межгодовые квазипериодические колебания и, в частности, КДК.

На рис. 3 представлены кривые ΔTr , характерные для диапазонов, обозначенных на рис. 2 цифрами 1, 2 и 3. В диапазоне 1 (верхняя часть рисунка) наблюдаются близкие к четырехлетним колебания с максимумами в 1999, 2002, 2005 гг. и минимумами в 2000–2001, 2004 гг.

В средней части рис. 3 представлены кривые ΔTr из диапазона 8° – 14° ю.ш., характерные для всех областей 2 (соответствуют оранжевым кривым на

рис. 2) с однофазными КДК с максимумами в 2000, 2002, 2005 гг. и минимумами в 1999, 2001, 2003, 2006 гг. В нижней части рис. 3 представлены кривые из диапазона 19° – 37° с.ш., характерные для всех областей 3 (соответствуют темно-красным кривым на рис. 2) с почти однофазными КДК с максимумами в 1999, 2001, 2003, 2005 гг. и минимумами в 2000, 2002, 2004, 2006 гг. Отметим, что кривые ΔTr в областях 2 и 3 имеют противоположные фазы КДК на всем исследуемом временном отрезке за исключением 2005 г., чрезвычайно теплого, едва ли не самого теплого года начавшегося столетия — в этом году во всех областях 2 и 3 можно видеть положительные экстремумы.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведем сравнение полученных результатов изучения межгодовых колебаний радиотеплового поля с результатам реанализа NCEP (National Centers for Environmental Prediction), демонстрирующими пространственно-временную структуру колебаний среднезонального стратосферного ветра за 7 лет с 1998 по 2004 гг. (Kistler et al., 2001).

Приэкваториальная область

В верхней части рис. 4 (см. на вклейках с цветн. рис.) приведено высотно-временное распределение среднего зонального ветра в экваториальной стратосфере (изолинии зонального ветра проведены с интервалом 5 м/с), построенное по результатам реанализа NCEP. Видна периодическая смена направления среднего зонального ветра в стратосфере (с периодом от 24 до 30 мес.) и медленное опускание разнонаправленных фаз скорости с высоты более 30 км со средней скоростью 1–2 км в месяц. Максимальная скорость зонального ветра достигается на высотах около 10–20 Мб и составляет для восточного (отрицательного) направления ~ 30 м/с, для западного (положительного) ~ 15 м/с. В нижней части рис. 4 для сравнения представлены кривые ΔTr вблизи экватора.

Провести прямое сравнение между результатами настоящей работы и реанализа NCEP не представляется возможным. Анализируемые радиотепловые поля несут информацию о влаго- и водозапасе атмосферы, т.е. о структуре межгодовых колебаний тропосферы, поскольку именно она содержит более 95% атмосферной влаги во всех ее видах. Приведенные на рис. 4 данные реанализа относятся к экваториальной стратосфере и свидетельствуют, что разнонаправленные фазы скорости зонального ветра медленно опускаются с высоты более 30 км со средней скоростью 1–2 км в месяц. В настоящее время нет четкого понимания того, каким образом они поведут себя в тропосфере, гораздо более насыщенной нелинейными движениями разных масштабов и интенсивности, чем стратосфера. Тем не менее

некоторое сравнение представленных результатов (полученных разными методами для разных параметров на разных высотных уровнях атмосферы) все-таки можно провести.

В верхней части рис. 4 на высотных уровнях 20 и 60 Мб (~26 и ~21 км соответственно) красными и синими отрезками линии мы отметили продолжительность западного (положительного) и восточного (отрицательного) направления зонального ветра. Зоны западного зонального ветра на этих уровнях наблюдаются в 1999, 2002 и 2004 гг. В средней части рисунка видны два полных цикла КДК — первый цикл (между открытыми красными скобками) продолжается почти три года, второй (между закрытыми скобками) — немногим более двух лет. На уровне 20 Мб первый цикл начинается в последней четверти 1998 г. и продолжается до середины 2001 г., второй цикл продолжается до конца 2003 г. На уровне 60 Мб первый цикл начинается весной 1999 г. и продолжается до весны 2002 г., второй цикл продолжается до поздней весны 2004 г. При опускании разнонаправленных фаз скорости длина обоих циклов сохранилась, но зоны, занимаемые западным направлением зонального ветра, увеличились. Особенно это заметно на примере первого цикла: если на уровне 20 Мб зона западного ветра занимает год, а восточного — почти два года, то на уровне 60 Мб наоборот — зона западного ветра занимает немногим менее двух лет, а восточного — несколько более года.

