

Механизмы формирований естественных синоптических периодов.

Сидоренков Николай Сергеевич. e-mail: sidorenkov@mecom.ru

Гидрометцентр России, Москва, Россия

Mechanisms of formation of the synoptic periods

Nikolay S. Sidorenkov, E-mail: sidorenkov@mecom.ru

Hydrometeorological Centre of Russia, Moscow, Russia

Abstract. Discovered by the author, synchronization in the development of atmospheric synoptic processes and tidal oscillations of the Earth's rotation rate is described. Data on the Earth's monthly rotation, tidal oscillations of the Earth's rotation rate are presented. The causes of the formation of Mul'tanovskii's elementary synoptic periods are explained. It was found that synoptic processes vary when the Earth is in certain positions on its monthly orbit.

Key words: lunar-solar tides; rotation of the Earth; natural synoptic periods; synchronization of oscillations

Месячное обращение Земли

Луна и Земля обращаются вокруг центра масс (барицентра) системы Земля-Луна с месячным периодом. Центр масс Земли (геоцентр) удален от барицентра в среднем на расстоянии 4670 км. (Сидоренков, 2002; Sidorenkov, 2009). Размер месячной орбиты Земли в 81 раз меньше лунной. Кроме того, мы находимся на Земле и не можем ни чувствовать, ни следить за ее месячным обращением вокруг барицентра. Поэтому в дальнейшем, рассматривая эффекты месячного обращения Земли в земных процессах, будем рассматривать месячное обращение Луны, которое в увеличенном в 81 раз масштабе и со сдвигом долготы на 180° повторяет все особенности месячного обращения Земли.

Система Земля-Луна обращается вокруг Солнца (рис. 1). Притяжения Луны и Солнца порождают на Земле лунно-солнечные приливы.

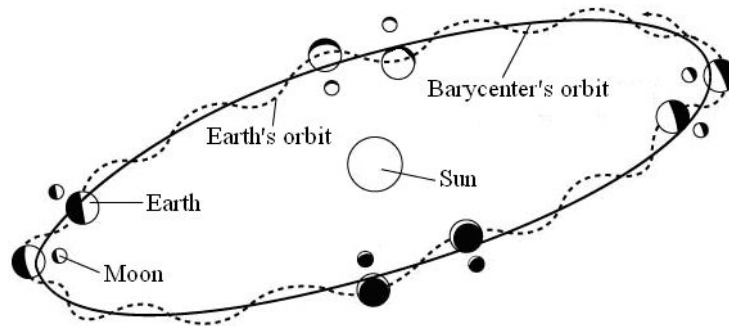


Figure 1. Rotation of the Earth–Moon system around the Sun.

Приливы деформируют Землю, изменяют её момент инерции и оказывают заметное влияние на угловую скорость суточного вращения Земли ω . Наиболее значительными являются колебания ω с полумесячным, месячным и полугодовым периодами (рис. 2).

Вариации скорости вращения Земли характеризуются относительной величиной:

$$v \equiv \frac{\delta\omega}{\Omega} = \frac{\omega - \Omega}{\Omega} \approx -\frac{\Pi_3 - T}{T} \equiv -\frac{\delta\Pi}{T}, \quad (1)$$

где Π_3 - длительность земных суток; T - длительность стандартных (атомных) суток,

которая равна 86400 с; $\omega = \frac{2\pi}{\Pi_3}$ и $\Omega = \frac{2\pi}{86400}$ рад/с - угловые скорости, соответствующие земным и стандартным суткам (Сидоренков, 2002; Sidorenkov, 2009). Поскольку величина

□ изменяется только в девятом-восьмом знаке, то значения v имеют порядок 10^{-9} – 10^{-8} .

