

УДК 536.2/.332/.483; 551.511.13

Понижение температур океана и атмосферы и наступление большого ледникового периода в условиях установления циклов Миланковича

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

Разработана математическая модель, описывающая зависимости от времени движения Земли по эллиптической траектории вокруг Солнца температур океана и атмосферы. Исследования проводились для двух значений эксцентриситета орбиты Земли. Одно значение соответствует реализуемому в настоящее время $e = 0,0167$, второе принято равным максимально возможному значению эксцентриситета $e = 0,0658$, которое согласно теории Миланковича соответствует глубокому климатическому минимуму. При глубине активного слоя океана 700 м поверхностная плотность полной теплоемкости океана в 300 раз превышает поверхностную плотность полной теплоемкости атмосферы. Однако вследствие интенсивной тепловой связи океана и атмосферы, в наибольшей степени обусловленной конвективно-испарительной компонентой значения коэффициента теплоотдачи, величины термической инерции атмосферы и океана близки и динамика изменения их температур подобна изменению планетарной температуры. Вне зависимости от величины эксцентриситета орбиты Земли, переход от начального равновесного состояния к установившемуся колебательному состоянию при движении по эллиптической орбите составляет около 200 лет. При условии постоянства альбедо Бонда Земли снижение температур океана и атмосферы составляет около 1,5 К при увеличении эксцентриситета орбиты от 0,0167 до 0,0658. Существенное снижение этих температур возможно только за счет повышения альбедо Бонда вследствие увеличения площади ледового и снежного покрова на поверхности Земли. Годовые колебания температур океана и атмосферы составляют соответственно 0,02 К и 0,1 К при нынешнем значении эксцентриситета и 0,1 К и 0,4 К при максимальном увеличении эксцентриситета орбиты.

Ключевые слова: циклы Миланковича, средняя температура океана, средняя температура атмосферы, эллиптическая орбита, солнечная постоянная, альбедо Бонда.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 13.06.2017, принята к печати 28.07.2017

DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-3-62-66

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Абдусаматов Х. И., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Понижение температур океана и атмосферы и наступление большого ледникового периода в условиях установления циклов Миланковича // Вестник Международной академии холода. 2017. № 3. С. 62–66.

Decrease in temperatures of the ocean and the atmosphere and approach of big Ice Age in the conditions of establishment of cycles of Milankovich

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

The mathematical model describing dependences on time of the movement of Earth on an elliptic trajectory around the Sun of temperatures of the ocean and the atmosphere is developed. Researches were conducted for two values of eccentricity of an orbit of Earth. One value corresponds realized nowadays. The second is accepted equal to the greatest possible value of eccentricity which according to Milankovich's theory corresponds to a deep climatic minimum. With a depth of an active layer of the ocean of 700 m area density of a full thermal capacity of the ocean by 300 times exceeds area density of a full thermal capacity of the atmosphere. However owing to the intensive thermal communication of the ocean and the atmosphere which is most caused convective and vaporizing component values of coefficient of a thermolysis, size of thermal inertia of the atmosphere and the ocean are close and dynamics of change of their temperatures is similar to change of planetary temperature. Regardless of the size of eccentricity of an orbit of Earth, transition from an initial equilibrium state to the

established oscillatory state at the movement on an elliptic orbit makes about 200 years. On condition of constancy of albedo of the Bond of Earth decrease in temperatures of the ocean and the atmosphere makes about 1.5 K to an increase in eccentricity of an orbit from 0.0167 to 0.0658. Essential decrease in these temperatures is possible only due to increase in albedo of the Bond owing to increase in the area of ice and snow cover on the Earth's surface. Annual fluctuations of temperatures of the ocean and the atmosphere make respectively 0.02 K and 0.1 K to at present value of eccentricity and 0.1 K and 0.4 K at the maximum increase in eccentricity of an orbit.

Keywords: Milankovich's cycles, average temperature of the ocean, average temperature of the atmosphere, elliptic orbit, solar constant, Bond albedo.

Article info:

Received 13/06/2017, accepted 28/07/2017

DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-3-62-66

Article in Russian

For citation:

Abdussamatov H. I., Lapovok Ye. V., Khankov S. I. Decrease in temperatures of the ocean and the atmosphere and approach of big Ice Age in the conditions of establishment of cycles of Milankovich. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2017. No 3. p. 62–66.

