

УДК 551.511.13

Тенденции и динамика нелинейных климатических изменений под действием долговременных вариаций солнечной постоянной и альbedo Бонда Земли

Д-р физ.-мат. наук Х. И. АБДУСАМАТОВ¹,
канд. техн. наук Е. В. ЛАПОВОК², д-р техн. наук С. И. ХАНКОВ²
¹abduss@gao.spb.ru, ²leva0007@rambler.ru
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65

Для определения тенденций изменения климата Земли под действием долговременных периодических вариаций солнечной постоянной разработана математическая модель, учитывающая зависимость альbedo Бонда Земли от приращений планетарной температуры. В модели учтена зависимость приращения альbedo Бонда от температурного изменения альbedo земной поверхности. Исследования проведены для двухвекового цикла вариаций солнечной постоянной. Показано, что с ростом величины термической инерции планеты, определяемой глубиной активного слоя океана, уменьшается амплитуда колебаний планетарной температуры. При этом одновременно увеличивается временная задержка колебаний планетарной температуры относительно фазы колебаний солнечной постоянной. Установлено, что на полупериоде спада светимости Солнца снижение планетарной температуры больше, чем прирост температуры в фазе роста солнечной постоянной. Амплитуда снижения планетарной температуры в фазе спада светимости Солнца и солнечной постоянной превышает амплитуду положительного прироста планетарной температуры в фазе роста светимости Солнца в 1,5–2,5 раза. Результаты проведенного моделирования указывают на тенденцию преобладающего роста криосферы Земли со значительно замедленным обратным процессом уменьшения объема криосферы.

Ключевые слова: солнечная постоянная, альbedo Бонда Земли, планетарная температура, термическая инерция океана.

Tendencies and dynamic of non-linear climatic changes under the influence of solar constant and Bond's albedo long-term variations

D. Sc. H. I. ABDUSSAMATOV¹, Ph. D. Ye. V. LAPOVOK²,
D. Sc. S. I. KHANKOV²
¹abduss@gao.spb.ru, ²leva0007@rambler.ru
Pulkovo Observatory
196140, Russia, St. Petersburg, Pulkovskoye chaussee 65

A mathematical model has been developed to analyze the Earth climate changes due to long term periodical variations of the solar constant. The model accounts for dependence Bond's albedo on planetary temperature increment. The correlation between Bond's albedo increment and Earth surface albedo temperature changes is analyzed. Two-secular cycle of solar constant variations is investigated. The oscillation of planetary temperature is shown to decrease when thermal planetary inertia, dependent on active ocean layer depth, is increased. In addition, time delay of planetary temperature oscillation with respect to solar constant oscillation phase is increased at the same time. At the half-period of the Sun's luminosity decrease planetary temperature decrease is shown to be greater than the temperature increase at solar constant increase phase. In the Sun's luminosity and solar constant decrease phase planetary temperature decrease amplitude is 1.5–2.5 times as planetary temperature positive growth amplitude in the Sun's luminosity increase phase. The results obtained confirm the tendency of prevailing growth of the Earth's cryosphere, cryosphere size decrease being slowed down greatly.

Keywords: solar constant, Bond's albedo, planetary temperature, thermal ocean inertia.

Введение

Ранее нами были исследованы периодические колебания глобальной термодинамической или планетарной температуры [1] и отклонения энергетического баланса Земли от равновесного состояния [2] в результате периодических двухвековых вариаций светимости Солнца [3].

Целью данных исследований являлось получение аналитических описаний и определение амплитуды

и фазы приращений планетарной термодинамической температуры $\vartheta = T_p - T_{p0}$ (T_p — планетарная температура, T_{p0} — ее начальное значение) от приращения удельной мощности тепловыделений ΔQ в Мировом океане и атмосфере, вызванных двухвековыми вариациями солнечной постоянной и альbedo Бонда Земли. При этом впервые моделировалась ситуация изменения альbedo Бонда Земли в виде функции приращения планетарной температуры.