На высотах до уровня 60–80 Мб преобладает квазидвухлетняя цикличность среднего зонального ветра, ниже доминирует годовой ход. На высотном уровне 180–200 Мб (~13–12 км) красными и синими отрезками линии отмечены “зоны влияния” областей с западным и восточным направлением зонального ветра. На этом уровне, т.е. на верхней границе экваториальной тропосферы, продолжительность “зон влияния” первого цикла КДК осталась прежней, а соотношение между длительностью зон ветра разных направлений такое же, как на уровне 20 Мб, поскольку зона западного ветра опять уменьшилась, а восточного — увеличилась. Отметим, что с уровня 10 Мб (~30 км) до верхней границы тропосферы первый цикл опустился за год с небольшим; второй цикл к этому времени уже частично вышел за границы области реанализа, поэтому сравнение проводилось в основном с первым циклом.

Сравнение результатов реанализа NCEP с полученными при изучении данных спутникового мониторинга показывает их качественное согласие (см. рис. 4). Структура колебаний ΔTr в приэкваториальной тропосфере (на рис. 4 кривые ΔTr показаны в диапазоне 10° с.ш.—7° ю.ш.) на том временном отрезке, на котором сравнение результатов наиболее оправдано, практически повторяет структуру межгодовых колебаний среднего зонального ветра в экваториальной тропопаузе. При этом положитель-

ные экстремумы межгодовых отклонений Tr согласуются с восточным направлением зонального ветра, отрицательные — с западным. Отметим, что хорошо выраженный положительный экстремум кривых ΔTr достигается в 2002 г. (и остается там во всем представленном на рис. 4 диапазоне широты); соседние отрицательные экстремумы с ростом широты смещаются во времени, причем неодинаково в разных полушариях (т.е. широтная структура межгодовых колебаний радиотеплового поля несимметрична относительно экватора).

Структура колебаний ΔTr меняется при переходе из одного полушария в другое, но не относительно географического экватора, а относительно “климатического”, совпадающего с внутритропической зоной конвергенции (ВЗК). Это согласуется с тем, что восходящие ветви низкоширотной меридиональной циркуляции атмосферы (ячеек Хедли) формируются в ВЗК (с ее высокой влажностью и интенсивной динамикой), которая в Атлантике практически в течение всего года располагается в Северном полушарии. Именно ВЗК и восходящие ветви ячеек Хедли разделяют полушария на климатические “северное” и “южное”, а не географический экватор. В таком образом определенных “северном” и “южном” полушариях минимум ΔTr , ассоциирующийся с западным направлением зонального ветра, достигается в разное время: в 2000–2001 гг. в “северном” полушарии, т.е. с опережением на год, в 2003–2004 гг. — с почти таким же запаздыванием.

Зависимость от широты

На рис. 5 (см. на вклейках с цветн. рис.) представлена широтная структура (от 30° ю.ш. до 30° с.ш.) среднего стратосферного зонального ветра на уровне 20 Мб (~26 км), построенная по результатам реанализа NCEP за тот же период 1998–2004 гг. (Kistler et al., 2001). Изолинии ветра на рисунке проведены с интервалом 10 м/с. Широтная структура среднего зонального ветра в стратосфере не симметрична относительно экватора. В зоне тропиков, кроме узкой приэкваториальной области, смена направления ветра с восточного на западное происходит в Северном полушарии примерно на полгода раньше, чем в Южном. В более высоких широтах в обоих полушариях наблюдается годовая модуляция среднего зонального ветра, с доминирующим западным ветром в Южном полушарии (Kistler et al., 2001). В нижней части рис. 5 для сравнения представлены кривые ΔTr в той же широтной зоне $\pm 30^\circ$.