Введение

В соответствии с астрономической теорией палеоклимата [1, 2], существенное влияние на климат оказывает величина эксцентриситета орбиты Земли при ее движении вокруг Солнца. Увеличение эксцентриситета орбиты должно приводить к уменьшению инсоляции вблизи точки апогея орбиты [3, 4]. Циклам Миланковича, критике и доработке этой теории посвящено большое количество литературы [5–13]. Методика расчетов планетарной температуры в условиях реализации циклов Миланковича была разработана нами ранее [14]. При этом использовались, разработанные к настоящему времени, аналитические методики расчета нестационарных температур сферических космических объектов при их движении по эллиптической орбите вокруг Земли [15], пригодные также для вычислений планетарной температуры Земли при ее движении вокруг Солнца по эллиптической орбите с заданным эксцентриситетом.

Согласно теории Миланковича, изменение эксцентриситета орбиты Земли оказывает существенное влияние на инсоляцию верхних слоев атмосферы Земли. При увеличении эксцентриситета относительно нынешнего значения примерно в четыре раза (согласно прогнозам Миланковича) возможно весьма существенное понижение планетарной температуры, которое способно вызвать значительный прирост криосферы Земли. Предполагается, что это может повлечь за собой установление большого ледникового периода, причем скорость развития этого ледникового периода существенно больше скорости выхода из этого состояния. При этом ожидается значительно большее понижение температуры при повышении эксцентриситета орбиты, чем в случае снижения солнечной активности, приводящей к малому ледниковому периоду [3, 4].

Подробное математическое описание изменения планетарной температуры и вызываемого им прироста массы криосферы и увеличения площадей ледового и снежного покровов на поверхности Земли, с учетом замерзания части площади поверхности Мирового океана, слишком сложно. До настоящего времени такие

математические модели не разрабатывались и в литературе отсутствует математическое описание нелинейных взаимосвязанных процессов изменения планетарной температуры с учетом фазовых переходов и повышения альbedo Бонда Земли, приводящего к дальнейшему дополнительному понижению температур земной поверхности и атмосферы. Поэтому в рамках данного исследования достаточно использовать в качестве показателя реализации большого ледникового периода вычисляемые значения планетарной температуры.

Целью данной работы являлась разработка методики проведения расчетов температур океана и атмосферы Земли при ее движении по эллиптической траектории с двумя значениями эксцентриситета орбиты — соответствующим нынешнему значению и реализуемому в циклах Миланковича.

Актуальность данной задачи определяется отсутствием в литературе результатов исследований влияния параметров орбиты Земли на температуры океана и атмосферы в планетарном масштабе. Вместе с тем, как температурные уровни океана и атмосферы, так и их разности являются существенным климатообразующим фактором.

Физическая модель

При исследовании влияния изменения эксцентриситета орбиты Земли на среднюю температуру океана и атмосферы принимается тот факт, что энергетический баланс определяется усредненными по поверхности величинами поглощенной солнечной энергии и излученной в космическое пространство собственной тепловой энергии, а также величиной изменения теплосодержания, вызванного изменением расстояния до Солнца в процессе движения по эллиптической траектории.

Математическая модель

Модель содержит два дифференциальных уравнения нестационарного теплового баланса океана и атмосферы с учетом зависимости солнечной постоянной от расстоя-

яния между Землей и Солнцем для конкретных значений эксцентриситета орбиты Земли.

В рамках принятой физической модели, энергетический баланс Земли может быть описан системой нестационарных дифференциальных уравнений теплообмена вида

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

где C_a и C_o — соответственно поверхностные плотности полных теплоемкостей атмосферы и океана; T_a и T_o — соответственно температуры атмосферы и океана; τ — текущее время; ε_n — приведенная степень черноты системы океан-атмосфера; σ — постоянная Стефана — Больцмана, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); α — суммарный конвективно-испарительный коэффициент теплопередачи между океаном и атмосферой; γ — пропускание атмосферы в спектре инфракрасного теплового излучения земной поверхности; δ_a и δ_o — соответственно доли энергии, заключенной в окне прозрачности атмосферы (8...13 мкм) от интегральной энергии излучения при температурах атмосферы и океана; ε_a и ε_o — соответственно степени черноты атмосферы и океана; Q_a и Q_o — удельные тепловые потоки солнечного излучения, поглощенные, соответственно, атмосферой и океаном.