Математическая модель

При малых приращениях планетарной температуры, уравнение нестационарного теплообмена планеты с холодным космическим пространством с учетом двухвековых вариаций поглощаемой мощности солнечного излучения, но без учета изменений альbedo Бонда Земли и концентрации парниковых газов в атмосфере, может быть представлено в виде [1]

$$t \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = \vartheta_m \sin(2\pi \frac{\tau}{t_0}); \quad t = \frac{c}{4\alpha},$$

$$\vartheta_m = \frac{\Delta Q_m}{4\alpha}; \quad \alpha = \frac{q}{T_{n0}}, \quad (1)$$

где t — постоянная термической инерции планеты при малых приращениях температур; ϑ — амплитуда приращения планетарной температуры; ϑ_m — 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; ΔQ_m — амплитуда приращения поглощаемой планетой удельной мощности солнечного излучения; $q = 239 \text{ Вт/м}^2$ — отдаваемая в космическое пространство удельная мощность теплового излучения планеты в настоящее время.

Величина ΔQ определяется через солнечную постоянную E и альbedo Бонда Земли A с помощью соотношения

$$\Delta Q = \frac{(1-A-\Delta A)(E+\Delta E)}{4} - \frac{(1-A)E}{4} = \frac{(1-A)\Delta E - E\Delta A - \Delta A\Delta E}{4}. \quad (2)$$

В дальнейшем будем считать, что при малых вариациях температур изменение альbedo Бонда Земли определяется только изменением альbedo подстилающей поверхности Земли A_s . Зависимость ΔA от ΔA_s описывается формулой [4]

$$\Delta A = (1 - A_a) \beta \Delta A_s, \quad (3)$$

где A_a — альbedo атмосферы; β — пропускание атмосферы в спектре солнечного излучения.

Учитывая нынешние значения $A_a = 0,225$ и $\beta = 0,747$ [4], можно получить из (3)

$$\Delta A = 0,579 \Delta A_s. \quad (4)$$

Подставим это соотношение в (2) с учетом нынешних значений параметров $E = 1366 \text{ Вт/м}^2$ и $A = 0,3$. Ранее для амплитуды двухвековых колебаний солнечной постоянной было принято значение $\Delta E = 3,4 \text{ Вт/м}^2$ [2, 5–9]. Тогда, пренебрегая произведением малых приращений $\Delta A\Delta E$, получим

$$\Delta Q_m = 0,595 - 341,5\Delta A = 0,595 - 197,7 \Delta A_s. \quad (5)$$

Воспользуемся литературными данными по зависимости ΔA_s от ϑ . Анализируя данные по этим зависимостям для различных типов подстилающей поверхности [10], можно прийти к выводу, что приращение альbedo подстилающей поверхности примерно пропорционально приращению температур этой поверхности с коэффициентом 0,05. На этом основании можно записать

$$\Delta A_s = 0,05 A_s \vartheta = 0,00759. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получим

$$\Delta Q_m = 0,595 - 1,4839 \vartheta \quad (7)$$

Подставим это значение в ϑ_m из (1). В результате получим с учетом $\alpha = 0,842 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ следующее общее выражение

$$\vartheta_m = \frac{\Delta Q_m}{4\alpha} = 0,177 - a\vartheta;$$

$$a = \begin{cases} 0 & \text{без учета изменения альbedo;} \\ 0,44 & \text{с учетом изменения альbedo.} \end{cases} \quad (8)$$

