

УДК 551.511.13

Единое описание процессов колебаний температуры, энергетического баланса и криосферы Земли под действием вариаций солнечной постоянной с использованием электротепловой аналогии

Д-р физ.-мат. наук **Х. И. АБДУСАМАТОВ**¹,
канд. техн. наук **Е. В. ЛАПОВОК**², д-р техн. наук **С. И. ХАНКОВ**²

¹abduss@gao.spb.ru, ²leva0007@rambler.ru

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65

Представлена математическая модель, описывающая в едином уравнении процессы колебаний под действием двухвековых периодических вариаций солнечной постоянной планетарной температуры и отдаваемого Землей в космическое пространство удельного потока собственного теплового излучения. Рассмотрена тепловая цепь, в которой аналогом электрического тока является излучаемый Землей собственный удельный тепловой поток, а аналогом электрического напряжения является температурный напор или приращения планетарной температуры. Из решения уравнения определена зависимость от времени периодических нарушений равновесного теплового состояния Земли. Полученные данные могут позволить оценить изменения массы криосферы, то есть массы ледового и снежного покрова земной поверхности. Определена в аналитическом виде связь между временными задержками относительно вариаций солнечной постоянной соответствующих колебаний планетарной температуры и колебаний разностей поглощаемых и излучаемых Землей удельных тепловых потоков. Снижение планетарной температуры наиболее значимо в гипотетическом случае нулевой глубины активного слоя Мирового океана, что по физическому смыслу соответствует поверхностному слою земной поверхности. Поэтому максимальное похолодание и прирост криосферы будет осуществляться на поверхности суши. Отклонение теплового баланса Земли от равновесного состояния, наоборот, растет с увеличением глубины активного слоя океана, что обусловлено накоплением тепловой энергии в его активном приповерхностном слое. Модули амплитуд отклонений планетарной температуры от равновесного состояния на двухвековом пике и спаде солнечной постоянной снижаются от 0,18 К до 0,13 К при увеличении глубины активного слоя океана от нуля до 700 м. Амплитуда удельной мощности, определяющей избыток или дефицит поглощаемой солнечной энергии растет от нуля при нулевой глубине активного слоя до 0,4 Вт/м² при глубине активного слоя 700 м.

Ключевые слова: электротепловая аналогия, солнечная постоянная, планетарная температура, термическая инерция океана, тепловой баланс Земли.

Информация о статье

Поступила в редакцию 23.06.2015, принята к печати 29.01.2016

doi: 10.21047/1606-4313-2016-16-1-73-76

Ссылка для цитирования

Абдусаматов Х. И., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Единое описание процессов колебаний температуры, энергетического баланса и криосферы Земли под действием вариаций солнечной постоянной с использованием электротепловой аналогии // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 73–76.

Integrated description of temperature oscillations, energy balance and cryosphere of the Earth under the influence of the solar constant variations with the use of electro-thermal analogy

D. Sc. **H. I. ABDUSSAMATOV**¹, Ph. D. Ye. **V. LAPOVOK**²,
D. Sc. **S. I. KHANKOV**²

¹abduss@gao.spb.ru, ²leva0007@rambler.ru

Pulkovo Observatory
196140, Russia, Saint-Petersburg, Pulkovskoye chaussee 65

The mathematical model describing fluctuations under the influence of two-century periodic variations of planetary temperature solar constant and specific caloradiance of the Earth into cosmic space in a single equation is presented. The thermal chain in which the characteristic specific heat flux radiated by the Earth is an analog of electric current is and temperature pressure or increments of the planetary temperature is an analog of the voltage is considered. From the

equation the time dependence of periodic violations of the Earth equilibrium thermal state is defined. The data obtained allow estimating changes in cryosphere mass i.e. the mass of ice and snow cover of the Earth surface. Relation between time delays of the planetary temperature fluctuations with regard to solar constant variations and the fluctuations in differences of the specific heat fluxes absorbed and radiated by the Earth is defined in analytical form. Decrease in the planetary temperature is the most significant in a hypothetical case of zero depth of the World Ocean active layer that in terms of physics corresponds to the outer layer of the Earth surface. Therefore the maximal cold snap and cryosphere increasing the will occur on the land surface. The deviation of the Earth heat balance from the equilibrium state, on the contrary, grows with increasing the depth of the ocean active layer that is caused by thermal energy accumulation in its active near-surface layer. Amplitude modules of the planetary temperature deviations from the equilibrium state at the two-century peak and recession of the solar constant are decreased from 0.18 K to 0.13 K when the depth of the ocean active layer increases from 0 to 700 m. Specific capacity amplitude defining surplus or deficiency of the absorbed solar energy grows from zero with zero of the active layer depth to 0.4 W/m² with the active layer depth of 700 m.

