

УДК 517.958:[550.3+551.5]

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ РОЛИ АТМОСФЕРНЫХ ПРИЛИВОВ В ФОРМИРОВАНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ПОГОДЫ НА ЗЕМЛЕ

Гаврилов А.А., a_a_gavrilov@mail.ru
НПО Тайфун, ул. Победы 4, 249038, Обнинск, Россия

Model estimates of the role of atmospheric tides
in the formation of a global weather on Earth

Gavrilov A.A.
RPA ‘Typhoon’, 4, Pobedy Str., 249038, Obninsk, Kaluga Region, Russia

Abstract

By using a thermo-hydrodynamic model of origination and evolution of unstable perturbations in the Earth troposphere [1], it is first shown that atmospheric tides can generate strange attractors of weather on the Earth. The calculated space and time scales of atmospheric tides-related strange attractors of weather allow these to be classified as global meteorological processes. Numerical modeling on the model developed shows that weak atmospheric tides can initiate significant global perturbations of temperature, pressure, density and wind speed in the troposphere of the two hemispheres whose amplitudes are two or three orders of magnitude higher than those of the tides. The constructed latitude-altitude isolines of meridional flow functions of increasing nonsteady solutions obviously demonstrate that global perturbations initiating atmospheric tides represent an array of toroidal (Taylor) vortices that are located in the troposphere along the meridian from one pole to the other. Numerical experiments show that the characteristic time of growth of the amplitude for the unstable perturbations is in inverse proportion to the longitudinal wave number s of the atmospheric tide that initiates these disturbances in the zonal flow. The results of numerical experiments for origination and evolution of unstable perturbations initiated by atmospheric lunar semidiurnal tides are given as an example. The characteristic time of growth of the amplitude for the unstable perturbation considered varies from 82 hours in the winter to 154 hours in the summer. A quasiperiod for an unstable perturbation is about 18 days in the winter, attaining 23 days in the summer. According to the analysis of the results of numerical experiments, it is to be concluded that strange attractors initiated by the Moon can be largely responsible for weather on the Earth in the mid- and high-latitudinal troposphere of the two hemispheres in the time intervals exceeding a week. In conclusion it is emphasized that the results obtained are unique.

Key words: the Moon, atmospheric lunar tides, strange attractors of weather, unstable perturbations, Earth's troposphere

Введение. Сложившаяся десятилетиями парадигма мирового научного сообщества отвергает влияние Луны на земные метеорологические процессы. Суть этой парадигмы можно охарактеризовать такой пренебрежительной фразой: “На Луну только лягушки квакают”. Но, парадигма - это доминирующее мнение в научном сообществе о каком-то явлении, а не доминирующая теория какого-то явления. Представленные результаты наших теоретических исследований [1-2, 8] диаметрально противоречат сложившейся парадигме.

Теоретические исследования базируются на численном физико-математическом моделировании процесса зарождения и эволюции возмущений в тропосфере Земли под воздействием атмосферных приливов. Поскольку экватор всегда теплее полюса, особенно для зимы, то в тропосфере плотность воздуха также меняется от полюса к экватору. В этих условиях в тропосфере возникает западный зональный поток воздуха, обладающий так

называемой бароклиной неустойчивостью. Из-за бароклиной неустойчивости любые микроскопические возмущения, возникшие в атмосфере случайно, или вызванные постоянными источниками, могут приводить к перекачке энергии, запасенной в атмосфере, к возникающим в ней уже неустойчивым возмущениям, амплитуды которых могут быть растущими во времени. Мы предположили, что такими постоянными источниками вполне могут быть атмосферные приливы, как термические (тепловые), так и гравитационные (лунные и солнечные). В дальнейшем в численных экспериментах в качестве постоянного источника неустойчивых возмущений мы выбирали гравитационные атмосферные приливы.

1. Термогидродинамические уравнения численной модели.

С учетом описанного выше сценария зарождения неустойчивых возмущений, физико-математическое моделирование проводилось в несколько этапов.

На первом этапе разрабатывалась численная термогидродинамическая модель зарождения и эволюции неустойчивых возмущений в земной тропосфере, вызываемых гравитационными атмосферными приливами. При ее разработке использовались алгоритмы численных решений линеаризованных уравнений геофизической гидродинамики для земных атмосферных термических приливов. Эти алгоритмы успешно были применены нами в 80-90 годах при создании полуэмпирической линеаризованной модели атмосферных термических приливов (АТП) [3]. Линеаризация есть математическое действие, когда в полной системе уравнений геофизической гидродинамики отбрасываются величины, являющиеся произведениями малых отклонений искомым полей от их средних величин. Процесс линеаризации системы уравнений геофизической гидродинамики замечательно описан в монографии Л.А. Дикого [4]. Полученная нестационарная система уравнений для малых отклонений искомым полей считалась исходной для определения глобальных широтно-высотных распределений метеорологических параметров атмосферных приливов (считающихся малыми отклонениями) в любое время суток и года путем ее численного решения.

