

СОСТОЯНИЕ ЦЕНТРОВ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ АТЛАНТИЧЕСКОГО И ТИХОГО ОКЕАНОВ: ПУТИ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ

Вершовский М.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Центры действия атмосферы (ЦДА) являются квазистационарными барическими образованиями, непосредственно определяющими как макропогодную и климатическую ситуацию в соответствующих регионах планеты, так и общую циркуляцию атмосферы в целом. Ключевая роль крупномасштабных вихрей в балансе углового момента глобальной атмосферы была убедительно продемонстрирована еще в середине прошлого века В. Старром и Р. Уайтом (Starr, White, 1951). Детальное рассмотрение проблемы обеспечения углового момента в структуре общей циркуляции атмосферы приводится Э. Лоренцем в его, ставшем уже классическим, труде (Лоренц, 1970). В тесной связи с этой проблемой находится гипотеза В. Старра, связавшая флуктуации скорости вращения Земли и изменения углового момента глобальной атмосферы общим уравнением баланса углового момента планеты (Starr, 1948).

В настоящее время влияние атмосферы на неравномерность скорости вращения Земли является практически общепризнанным фактом. Исследования в этой области ведутся уже несколько десятилетий и в большинстве своем сосредоточены на оценке вклада суммарного движения планетарной атмосферы в колебания скорости вращения Земли. Данные глобальных наблюдений (в слое от 1000 до 10 гПа) используются в численных моделях, позволяющих рассчитывать угловой момент импульса атмосферы в целом (Salstein, Rosen, 1986, и др.). В результате была надежно доказана тесная связь между изменениями углового момента глобальной атмосферной массы и колебаниями скорости вращения Земли с коэффициентом корреляции близким к 0,9.

Нам уже приходилось (Вершовский, 2006-1, 2006-2, 2007-2) писать о том, что при всех положительных моментах такого подхода, ему присущи и весьма серьезные недостатки, главным из которых, на наш взгляд, является исключение из общей модели региональных циркуляционных процессов. Иначе говоря, в данном подходе отсутствует поиск статистических и физически обоснованных связей флуктуаций скорости вращения Земли и состояния отдельных центров действия атмосферы.

В настоящей работе мы попытались дать краткий обзор многолетних тенденций состояния ЦДА Атлантического и Тихого океанов как в их статистической связи с колебаниями скорости вращения планеты, так и между собой. В качестве исходного материала для расчетов использовались среднемесячные данные приземных барических полей по глобальной сетке с шагом 2° за период 1900-2004 гг., полученные при содействии Национального центра атмосферных исследований США (NCAR). В качестве

показателя состояния ЦДА использовался индекс, предложенный автором (Вершовский, 2006-1, 2006-2). Расчет данного индекса проводился на основе статистической оценки метеорологических величин (Кондратович и др., 2001, 2006). В общем виде индекс интенсивности (I_{INT}) представляет собой безразмерную величину, принимающую значения от -24 до +24 и выражающую среднегодовую статистическую аномалию экстремумов давления (минимумов для циклонов и максимумов для антициклонов) в центре ЦДА.

Колебания скорости вращения Земли выражены через ΔLOD , т.е. через разность между непосредственно измеренной длительностью суток (ДС или LOD – Length Of Day) и стандартной длительностью суток, равной 86 400 эталонных секунд (IERS Annual Report, 2004).

Среднегодовые значения I_{INT} Азорского ЦДА на период с 1873 по 2004 г. (132 года) были сопоставлены со значениями ΔLOD за тот же отрезок времени. Значимая статистическая связь ($p\text{-level} < 0,01$) была обнаружена для временного лага (τ) от нуля до нескольких лет (коэффициент корреляции составил 0,50 – 0,55).

Гораздо более тесная корреляционная связь обнаружилась при сопоставлении сглаженного (9-летнего скользящего среднего) хода I_{INT} с ΔLOD (для которого, как и в первом случае, были взяты ежегодные средние значения этой величины). Коэффициент корреляции при значениях τ от 5 до 7 лет составил 0,82 (рис. 1).

