

Исследование связи характеристик Азорского антициклона и колебаний скорости вращения Земли

М.Г.Вершовский
(РГГМУ)

Данная работа посвящена исследованию вероятных связей между интенсивностью центров действия атмосферы (ЦДА) и неравномерностью скорости вращения Земли.

Отправным моментом исследования стала гипотеза В. Старра (Starr, 1948), сущность которой заключается в следующем. Рассматривая Землю как целостную закрытую систему, в соответствии с законом сохранения импульса можно утверждать, что глобальный баланс углового момента вращения Земли должен оставаться величиной постоянной. При этом принимается, что вращательный момент внешних сил, т.е. Луны и Солнца, во-первых, носит четко периодический характер и, во-вторых, в масштабах месяцев, лет и десятилетий оказывается несущественным, а следовательно, может быть исключен из общего уравнения баланса. (Стоит отметить, что неперiodические и недостаточно изученные влияния суммарной массы планет Солнечной системы также выносятся за рамки данной модели.)

При оговоренных таким образом граничных условиях следует полагать, что при наличии изменений в одном из компонентов глобального момента импульса должны происходить компенсаторные изменения в других компонентах с тем, чтобы обеспечивалось сохранение суммарного углового момента импульса:

$$dM/dt = 0 \quad (1)$$

где $M = M_{\text{атм}} + M_{\text{океана}} + M_{\text{льда}} + M_{\text{коры}} + M_{\text{мантии}} + M_{\text{ядра}}$ (Oort, 1989)

Результаты многолетних исследований данной проблемы, проводившихся учеными разных стран, позволяют с достаточной степенью уверенности считать, что основной вклад в обеспечение баланса глобального углового момента в упомянутых выше временных масштабах вносит атмосфера. В первую очередь это объясняется подвижностью воздушных масс, значительно превосходящей подвижность остальных оболочек и структур планеты. Скорости движения вещества в этих структурах и оболочках колеблются в пределах от нескольких см/год для мантии до нескольких см/с для океанских масс. В то же время скорости ветра достигают десятков м/с в приземном слое и более сотни м/с в струйных течениях. Во-вторых, оценки потенциального энергетического вклада различных оболочек планеты также подтверждают сделанный выше вывод. Мощности, необходимые для того, чтобы вызвать наблюдаемые флуктуации

в скорости вращения Земли должны быть уровня 10^{14} – 10^{15} Вт. Средняя мощность движения глобальной атмосферы по существующим оценкам составляет около $2 \cdot 10^{15}$ Вт. Мощность океанических течений на порядок ниже – около 10^{14} Вт. Мощности прочих геофизических процессов еще меньше: поток тепла из недр Земли – 10^{13} Вт, геомагнитные бури – 10^{12} Вт, землетрясения – 10^{11} Вт, извержения вулканов – 10^{11} Вт, и так далее по убывающей (Сидоренков, 2002).

В настоящее время колебания скорости вращения Земли принято выражать разностью между измеренной длительностью суток (ДС или LOD – Length Of Day) и стандартной длительностью суток, принятой за 86 400 секунд. Таким образом, вариации скорости вращения Земли выражаются опосредствованным образом через Δ LOD (IERS Annual Report, 2004). При этом положительные значения Δ LOD указывают на увеличение длительности суток относительно эталона и, соответственно, на замедление вращения Земли.

Типичные внутригодовые (сезонные) колебания Δ LOD с характерной амплитудой порядка 1–1,5 мс и многолетние колебания Δ LOD (по среднегодовым данным) приводятся на рис. 1 и 2.