Для нашего случая, для нахождения неустойчивых возмущений первого порядка при наличии гравитационных потенциалов Солнца и Луны схема линеаризации системы нестационарных термогидродинамических уравнений будет выглядеть следующим образом. Пусть имеется система уравнений термогидродинамики, записанная в сферической системе координат θ, φ, r , вращающейся вместе с Землей с угловой скоростью ω

$$\frac{du}{dt} - 2\omega \cdot \cos\theta \cdot v - \frac{v^2}{r} \operatorname{ctg}\theta + \frac{u \cdot w}{r} + \frac{1}{\rho \cdot r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho \cdot r} \cdot \frac{\partial U_g}{\partial \theta} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} - 2\omega \cdot \cos\theta \cdot u - \frac{uv}{r} \operatorname{ctg}\theta + \frac{v \cdot w}{r} + \frac{1}{\rho \cdot r} \sin\theta \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \varphi} + \frac{\partial U_g}{\partial \varphi} \right) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dr} = -\rho g \quad (3)$$

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left(\frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial u}{\partial \theta} \sin\theta + \frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial r} \cdot r^2 \right) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{d\rho}{dt} + \gamma \rho \left(\frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial u}{\partial \theta} \sin\theta + \frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial r} \cdot r^2 \right) = 0, \quad (5)$$

$$P = \rho RT, \quad (6)$$

где θ - коширота (дополнение до широты), φ -долгота; u, v, w - скорости ветра, направленные соответственно с севера на юг, с запада на восток и вертикально вверх; P -давление, ρ

–плотность, T -температура, g - ускорение силы тяжести; R -газовая постоянная; γ -отношение удельных теплоемкостей; t -время;

U_g -суммарный гравитационный потенциал Солнца и Луны,

Первые три уравнения системы (1-6)-суть уравнения движения в приближении квазистатики, четвертое уравнение –неразрывности, пятое - притока тепла, последнее-уравнение состояния идеального газа.

Далее приливные и неустойчивые возмущения, возникающие в системе, рассматривались как малые отклонения от некоторого среднего состояния, при этом решение системы (1-6) представлялись в виде

$$P = P_0(z, \theta) + P_1(z, \theta, \varphi, t),$$

(7)

$$\rho = \rho_0(z, \theta) + \rho_1(z, \theta, \varphi, t), \quad (8)$$

$$T = T_0(z, \theta) + T_1(z, \theta, \varphi, t), \quad (9)$$

$$u = u_1(z, \theta, \varphi, t), \quad (10)$$

$$v = V_0(z, \theta) + v_1(z, \theta, \varphi, t), \quad (11)$$

$$w = w_1(z, \theta, \varphi, t), \quad (12)$$

где величины с индексом «0» описывают основное (фоновое) состояние атмосферы, а величины с индексом «1»- отклонение от основного состояния; $V_0(z, \theta)$ - скорость зонального ветра в тропосфере.

После подстановки (7-12) в (1-6) и отбрасывания величин, являющихся произведениями малых отклонений искомым полей от их средних величин, получаются две зацепляющие системы уравнений, описывающие как приливные атмосферные колебания, так и инициируемые ими неустойчивые возмущения метеорологических параметров атмосферы.

2. Планирование численных экспериментов.

Зацепляющие системы уравнений интегрировались численно, согласно алгоритму, разработанному в [3]. Пространственные производные аппроксимировались центральными разностями второго порядка точности по шагу сетки Δz и $\Delta \theta$. Численные эксперименты на разработанной модели проводились для дня зимнего солнцестояния (22 декабря) в Северном полушарии.

В качестве источника зарождения неустойчивых возмущений в земной атмосфере задавался полусуточный лунный прилив, поскольку он является наиболее значимым и изученным из атмосферных гравитационных приливов.

Разработанная численная линеаризованная термогидродинамическая модель возмущения зонального потока в тропосфере атмосферными приливами позволяла рассчитать неустойчивые возмущения давления, плотности, температуры и скорости ветра в узлах координатной сетки численной модели по высоте, широте, а также и по времени, поскольку модель является также и нестационарной. Как показали численные эксперименты, получаемые численные неустойчивые решения являются экспоненциально растущими по времени, что обусловлено неустойчивым вращающимся зональным потоком. Одновременно с неустойчивыми возмущениями рассчитывались параметры и лунного полусуточного атмосферного прилива.