Между ходом ΔLOD и интенсивностью Исландской депрессии (глубиной циклона) также была выявлена корреляционная зависимость. При этом было отмечено, что межгодовые изменения состояния Исландского ЦДА отличаются чрезвычайно высокой степенью хаотичности (значительно большей, чем у всех остальных центров действия атмосферы). В силу этого коэффициент корреляции между несглаженными среднегодовыми значениями I_{INT} Исландского циклона и ходом ΔLOD оказался недостаточно значимым для временного ряда с 1900 по 2004 гг. Однако при сопоставлении сглаженного (осреднявшегося за промежутки от 5 до 13 лет) хода I_{INT} с ΔLOD значимая статистическая связь была выявлена. Коэффициент корреляции для 11-летнего скользящего среднего составил $-0,75$ (при $\tau = 0$).

Еще более тесная корреляционная связь была обнаружена при сопоставлении хода летне-осеннего (июнь-ноябрь) I_{INT} с ΔLOD . На графике (рис. 2) значения 11-летнего осредненного летне-осеннего I_{INT} для большей наглядности инвертированы (даны с убыванием по оси ординат).

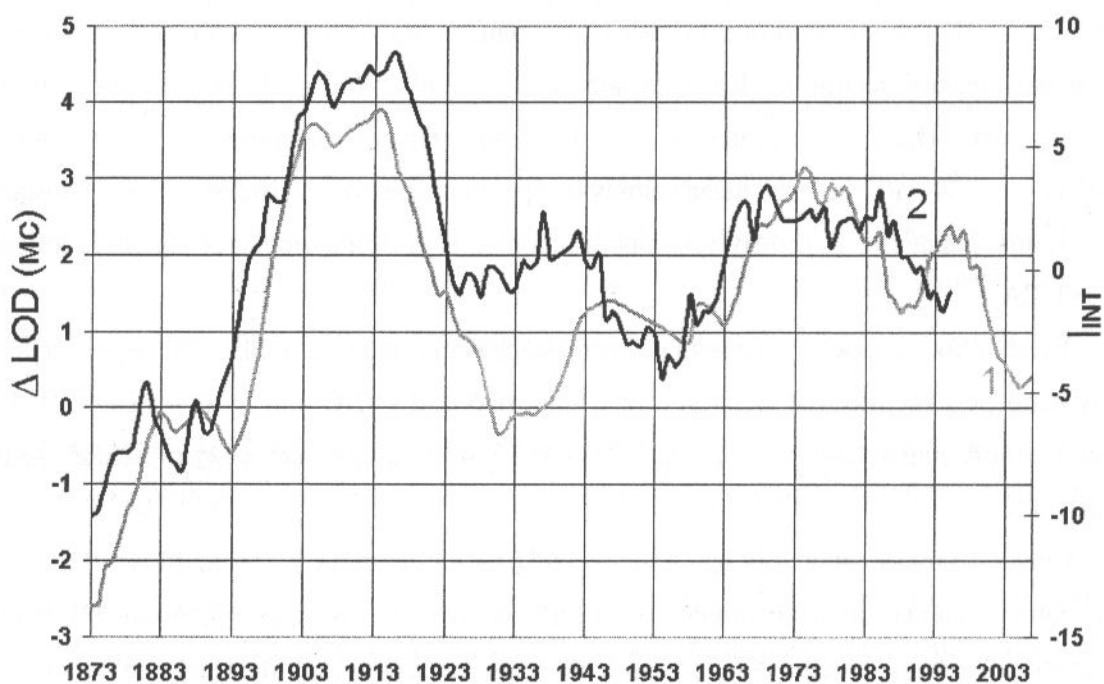


Рис. 1. Многолетний (1873-2004 гг.) ход ΔLOD (1) и I_{INT} Азорского антициклона (2) с лагом 5 лет ($\tau = 5$). Коэффициент корреляции $R = 0,82$.