Фактор переноса или приведенная степень черноты системы океан-атмосфера с учетом описанной физической модели описывается следующим соотношением [16]

$$\varepsilon_n = \left[\frac{1}{(1 - \gamma \delta_o) \varepsilon_o} + \frac{1}{(1 - \gamma \delta_a) \varepsilon_a} - 1 \right]^{-1}. \quad (2)$$

Удельные тепловые потоки, поглощенные атмосферой и океаном, описываются с помощью соотношений вида

$$\begin{aligned} Q_a &= \kappa_a Q_\Sigma; \quad Q_o = \kappa_o Q_\Sigma; \quad Q_\Sigma = (1 - A) Q_{in}; \quad Q_{in} = \frac{E}{4}; \quad (3) \\ A &= A_a + (1 - A_a) A_o \beta, \end{aligned}$$

где κ_a и κ_o соответственно доли общей удельной мощности, поглощаемые атмосферой и океаном от общей удельной мощности солнечной энергии Q_Σ , поглощаемой Землей как планетой, при этом $\kappa_a + \kappa_o = 1$; A — альbedo Бонда Земли; Q_{in} — инсоляция верхней границы атмосферы Земли; E — солнечная постоянная; A_a — эффективное альbedo атмосферы; A_o — эффективное альbedo океана; β — пропускание атмосферы в спектре солнечного излучения.

С учетом выражения для альbedo Бонда величина Q_Σ может быть описана конечным выражением вида

$$Q_\Sigma = (1 - A_a)(1 - A_o \beta) Q_{in} \quad (4)$$

Доли удельных поглощаемых мощностей могут быть определены через параметры β и A_o с помощью соотношений:

$$\kappa_a = \frac{1 - \beta}{1 - A_o \beta}; \quad \kappa_o = \frac{(1 - A_o) \beta}{1 - A_o \beta}. \quad (5)$$

Исходные данные для расчетов

Параметры уравнений определяются по известным данным об энергетическом балансе планеты [17–20]. В результате в расчетах использовались следующие значения параметров, которые ранее были приняты при определении планетарной температуры Земли (усредненные значения температур океана и атмосферы): $Q_{an} = 69$ Вт/м²; $Q_{on} = 170$ Вт/м²; $Q_\Sigma = 239$ Вт/м²; $\gamma = 0,8$; $\varepsilon_a = 0,7$; $\varepsilon_o = 0,417$; $\alpha = 45,56$ Вт/м²·К; $C_a = 10^7$ (Дж/м²·К); $C_o = 4,2 \times 10^6 \times H$ (Дж/м²·К), где H — глубина активного слоя океана. Расчеты проводились для глубины активного слоя океана $H = 700$ м. Значения эффективных параметров равны: $\beta = 0,747$; $A_a = 0,225$ [14,16–21]. Величина альbedo земной поверхности (океана) принималась равной $A_o = 0,15$; $A_a = 0,3$ и $A_o = 0,5$.

Поскольку Земля движется вокруг Солнца не по круговой, а по эллиптической орбите с небольшим эксцентриситетом, величина, условно называемая солнечной постоянной, изменяется в небольших пределах. Величина большой полуоси эллипса, описывающего орбиту Земли вокруг Солнца, во всех ситуациях постоянна и равна $a = 1,5 \times 10^{11}$ м. Дальнейшие расчеты проводились для двух значений эксцентриситета: $e = 0,0167$, реализуемого ныне, и $e = 0,0658$, что соответствует эксцентриситету, который Миланкович предположил в случае реализации глубокого климатического минимума [1, 2].

Зависимость от времени величины «солнечной постоянной» может быть описана на основании данных [14] соотношением общего вида

$$\begin{aligned} E(\tau) &= \left[\frac{h_o}{h(\tau)} \right]^2 E_o; \quad h(\tau) = c + b \left| \sin \left(\pi \frac{\tau}{t_o} \right) \right|; \\ c &= (1 - e) a; \quad b = 2ea \end{aligned} \quad (6)$$

где $h_o = 1,496$ — относительное значение среднего расстояния от Солнца до Земли; $h(\tau)$ — относительное текущее значение расстояния от Солнца до Земли; $E_o = 1366$ Вт/м² — нынешнее значение солнечной постоянной; c и b — коэффициенты, описывающие траекторию Земли вокруг Солнца с учетом эксцентриситета орбиты.