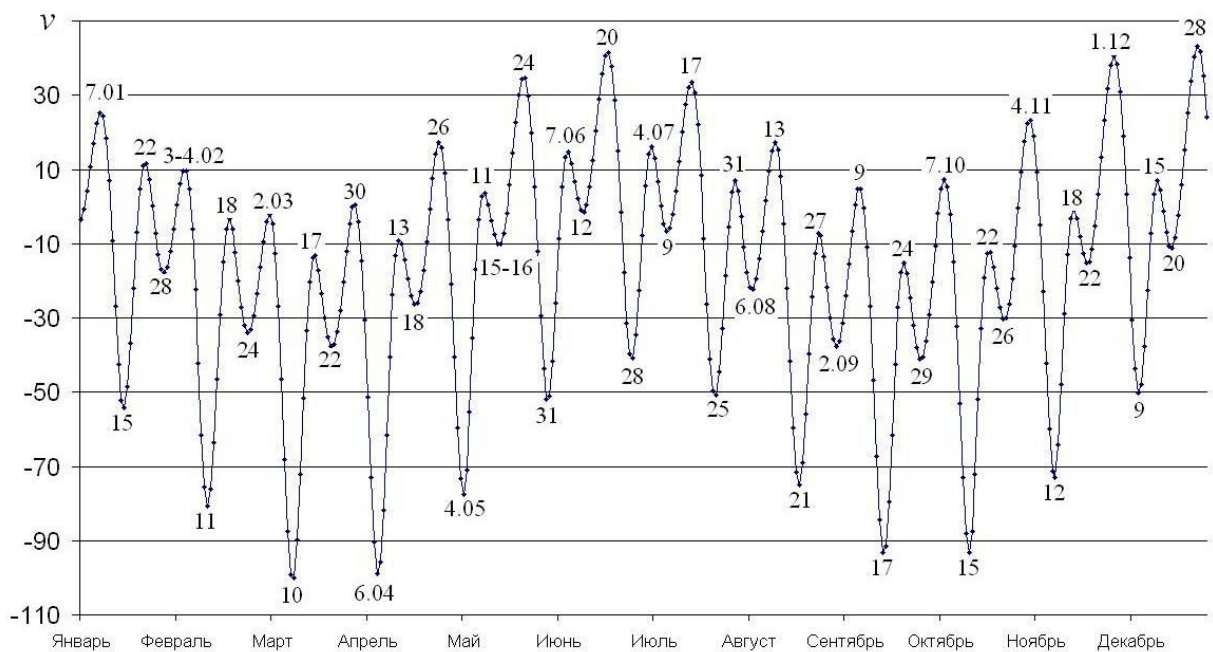


Figure 2. Tidal oscillations of the Earth's rotation velocity v in 2016. The vertical axis represents the relative deviations of v multiplied by 10^{10} . Numerals indicate the dates when maxima and minima of v occurred

Как видно из рис. 2, на котором приведены вычисленные приливные колебания скорости вращения Земли v в 2016 г., на протяжении лунного месяца сменяют друг друга четыре режима вращения Земли неравной продолжительности – два периода ускорения продолжительностью m_1 и m_2 и два периода замедления – m_3 и m_4 . Смена режимов происходит в среднем через $m \approx 27,3 \text{ сут}/4 = 6,8 \text{ сут}$. Но из-за медленного движения перигея и узлов лунной орбиты этот недельный период может длиться от 4 до 9 суток.

Например, в 2016 г., с 4 по 11 мая, отмечается ускорение вращения Земли, с 11 по 15 – замедление, с 16 по 24 мая – ускорение и с 24 по 31 мая – замедление вращения Земли, т. е. лунный месяц складывается из следующих интервалов: 7+4+9+7 суток. Внутри месяца возможны любые комбинации значений m_i в диапазоне от 4 до 9 суток.

Скорость вращения Земли испытывает два полумесячных колебания с максимумами при максимальном удалении Луны от небесного экватора, как в северное, так и в южное полушарие (то есть при луностояниях) и с минимумами при пересечении Луной небесного экватора (то есть при лунных равноденствиях). На скорость вращения Земли оказывают влияние и Солнечные приливы, изменяющиеся из-за вариаций склонения и геоцентрического расстояния Солнца. Солнечные приливы порождают сильные колебания с полугодовым (182.62 сут) и слабые с годовым (365.24 сут) периодами.