Keywords: electro-thermal analogy, solar constant, planetary temperature, thermal inertia of the ocean, heat balance of the Earth.

Известно, что равновесное состояние энергетического баланса и теплового режима Земли строго не соблюдается. Это является следствием воздействия долговременных, а конкретно — двухвековых циклов изменения солнечной постоянной по закону, близкому к гармоническому [1–3], а также влиянием на нестационарный энергетический баланс термической инерции океана. В известных публикациях приводятся данные по энергетическому балансу Земли в основном в его нынешнем состоянии [4–10].

Целью данных исследований являлась разработка математической модели, описывающей в едином нестационарном дифференциальном уравнении процессы колебаний планетарной температуры и отдаваемого Землей в космическое пространство удельного потока собственного теплового излучения Земли. Из уравнения могут быть определены: зависимость от времени приращений планетарной температуры и отдаваемого Землей в космическое пространство удельного теплового потока. Эти приращения обусловлены вариациями удельной мощности тепловыделений ΔQ в океане и атмосфере, вызванными двухвековыми вариациями солнечной постоянной.

На рисунке показана тепловая цепь — аналог электрической цепи, включающей RC цепочку, определяющую постоянную времени $t = RC$.

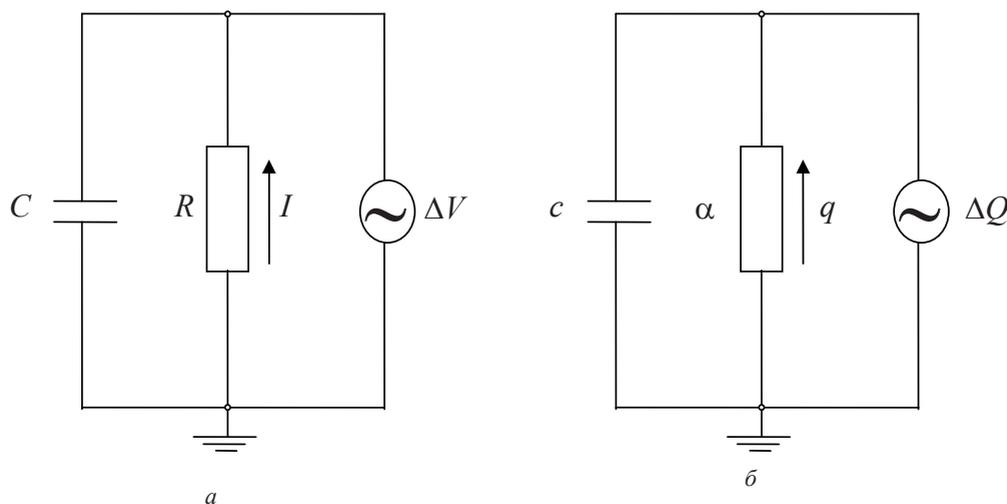
В этой электрической цепи сопротивление R и емкость C подключены к источнику переменного тока, напряжение V которого изменяется по гармоническому закону с периодом t_0 .

В расчетах планетарного энергетического баланса используют удельные параметры [1, 2]: аналог электрической емкости — представляется в виде поверхностной плотности теплоемкости c в Дж/(м²·К), аналог удельной тепловой проводимости — коэффициент теплоотдачи α в Вт/(м²·К), аналог электрического тока — удельный тепловой поток q в Вт/м², а аналог разности электрических потенциалов — перегрев или приращение температур $\vartheta = T_p - T_{p0}$ (T_p — планетарная температура, T_{p0} — ее начальное значение). Исходным параметром является приращения удельной мощности тепловыделений ΔQ в Мировом океане и атмосфере, вызванные двухвековыми вариациями солнечной постоянной.