Для двух пар ЦДА (Азорский – Исландский и Южно-Атлантический – Южно-Тихоокеанский центры действия атмосферы) были проведены статистические расчеты, в которых рассчитывалась корреляционная функция как для несглаженных рядов (т.е. среднегодовых значений I_{INT}), так и сглаженных значений индекса с использованием 11-летнего скользящего среднего.

В последнем случае (11-летнее осреднение) была выявлена высоко значимая корреляция ($p\text{-level} < 0,001$).

Коэффициент корреляции между ходом I_{INT} Исландской депрессии и соответствующим показателем для Азорского ЦДА составил 0,80 при лаге в 12 лет (рис. 3).

Корреляционная связь интенсивности Южно-Тихоокеанского ЦДА и Южно-Атлантического центра действия оказалась еще более тесной. Коэффициент корреляции без осреднения и сглаживания составил 0,71 при временном лаге 9 лет. При использовании сглаживания с помощью 11-летнего скользящего среднего этот коэффициент оказался равным 0,93 ($\tau = 7\text{-}8$ лет).

Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные значения коэффициентов корреляции в обоих случаях получены для весьма существенного сдвига во времени (7-9 лет для пары Южно-Атлантический – Южно-Тихоокеанский ЦДА и 12 лет для пары Исландский – Азорский ЦДА).

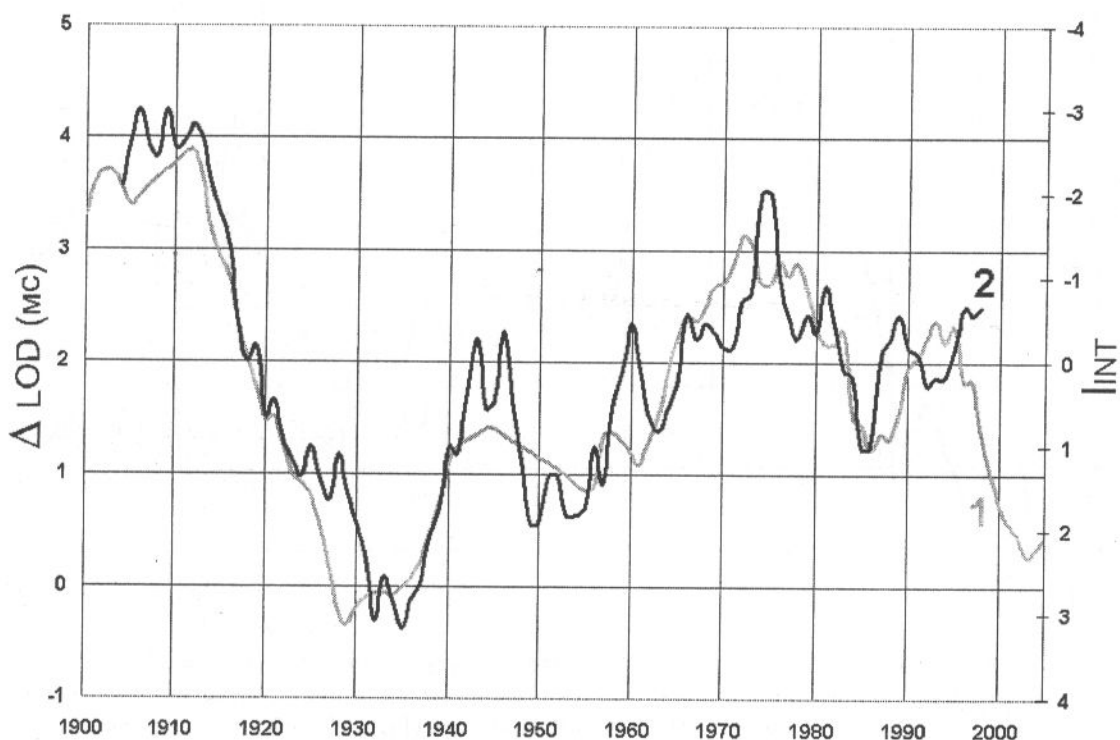


Рис. 2. Многолетний (1900-2004 гг.) ход Δ LOD (1) и летне-осеннего I_{INT} Исландской депрессии (2) со сдвигом в 1 год ($\tau = 1$). Коэффициент корреляции $R = -0,91$.

