

**ИНТЕГРАЛЬНОЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ АТМОСФЕРЫ  
ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОМЕТРОВ И ERA-INTERIM  
НАД СЕВЕРО-ВОСТОКОМ ЕВРАЗИИ ЗА 1979–2015 гг.**

**М.С. Васильев**

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия  
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

**THE INTEGRAL MOISTURE CONTENT OF THE ATMOSPHERE,  
ACCORDING TO DATA OBTAINED FROM SUN-SKY PHOTOMETERS  
AND ERA-INTERIM OVER NORTH-EASTERN EURASIA IN 1979–2015**

**M.S. Vasiliev**

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia

---

**Аннотация.** Проведен анализ связи широтной динамики влагосодержания атмосферы  $W$  с солнечной активностью и квазидвухлетними колебаниями (КДК) зонального ветра в экваториальной стратосфере над северо-востоком Евразии за 1979–2015 гг.

Были использованы данные солнечных фотометров сети AERONET (ст. Якутск, ст. Томск, ст. Иркутск и ст. Даланзадгад) и ERA-Interim реанализа, который основан на регулярных метеорологических наблюдениях, аэрологической и спутниковой информации.

Обнаружена достоверно значимая корреляционная связь между среднегодовыми значениями  $W$  и восточной фазой КДК. В вариациях  $W$  в зависимости от географической широты наблюдается проявление фундаментальных циклов солнечной активности (Швабе, Хейла и Брюкнера).

**Ключевые слова:** влагосодержание атмосферы, солнечный фотометр, солнечная активность, квазидвухлетние колебания, тропосфера, стратосфера, реанализ.

**Abstract.** In the work, an analysis of relation of latitudinal dynamic of the atmospheric moisture content  $W$  to quasi-biennial oscillations (QBO) of zonal wind in the equatorial stratosphere and solar activity over the north-east of Eurasia during 1979–2015 was held.

The data of sun-sky photometers of the AERONET (st. Yakutsk, st. Tomsk, st. Irkutsk and st. Dalanzadgad) and ERA-Interim reanalysis which, is based on the regular meteorological observations, aerological and satellite information, were used.

It is found the reliably significant correlation between mean annual values of  $W$  and QBO during its eastern phase. At the same time, variations of  $W$  depending on geographical latitude reveal the fundamental cycles of solar activity (Schwabe, Hale and Bruckner).

**Keywords:** the moisture content of the atmosphere, sun-sky photometer, solar activity, quasi-biennial oscillations, troposphere, stratosphere, reanalysis.

---

**Введение**

КДК являются высокочастотной квазирегулярной изменчивостью атмосферы и климата Земли на межгодовых масштабах. Впервые КДК были обнаружены при смене направлений двух систем зональных ветров — западного (Берсона) и восточного (Кракатау). Изменение ветра с запада на восток и наоборот наблюдалось с периодом около 26 мес. [Reed, 1961]. КДК проявляются в изменении различных климатических переменных [Reed, 1961; Naujokat, 1986; Kiss, 2007] не смотря на то, что их механизмы формирования еще окончательно не выяснены. Например, в работе [Хайруллина, 2010] показано наличие КДК и 4–5-летних колебаний в тропосфере над Атлантическим и Тихим океанами в межгодовой изменчивости радиотеплового поля Земли (на частотах содержащих информацию о влаге- и водозапасе тропосферы) по данным микроволнового спутникового мониторинга. В настоящее время не вызывает сомнений факт существования циклической изменчивости климата, связанной с СА. Исследования, связанные с влиянием СА на погоду и климат, имеют длительную историю, однако до сих пор нет однозначного ответа на вопрос о реальном и

значимом (количественном) вкладе СА в климатические изменения.

В настоящей работе проведен анализ связи широтной динамики интегрального влагосодержания атмосферы с КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере и СА над северо-востоком Евразии за 1979–2015 гг.

**Материалы исследования**

В работе использованы данные среднемесячных значений «2» уровня солнечных фотометров сети AERONET (AErosol RObotic NETwork) [Holben, 1998] по влагосодержанию атмосферы ( $W$  [г/см<sup>2</sup>] — масса водяного пара, содержащаяся в столбе атмосферы (от данного уровня до верхней границы) единичного сечения). Из сети AERONET отобраны локальные станции наблюдения  $W$ , находящиеся в различных широтных зонах над северо-востоком Евразии: ст. Якутск (61° N, 129° E), ст. Томск (56° N, 85° E), ст. Иркутск (51° N, 103° E) и ст. Даланзадгад (43° N, 104° E), которая расположена в южной части Монголии.

Для выявления квазипериодических флуктуаций на протяжении длительного времени наблюде-

ния  $W$  привлечены данные ERA-Interim реанализа за период 1979–2015 гг. [ECMWF, 2007]. Были использованы «ячейки» с содержанием среднемесячных значений  $W$  и широтно-долготным разрешением  $0.125 \times 0.125^\circ$  вокруг локальных станций наблюдения. Информация о средних значениях (восточная фаза — положительные значения, западная фаза — отрицательные) индекса КДК на уровне 30 Мб получена по данным NOAA/ESRL PSD [<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/qbo.data>].

### Результаты и обсуждение

На начальном этапе исследования было проведено сопоставление данных ERA-Interim и локальных станций наблюдения  $W$  для дальнейшего использования реанализа, так как он охватывает более длительный период наблюдения. В сезонном ходе, данные реанализа и локальных станций достаточно хорошо отображают изменчивость  $W$ . Данные находятся в пределах среднего квадратического отклонения среднего арифметического значения результатов измерений ( $S_x$ ), полученных солнечными фотометрами. Максимальное расхождение между данными наблюдается в летний период как, например, над ст. Якутск. Однако, например, значение коэффициента корреляции Пирсона ( $R$ ) с уровнем значимости  $P=99\%$  при критическом значении  $r_{\text{крит}}=0.71$  между данными ERA-Interim и ст. Якутск в сезонном ходе  $W$  за период 2004–2015 гг. составило 0.99.

