

УДК 551.511.13

Влияние пропускания атмосферой теплового излучения земной поверхности на климат Земли

Канд. техн. наук Е. В. ЛАПОВОК, д-р техн. наук С. И. ХАНКОВ

leva0007rambler.ru

Университет ИТМО

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Актуальным направлением в области климатических исследований является анализ влияния пропускания атмосферой теплового излучения земной поверхности в окне ее прозрачности 8...13 мкм. С увеличением концентрации так называемых парниковых газов пропускание атмосферы уменьшается, что как принято считать, должно привести к росту планетарной температуры. Для анализа влияния пропускания атмосферы на температуру земной поверхности и атмосферы исследована математическая модель, описывающая нестационарный теплообмен в системе океан — атмосфера. В исследованиях моделировалась ситуация линейного во времени уменьшения величины пропускания атмосферы в спектре теплового инфракрасного излучения от исходного состояния, соответствующего нынешнему, до полного поглощения. Результаты показали, что при указанных условиях осуществляется медленное понижение средних температур океана и атмосферы. При понижении пропускания атмосферы до нуля переходной процесс продолжается еще десятилетия, и тем дольше, чем больше скорость уменьшения пропускания атмосферы. Это объясняется высокой термической инерционностью океана при низкой интенсивности теплоотдачи излучением. Понижение температур океана и атмосферы с уменьшением ее пропускания обусловлено тем, что избыток поглощенной атмосферой тепловой энергии переизлучается в космическое пространство.

Ключевые слова: климат Земли, океан, атмосфера, тепловой баланс, теплообмен излучением, термическая инерция океана.

Информация о статье

Поступила в редакцию 24.11.2015, принята к печати 09.02.2017

doi:10.21047/1606-4313-2017-16-1-62-65

Ссылка для цитирования

Лаповок Е. В., Ханков С. И. Влияние пропускания атмосферой теплового излучения земной поверхности на климат Земли // Вестник Международной академии холода. 2017. № 1. С. 62-65.

Earth's climate and the transmission of earth's heat radiation through the atmosphere

Ph. D. Ye. V. LAPOVOK, D. Sc. S. I. KHANKOV

leva0007@rambler.ru

ITMO University

197101, Russia, St. Petersburg, Kronverkskiy pr., 49

The analysis of the Earth's heat radiation transmission through the atmosphere in the window of from 8 to 3 mcm is an actual climatological issue. When concentration of the so called greenhouse gases increases atmospheric transmission reduces, that is generally believed to result in planetary temperature rise. We used mathematical model of unsteady heat transfer in the ocean-atmosphere system to analyze the influence of atmospheric transmission on the Earth's surface and atmosphere temperature. The linear-time reduction of atmospheric transmission in the infrared spectrum from its current state to complete absorption was simulated. The average temperatures of atmosphere and ocean were shown to reduce gradually under those conditions. When atmospheric transmission reduces to zero the transition process will continue for decades — the longer, the more the rate of atmospheric transmission decrease is. It is probably due to the high thermal response time of the ocean at low radiation heat transfer. As atmospheric transmission reduces the ocean and atmosphere temperature decreases due to reradiating the excess of thermal energy absorbed by the atmosphere into space.

Keywords: Earth's climate, ocean, atmosphere, heat balance, radiant heat transfer, ocean thermal response time.

Введение

Вопросам исследования вероятных тенденций изменения климата Земли с давних пор и по настоящее время уделяется большое внимание в литературе [1–14]. Одним из актуальных направлений исследований явля-

ется определение влияния на климат Земли выброса парниковых газов, от концентрации которых в атмосфере зависит пропускание теплового излучения земной поверхности в космическое пространство через окна прозрачности. Наиболее значимое окно прозрачности, опре-

деляющее энергетический баланс земной поверхности, соответствует спектральному диапазону 8...13 мкм [2–4, 11, 12]. Ранее нами было исследовано влияние пропускания атмосферы на тепловой режим планеты для стационарного теплового состояния — при переходе от одного равновесного состояния к другому [11, 12].

Большое практическое значение имеет определение динамики изменения климата, характеризуемого средними по поверхности Земли температурами земной поверхности и атмосферы. При этом анализ теплового режима земной поверхности может сводиться к ее представлению как к поверхности, полностью занятой океаном, что позволяет учитывать термическую инерционность как атмосферы, так и океана [13, 14].