Естественные синоптические периоды Мультановского

В 1915 г. Б.П. Мультановский (1933) изложил основы синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды и ввел понятие естественных синоптических периодов (ЕСП). Мониторинг приливных колебаний скорости вращения Земли, эволюции синоптических процессов в атмосфере, режимов атмосферной циркуляции и вариаций гидрометеорологических характеристик во времени показал, что большая часть типов синоптических процессов в атмосфере изменяется **синхронно** с приливными колебаниями скорости вращения Земли (Сидоренков, 2002; Sidorenkov, 2009). На ретроспективных данных мы проверили, как часто экстремумы (минимумы или максимумы) угловой скорости v совпадают с моментами перестроек элементарных синоптических процессов

(ЭСП) по типизации Г.Я. Вангенгейма (1935). Статистический анализ показал, что в 76% случаев моменты экстремумов угловой скорости V совпадают в пределах ± 1 сут с датами перестроек ЭСП. В 24% случаев моменты экстремумов V отличаются на два и более дня от ближайших дат перестроек ЭСП (Сидоренков, 2002; Sidorenkov, 2009).

Наш многолетний сравнительный мониторинг динамики синоптических процессов и приливных колебаний скорости вращения Земли V показал, что смены ЕСП происходят вблизи экстремумов (минимумов или максимумов) приливных колебаний скорости вращения Земли v . Но минимумы v наблюдаются вблизи лунных равноденствий (склонение Луны равно 0°), а максимумы v – вблизи луностояний (модуль склонения Луны максимален). Таким образом, выяснилось, что ЕСП связаны с месячным обращением Земли вокруг барицентра системы Земля – Луна.

Подобно тому, как вследствие годового обращения Земли вокруг Солнца возникают трехмесячные сезоны года, так и вследствие месячного обращения Земли вокруг барицентра системы Земля – Луна в режимах погоды выделяются своего рода квазинедельные «сезоны» (или «кванты») погоды, получившие название ЕСП. В отличие от солнечных сезонов лунные ЕСП непостоянны: они варьируют от 4 до 9 сут при средней продолжительности 6,8 сут. Эти вариации обусловлены частотной модуляцией колебаний приливных сил вследствие движения перигея лунной орбиты. Графики приливных колебаний скорости вращения Земли v дают своего рода «расписание» ЕСП, демонстрируя, что длительности ЕСП изменяются неслучайным образом.

В настоящее время заинтересовавшийся читатель сам может убедиться в том, что смены режимов погоды происходят не случайно, а синхронизуясь с датами экстремумов приливных колебаний скорости вращения Земли v . Для этого надо сравнивать приводимые на сайте ООО "Данио-Пресс" (<http://hmn.ru>) недельные графики изменения метеорологических характеристик (температуры, давления, влажности, ветра) на метеостанциях земного шара с датами минимумов или максимумов приливных колебаний v на графике, ежегодно размещаемом на сайте автора (<http://geoastro.ru>).

Заметим, что синхронизация не определяет механизмы возникновения и эволюции термобарических образований вследствие бароклинной неустойчивости атмосферы, а навязывает атмосферным процессам ритм эволюции, близкий к колебаниям приливных сил (точнее к ритмам системы Земля–Луна–Солнце).

Бытует мнение, что эффекты гравитационных приливов должны быть однозначными на глобальных пространственных масштабах. Наш многолетний опыт свидетельствует о

том, что в моменты экстремумов приливных сил в оболочках Земли действительно почти везде наблюдаются изменения, но знаки и фазы этих изменений везде различные. Подобно тому, как в Мировом океане каждый порт имеет свой индивидуальный прикладной час для вычисления максимального прилива, так и в атмосфере проявление лунно-солнечных приливов имеет локальный характер. Происходит это потому, что приливные волны, которых в современных разложениях приливного потенциала выделяют уже до 28000, двигаясь в атмосфере, отражаются от орографических препятствий, барических и термических неоднородностей, интерферируют между собой, создавая пеструю интерференционную картину. Судя по результатам изучения океанских приливов, в атмосфере также могут существовать узловые амфидромические точки (точки, в которых высота прилива в любой момент времени равна нулю), где приливные колебания отсутствуют, и пучности, где приливы усиливаются в десятки раз.

