

О ПРИРОДЕ АТМОСФЕРНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ПЕРИОДАМИ 27.32 И 13.78 СУТОК

Перцев Н.Н.¹, Далин П.А.², Перминов В.И.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Шведский институт космической физики, Кируна, Швеция

e-mail: n.pertsev@bk.ru, pdalin@irf.se, v.i.perminov@yandex.ru

В земной атмосфере неоднократно обнаруживались колебания с периодами 27.32 и 13.78 сут, которые приписывались лунно-приливному механизму происхождения. В настоящей работе показано, что, по крайней мере, в трех солнечных индексах также есть спектральные максимумы с такими или очень близкими периодами, и выдвигается и обосновывается гипотеза солнечного происхождения обсуждаемых атмосферных колебаний.

Введение. В нижней и средней атмосфере неоднократно обнаруживались колебания с периодами 27.32 и 13.78 сут [1–4]. До сих пор оба они приписывались лунным гравитационным приливам. Первое из них связывалось с лунным сидерическим месяцем, в течение которого проекция Луны на плоскость эклиптики совершает оборот относительно звезд, он же совпадает с промежутком времени между двумя максимумами или двумя минимумами лунного склонения. Второе из этих колебаний обнаруживалось по немонотонной зависимости атмосферных данных от расстояния D между центрами Земли и Луны с экстремумом вблизи среднего значения $D_{aver}=384\,400$ км и интерпретировалось как вторая гармоника лунного аномалистического месяца 27.56 сут, проходящего между двумя минимумами или двумя максимумами D . Однако лунная гипотеза происхождения этих колебаний сталкивается с трудностями, прежде всего, ожидаемой из модели гравитационных приливов их малой величины [4]. В настоящей презентации предлагается и обосновывается гипотеза солнечного происхождения этих колебаний.

Проблемы лунной гипотезы. Основная проблема лунной гипотезы заключается в малой ожидаемой величине этих колебаний исходя из общепринятого разложения лунного гравитационного потенциала [5] на гармонические составляющие. Амплитуда колебания приливных ускорений, связанных с колебанием 27.32 сут, должна быть примерно на порядок меньше, чем для месячного аномалистического прилива с периодом 27.55 сут, связанного с изменением расстояния до Луны [4], однако даже выявление последнего из атмосферных данных остается под вопросом. Такие же проблемы малой величины возникают и у колебания 13.78 сут, если интерпретировать его как вторую гармонику месячного аномалистического лунного прилива.

Солнечная гипотеза. При поисках других объяснений происхождения обсуждаемых колебаний оказалось, что спектры вариаций всех из испытанных авторами солнечных индексов, а именно: среднего магнитного поля Солнца (*MSMF*) [6], потока солнечного излучения в линии Лайман-альфа (*Ly α*) [7], международного индекса числа солнечных пятен (*ISN*) [8], содержат максимумы на тех же или весьма близких периодах (рис. 1-3).

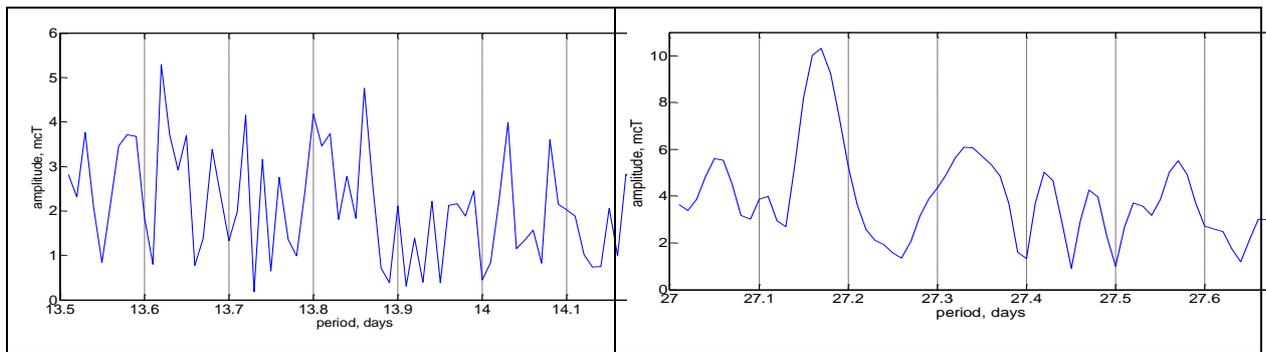


Рисунок 1 – периодограммы *MSMF* в окрестности периодов 13.78 и 27.32 сут, рассчитанные по ежедневным данным [6] с 16.05.1975 по 19.03.2024.