При этом R_{max} значительно превосходит значения R , полученные для синхронного сопоставления двух временных рядов ($\tau = 0$). На первый взгляд подобная картина может показаться странной. Некоторые исследователи проблемы взаимосвязи общей циркуляции атмосферы (ОЦА) с вариациями скорости вращения Земли впрямую утверждают, что столь больших долгопериодных колебаний в ОЦА нет, что атмосфера не обладает и не может обладать подобной инерционной «памятью», где действие и реакция на него отделены промежутками от нескольких лет до полутора и более (в случае других, не рассматриваемых здесь пар ЦДА) десятилетий (Abarca del Rio et al., 2003; Сидоренков, 2004).

Однако выше (см. рис. 1 и 2) мы уже видели высоко значимую статистическую связь между многолетним ходом среднегодовых значений интенсивности ЦДА Северной Атлантики и колебаний скорости вращения Земли. В предыдущих наших работах (Вершовский, 2006-1, 2007-1) было продемонстрировано, что временной лаг между изменениями индекса интенсивности I_{INT} и вариациями скорости вращения Земли нередко также измерялся промежутками от 1-2 до 10-12 лет.

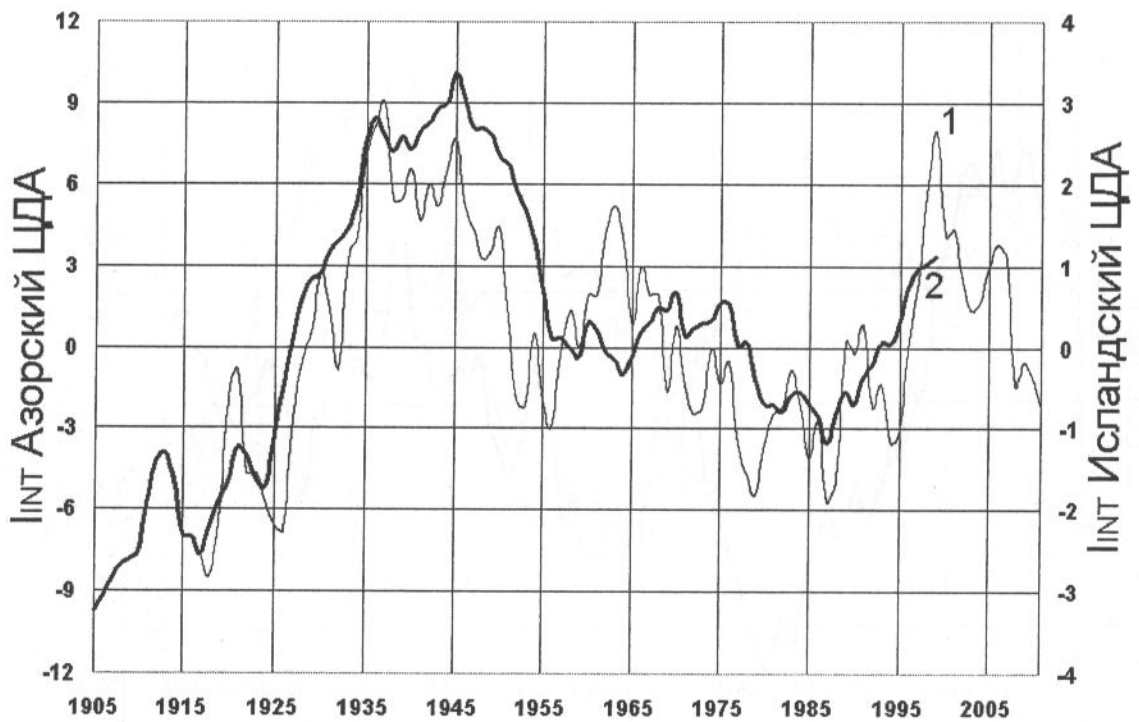


Рис. 3. Многолетний ход индекса интенсивности (I_{INT}) Исландской депрессии (1) и Азорского антициклона (2) со сдвигом 12 лет ($\tau = 12$). Коэффициент корреляции $R = 0,80$.