Изменения климата Земли с учетом динамики тепловых процессов исследовались авторами для случая периодически изменяющихся тепловыделений в океане и атмосфере под действием долговременных вариаций солнечной постоянной [13, 14]. Ситуация монотонного изменения одного из определяющих параметров (в данном случае пропускания атмосферы в окне прозрачности) до настоящего времени не исследовалась. Учитывая актуальность и большую практическую значимость проблемы, в данной работе проведено моделирование нестационарного теплового режима океана и атмосферы в случае монотонного и непрерывного уменьшения пропускания атмосферы с различными скоростями. Это позволит дать ответ на вопрос о последствиях уменьшения пропускания атмосферы вследствие роста концентрации парниковых газов (главным образом, водяного пара и углекислого газа), причем с учетом отдаленных по времени последствий.

Физическая модель системы Океан — Атмосфера — Космическое пространство

Прежде всего, отметим необходимость проведения исследований при ограничении на постоянство всех остальных параметров в течение всего времени перехода от одного стационарного состояния к другому. В том числе, предполагается, что в долговременной перспективе солнечная постоянная не меняется. Это ограничение физически не реально [11–14]. Однако введение его является необходимым условием определения влияния данного конкретного фактора — пропускания атмосферы на климат Земли. Оправданием такого подхода является вклад в изменение климата Земли вариации солнечной постоянной (доли градуса) [13, 14], в то время как, в соответствии с результатами приведенных ниже расчетов, изменение пропускания атмосферы повлечет за собой изменение температур океана и атмосферы на единицы градусов.

Атмосфера рассматривалась как изотермическая сферическая оболочка, а земная поверхность как изотермическое сферическое ядро. На поверхности ядра и в оболочке в результате осредненного за сутки поглощения солнечной энергии действуют источники тепловыделений с равномерно распределенными поверхностными плотностями тепловой мощности. Ядро и оболочка находятся во взаимном радиационном и конвективном теплообмене. Оболочка частично прозрачна для теплового излучения ядра и сама отдает тепловую энергию излучением в открытый космос.

В исследованиях моделировалась ситуация линейного во времени уменьшения величины пропускания атмосферы в спектре теплового инфракрасного излучения от исходного состояния, соответствующего нынешнему, до полного поглощения. При этом рассматривались ситуации, когда полное поглощение атмосферой теплового излучения земной поверхности достигалось за 50, 100 и 200 лет.

Математическая модель энергетического баланса системы Океан — Атмосфера — Космическое пространство

Система уравнений, описывающих нестационарный тепловой баланс системы океан — атмосфера с учетом поглощенного солнечного излучения и теплоотдачи излучением в космическое пространство, имеет вид [11–14]:

$$\left. \begin{aligned} C_a \frac{dT_a}{d\tau} + \varepsilon_n \sigma (T_a^4 - T_o^4) + \alpha (T_a - T_o) + (1 - \gamma \delta_a) \varepsilon_a \sigma T_a^4 &= Q_a; \\ C_o \frac{dT_o}{d\tau} + \varepsilon_n \sigma (T_o^4 - T_a^4) + \alpha (T_o - T_a) + \gamma \delta_o \varepsilon_o \sigma T_o^4 &= Q_o; \\ \varepsilon_n &= (1 / (1 - \gamma \delta_o) \varepsilon_o + 1 / (1 - \gamma \delta_a) \varepsilon_a - 1)^{-1}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где C_o и C_a — поверхностные плотности теплоемкости океана и атмосферы, Дж·м⁻²·К⁻¹; T_o , T_a — среднеобъемные температуры океана и атмосферы; ε_a , ε_o , ε_n — степени черноты атмосферы, океана и приведенная степень черноты системы океан — атмосфера соответственно; α — конвективно-испарительный коэффициент теплоотдачи; γ — пропускание атмосферой теплового излучения земной поверхности в окне прозрачности; δ_o — доля энергии в окнах прозрачности атмосферы от интегральной во всем спектре энергии теплового излучения океана с температурой T_o ; δ_a — доля энергии, заключенной в спектральных диапазонах, соответствующих окнам прозрачности атмосферы, от интегральной энергии теплового излучения атмосферы с температурой T_a ; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт·м⁻²·К⁻⁴ — постоянная Стефана-Больцмана; Q_o — удельная мощность тепловыделений на поверхности океана; Q_a — удельная мощность тепловыделений в атмосфере.