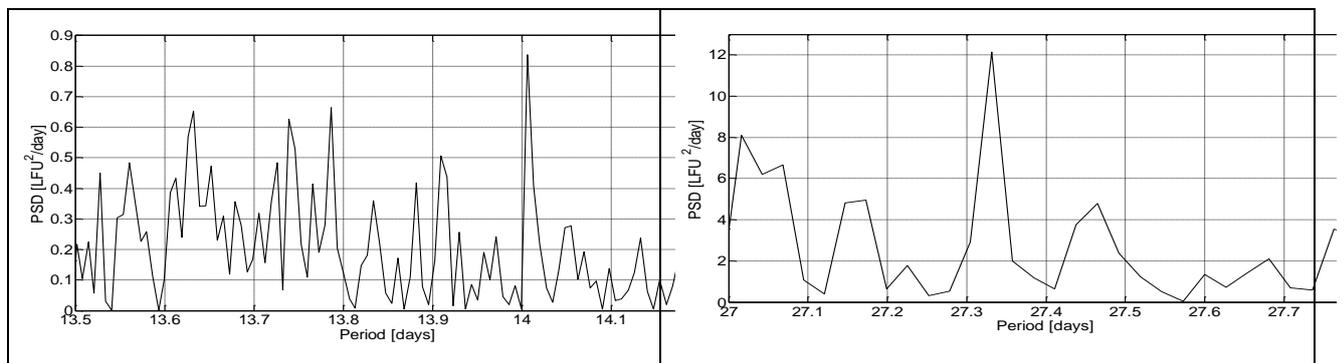


Рисунок 2 – спектральная плотность автоспектра индекса *Ly α* в окрестности периодов 13.78 и 27.32 сут, рассчитанная по ежедневным данным [7] с 14.02.1947 по 13.02.2024. Единица *Ly α* – $1 \text{ LFU} = 1 \cdot 10^{11} \text{ photon cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Спектральное разрешение и различимость солнечных и лунных пиков. Поскольку обсуждаемые осцилляции обнаруживаются в геофизических (по крайней мере, атмосферных) данных, возникает вопрос об их природе. При этом совпадение или близость солнечных и лунных периодов обычно не принимается во внимание, и сам факт обнаружения статистически значимой зависимости от лунно-приливных осцилляций в спектральном, регрессионном анализе или методе наложенных эпох выдается за доказательство или высокую вероятность

обнаружения соответствующих лунных колебаний в геофизических данных. Ниже на двух примерах будет показана ошибочность такого подхода.