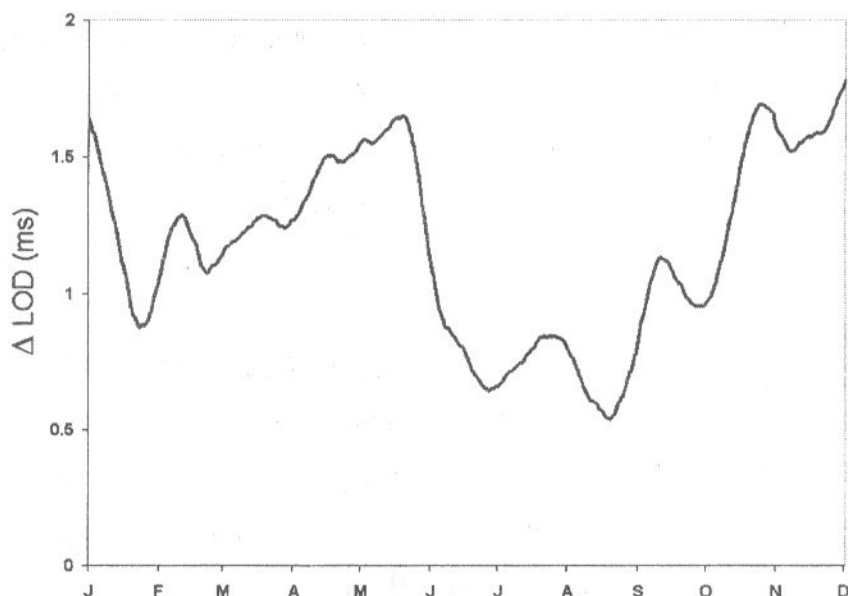


Рис. 1. Внутригодовые изменения Δ LOD в 1962 г.

После создания в 1955 г. атомных часов и введения атомного времени ТА, а также по мере развития современной технологии (спутниковые наблюдения, лазерная локация и т.д.) точность измерения флуктуаций скорости вращения Земли стала составлять порядка 20 микросекунд, т.е. 10^{-1} – 10^{-2} от измеряемой величины (IERS Annual Report, 2004). Однако и измерения прежних лет, базировавшиеся на астрономических наблюдениях и

уточненные с помощью ретроспективного анализа, по мнению большинства исследователей этой проблемы позволяют считать достаточно надежными данные Δ LOD уже с 1860-х годов (Salstein, Rosen, 1986).

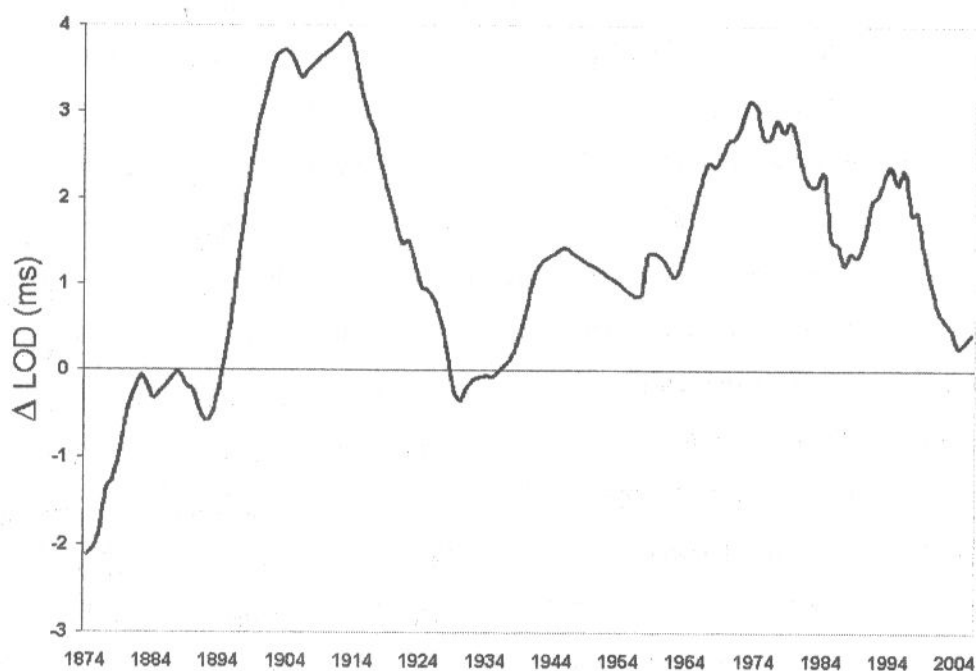


Рис. 2. Многолетние изменения Δ LOD с 1873 по 2005 гг.

Как было сказано выше, исследования в области поиска связи между атмосферными процессами и вариациями скорости вращения Земли успешно ведутся вот уже несколько десятилетий. При всем разнообразии подходов в подобных исследованиях обнаруживается и общая доминанта, что позволяет охарактеризовать их в целом.

Проведенные работы в подавляющем большинстве сосредоточены на оценке вклада суммарного движения планетарной атмосферы в колебания скорости вращения Земли. Данные глобальных наблюдений (в слое от 1000 до 1 гПа) используются в численных моделях, позволяющих рассчитывать угловой момент импульса атмосферы в целом (Salstein, Rosen, 1986, и др.). Подобный подход имеет свои несомненные преимущества, но, как нам представляется, и определенные недостатки.

К первым следует отнести тот факт, что в результате была надежно доказана тесная связь между изменениями углового момента глобальной атмосферной массы и колебаниями скорости вращения Земли ($r \geq 0,90$). Отсюда же вытекает возможность использования Δ LOD в качестве индикатора глобальных процессов в атмосфере.