В модели принимается изменение пропускания атмосферы по линейному закону, описываемому соотношением

$$\gamma = \gamma_0 (1 - \tau / \tau_0), \quad (2)$$

где γ_0 — начальное пропускание атмосферы, соответствующее нынешнему значению; τ_0 — длительность процесса уменьшения пропускания до нуля.

Исходные данные для расчета

Для решения системы (1) необходимо принять начальные условия и определить совокупность параметров, удовлетворяющих известным компонентам теплового баланса. В дальнейших расчетах использовались исходные данные, определенные ранее [11, 12].

В качестве исходных компонент теплового баланса приняты значения: $Q_o = 168$ Вт·м⁻²; $Q_a = 67$ Вт·м⁻². В качестве начальных значений температур принято

$T_o = 287$ К, $T_a = 284$ К. Из решения стационарного уравнения энергетического баланса определены следующие значения: $\varepsilon_o = 0,417$; $\varepsilon_a = 0,7$; $\alpha = 45,6$ Вт·м⁻²·К⁻¹; $\gamma_o = 0,8$. Поверхностная теплоемкость атмосферы определена по известной массе и удельной теплоемкости воздуха и составляет $C_a = 10^7$ Дж·м⁻²·К⁻¹. Для океана поверхностная теплоемкость для глубины активного слоя океана H в метрах равна $C_o = 4,2 \cdot 10^6 H$ Дж·м⁻²·К⁻¹. В расчетах принималось $H = 700$ м [13, 14].

Результаты расчетов

На рис. 1 представлены вычисленные из системы уравнений (1) зависимости от времени температур океана и атмосферы для случаев длительности процесса до полного перекрытия окна прозрачности τ_o , равной 50, 100 и 200 лет.

Из графика, показанного на рис. 1, можно сделать следующие выводы:

— снижение пропускания атмосферы в ее окне прозрачности приводит к уменьшению температур, а не к увеличению;

— скорость снижения температур существенно зависит от скорости уменьшения пропускания атмосферы, характеризуемой величиной τ_o . Длительность процесса охлаждения океана и атмосферы превышает время, за которое пропускание атмосферы падает до нуля, и составляет 150 лет при $\tau_o = 50$ лет, 180 лет при $\tau_o = 100$ лет и 270 лет при $\tau_o = 200$ лет. Таким образом, при снижении скорости уменьшения пропускания атмосферы, время перехода системы Земля — атмосфера в новое равновесное тепловое состояние приближается к времени умень-

шения пропускания атмосферы от исходного состояния до нуля;

— с уменьшением скорости снижения пропускания атмосферы увеличивается доля понижения температурного уровня в течении времени τ_o относительно суммарного понижения температур океана и атмосферы, например, температура океана при понижении пропускания атмосферы до нуля уменьшается в общей сложности на 6 К, из них — в течении длительности процесса перекрытия окна прозрачности атмосферы τ_o : на 3 К при $\tau_o = 50$ лет, на 4,4 К при $\tau_o = 100$ лет и на 5,2 К при $\tau_o = 200$ лет.

На рис. 2 приведены результаты расчетов изменения во времени удельных тепловых потоков для $\tau_o = 100$ лет. Поток излучения, передаваемый от океана к атмосфере, изменяется незначительно, и в течение всего процесса не превышает 8 Вт/м². Конвективно-испарительный удельный тепловой поток от океана к атмосфере превышает поток, передаваемый излучением, более чем на порядок и возрастает в процессе уменьшения пропускания атмосферы, а затем при $\tau > \tau_o$ плавно незначительно снижается. Подобным образом осуществляется изменение во времени удельного теплового потока, отдаваемого атмосферой излучением в космическое пространство.