Обнаруженное согласие структуры колебаний ΔTr в приэкваториальной тропосфере и зонального ветра в экваториальной тропопаузе позволяет предположить, что широтную структуру ΔTr и среднего зонального ветра на уровне 20 Мб следует сравнивать с учетом времени, необходимого для опускания разнонаправленных фаз скорости зонального ветра

в стратосфере от уровня 20 Мб до верхней границы тропосферы. Кривые ΔT_r представлены в нижней части рис. 5 с необходимым временным сдвигом немного более года. При этом положительные и отрицательные экстремумы ΔT_r хорошо согласуются с восточным и западным направлением зонального ветра соответственно.

В верхней части рис. 5 красными и синими отрезками линий отмечены продолжительность западного (положительного) и восточного (отрицательного) направления зонального ветра на экваторе и на 20° широте Северного и Южного полушарий. На линии экватора между открытыми и закрытыми красными скобками можно видеть два полных цикла КДК. В более высоких широтах в диапазонах 20° – 60° широты обоих полушарий наблюдается годовая модуляция зонального ветра, с доминирующим западным ветром в Южном полушарии.

Как уже отмечалось, широтная структура межгодовых колебаний радиотеплового поля не симметрична относительно экватора. То же самое наблюдается и для среднего зонального ветра в стратосфере. В диапазоне 20° с.ш. – 20° ю.ш. области западного ветра окрашены желтым цветом: кроме узкой приэкваториальной области, смена направления ветра с восточного на западное происходит в Северном полушарии примерно на полгода раньше, чем в Южном. В нижней части рис. 5 области отрицательных и положительных экстремумов кривых ΔT_r обозначены желтыми и синими эллипсами. Оба рисунка демонстрируют хорошее согласие между широтной структурой КДК ΔT_r в тропосфере и КДК стратосферного зонального ветра в тропической зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе на основе анализа пространственно-временной динамики радиотеплового поля Земли методом широтно-временных диаграмм за период 1999–2006 гг. показано проявление квазипериодических колебаний в тропосфере над Атлантическим океаном и выявлены различия структуры КДК радиояркой температуры на разных широтах. На кривых межгодовых отклонений T_r , построенных на основе данных, содержащихся в широтно-временных диаграммах, наблюдаются квазипериодические колебания и, в частности, КДК в тропической зоне.

Полученная широтная структура КДК радиотеплового поля согласуется с результатами изучения КДК атмосферы другими методами и на основе других данных наблюдений, в частности, КДК среднего зонального ветра в стратосфере по данным реанализа NCEP. Структура межгодовых колебаний T_r в тропической области практически повторяет структуру межгодовых колебаний среднего зонального ветра в стратосфере с учетом временного сдви-