Все эти параметры, отображенные на схеме, связаны соотношениями

$$\begin{aligned} C &= cS; R = rS; r = \alpha^{-1}; \\ V &= \Delta QS; P = \Delta qS, \end{aligned} \quad (1)$$

где S — полная площадь поверхности Земли; r — удельное тепловое сопротивление тепловому потоку, излучаемому Землей в космическое пространство; Δq — при-



Электрическая цепь (а) и эквивалентная тепловая схема замещения (б), служащая основой физической модели для описания процессов колебаний перегрева ϑ и удельного теплового потока q , излучаемого Землей в космическое пространство, обусловленных вариациями солнечной постоянной

ращение удельного теплового потока, излучаемого Землей в космическое пространство.

Описание процессов гармонических колебаний приращений планетарной температуры ϑ и отдаваемого планетой в космическое пространство удельного теплового потока q можно обобщить введением параметра Y .

При малых приращениях каждой из величин ϑ и q уравнение нестационарного теплообмена планеты с холодным космическим пространством с учетом двухвековых вариаций поглощаемой мощности солнечного излучения, но без учета изменений альбеда Бонда Земли, может быть представлено в следующем обобщенном виде

$$t \frac{dY}{dt} + Y = Y_m \sin(2\pi \frac{\tau}{t_0}); \quad t = \frac{c}{4\alpha}, \quad \alpha = \frac{q_0}{T_{p0}}, \quad (2)$$

где t — постоянная термической инерции планеты при малых приращениях температур; τ — текущее время; t_0 — период колебаний солнечной постоянной; c — поверхностная плотность полной теплоемкости системы океан — атмосфера; α — коэффициент теплоотдачи излучением от планеты в открытый космос; $q_0 = 239 \text{ Вт/м}^2$ — отдаваемая в космическое пространство удельная мощность теплового излучения планеты в настоящее время [5–8].

Параметр Y в случае описания уравнением (2) величины приращения планетарной температуры имеет вид

$$Y = \vartheta; \quad Y_m = \vartheta_m = \frac{\Delta Q_m}{4\alpha}, \quad (3)$$

где ϑ_m — амплитуда приращения планетарной температуры; ΔQ_m — амплитуда приращения поглощаемой планетой удельной мощности солнечного излучения.

Тот же параметр Y при описании приращения удельного теплового потока, излучаемого Землей в космическое пространство, представляется в виде

$$Y = \Delta q = 4\alpha\vartheta; \quad Y_m = \Delta Q_m = \frac{Q_0}{E} \Delta E, \quad (4)$$

где Q_0 — поглощаемая Землей удельная мощность солнечного излучения в равновесном состоянии $Q_0 = q_0$; E — солнечная постоянная, в настоящее время ее значение равно $E = 1366 \text{ Вт/м}^2$ [3]; ΔE — амплитуда вариаций солнечной постоянной в двухвековом цикле.

С учетом известных данных по энергетическому балансу [1–10] было получено: $\vartheta_m = 0,18 \text{ К}$ и $\Delta Q_m = 0,595 \text{ Вт/м}^2$ [2].

В дальнейших расчетах исследовалась разность приращений поглощаемого и отдаваемого планетой удельной тепловой мощности $U = \Delta Q - \Delta q$, которую можно назвать показателем энергетического разбаланса планеты в каждый конкретный момент времени (условно говоря, мгновенное значение разбаланса).

Анализ уравнения (2) позволяет определить в аналитическом виде связь между временными задержками приращений планетарной температуры относительно вариации солнечной постоянной $\Delta\tau_1$ и приращений поглощаемой и отдаваемой планетой излучением удельной тепловой мощности относительно вариации солнечной постоянной $\Delta\tau_2$. Эти временные задержки исследованы нами, при этом установлено, что они связаны между со-

бой и с величиной термической инерции океана t следующими соотношениями

$$\Delta\tau_1 = \frac{t_0}{2\pi} \arctg b; \quad b = 2\pi \frac{t}{t_0}; \quad \Delta\tau_2 = \frac{t_0}{4} - \Delta\tau_1. \quad (5)$$

Для определения величины t использовались значения исходных параметров, реализуемых в настоящее время и определенных нами ранее [1, 2]. Тогда величина t определяется следующей зависимостью от глубины активного слоя океана H

$$t = 0,095 (1 + 0,42H), \quad (6)$$

где t определяется в годах, а H задается в метрах.