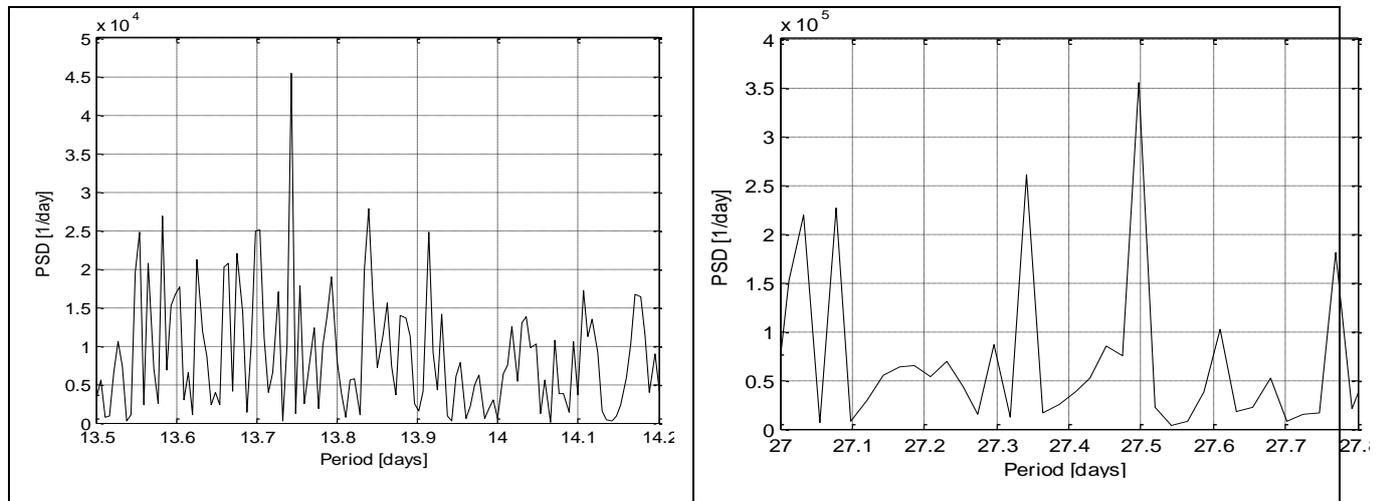


Рисунок 3 – спектральная плотность автоспектра индекса *ISN* в окрестности периодов 13.78 и 27.32 сут, рассчитанная по ежедневным данным [8] с 01.01.1932 по 23.02.2024.

Тест на обнаружение исследуемых осцилляций в солнечных данных. Прямое восхождение (*RA*), и склонение Луны изменяются с периодом, равным 27.32166 сут. (тропический или лунным сидерический месяц). Проверка показывает, что солнечные данные, а именно, *Ly α* и *ISN* с вероятностью 99.9% демонстрируют линейную зависимость от синусоиды с периодом *RA*. И то, и другое проверялось, с предварительным вычитанием 61-дневного скользящего среднего, на интервале 1962–2019 гг. Как видно из таблицы 1, спектральный анализ выделяет с весьма высокой вероятностью спектральную компоненту с любым периодом в интервале 27.32–27.33 сут., причем фаза этого колебания остается постоянной с малой погрешностью в течение всех анализируемых 57 лет. Аналогично, вторая гармоника аномалистического прилива выделяется в солнечных данных с вероятностью 90%. Результаты линейного мультирегрессионного анализа, показанные в таблице 2, однозначно свидетельствуют о присутствии обеих исследуемых осцилляций в индексах *ISN* и *Ly α*. Используется регрессионная модель, подгоняющая данные *ISN* или *Ly α* к функции $c1 \cdot X1 + c2 \cdot X2 + const$, с базисными переменными $X1 = \cos\left(\frac{2\pi}{24ч}(RA - F)\right)$ и $X2 = (D/D_{aver} - 1)^2$ и подгоночными параметрами *c1*, *c2* и *F*. Здесь *F* – фаза максимума, *X1* – лунные колебания с периодом сидерического (тропического) месяца, *X2* – вторая гармоника лунного аномалистического месяца. Последняя зависимость оказалась статистически значимой в

данных *ISN* с вероятностью 90%, а в данных *Ly α* с вероятностью более 95%. Синусоида *XI*, привязанная к прямому восхождению Луны, выделяется как статистически значимая с еще более высокой вероятностью.

Таблица 1. Регрессионный отклик потока *Ly α* (1962–2019 гг.) на синусоиды заданного периода. Жирным шрифтом выделены спектральные максимумы вблизи основного синодического периода вращения Солнца (27.2753 сут [9]) и лунного тропического месяца 27.3217 сут.