га, необходимого для опускания разнонаправленных фаз скорости зонального ветра из стратосферы до верхней границы тропосферы. Широтная структура КДК радиотеплового поля Северного и Южного полушарий разная – она меняется при переходе из одного полушария в другое, но не относительно географического экватора, а относительно климатического; симметрии колебаний не обнаружено ни относительно географического, ни относительно климатического экватора планеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Глобальное радиотепловое поле системы океан–атмосфера по данным микроволновых космических комплексов // Исслед. Земли из космоса. 2006. № 3. С. 64–69.
- Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Изучение полярного переноса в атмосфере Земли методами дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 4. Т. 2. 2007. С. 27–32.
- Астафьева Н.М., Раев М.Д.* Методика изучения радиотеплового поля Земли и распределения влагозапаса тропосферы // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 6. С. 16–23.
- Астафьева Н.М., Хайруллина Г.Р.* Проявление некоторых климатических тенденций в структуре радиотеплового поля над Атлантикой // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 3. С. 41–48.
- Кулямин Д.В., Володин Е.М., Дымников В.П.* Моделирование квазидвухлетних колебаний зонального ветра в экваториальной стратосфере. 2 // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 1. С. 43–61.
- Мохов И.И., Безверхний В.А., Елисеев А.В.* Квазидвухлетняя циклоничность температурного режима атмосферы и тенденции ее изменения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1997. Т. 33. № 5. С. 579–587.
- Рязанова А.А.* О проявлениях квазидвухлетней цикличности в стратосферных процессах высоких и средних широт // Тр. ЦАО. 1967. Вып. 76. С. 100–106.
- Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.* Построение “диаграммы переноса” для изучения полярного переноса влаги в атмосфере над МО по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 5. Т. 2. 2008. С. 521–529.
- Angell J.K., Korshover J.* Quasi-biennial variations in temperature, total ozone, and tropopause height // J. Atmos. Sci. 1964. V. 21. P. 479–492.
- Angell J.K., Korshover J.* Biennial variation in springtime temperature and total ozone in extratropical latitudes // Mon. Wea. Rev. 1967. V. 95. P. 757–762.
- Baldwin M.P., Gray L.J.* The quasi-biennial oscillation // Rev. Geophys. 2001. V. 39. P. 179–229.
- Giorgetta M.A., Manzini E., Roeckner E. et al.* Climatology and Forcing of the Quasi-Biennial Oscillation in the MAECHAM5 Model // J. Clim. 2006. V. 19. № 16. P. 3882–1901.
- Kiss P., Muller R., Janosi I.M.* Long-range correlations of extrapolar total ozone are determined by the global atmo-

spheric circulation // *Nonlin. Processes Geophys.* 2007. V. 14. P. 435–442.

Kistler R., Kalnay E., Collins W. et al. The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2001. V. 82. № 2. P. 247–266.

Lindzen R.S., Holton J.R. A theory of the quasi-biennial oscillation // *J. Atmos. Sci.* 1968. V. 25. P. 1095–1107.

Naujokat B. An update of the observed quasi-biennial oscillation of the stratospheric winds over the tropics // *J. Atmos. Sci.* 1986. V. 43. P. 1873–1877.

Randel W.J., Wu F., Swinbank R. et al. The SPARC inter-comparison of middle-atmosphere climatologies // *J. Clim.* 2004. V. 17. P. 986–1003.

Reed R.J., Campbell W.J., Rasmussen L.A., Rogers R.G. Evidence of a downward propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere // *J. Geophys. Res.* 1961. V. 66. P. 813–818.

The Quasi-Biennial Oscillations of a Radio Thermal Field of a Tropical Zone of Atlantic Ocean

G. R. Khayrullina, N. M. Astafieva

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Interannual variability of an atmosphere and, in particular, quasi-biennial oscillation (QBO) – most an impressive example of quasi-regular variability of an atmosphere on interannual scales is investigated. Most researches are devoted to studying of QBO zone wind in an equatorial stratosphere. The present study investigates interannual variability of a radio thermal field of the Earth. There are used the data of microwave satellite monitoring – global radio thermal fields of the Earth from electronic collection GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>) during 1996–2007 on the frequencies containing the information about a moisture and water integral content distribution in a troposphere. As moisture is trapped in air movements, areas with raised moisture content on daily radio thermal fields are tracks of spatio-temporal dynamics of troposphere. The analysis of existential structure of sets of global radio thermal fields allowed studying structure of interannual variability of a troposphere and, in particular, QBO. It is shown that QBO being the major process of an equatorial stratosphere are characteristic for a radio thermal field of the Earth in a microwave range, i.e. for the troposphere. The latitudinal structure of QBO of a tropical zone of a troposphere is unequal in different hemispheres.