Синхронизация изменений метеорологических характеристик с изменениями скорости вращения Земли v отмечается не только на внутри месячных масштабах времени, но и на межгодовых и декадных масштабах. Уже несколько десятилетий известно, что многолетние изменения аномалий глобальной температуры воздуха T коррелируют с декадными флуктуациями скорости вращения Земли v . Рис. 3, построенный по данным среднегодовых аномалий температуры HadleyCRUT3 и ряда среднегодовых v , иллюстрирует эту связь. Можно видеть, что при ускорении вращения Земли температура T растет, а при замедлении – падает. Коэффициент корреляции T с v равен 0,67.

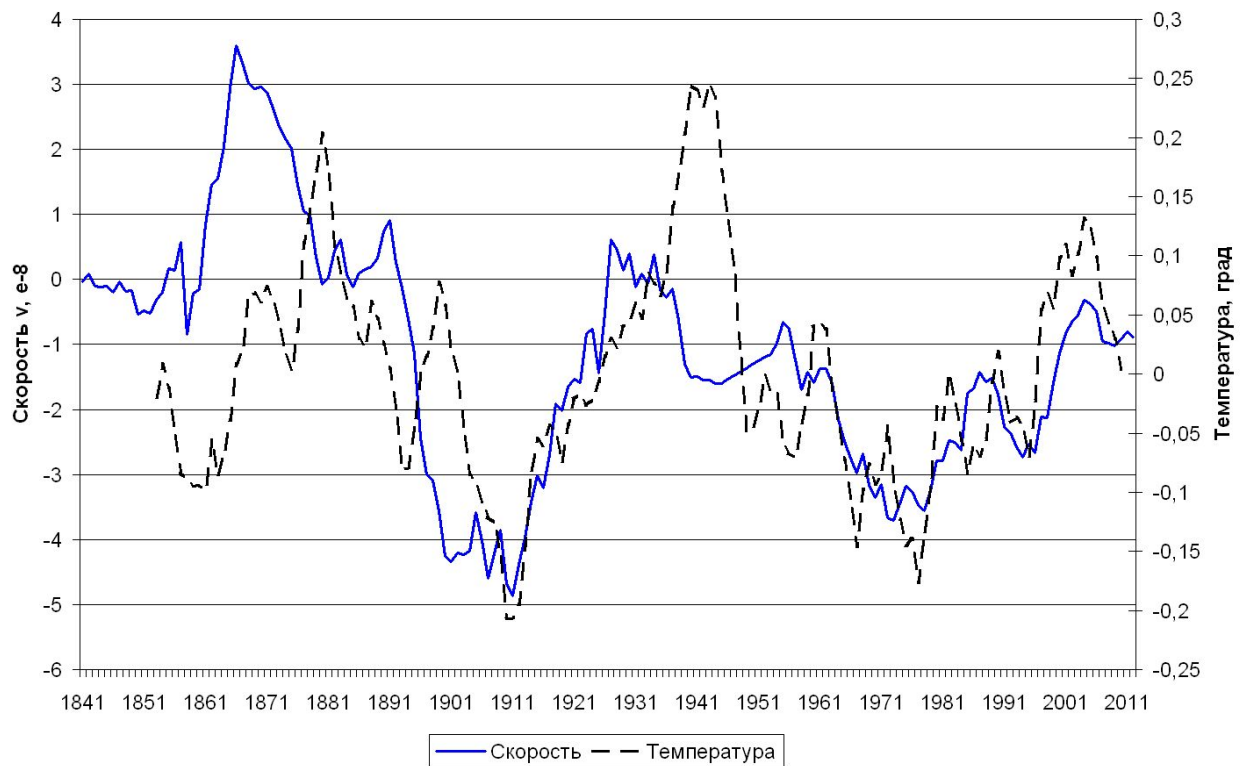


Рис. 3. Синхронные изменения скорости вращения Земли ($v \times 10^8$) в относительных единицах (сплошная) и глобальных аномалий температуры воздуха T (штриховая) по данным HadCRUT3 после исключения параболического тренда и скользящего пятилетнего сглаживания.