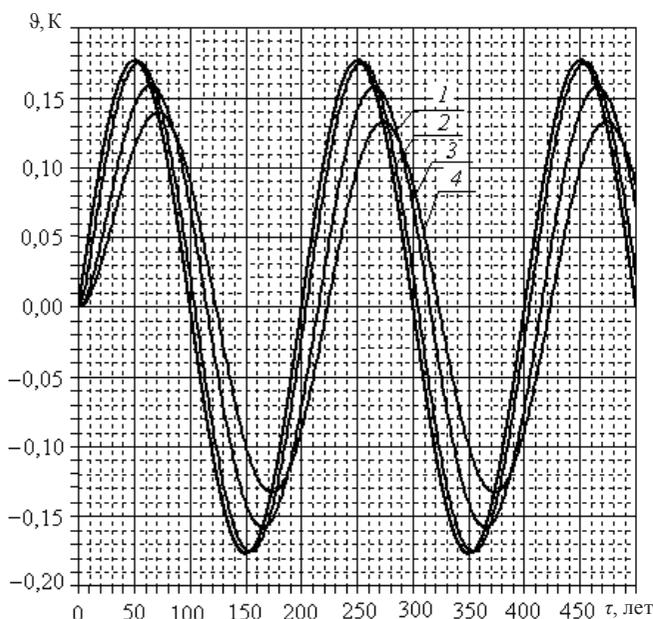


Рис. 1. Зависимость приращений планетарной температуры от времени (двухвековой цикл) без учета изменения альbedo Бонда Земли. 1 — глубина активного слоя океана 0 м; 2 — 100 м; 3 — 400 м; 4 — 700 м

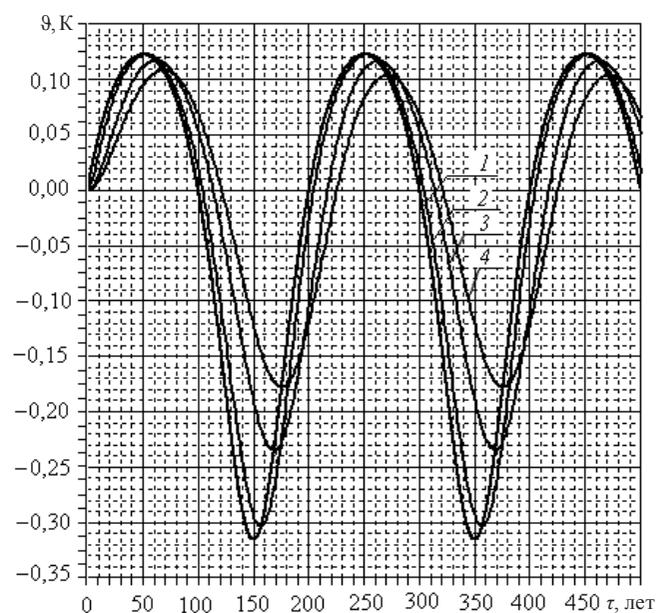


Рис. 2. Зависимость приращений планетарной температуры от времени (двухвековой цикл) с учетом изменения альbedo Бонда Земли. 1 — глубина активного слоя океана 0 м; 2 — 100 м; 3 — 400 м; 4 — 700 м

Учет изменения альbedo подстилающей поверхности сводится к решению уравнения (1) при подстановке в него ϑ_m в виде (8).

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

$$t = 0,095 (1 + 0,42H), \tag{9}$$

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

Результаты расчетов

На рис. 1 представлены зависимости периодических изменений планетарной температуры для различных значений глубины активного слоя океана под действием изменений солнечной постоянной с периодом $t_0 = 200$ лет. При этом не учитывались эффекты обратной связи, то есть не учитывалось температурное изменение альbedo Бонда Земли с последующим влиянием этого фактора на приращение планетарной температуры (что соответствует условию $a = 0$ в (8)). Из графика следует, что приращения температур изменяются по гармоническому закону. Амплитуды приращений планетарной температуры в положительной и отрицательной области равны, а при росте глубины активного слоя океана имеет запаздывание по фазе относительно исходного гармонического колебания солнечной постоянной. При $H = 0$ колебания величины ϑ синхронны колебаниям величины ΔE .