Ответ, как нам представляется, может заключаться в том, что система «атмосфера – земная кора – мантия – ядро» является единым целым, в котором происходят определенные автоколебательные процессы. В подобной единой системе атмосфера реагирует на вызванные ею в предшествующий период изменения скорости вращения планеты, ускоряя или притормаживая ее и тем самым вызывая новые колебания скорости вращения. При этом существенный временной сдвиг между действием и реакцией на него может объясняться временем, требующимся на передачу углового момента от атмосферы к твердым оболочкам Земли и далее от них к ее ядру, пребывающему в полурасплавленном состоянии – с последующим противодействием ускорившегося ядра силам, направленным на замедление вращения планеты (трансфер углового момента в данном случае происходит в противоположном направлении). С физической точки зрения такая картина вполне соответствует представлениям В. Старра (Старр, 1948), согласно которым суммарный угловой момент Земли как единой системы должен оставаться постоянным.

Наблюдающийся существенный лаг между ходом интенсивности отдельных ЦДА в сочетании с высокими значениями коэффициентов корреляции позволяет выделить и еще один момент, представляющий интерес для теории, но особенно важный для практики. Понятно, что линейная корреляция, будучи даже весьма значимой, указывает лишь на имеющуюся статистическую связь между двумя явлениями, не давая информации о том,

каким образом по изменениям одного из параметров можно судить об изменениях другого – и с какой степенью уверенности. Иной, и более существенный смысл, имеет коэффициент детерминации R^2 , смысл которого как раз и заключается в том, что он показывает, в какой степени поведение зависимой переменной описывается уравнением регрессии, а в какой должно быть отнесено к влиянию прочих, не учтенных линейной моделью, факторов.

Выше (рис. 1) мы видели, что коэффициент корреляции между сглаженными рядами индекса интенсивности Исландской депрессии и Азорского антициклона составил 0,80 для $\tau = 12$ лет. Таким образом, коэффициент детерминации R^2 равняется 0,64. Иначе говоря, 64% величины «зависимой» переменной (I_{INT} Азорского антициклона) определяется линейным уравнением регрессии:

$$y(x) = 2.4514x + 1,3476 \quad (1)$$

где аргументом является I_{INT} Исландского ЦДА, предваряющий ход «зависимой» от него функции на 12 лет вперед. Естественно, при сглаживании с помощью 11-летнего скользящего среднего такой заблаговременности получить не удастся, т.к. первые и последние 5 лет каждого ряда будут «отрезаны», войдя в осредненные значения. Однако остающееся 7-летнее опережение позволяет получить определенное представление о суммарных тенденциях состояния «зависимого» ЦДА на указанный выше срок, причем с определенностью (детерминацией) 64%, что представляет собой достаточно серьезный показатель.

Заметим на полях, что слово «зависимый» не случайно берется нами в кавычки. Речь в данном случае идет лишь о статистической взаимозависимости, которая сама по себе никоим образом не определяет характер возможной физической зависимости двух сопоставляемых параметров.

Вероятные тенденции изменения интенсивности Азорского ЦДА достаточно наглядно просматриваются и на самом графике хода двух интересующих нас переменных (см. рис. 1). При всех «бросках» кривой индекса интенсивности Исландского циклона все-таки заметно, что, начиная с конца 1990-х – начала 2000-х годов (речь об уже смещенном на 12 лет ряде осредненных значений), кривая движется вниз, в сторону уменьшения интенсивности. Следовательно, можно предполагать (с отмеченной выше определенностью 64%), что осредненная кривая индекса интенсивности Азорского антициклона последует за ней. Учитывая тот факт, что Азорский ЦДА является южным «плечом» Северо-Атлантического колебания (NAO), из полученных нами результатов уже можно было бы сделать весьма осторожный качественный прогноз суммарной тенденции

развития макропогодных и климатических условий, связываемых с NAO, на период в несколько лет.