Неустойчивые численные решения, экспоненциально растущие по времени, с учетом долготной зависимости $\exp(-is\varphi)$ (где- s -долготное волновое число; φ -долгота), для метеорологических параметров представлялись в следующем виде:

$$u, v, w, p, \rho, T \approx f_1(z, \theta) \cdot \exp - i(\omega_s \cdot t_m + s \cdot \varphi + \beta_0), \quad (13)$$

В выражении (13) $f_i(z, \theta)$ - некоторая комплексная функция координат: высоты z и кошироты θ , t_m - местное время; $\omega_s = \Omega_s + i\zeta_s$ - комплексная частота возникающего возмущения; $t_s = 1/\zeta_s$ - характерное время нарастания неустойчивого возмущения; $T_s =$ - квазипериод возникающего нестационарного возмущения; β_0 - некоторая начальная фаза. Что касается начальной фазы неустойчивого возмущения β_0 , то она является по существу неопределенной и зависит от случайных начальных условий.

3. Результаты численных расчетов.

На рисунке приведен, полученный в численном эксперименте, широтно-высотный рельеф амплитуды неустойчивого возмущения температуры $\Delta T(i)$ для зимнего солнцестояния в Северном полушарии. Оно инициируется в численной модели полусуточным атмосферным лунным приливом с долготным волновым числом $s=4$. Время роста амплитуды неустойчивого глобального возмущения t_s в е раз для Северного полушария составило ≈ 82 часа.

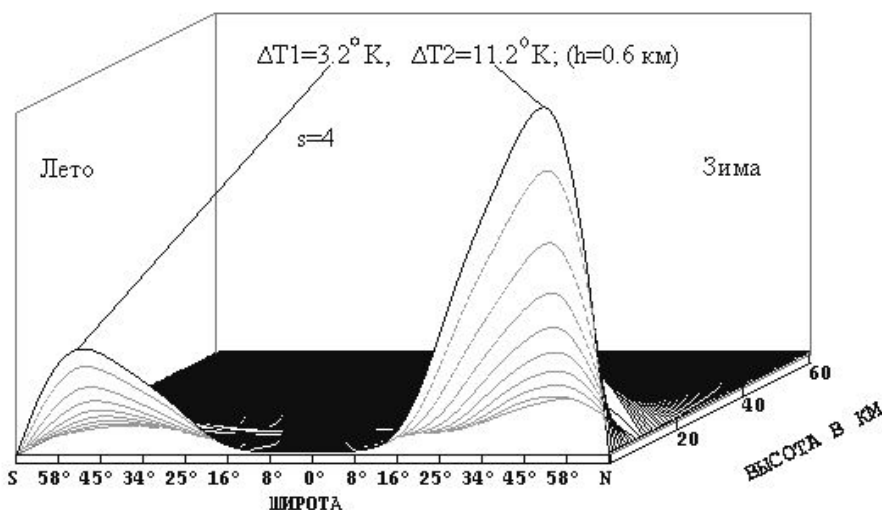


Рисунок.

Широтно-высотный рельеф амплитуды неустойчивых возмущений температуры. Решение с источником постоянных возмущений в виде атмосферного полусуточного лунного прилива ($s=4$).

Квазипериод глобального возмущения T_s для Северного полушария составил около 18 суток. Для Южного полушария соответствующие значения составили для $t_s=154$ часа и для T_s около 23 суток. Т.е. тропосфера летнего полушария значительно устойчивее тропосферы зимнего полушария.

Вычисленные значения периодов неустойчивых возмущений T_s показывают, что эти возмущения можно отнести к классу глобальных. А значение характерных времен нарастания t_s одного порядка с экспериментально наблюдаемыми временами нарастания глобальных метеорологических процессов в тропосфере.

Как видно из рисунка, рельеф возмущения расположен в средних широтах обоих полушарий; амплитуда возмущения температуры $\Delta T(i)$ может достигать значения 11.0°K

Из анализа результатов численных экспериментов следует очевидный вывод: атмосферные лунные приливы инициируют неустойчивые глобальные метеорологические процессы в среднеширотной и полярной тропосфере обоих полушарий, начальная фаза зарождения которых жестко связана с непрерывно меняющимся положением на небесной сфере лунного приливообразующего источника.