В результате исследований зависимости периодических изменений планетарной температуры для двух значений глубины активного слоя океана (гипотетически минимальной $H = 0 \text{ м}$ и максимальной $H = 700 \text{ м}$, являющейся общепризнанным значением средней глубины активного слоя океана) под действием изменений солнечной постоянной с периодом $t_0 = 200 \text{ лет}$. В этом случае приращения температур изменяются по гармоническому закону. Амплитуды приращений планетарной температуры в положительной и отрицательной области равны и составляют $\vartheta_m = 0,18 \text{ К}$ при $H = 0$ и $0,13 \text{ К}$ при $H = 700 \text{ м}$. При $H = 0$ колебания величины ϑ практически синхронны колебаниям величины ΔE .

Несколько иная ситуация складывается с колебаниями энергетического баланса Земли. Для глубины активного слоя океана $H = 0 \text{ м}$ величина энергетического разбаланса равна нулю (практически реализуется равновесное тепловое состояние планеты), а при $H = 700 \text{ м}$ составляет $U_m = 0,4 \text{ Вт/м}^2$.

Зависимости временной задержки Δt колебаний энергетического разбаланса Земли и планетарной температуры относительно двухвековых колебаний солнечной постоянной от глубины активного слоя океана находятся в противофазе и сумма значений временных задержек $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ в соответствии с соотношениями (5) равна $t_0/4$. Этот вывод является чрезвычайно важным для определения основных закономерностей формирования энергетического баланса Земли.

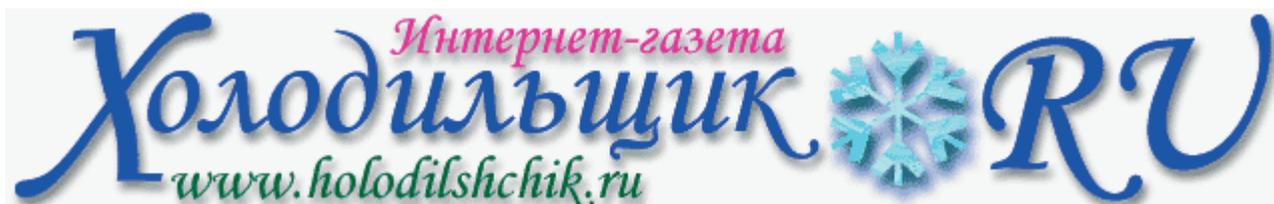
Проведенные исследования показали эффективность анализа процессов колебаний планетарной температуры и энергетического разбаланса на основе описания этих процессов единым уравнением. Полученные результаты могут использоваться для прогнозирования тенденций изменения климата, а оценки изменения криосферы могут основываться на методиках, изложенных в [2]. В этой работе было определено приращение выделившейся или поглощенной энергии в фазах дефицита и избытка поглощенной энергии солнечного излучения при двухвековых колебаниях солнечной постоянной. При этом было показано, что дефицит или прирост энергии для всей планеты за половину периода может достигать $3,22 \cdot 10^{23} \text{ Дж}$, что может приводить к положительному или отрицательному приросту массы ледового покрова на планете до 30% [2]. Это справедливо для случая двухвековых гармонических колебаний отклонения энергетического баланса Земли от равновесного состояния U при $H = 700 \text{ м}$.

Параллельное рассмотрение на основе предложенной методики динамики колебаний величин U и ϑ позволяет уточнить, что при $H = 700 \text{ м}$ значение амплиту-

ды двухвековых колебаний энергетического разбаланса составляет $U_m = 0,4$ Вт/м². Оценка прироста массы криосферы требует учета реального снижения амплитуды двухвековых колебаний планетарной температуры (от 0,18 К при $H = 0$ до 0,13 К при $H = 700$ м), что является предметом отдельных исследований. При этом требуется учет температурной зависимости альbedo Бонда Земли с использованием методики, описанной в работе [11], а также учет того факта, что зависимости от глубины активного слоя океана временных задержек $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ находятся в противофазе.