Выявлена корреляция эпох атмосферной циркуляции в Северном полушарии с изменениями в скорости вращения Земли (Sidorenkov, Orlov, 2008). На рис. 4 кривая накопленных сумм $\sum C'$ аномалий частоты появления формы C (по типизации Г.Я. Вангенгейма) сравнивается с кривой изменений длительности суток δP ($\delta P = -86400 \times v$). Можно видеть, что убывающая часть кривой $\sum C'$ (пониженная частота появления формы C) соответствует ускорению вращения Земли (уменьшению длительности суток). Когда форма C наблюдается более часто, чем обычно ($\sum C'$ растет), вращение Земли замедляется (длительность суток увеличивается). Коэффициент корреляции между кривыми $\sum C'$ и \square равен $0,70 \pm 0,04$.

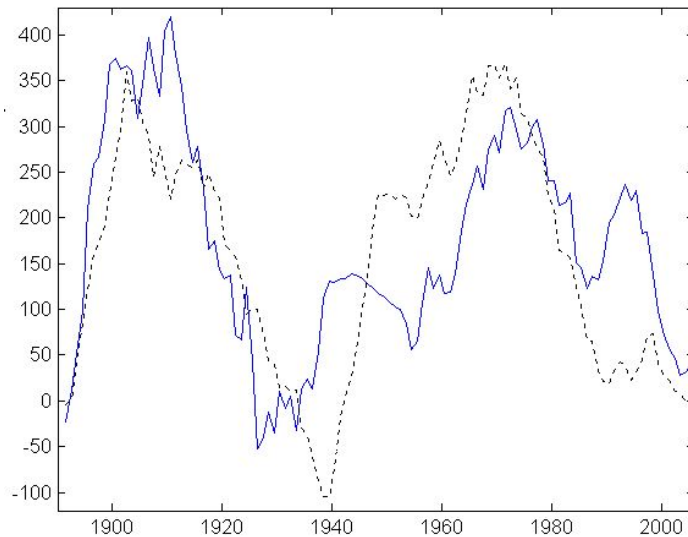


Рис. 4. Синхронные изменения длительности суток (сплошная кривая) и накопленной суммы аномалий частоты появления формы циркуляции C (пунктирная кривая). По оси ординат отложены длительность суток в 10 мкс и накопленная сумма формы C в днях/год.

Скорость v вращения Земли ускорялась с 1858 до 1866 г., с 1904 до 1934 г., с 1973 до 2003 г., а замедлялась с 1867 до 1903 г., с 1935 до 1972 г. и с 2004 г. по настоящее время. Именно вблизи этих смен режимов вращения Земли наблюдались смены декадных тенденций изменения глобальной температуры и температуры Северного полушария, смены эпох атмосферной циркуляции, интенсивности индийского муссона, массы ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии (Sidorenkov, 2009).

It is well known that the Earth and the Moon rotate around their center of mass (barycenter) with a sidereal period of 27.3 days. The orbit of the Earth's center of mass (geocenter) is geometrically similar to the Moon's orbit, but the orbit size is roughly 1/81 as large as that of the latter. The geocenter is, on average, 4671 km away from the barycenter. In the Earth's rotation around the barycenter, all its constituent particles trace the same nonconcentric orbits and undergo the same centrifugal accelerations as the orbit and acceleration of the geocenter. The Moon attracts different particles of the Earth with a different force. The difference between the attractive and centrifugal forces acting on a particle is called the tidal force (Sidorenkov, 2002, 2009). The generation of the lunar tidal force is a major geophysical effect of the Earth's monthly motion. The rotation of the Earth–Moon system around the Sun (Figure 1) leads to solar tides.