Численное моделирование процессов зарождения и эволюции неустойчивых метеорологических процессов, инициируемых атмосферными лунными приливами, проводилось на линеаризованной модели геофизической гидродинамики, разработанной нами. Как считают многие специалисты по гидродинамической неустойчивости, что, если некоторое состояние неустойчиво по линейной теории, то оно неустойчиво и относительно конечных возмущений. Т.е. лунные атмосферные приливы инициируют неустойчивые метеорологические возмущения и в реальной атмосфере, которая описывается нелинейными уравнениями геофизической гидродинамики.

А это значит только одно: Луна может порождать в земной атмосфере (при определенных условиях для зонального потока) странные аттракторы.

Впервые термин «странные аттракторы» (от англ. attract - притягивать) ввели математики Д. Рюэль (Франция) и Ф. Такенс (Нидерланды) [6], теоретически исследуя природу турбулентности. Они назвали это явление также «аттрактором Лоренца» в честь американского геофизика Э. Лоренца, который, раньше [7], чем они, обнаружил такое же явление, изучая другую проблему.

Знаменитый американский геофизик Эдвард Лоренц в начале 60 годов прошлого века теоретически исследовал явление термической конвекции воды. Э. Лоренц, проинтегрировав существенно упрощенные, но все-таки нелинейные уравнения гидродинамики (их называют уравнениями Навье-Стокса) показал, что неустойчивое решение таких нелинейных уравнений чрезвычайно чувствительно к возмущениям начальных данных. Еще одним свойством странных аттракторов является отсутствие циклов, то есть движение системы никогда не повторяется (не периодически). На основании результатов своих исследований и своих предположений о том, что его результаты по термической конвекции применимы и ко всей атмосфере, Эдвард Лоренц в 1972 году опубликовал работу "Предсказуемость: может ли взмах крыльев бабочки в Бразилии вызвать торнадо в Техасе". Так родился знаменитый термин «эффект бабочки»- малые причины вызывают большие последствия. Но многие ученые, например, советский физик Лев Ландау [5], еще до опубликования работ Э. Лоренцом, показали, что возмущения очень мелких масштабов (высокие моды), которые возникают в основном гидродинамическом потоке, тормозятся вязкостью и поэтому не имеют значительных термогидродинамических последствий для основного состояния. Так что «эффект бабочки» это чисто образное выражение, и этот эффект практически не влияет на формирование земной погоды.

Выводы

В отличие от незначительных возмущений, вызываемых взмахом крыльев одинокой бабочки, лунные атмосферные приливы являются регулярным глобальным атмосферным явлением с горизонтальными масштабами несколько тысяч километров и вертикальными - несколько десятков километров. Образно их можно представить мириадами (миллиардами) и мириадами (миллиардами) бабочек, которые кружатся в атмосфере вокруг всей планеты, а фаза колебаний их крылышек жестко связана с положением Луны на небесной сфере.

И, как показал анализ результатов наших исследований, **лунные атмосферные приливы (являющиеся странными аттракторами)** могут в значительной степени

формировать земную погоду в среднеширотной и высокоширотной тропосфере обоих полушарий на интервалах времени с длительностью более недели.

Литература

1. А.А. Гаврилов. Модельные оценки роли атмосферных приливов в формировании некоторых глобальных процессов в атмосфере Земли// Тр. Международной научной школы «Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах». Москва 11-13 ноября 2015-Москва, ИПМех РАН, 2015, сс.18-19.
2. А.А. Гаврилов. Луна-источник странных аттракторов погоды на Земле. Процессы в геосредах: сборник научных статей. Москва:-М.: ИПМех РАН, 2014, №1, сс. 40-49.
3. А.П. Капица, А.А. Гаврилов. Оценка и прогноз дальнего воздействия озона и водяного пара атмосферы Антарктиды на циркуляцию и температуру нижней термосферы над регионами России”// Доклады РАН, 2010, т.434, №1, сс. 112-116.
4. Л.А. Дикий.// Теория колебаний земной атмосферы // Л. Гидрометеиздат. 1969. 196 с.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика.—М.: Гостехтеоретиздат// 1953.— Т. VI. Механика сплошных сред. — 788 с..
6. D. Ruelle and F. Takens. On the nature of turbulence// Communications of Mathematical Physics. 1971. 20 (3): 167–192.
7. E. Lorenz. Deterministic nonperiodic flows// J. Atmos. Sci. **20** (1963), 130-141.
8. A.A. Gavrilov. The Moon is a source of strange attractors of weather on the Earth// International Symposium "Atmospheric Radiation and Dynamics" (ISARD – 2015), 23 - 26 June 2015, Saint-Petersburg, Theses, Saint-Petersburg, 2015, pp..270-271