На рис. 2 приведены аналогичные зависимости при учете изменения альbedo Бонда Земли (в (8) $a = 0,44$). Как видно из графика, колебания планетарной температуры отклоняются от гармонического закона, как по амплитуде, так и по фазе. Интересно отметить, что

наблюдается тенденция понижения среднего уровня планетарной температуры (амплитуда в фазе охлаждения при малых значениях H в три раза превышает амплитуду в фазе нагрева). С ростом глубины активного слоя океана эта тенденция сглаживается.

Для общепринятой глубины активного слоя океана $H = 700$ м [2] на рис. 3 показаны зависимости приращений планетарной температуры с учетом изменения альbedo Бонда Земли и без учета его изменения. При таком значении H фазы колебаний ϑ практически совпадают. При этом наглядно видно, что обратное влияние приращения альbedo приводит к смещению температурного уровня в отрицательную область, тогда как в линейном приближении (без учета обратной связи влияния ϑ на A и последующего влияния A на ϑ) среднее значение планетарной температуры на всех циклах колебания солнечной постоянной остается неизменным.

Зависимости амплитуд приращений планетарной температуры от принятой глубины активного слоя океана представлены на рис. 4. В случае неучета изменения альbedo Бонда Земли величины максимума и минимума приращений планетарной температуры симметричны относительно нуля, а при учете изменения альbedo Бонда Земли значение минимума амплитуды приращения планетарной температуры смещено в отрицательную область.

Выводы

Проведенные исследования показали, что при учете изменения альbedo подстилающей поверхности и, соответственно, альbedo Бонда Земли, амплитуды колебаний планетарной температуры под действием двухвековых вариаций солнечной постоянной несимметричны относительно уровня равновесного теплового состояния. Это означает, что даже в случае симметричных приращений

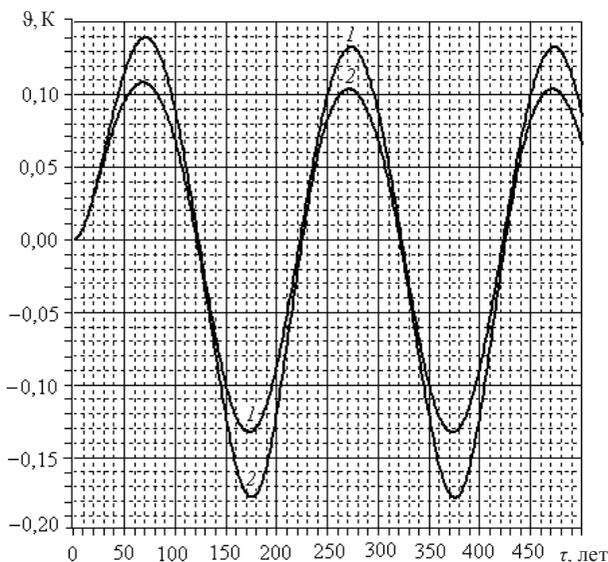


Рис. 3. Зависимость приращений планетарной температуры от времени (двухвековой цикл) для глубины активного слоя океана 700 м.
1 — без учета изменения альbedo Бонда Земли;
2 — с учетом изменения альbedo Бонда Земли