Период, сут	Амплитуда, LFU, погрешность указана для вероятности 99.99 %	Вероятность значимости, %	Фаза (сут.)
27.25	0.0056 ± 0.0063	99.95	26.3
27.26	0.0099 ± 0.0063	>99.99	18.5
27.27	0.0125 ± 0.0063	>99.99	12.7
27.2753	0.0121 ± 0.0063	>99.99	9.7
27.28	0.0107 ± 0.0063	>99.99	6.9
27.29	0.0071 ± 0.0063	>99.99	25.9
27.30	0.0126 ± 0.0063	>99.99	16.7
27.31	0.0219 ± 0.0063	>99.99	11.0
27.32	0.0282 ± 0.0062	>99.99	6.0
27.3217	0.0288 ± 0.0062	>99.99	5.2
27.33	0.0297 ± 0.0062	>99.99	1.05
27.34	0.0272 ± 0.0062	>99.99	23.4
27.35	0.0230 ± 0.0063	>99.99	18.4
27.36	0.0184 ± 0.0063	>99.99	13.8
27.37	0.0136 ± 0.0063	>99.99	10.1

Таблица 2. Результаты регрессионного теста на присутствие «лунных» осцилляций в *ISN* и *Ly α* (1962–2019 гг.). Погрешности указаны для вероятности 90%.

Анализируемая функция	<i>F</i> , ч	<i>c</i> 1, ед. <i>ISN</i> или <i>Ly α</i>	<i>c</i> 2, ед. <i>ISN</i> или <i>Ly α</i>
<i>ISN</i>	20.8	2.6±0.5	320±320
<i>Ly α</i>	21.0	0.028±0.003	2.8±1.6

Итак, аналогичные аналитические результаты для соответствующих осцилляций в геофизических данных можно истолковывать и в пользу солнечных, и в пользу лунно-приливных колебаний. Однако малость соответствующих осцилляций в теории лунных гравитационных приливов свидетельствует об их вероятном солнечном происхождении.

Выводы. 1. Близость некоторых солнечных и лунных периодов заставляет пересмотреть прежние результаты о происхождении соответствующих осцилляций в атмосфере Земли. 2. Анализ атмосферных осцилляций с периодами 27.32 и 13.78 сут показывает, что они связаны скорее с солнечным, чем с лунно-приливным воздействием.

Благодарности. В части анализа солнечных и атмосферных данных работа выполнялась в рамках темы Госзадания 125021001819-8 Института физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН.

1. *Dalin P.A., Pertsev N.N., Romejko V.A.* Significance of lunar impact on Noctilucent Clouds // *J. Atm. Sol.–Terr. Phys.* 2006. V. 68. No. 14. P. 1653–1663. DOI:10.1016/j.jastp.2006.06.005

2. *Krahenbuhl D.S., Pace M.B., Cerveny R.S., Balling R.C. Jr.* Monthly lunar declination extremes' influence on tropospheric circulation patterns // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2011. V. 116. D23121. DOI:10.1029/2011JD016598

3. *Перцев Н.Н., Далин П.А., Перминов В.И.* Лунные приливы в области мезопаузы по данным о летней температуре излучающего гидроксила // *Геомагнетизм и аэрномия.* 2021. Т. 61. № 2. С. 259–266. DOI: 10.31857/S0016794021020103

4. *Pertsev N., Dalin P., Perminov V.* The 27.3-day oscillation in the lunar tidal theory and in atmospheric data // *J. Atm. Sol.–Terr. Phys.* 2023. V. 242. 106002. DOI:10.1016/j.jastp.2022.106002

5. *Doodson A.T.* The harmonic development of tide-generating potential // *Proc. Roy. Soc. Lond.* 1921. A100, 305–329. <https://archive.org/details/philtrans08044568/page/n23/mode/2up>.

6. Complete MF time series. 2024. http://wso.stanford.edu/meanfld/MF_timeseries.txt (Last accessed 27.12.2024).

7. Composite_lya.dat updated on 10-Nov-2024 17:00:12.00. 2024.

https://lasp.colorado.edu/data/timed_see/composite_lya/version3/composite_lya.dat (Last accessed 11-Nov-2024).

8. SIDC, 2024. International Sunspot Number – Daily. https://www.sidc.be/SILSO/DATA/SN_d_tot_V2.0.txt (Last accessed 31-Jul-2024).

9. *Hanslmeier A.* The Sun and space weather, second ed. Springer, Dordrecht. 2007.