С другой стороны, глобальный подход к проблеме вынужденно исключает из общей модели региональные циркуляционные процессы. Он демонстрирует высокую

степень надежности при анализе сезонных (и отчасти межгодовых) изменений глобальной атмосферной динамики в увязке с ΔLOD , однако многолетние вариации скорости вращения Земли упомянутыми выше моделями не рассматриваются. Следует отметить и то, что использование результатов проведенных исследований в целях практического прогнозирования остается задачей, все еще ждущей своего решения.

Учеными кафедры ДАКЗ РГГМУ (Кондратович К.В. и др., 2000) был предложен принципиально иной метод, позволяющий сопоставлять интенсивность отдельных ЦДА с вариациями скорости вращения Земли. Многолетний ряд среднемесячных значений экстремумов давления (максимумов для антициклонов и минимумов для циклонов) был разбит на пять равновероятностных градаций интенсивности с тем, чтобы каждая градация включала равное количество лет. В зависимости от того, в какую из пяти градаций попадал тот или иной месяц, ему присваивалась качественная оценка интенсивности: значительно выше нормы (A), выше нормы (a), нормальная (N), ниже нормы (b) и значительно ниже нормы (B). После этого суммарное количество месяцев каждой градации сопоставлялось с экстремальными значениями ΔLOD ($\Delta LOD \geq 2$ ms и $\Delta LOD \leq 0.5$ ms). Полученные результаты продемонстрировали, что в большинстве исследованных ЦДА отмечалось соответствие между «быстрым» и «медленным» (относительно стандартной длины суток) вращением Земли и градациями интенсивности ЦДА («ниже нормы» и «выше нормы» соответственно). В дальнейшем данный метод был пересмотрен с тем, чтобы включить в анализ градации ΔLOD , охватывающие всю амплитуду многолетнего хода этой переменной, что позволяет охватить и годы, остававшиеся прежде за пределами периодов с экстремальными значениями ΔLOD .

Автором настоящей работы был предложен метод расчета среднегодовых «индексов интенсивности» ЦДА, ход которых затем сопоставлялся с многолетними среднегодовыми изменениями ΔLOD . Результаты применения этого метода приводятся здесь для Азорского антициклона – ЦДА, для которого имеется наиболее длительный и надежный ряд наблюдений. (Этот же метод был опробован для выявления возможных связей интенсивности основных ЦДА Северного и Южного полушарий с колебаниями ΔLOD .)

Схема расчета индексов интенсивности ЦДА (I_{INT}) предельно проста. В качестве исходного материала использовались среднемесячные качественные оценки интенсивности, полученные по методике, описанной выше (Кондратович К.В. и др., 2000).

Эти среднемесячные оценки были заменены количественными «баллами интенсивности» по следующей схеме: B = -2, b = -1, N = 0, a = 1, A = 2. Полученные среднемесячные баллы суммировались за год, давая в результате среднегодовой индекс интенсивности I_{INT} (табл. 2).

Таблица 1. Среднемесячные оценки интенсивности Азорского антициклона за 1900-1901 гг.

Год	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1900	N	B	N	N	a	A	B	a	a	N	A	a
1901	B	B	b	N	B	a	N	b	N	A	N	b

Таблица 2. Среднемесячные «баллы интенсивности» и суммарный годовой индекс I_{INT} Азорского антициклона за 1900-1901 гг.

Год	Месяцы												I_{INT}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1900	0	-2	0	0	1	2	-2	1	1	0	2	1	4
1901	-2	-2	-1	0	-2	1	0	-1	0	2	0	-1	-6

Очевидно, что полученные таким образом среднегодовые индексы интенсивности I_{INT} могут колебаться в пределах от -24 до $+24$.

Рассматривалась и возможность использования вместо среднемесячных «баллов интенсивности» непосредственно экстремальных значений давления в те же месяцы с последующим вычислением среднегодового экстремального давления в исследуемом ЦДА. Однако предложенный нами метод использования индексов интенсивности представляется предпочтительным. Безусловно, заменяя экстремальные месячные значения давления безразмерными единицами, изменяющимися в пределах от -2 до $+2$, мы в определенной степени сглаживаем внутригодовой ход экстремумов давления, теряя тем самым часть информации. Тем не менее, применяемая методика имеет свои преимущества.

Во-первых, рекордно низкие значения максимального давления в отдельно взятые 2-3 месяца могут дать в результате довольно умеренное значение среднегодового максимума даже в тех случаях, когда в остальные месяцы года значения максимумов превосходили норму. (Очевидно, что вполне вероятны и ситуации «обратного знака», ведущие к аналогичному искажению общей картины.) В применяемой нами методике такого рода искажения сведены к минимуму.