Основной вывод, вытекающий из анализа графиков, показанных на рис. 2, заключается в том, что удельный тепловой поток, отдаваемый атмосферой в космическое пространство, после закрытия окна прозрачности по мере приближения к стационарному тепловому режиму превышает исходный на 40 Вт/м² с дальнейшим понижением на 5 Вт/м² при $\tau > \tau_o$. В результате суммарный излучаемый Землей в космическое пространство удельный тепловой поток остается постоянным и равным началь-

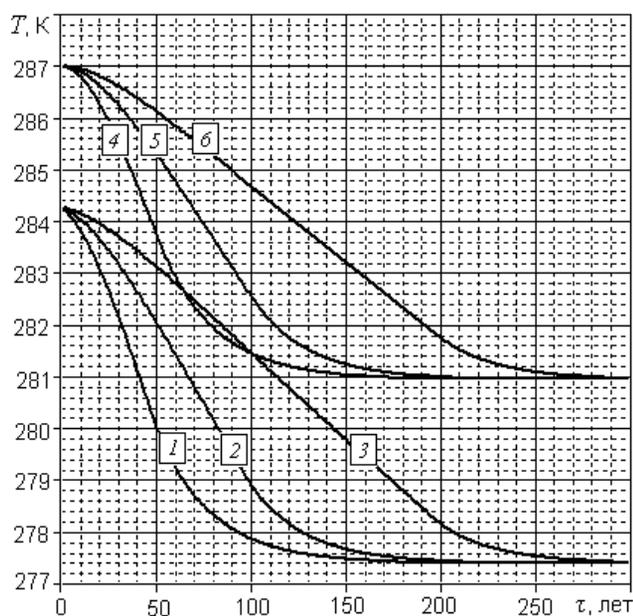


Рис. 1. Зависимость температур атмосферы (кривые 1, 2, 3) и океана (кривые 4, 5, 6) от времени при изменении пропускания атмосферы в спектре теплового излучения Земли от $\gamma_o = 0,8$ до $\gamma = 0$ за 50 лет (линии 1 и 4); 100 лет (линии 2 и 5) и 200 лет (линии 3 и 6) после начала убывания пропускания по линейному закону

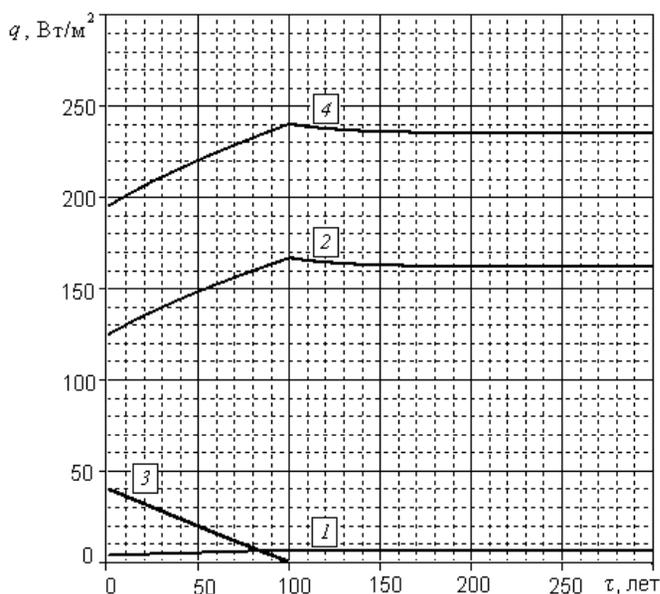


Рис. 2. Зависимости от времени удельных тепловых потоков при $\tau_o = 100$ лет: 1 — удельный лучистый поток, передаваемый от океана к атмосфере; 2 — удельный конвективный поток, передаваемый от океана к атмосфере; 3 — удельный поток, отдаваемый океаном излучением через окно прозрачности атмосферы в космическое пространство; 4 — удельный поток, отдаваемый атмосферой излучением в космическое пространство

ному значению 235 Вт/м^2 . Это подтверждает теорию профессора О. Г. Сорохтина, который утверждал, что с ростом концентрации в атмосфере углекислого газа атмосфера переизлучает в космическое пространство избыток тепловой энергии, что приводит к похолоданию [16].

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что при уменьшении пропускания атмосферы осуществляется значительное похолодание климата. При этом к моменту полного перекрытия окна прозрачности понижение температуры зависит от скорости уменьшения пропускания, а после того осуществляется дальнейшее охлаждение (второй этап процесса).

Парниковый эффект в том виде, который предсказывал С. Аррениус [17], возможен в случае постоянства удельного теплового потока, передаваемого от океана к атмосфере конвективно — испарительным способом. Однако, как видно из рис. 2, при уменьшении пропускания атмосферы указанный поток существенно возрастает (на 30%), тем самым с избытком компенсируя потери тепловой мощности, которая передавалась от океана в космическое пространство через окно прозрачности.