Важно отметить, что здесь мы имеем дело со сглаженными по 11-летнему скользящему среднему значениями индекса интенсивности. В этом случае даже при весьма плотном следовании одной переменной за другой вовсе не исключаются межгодовые резкие смены направления (роста или падения индекса).

Интересными для возможного прогностического использования представляются и результаты статистического анализа хода индекса интенсивности двух ЦДА Южного полушария – Атлантического и Тихоокеанского (рис. 4).

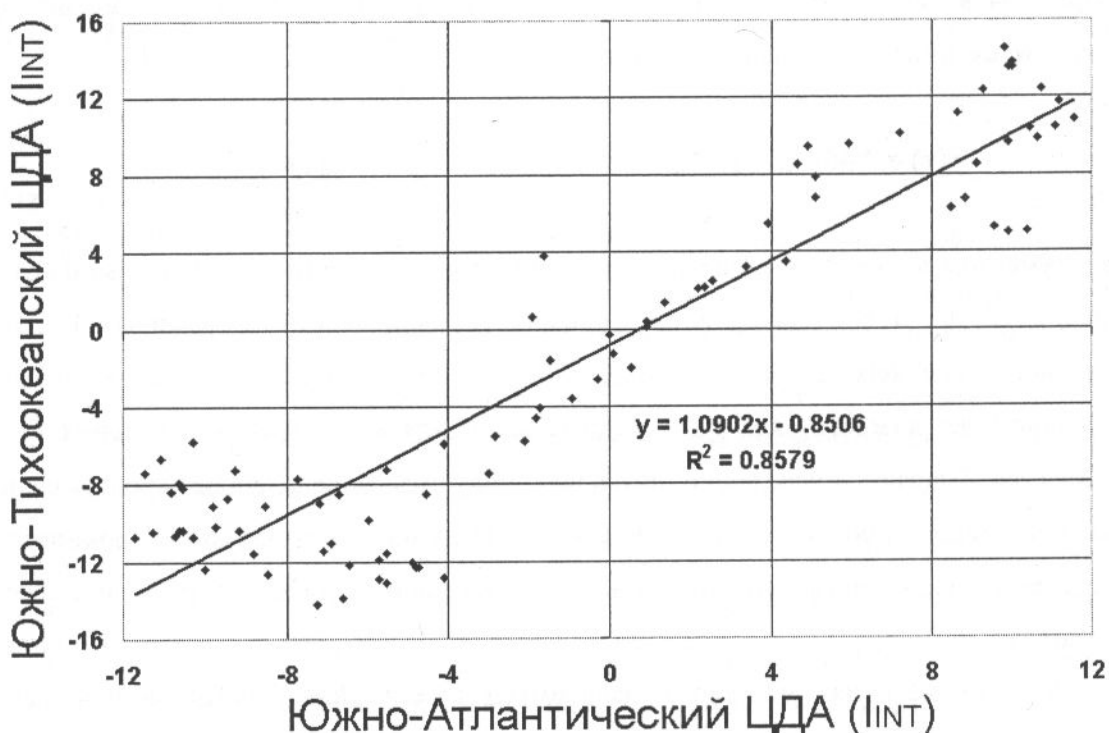


Рис. 4. Диаграмма рассеяния значений I_{INT} Южно-Атлантического/ Южно-Тихоокеанского ЦДА (по сглаженным методом 11-летнего скользящего среднего рядам) и регрессионная модель

В данном случае ход I_{INT} Южно-Атлантического антициклона предваряет ход этого же индекса для Южно-Тихоокеанского ЦДА. Максимальный коэффициент корреляции был получен для лага 7-8 лет ($R = 0,93$). Поскольку и в этом случае речь идет об 11-летнем скользящем осреднении (т.е. об исключении первых и последних 5 лет из каждого ряда), для возможного прогноза суммарной тенденции интенсивности ЦДА Южной Пацифики остается опережение в 2-3 года. В данном случае, однако, мы имеем дело с гораздо более значительным коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,86$), что позволяет надеяться на некоторое уравнивание неизбежных межгодовых изменений общей

тенденции (что при опережении в 2-3 года не может не сказаться) высоким уровнем детерминации полученной модели.