Во-вторых, применяя предложенный индекс интенсивности I_{INT} , оказывается возможным а) использовать одну и ту же методику анализа и критерии сопоставления с ходом ΔLOD как антициклонических, так и циклонических ЦДА, а также б) сопоставлять многолетний ход интенсивности антициклонов и циклонов между собой.

Полученные описанным выше способом значения I_{INT} Азорского ЦДА на период с 1873 по 2004 г. (132 года) были сопоставлены со значениями ΔLOD за тот же отрезок времени.

Таблица 3. Значения корреляционной функции I_{INT} относительно колебаний ΔLOD за 1873-2004 гг. с шагом 1 год.

τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
r	0,50	0,54	0,55	0,55	0,53	0,52	0,50	0,50	0,49

Из приведенной таблицы следует, что при значениях τ от нуля до нескольких лет наблюдается статистически значимая корреляционная связь между ходом двух исследуемых переменных.

Еще более тесная корреляционная связь была обнаружена при сопоставлении сглаженного (осреднявшегося за 9-летние промежутки) хода I_{INT} с ΔLOD . Коэффициент корреляции при значениях τ от 1 до 3 составил 0,85. На графике (рис. 3) значения 9-летнего осредненного I_{INT} даны со сдвигом в 3 года (4-й год I_{INT} приведен к 1-му году ΔLOD), что соответствует $\tau = 3$. Значения I_{INT} и ΔLOD на оси ординат для соизмеримости амплитуд были приведены в соответствие с помощью уравнения:

$$\Delta \text{LOD (ms)} = I_{\text{INT}} \cdot 0,3 + 1 \quad (2)$$

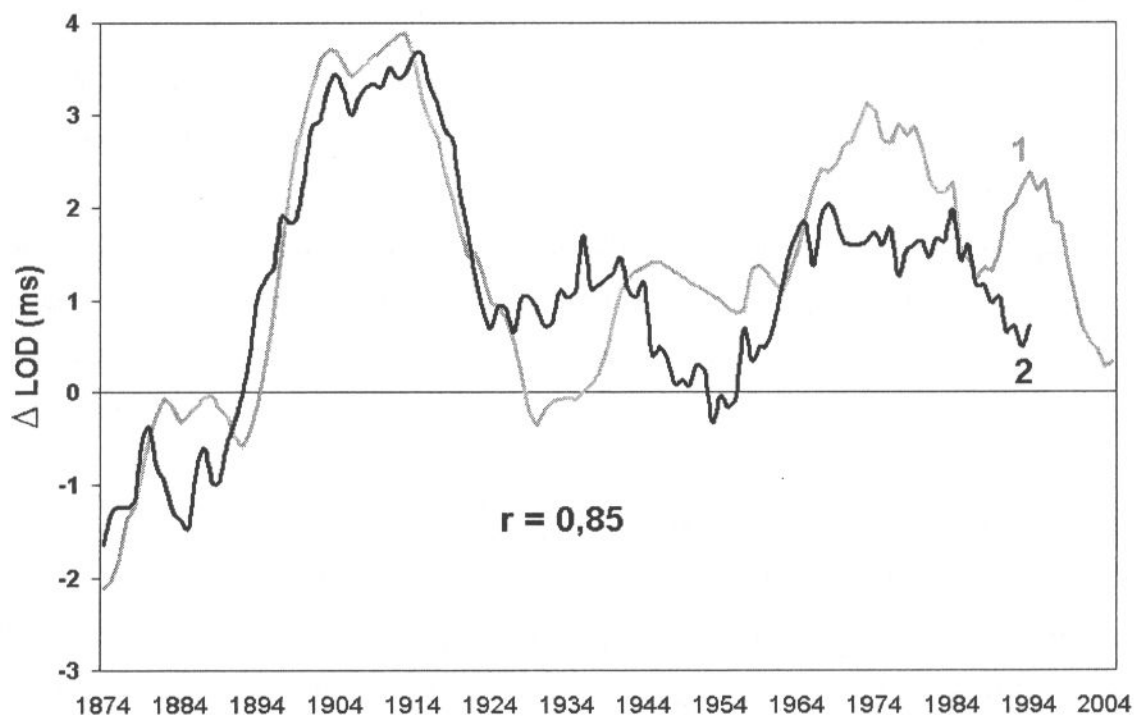


Рис. 3. Многолетний (1873-2004 гг.) ход ΔLOD (1) и I_{INT} Азорского антициклона (2) со сдвигом в 3 года.