Известно, что КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере влияют на распространение внетропических планетарных волн и среднюю меридиональную циркуляцию атмосферы. Эффекты КДК наблюдаются не только вблизи экватора, но и во внеэкваториальной области в изменениях различных атмосферных параметров. Например, в работе [Погосян, 1997] было установлено, что при восточной фазе КДК во внетропических широтах преобладает меридиональная циркуляция атмосферы, а при западной фазе — зональная. В периоды преобладания меридиональной циркуляции усиливается междуширотный воздухообмен, приводящий к усилению циклогенеза, в Арктике и субтропической зоне. Восточные ветры в экваториальной стратосфере при этом становятся более устойчивыми.

С помощью метода спектрального анализа Фурье рассмотрены среднегодовые значения  $W$  с целью выявления циклической природы (КДК, либо иные квазирегулярные колебания). Обнаружено, что вне зависимости от географической широты, в среднегодовых вариациях  $W$  наблюдаются максимальные всплески («пики») на частотах, соответствующие диапазонам от 2 до 2.7 и от 3 до 4 лет. В свою очередь, диапазон колебания  $W$  от 2 до 2.7 лет, подобен и возможно напрямую связан с КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере. В связи с этим предположением было проведено сопоставление среднегодовых значений  $W$  со значениями индекса КДК при восточной и западной фазе. Достоверно значимая корреляционная связь ( $P=99\%$  при  $r_{\text{крит}}=0.42$ ) среднегодовых значений  $W$  и КДК наблюдается при восточной фазе над локальными станциями наблюдения. Коэффициенты корреляции

между  $W$  и восточной фазы КДК положительны и составляют: ст. Якутск —  $R=0.77$ ; ст. Томск —  $R=0.81$ ; ст. Иркутск —  $R=0.79$  и ст. Даланзадгад —  $R=0.78$ . При западной фазе КДК коэффициенты корреляции отрицательны и составляют: ст. Якутск —  $R=-0.78$ ; ст. Томск —  $R=-0.82$ , ст. Иркутск —  $R=-0.8$  и ст. Даланзадгад —  $R=-0.79$ .

В зависимости от широты наблюдения  $W$ , также проявляются «пики» на частотах, соответствующие периодам 7.2 (ст. Якутск), 12 (ст. Томск), 18 (ст. Иркутск) и 36 лет (ст. Даланзадгад). Периоды  $W$  составляющие 12, 18 и 36 лет соответствуют (близки) фундаментальным циклам СА. Например, 11-летнему циклу СА Швабе (Schwabe), циклу Хейла (Hale), равного удвоенному циклу Швабе и Брюкнера (Bruckner) — периодичность цикла около 35 лет (цикл выражает многолетние колебания климата от холодных и влажных лет к теплым и сухим на протяжении от 20 до 50 лет). Период  $W$  составляющий 7.2 года над ст. Якутск соответствует (может быть связан) вариациям магнитных полей солнечных пятен, которые имеют квазипериодичность, составляющую в среднем около восьми лет с положительными экстремумами среднегодовых значений, чаще всего попадающих на фазы роста и спада 11-летних циклов СА [Милецкий, 2001].

Следующее обстоятельство — это присутствие хорошо видимых трендовых компонент над ст. Томск и ст. Иркутск с максимумами (гребнями)  $W$  в эпоху нечетных циклов СА (21, 23) и минимумами (ложбинами) в эпоху четных (22, 24). Мы получили эти трендовые компоненты, аппроксимировав их полиномом пятого порядка. Максимум  $W$  над ст. Даланзадгад за исследуемый период наблюдается в эпоху минимума между четным 22-м и нечетным 23-м циклами СА.

### Заключение

Таким образом, проведенное исследование показывает, что наблюдается широтная связь влагосодержания атмосферы с КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере и СА. Обнаружена достоверно значимая корреляционная связь среднегодовых значений  $W$  и КДК при восточной фазе зонального ветра в экваториальной стратосфере над локальными станциями наблюдения. В тоже время в вариациях  $W$  в зависимости от географической широты наблюдается проявление фундаментальных циклов СА (Швабе, Хейла и Брюкнера). Представляет интерес дальнейшее исследование связи широтной динамики  $W$  с КДК и СА над другими регионами Евразийского материка при расширении диапазона используемых данных.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-05320а.

### Список литературы

Милецкий Е.В., Наговицын Ю.А. Временные вариации среднегодовых значений напряженности магнитных полей солнечных пятен / Труды конф. «Солнце в эпоху смены знака магнитного поля». СПб. 2001. С. 281–283.

Погосян Х.П., Павловская А.А. Аномалии атмосферной циркуляции приземного давления и температуры

в связи с квазидвухлетней цикличностью. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 78 с.

Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Квазидвухлетние колебания в структуре радиотеплового поля над Атлантическим океаном по данным микроволнового спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 3. С. 53–61.

ECMWF Newsletter No. 110 — Winter 2006/07 / Riddaway B. (ed) Reading: European Center for Medium Range Weather Forecast. 2007. P. 53.

Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., et al. AERONET — A federation instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66, N 1. P. 1–16.

Kiss P., Muller R., Janosi I.M. Long-range correlations of extrapolar total ozone are determined by the global atmospheric circulation // Nonlinear Processes in Geophysics. 2007. V. 14. P. 435–442.

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

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

URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/qbo.data> (дата обращения 31 марта 2017).