Следует отметить, что качественное прогнозирование состояния центров действия атмосферы и особенно Южно-Тихоокеанского антициклона имеет весьма существенное значение для рыбной промышленности. Нами было продемонстрировано (Вершовский, Кондратович, 2007), что интенсивность ЦДА Южной Пацифики и координатное (широтное) положение центра антициклона находятся в практически линейной зависимости ($R = 0,95$ при 11-летнем сглаживании без временного лага, т.е. при $\tau = 0$). При этом максимумы интенсивности рассматриваемого ЦДА и, соответственно, максимальное удаление центра антициклона от экватора совпадают с периодами повышенной частоты и силы явления Эль-Ниньо – т.е. периодами прекращения апвеллинга и резкого сокращения количества рыбных запасов.

Возможность дать оценку будущего состояния центров действия атмосферы – пусть даже качественную, в плане знака (направления) тенденции интенсивности – позволила бы сделать серьезный шаг в долгосрочном и климатическом прогнозировании. При этом, однако, стоит помнить, что существующая в природе многолетняя и отчетливо выраженная статистическая связь всегда может неожиданно прерваться или же кардинально изменить свой характер.

Литература

Вершовский М.Г. Азорский антициклон и колебания скорости вращения Земли. // В сб.: Вопросы промысловой океанологии, вып.3. – М.: Издательство ВНИРО. – 2006. – С. 163-170.

Вершовский М.Г. Центры действия атмосферы Атлантического океана и вариации скорости вращения Земли. // Электронный журнал "Исследовано в России", 275. – 2006. – С. 2651-2660. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/275.pdf>

Вершовский М.Г. Многолетние вариации скорости вращения земли как индикатор крупномасштабных изменений в атмосфере. // В сб.: Труды Третьей Международной научно-практической конференции "Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности", т.8. – СПб.: Издательство Политехнического университета. – 2007. – С. 187-189.

Вершовский М.Г. Статистические оценки многолетних изменений интенсивности центров действия атмосферы. // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ (Электронный ресурс). – 2007. – № 26 (2). – <http://ej.kubagro.ru/2007/02/pdf/14.pdf>

Вершовский М. Г., Кондратович К. В. Южно-Тихоокеанский субтропический антициклон: интенсивность и локализация. // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 12. – (В печати).

Кондратович К. В., Куликова Л. А., Вершовский М.Г. Антициклонические центры действия атмосферы и вариации скорости суточного вращения Земли. // В сб.: Вопросы промысловой океанологии, вып.3. – М.: Издательство ВНИРО. – 2006. – С. 152-162.

Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1970. – С. 136-150.

Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли. // Вестник Российской Академии Наук. – 2004. – Том 74, №8. – С. 701-715.

Abarca del Rio et al. Solar activity and Earth rotation variability. // J. of Geodynamics. – 2003. – Vol. 36. – P. 423-443.

IERS Annual Report 2003. – Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie. – 2004. – P. 24.

Salstein D.A., Rosen R.D. Earth rotation as a proxy for interannual variability in atmospheric circulation, 1860-present. // J. of Clim. and Appl. Meteor. – 1986. – Vol. 25. – P. 1870-1871.

Starr, V.P. An essay on the general circulation of the earth's atmosphere. // J. of Meteor. – 1948. – No. 5. – P. 39-43.

Starr V.P, White R.M. A hemispherical study of the atmospheric angular-momentum balance. // Q. J. Roy. Meteor. Soc. – 1951. – Vol. 77. – P. 215-225.