Следует отметить, что, несмотря на достаточно высокий коэффициент корреляции (0,85) за весь период в целом, тесная связь между ходом двух переменных при использованном сдвиге в 3 года существенно ослабляется во второй половине и особенно в последней трети рассматриваемого периода. Для выяснения вопроса о том, исчезает ли связь между двумя переменными или же меняет свой характер, был отдельно рассмотрен период 1940-2004 гг. Наиболее тесная связь была обнаружена при сдвиге в -7 лет (1-й год I_{INT} приведен к 7-му году ΔLOD). Для приведения амплитуд ΔLOD и I_{INT} к соизмеримости мы воспользовались уравнением, аналогичным (2).

$$\Delta LOD (ms) = I_{INT} \cdot 0,3 + 1,5 \quad (3)$$

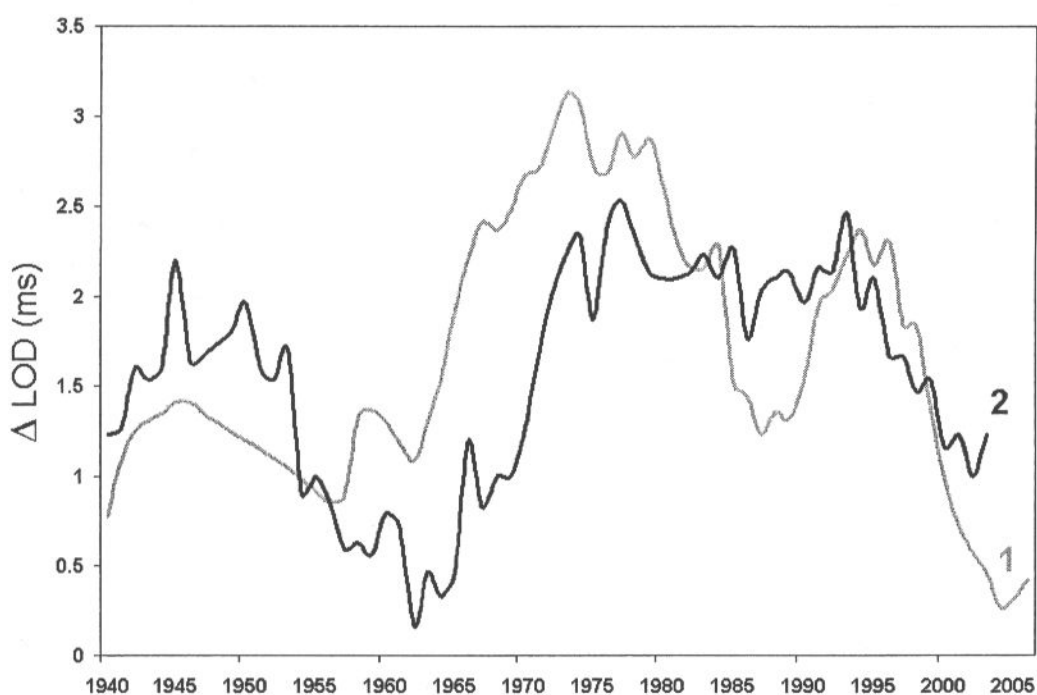


Рис. 4. Ход ΔLOD (1) и I_{INT} Азорского антициклона (2) со сдвигом в -7 лет (1940-2004 гг.).

На приведенном графике ход обеих кривых демонстрирует заметную синхронность, т.е. связь между изменениями ΔLOD и I_{INT} , хотя и меняет свой характер (в конце 1930-х гг.), обнаруживается и в этом случае.

Таким образом, проделанная работа с использованием методики «индексации интенсивности» ЦДА позволила обнаружить наличие значимой корреляционной связи между интенсивностью Азорского антициклона и колебаниями скорости вращения Земли. В связи с этим представляется обоснованным предположение о том, что флуктуации

скорости вращения Земли связаны не только с динамикой глобальной атмосферы в целом, но и с состоянием отдельных региональных центров действия атмосферы.

Список литературы

Кондратович К. В., Куликова Л. А., Федосеева Н. В. Изменения атмосферных макропроцессов и температуры водной поверхности Атлантики в XX веке // В сб.: Тимонов В.В. К 100-летию со дня рождения – СПб.: Изд. РГГМУ – 2001 – С. 30-37.

Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли – СПб.: Гидрометеоиздат. – 2002 – С. 7-8.

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

Oort A.H. Angular momentum cycle in the atmosphere-ocean-solid earth system // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1989 – Vol. 70 – No. 10 – P. 1233.

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.