The lunar-solar tides deform the Earth's shape and change the Earth's moment of inertia. As a result, they have a noticeable effect on the velocity of the Earth's daily rotation. The tidal oscillations of the Earth's rotation rate over any time interval can be calculated theoretically (Sidorenkov, 2002, 2009). By way of illustration, Figure 2 shows the tidal deviations of the Earth's daily angular velocity v in 2016. The Earth's rotation velocity is characterized by the relative value (Sidorenkov, 2002, 2009)

$$v \equiv \frac{\delta\omega}{\Omega} = \frac{\omega - \Omega}{\Omega} \approx -\frac{\Pi_E - T}{T} \equiv -\frac{\delta\Pi}{T},$$

where Π_E is the length of Earth's day; T is the length of the standard (atomic) day, which is

equal to 86400 s; and $\omega = \frac{2\pi}{\Pi_E}$ and $\Omega = \frac{2\pi}{86400}$ rad/s are the angular velocities corresponding to the Earth's and standard days

It can be seen that, during a tropical month, v undergoes two semimonthly oscillations with maxima occurring at the maximum distance of the Moon from the celestial equator in both Northern and Southern hemispheres (i.e., at lunar solstices) and with minima occurring when the Moon intersects the equator (i.e., at lunar equinoxes).

The monitoring of tidal oscillations of v , the evolution of atmospheric synoptic processes, atmospheric circulation patterns, and time variations in hydrometeorological characteristics has shown that most types of atmospheric synoptic processes vary **synchronously** with the tidal oscillations of the Earth's angular velocity (Sidorenkov, 2002, 2009). Using retrospective data, we verified how frequently the extrema (minima or maxima) of v coincide in time with changes in elementary synoptic processes (ESP) in terms of the Vangengeim classification. A statistical analysis showed that 76% of the extrema of v coincide in time (up to ± 1 day) with ESP changes. In the other 24% of the cases, the extrema of v are two and more days away from the nearest ESP change (Sidorenkov, 2002, 2009).

The long-time comparative monitoring of tidal oscillations of v and variations in meteorological characteristics in Moscow, Vladivostok, Toronto, Buenos Aires and other sites clearly suggests that variations in meteorological characteristics agree in time with quasi-weekly extrema of v (<http://geoastro.ru>). Variations in weather elements at other sites of world have been monitored by S.P. Perov and L.V. Zotov. Their results also confirm that variations in meteorological characteristics are synchronized with oscillations of the Earth's angular velocity.

The tidal oscillations in the Earth's rotation velocity represent a perfect index for the features of the Earth's monthly rotation around the barycenter and time variations in the lunisolar tidal forces. They correlate with quasi-weekly and semimonthly variations in atmospheric processes and with local anomalies in the air temperature, pressure, cloudiness, and precipitation amounts depending on those variations.

Changes in weather patterns coincide with extrema of tidal oscillations of v , which correspond to lunar solstices and lunar equinoxes. By analogy with three-month seasons of the year, which are associated with the Earth's rotation around the Sun, kind of quasi-weekly weather "seasons" can be identified in weather patterns.

Quantized weather patterns were first described by B.P. Mul'tanovskii (1933) 100 years ago. He called them natural synoptic periods (NSPs). The above observations suggest that Mul'tanovskii's NSPs are possibly caused by the monthly rotation of Earth and Moon around their barycenter. Weather is synchronized with the times of lunar equinoxes and solstices. In contrast to solar seasons, the lunar NSPs are not constant: they vary from 4 to 9 days with a mean of 6.8 days. These variations are caused by the frequency modulation of the tidal force oscillations due to the motion of the lunar perigee. Plots of tidal oscillations of v provide a kind of NSP timetable, demonstrating that variations in NSP lengths are not random. Unfortunately, there still appear works in which the dynamics of NSPs is erroneously treated in terms of Brownian motion.

Note that synchronization does not determine the formation mechanisms of thermobaric structures due to the baroclinic instability of the atmosphere, but rather imposes evolution rhythms close to tidal force oscillations (more precisely, to rhythms in the Earth--Moon--Sun system) on atmospheric processes.

References

B.P. Mul'tanovskii, Basic Principles of Synoptic Method for Long-Term Weather Forecast. Moscow, TsUEGMS, 1933. [in Russian].

N.S. Sidorenkov, Physics of Instability in the Earth's Rotation (Moscow, Nauka, 2002) [in Russian].

N.S. Sidorenkov, 2009: The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.

Sidorenkov, N.S., Orlov I.A. Atmospheric circulation epochs and climate changes.//
Russian Meteorology and Hydrology, 2008, Vol. 33, No. 9, P.– 553-559

<http://www.geoastro.ru>