Keywords: microwave satellite monitoring, global radio thermal field, interannual variability of an atmosphere, quasi-biennial oscillation, methodic of latitude-time diagram

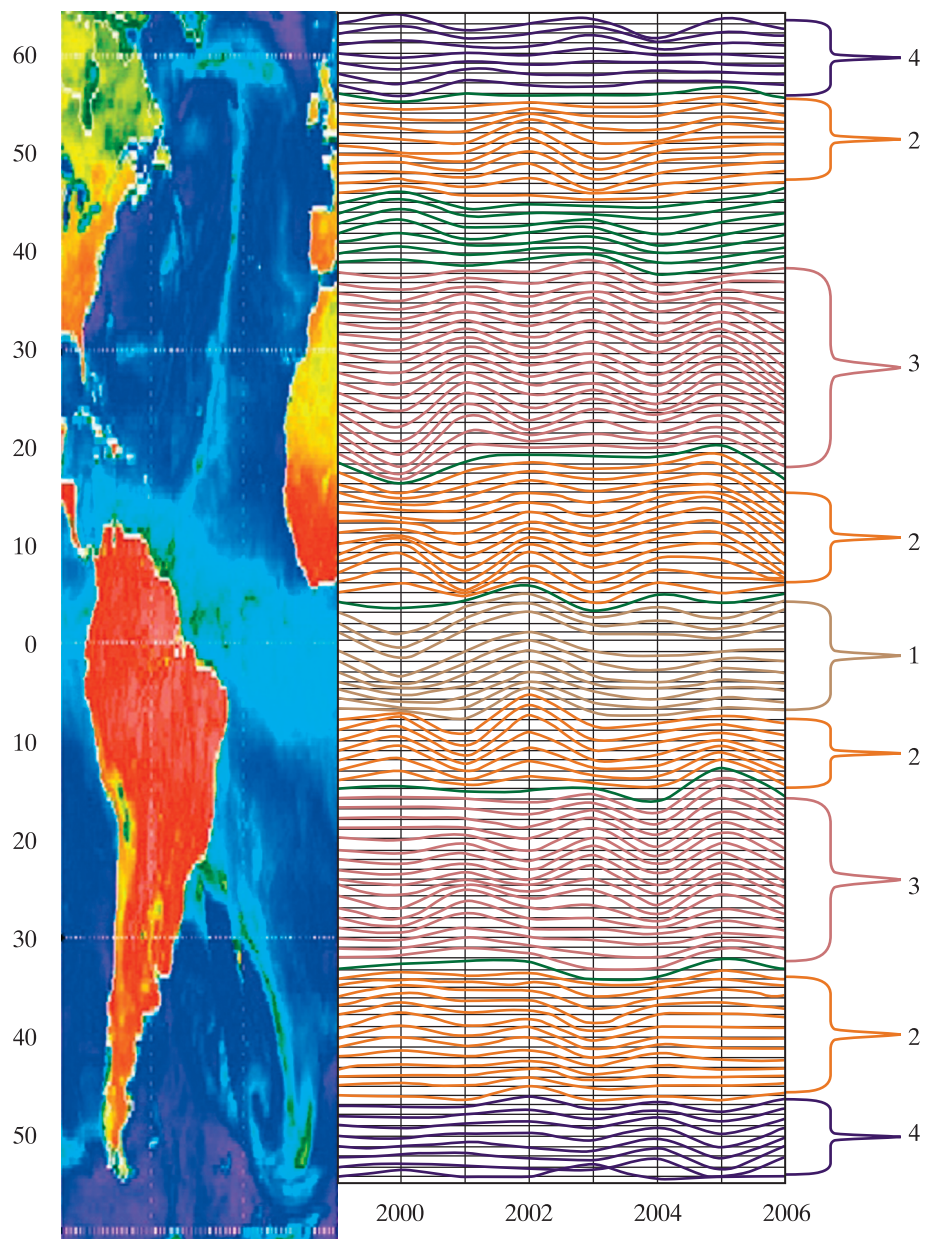


Рис. 2. Радиотепловое поле над Атлантикой (слева) и кривые межгодовых отклонений T_r (справа).