Литература (References)

1. Syukuro Manabe and Robert F. Strickler Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Convective Adjustment. *Jour. Atm. Sci.*, 1964. vol. 21, No 6, pp. 361–385.
2. Ramanathan V. The Role of Ocean-Atmosphere Interactions in the CO_2 Climate Problem. *Jour. Atm. Sci.*, 1981. vol. 38, No 5, pp. 918–930.
3. Timothy Andrews Using an AGCM to Diagnose Historical Effective Radiative Forcing and Mechanisms of Recent Decadal Climate Change. *Journal of Climate*, 2014, vol. 27, No 3, pp. 1193–1209.
4. Скляр Ю. А., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю., Фейгин В. М. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ «Метеор-М» № 1. Аппаратура ИКОР-М // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. т. 9. № 2. С. 173–180. [Sklyarov Yu. A., Vorob'ev V. A., Kotuma A. I., Chervyakov M. Yu., Feigin V. M. Measurements of components of a radiation balance of Earth with No. 1 Meteor-M artificial satellite. Equipment IKOR M. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2012. Vol. 9. No 2. p. 173–180. (in Russian)]
5. Скляр Ю. А., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю., Фейгин В. М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 83–90. [Sklyarov Yu. A., Vorob'ev V. A., Kotuma A. I., Chervyakov M. Yu., Feigin V. M. Algorithm of data processing of observations of the leaving short-wave radiation with No. 1 Meteor-M artificial satellite. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2012. Vol. 9. No 3. p. 83–90. (in Russian)]
6. Keihl J. T. and Kevin E. Trenberth Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bull. of the Amer. Met. Soc.*, 1997, vol. 78, No 2, pp. 197–208.
7. Kevin E. Trenberth, Fasullo J. T. and Keihl J. T. Earth's Global Energy Budget. *Bull. of the Amer. Met. Soc.*, 2009, vol. 90, No 3, pp. 311–323.
8. Kevin E. Trenberth, John T. Fasullo. An apparent hiatus in global warming? *Earth's Future*. 2013, vol 1, No 1, pp. 19–32.
9. Magdalena Balmaseda, Kevin Trenberth, Erland Kallen. Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content. *Geophysical Research Letters*, 2013, vol. 40, No 9, pp. 1754–1759.
10. Clara Deser, Adam S. Phillips, Michael A. Alexander, and Brian V. Smoliak Projecting North American Climate over the Next 50 Years: Uncertainty due to Internal Variability. *Journal of Climate*, 2014, vol. 27, No 6, pp. 2271–2296.
11. Abdussamatov H. I., Bogoyavlenskii A. I., Khankov S. I., Lapovok Y. V. The Influence of the Atmospheric Transmission for the Solar Radiation and Earth's Surface Radiation on the Earth's Climate. *Journal of Geographic Information System*, 2010, No 2, pp. 194–200.
12. Abdussamatov H. I., Bogoyavlenskii A. I., Khankov S. I., Lapovok Y. V. Modeling of the Earth's Planetary Heat Balance with Electrical Circuit Analogy. *J. Electromagnetic Analysis & Applications*, 2010, No 2, pp. 133–138.
13. Abdussamatov H. I., Bogoyavlenskii A. I., Khankov S. I., Lapovok Y. V. The Thermal Inertia Characteristics of the System Ocean-Atmosphere. *Journal of Geographic Information System*, 2012, No 4, pp. 479–482.
14. 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 Y. V., Khankov S. I. Alternations of the energy balance and 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)]
15. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. A heat transfer textbook, 3rd ed. Cambridge, MA, Phlogiston Press, 2008.
16. Chilingar G. V., Khilyuk L. F., Sorokhtin O. G. Cooling of Atmosphere Due to CO_2 Emission. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2008, No 30, pp. 1–9.
17. Arrhenius S. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Phil. Mag. and J. of Sci.*, 1896, vol. 5, No 41, pp. 237–276.
18. Лаповок Е. В., Ханков С. И. Аналитическое описание нестационарных температур изотермического объекта в условиях его лучистого теплообмена с окружающей средой. // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2012, т. 55, № 3. с. 56–60. [Lapovok Y. V., Khankov S. I. The analytical description of nonstationary temperatures of an isothermal object in the conditions of its radiation heat exchange with a surrounding medium. *Izvestiya VUZov. Priborostroenie*. 2012, Vol. 55, No 3. p. 56–60. (in Russian)]