Список литературы (References)

1. Abdussamatov N. I., Khankov S. I., Lapovok Y. V. The Thermal Inertia Characteristics of the System Ocean-Atmosphere. *Journal of Geographic Information System*, 2012, 4, pp. 479–482. doi:10.4236/jgis.2012.45052.
2. Абдусаматов Х. И., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Периодические изменения энергетического баланса и криосферы Земли под действием долговременных вариаций солнечной постоянной // Вестник Международной академии холода. 2014. № 3. С. 41–44. [Abdussamatov N. I., Lapovok E. V., Khankov S. I. Periodic changes of power balance and the cryosphere of Earth under the influence of long-term variations of a solar constant. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No 3. p. 41–44. (in Russian)]
3. Абдусаматов Х. И. Двухвековое снижение солнечной постоянной приводит к несбалансированному тепловому бюджету Земли и глубокому похолоданию климата // Кинематика и физика небесных тел. 2012. Т. 28. № 2. С. 22–33. [Abdussamatov N. I. Two-centuries decrease in a solar constant leads to the unbalanced thermal budget of Earth and a deep cold snap of climate. *Kinematika i fizika nebesnykh tel*. 2012. V. 28. No 2. p. 22–33. (in Russian)]
4. Shapiro A. I., Schmutz W., Rozanov E., Schoell M., Haberleiter M., Shapiro A. V., Nyeki S. A new approach to the long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 529, A67 (2011). doi: 10.1051/0004–6361/201016173.
5. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Keihl J. Earth's global energy budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2009. Vol. 90. No 3. pp. 311–323.
6. Trenberth K. E., Fasullo J. T. Tracking Earth's Energy: From El Nino to Global Warming. *Surveys in Geophysics*. 2012. Vol. 33. № 3. pp. 413–426.
7. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Balmaseda M. A. Earth's Energy Imbalance. *J. Climate*. 2014. Vol. 27. pp. 3129–3144.
8. Chilingar G. V., Khilyuk L. F., Sorokhtin O. G. Cooling of atmosphere due to CO2 emission. *Energy Sources*. Part A. Recovery. Utilization and Environmental Effects. 2008, Vol. 30, pp 1–9.
9. Абдусаматов Х. И., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Мониторинг энергетического баланса Земли из точки Лагранжа L1. // Оптический журнал. 2014, Т. 81, № 1, с. 25–31. [Abdussamatov N. I., Lapovok E. V., Khankov S. I. Monitoring of power balance of Earth from Lagrange's point of L1. *Opticheskii zhurnal*. 2014, V. 81, No 1, p. 25–31. (in Russian)]
10. Бudyko М. И. Климат в прошлом и будущем. — Л.: Гидрометеоздат, 1980. 352 с. [Budyko M. I. Climate in the past and the future. — L.: Gidrometeoizdat, 1980. 352 s. (in Russian)]
11. Абдусаматов Х. И., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Тенденции и динамика нелинейных климатических изменений под действием долговременных изменений под действием долговременных вариаций солнечной постоянной и альbedo Бонда Земли // Вестник Международной академии холода. 2015. № 3. С. 79–82. [Abdussamatov N. I., Lapovok E. V., Khankov S. I. Tendencies and dynamics of nonlinear climatic changes under the influence of long-term changes under the influence of long-term variations of a solar constant and albedo of the Bond of Earth // *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2015. No 3. p. 79–82. (in Russian)]



Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС 77-20452 от 22 марта 2005 года

<http://www.holodilshchik.ru> (<http://холодильщик.рф>)
e-mail: info@holodilshchik.ru

ПЕРВАЯ В РОССИИ ИНТЕРНЕТ-ГАЗЕТА ПО ХОЛОДИЛЬНОЙ И БЛИЗКОЙ ЕЙ ТЕМАТИКЕ

- холодильные новости;
- бытовое, торговое и промышленное холодильное оборудование;
- холодильники;
- охладители жидкости (чиллеры);
- оснащение и строительство супермаркетов;
- холодильный транспорт;
- кондиционирование и вентиляция;
- искусственные и природные хладагенты;
- холодильные масла;
- качество пищевых продуктов;
- сервис холодильных систем;
- литература по холодильной и близкой ей тематике;
- модульная, баннерная, видео- и аудиореклама;
- выставки, конференции, семинары;
- обучающие курсы для холодильщиков и многое другое...