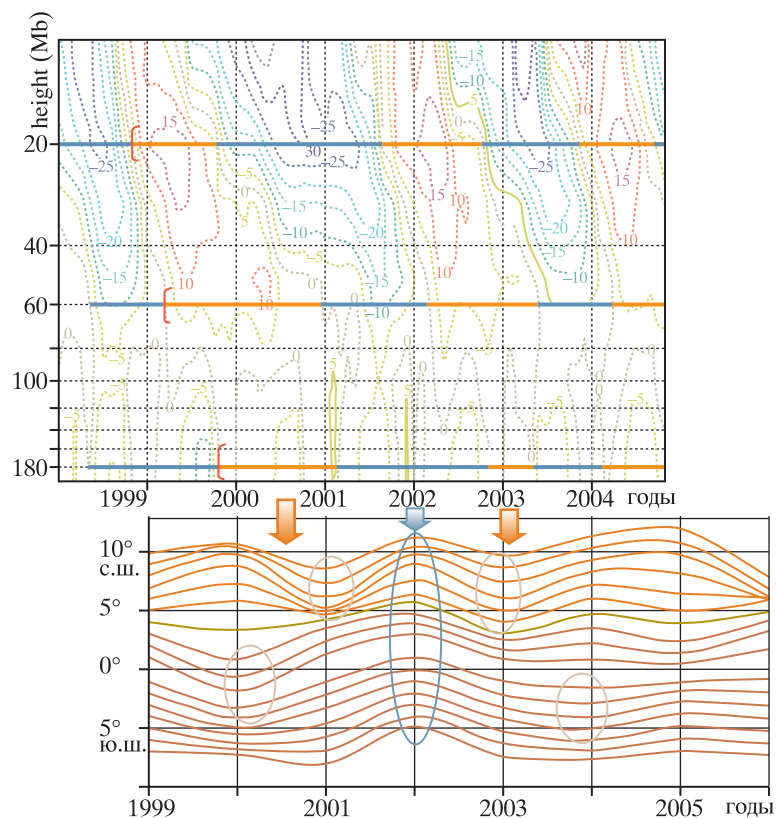


Рис. 4. Высотное распределение среднего зонального ветра на экваторе по данным реанализа NCEP (вверху) и кривые межгодовых отклонений Tl для приэкваториальной области (внизу).

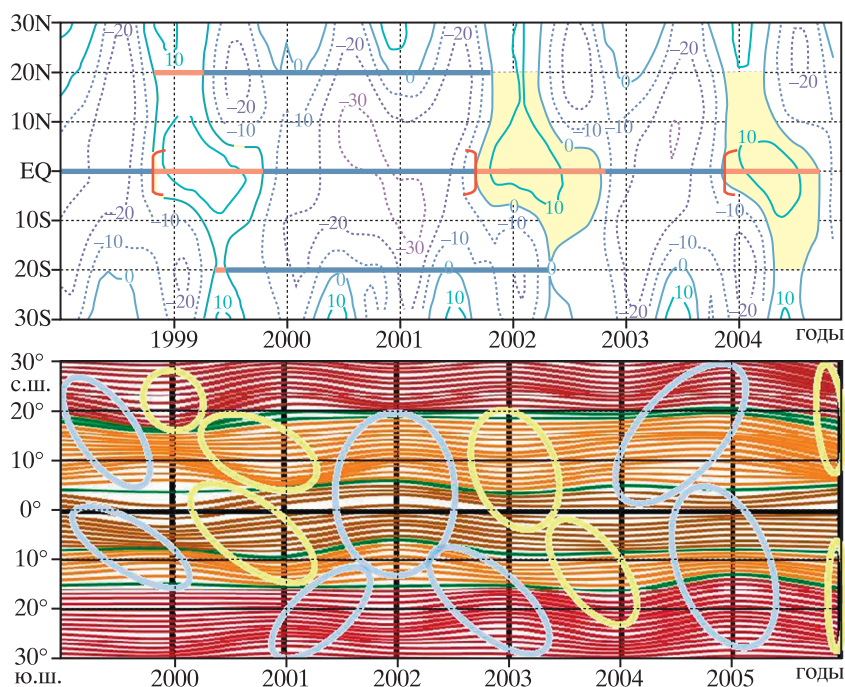


Рис. 5. Широтная структура среднего зонального ветра на уровне 20 Мб по данным реанализа NCEP (вверху) и кривые межгодовых отклонений Tl для тропической зоны с необходимым временным сдвигом (внизу).