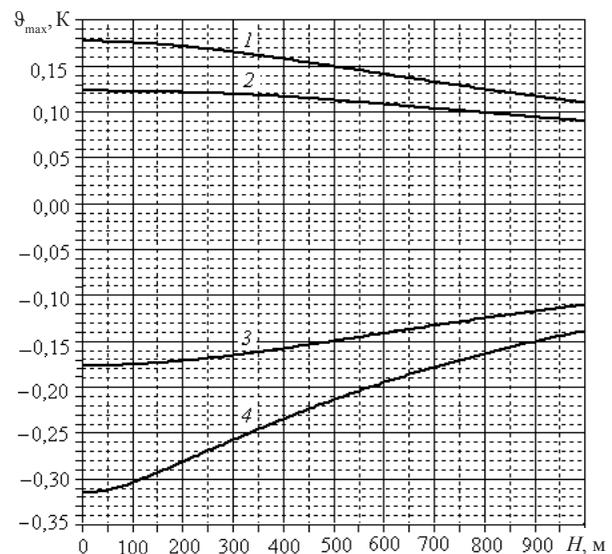


Рис. 4. Зависимость амплитуд приращений планетарной температуры от глубины активного слоя океана (рассмотрен диапазон $\tau > 200$ лет): 1 — максимум без учета альbedo Бонда Земли; 2 — максимум с учетом альbedo Бонда Земли; 3 — минимум без учета альbedo Бонда Земли; 4 — минимум с учетом альbedo Бонда Земли

альbedo Бонда Земли относительно начального значения будет иметь место тенденция к значительно большему похолоданию на спаде солнечной активности, чем это можно было бы ожидать в случае линейного процесса при постоянстве альbedo Бонда Земли. Необходимо отметить, что полученные результаты относятся к малым температурным приращениям (десятые доли градуса). В случае значительных приращений площадей ледового и снежного покрова можно ожидать существенного похолодания из-за заметного влияния величины альbedo Бонда на климат Земли. Однако окончательные выводы о приросте криосферы Земли можно будет сделать с учетом изменения альbedo атмосферы, данных по которому пока недостаточно.

Список литературы (References)

1. Habibullo I., Abdussamatov, Sergey I., Khankov, Yevgeniy V., Lapovok The Thermal Inertia Characteristics of the System Ocean-Atmosphere. *Journal of Geographic Information System*, 2012, No 4, p. 479–482. doi:10.4236/jgis.2012.45052. Published Online October 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/jgis>)
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 H. I., Lapovok Ye. V., Khankov S. I. The periodical disturbances of the energy balance and cryosphere of the Earth under the influence of the long-term variations of the total solar irradiance. *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. [Abdusamatov H. 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. Vol. 28. No 2. p. 22–33. (in Russian)]
4. 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 H. I., Lapovok E. V., Khankov S. I. Monitoring of power balance of Earth from Lagrange's point of L1. *Opticheskii zhurnal*. 2014. Vol. 81, No 1, p. 25–31. (in Russian)]
5. Shapiro A. I., Schmutz W., Rozanov E., Schoell M., Haberreiter 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* 529, A67 (2011). doi: 10.1051/0004-6361/201016173.
6. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Keihl J. Earth's global energy budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2009. Vol. 90. No 3. P. 311–323.
7. Trenberth K. E., Fasullo J. T. Tracking Earth's Energy: From El Nino to Global Warming. *Surveys in Geophysics*. 2012. V. 33. No 3. P. 413–426.
8. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Balmaseda M. A. Earth's Energy Imbalance. *J. Climate*. 2014. Vol. 27. P. 3129–3144.
9. 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.
10. Неелова Л. О. Параметризация альbedo подстилающей поверхности в гидродинамических моделях атмосферной циркуляции // «Математика. Компьютер. Образование». Сборник трудов XIV международной конференции. — Ижевск. 2007. С. 249–253. [Neelova L. O. Parametrization of albedo of the spreading surface in hydrodynamic models of atmospheric circulation. «Mathematics. Computer. Education». Collection of works XIV of the international conference. — Izhevsk. 2007. p. 249–253. (in Russian)]

Статья поступила в редакцию 13.11.2014



РосБиоТех-2015

9-й международный биотехнологический форум-выставка
28-30 октября 2015

www.rosbiotech.com

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Тел./факс: +7 (495) 609-40-35,

+7 (499) 604-10-75

E-mail: info@rosbiotech.com

Тематика выставки:

- медицинская биотехнология; промышленная биотехнология;
- биоэнергетика; биотопливо; экологическая безопасность;
- сельскохозяйственная и пищевая биотехнология;
- морская биотехнология; лесная биотехнология;
- природо-охранная (экологическая) биотехнология;
- зеленая экономика – качество жизни и активное долголетие.