Для значений эксцентриситета орбиты $e = 0,0167$ и $e = 0,0658$ значения коэффициентов в (6) равны: $c = 1,475$; $b = 0,05$ и $c = 1,4$; $b = 0,1974$ соответственно. Период обращения Земли вокруг Солнца равен $t_o = 3,16 \cdot 10^7$ с.

Результаты расчетов

Результаты расчетов максимальных температур океана и атмосферы для двух значений эксцентриситетов орбит представлены в таблице. Там же приведены разности между температурами океана и атмосферы в точках перигелия и афелия.

Значения альbedo океана в расчетах задавались в виде характерных значений с учетом того, что предполагалось увеличение площади ледового покрова на поверхности Мирового океана. Как было указано во введении, решение задачи об изменении средней температуры океана и атмосферы с учетом фазового перехода пред-

Значения температур океана и атмосферы в точках перигелия и афелия Земли относительно Солнца

The ocean and atmosphere temperatures at the perihelion and aphelion of the Earth to the Sun

Значения параметров, определяющих климат		Значения температур, К			
эксцентриситет орбиты Земли	альbedo океана	максимальная		разность между максимальной и минимальной температурами	
		океан	атмосфера	океан	атмосфера
0,0167	0,15	287,4	284,7	0,02	0,1
	0,3	275,9	273,8	0,02	0,1
	0,5	261,4*	259,9	0,02	0,1
0,0658	0,15	285,9	283,4	0,1	0,4
	0,3	274,5	272,5	0,1	0,4
	0,5	260,1	258,7	0,1	0,4

* Жирным шрифтом выделены температуры, значения которых ниже температуры замерзания воды

ставляет собой крайне сложную задачу. Поэтому, вычисляя максимальные значения температур океана и атмосферы при разных значениях альbedo поверхности океана, можно наглядно видеть границу фазового перехода вода — лед в глобальном масштабе. В расчетах принималось, что остальные параметры системы океан — атмосфера, в том числе, среднее значение альbedo атмосферы, остаются постоянными.

Выводы

По результатам проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Величина альbedo земной поверхности влияет на температуру и океана и атмосферы существенно больше, чем изменение эксцентриситета орбиты Земли. Важ-

но отметить, что годовые колебания температуры атмосферы более значительны, чем аналогичные колебания температуры океана (примерно в пять раз больше в нынешнем состоянии и примерно в 4 раза больше в условиях циклов Миланковича). При этом указанные колебания температур не зависят от величины альbedo земной поверхности.

2. При весьма значительном увеличении площади ледового и снежного покрова, приводящем к росту альbedo земной поверхности до значения $A_0 = 0,3$ температура земной поверхности, а особенно атмосферы, приближается к точке замерзания воды. В гипотетическом случае реализации значения $A_0 = 0,5$ температуры океана и атмосферы будут существенно ниже температуры замерзания воды, что означает наступление большого ледникового периода при этих условиях.

Литература

1. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебания климата. — М. — Л.: ГОНТИ, 1939, 207 с.
2. Milankovitch M. Kanonder Erdbestrahlung genundseine Anwendung auf das Eiszeitenproblem., 1941 In: Canon of insolation and the ice Age problem. With introduction and biographical essay by Nicola Pantic Hardbound. Alven Global Belgrade 1998. 636 p.
3. Абдусаматов Х. И. Солнце диктует климат Земли. — СПб.: Изд-во «Logos», 2009. 197 с.
4. Абдусаматов Х. И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к Малому ледниковому периоду. — СПб.: Нестор-История, 2013. 246 с.
5. Болшаков В. А. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. Под ред. академика РАН Кондратьева К. Я. — М.: 2003. 256 с.
6. Carl Wunsch. Quantitative estimate of the Milankovitch forced contribution to observed Quaternary climate change // Quaternary Science Reviews, 2004, vol. 23, pp. 1001–1012.
7. Broecker W. S. Climate cycles — upset for Milankovitch theory // Nature. 1992, vol. 359, pp. 779–780.
8. Hays, J. D., Imbrie, J., Shackleton, N. J. Variations in the Earth’s orbit, pacemaker of the ice ages // Science. 1976, vol. 194, pp. 1121–1132.

References

1. Milankovich M. Mathematical climatology and astronomical theory of fluctuation of climate. Moscow-Leningrad, GONTI, 1939, 207 p. (in Russian)
2. Milankovitch M. Kanonder Erdbestrahlung genundseine Anwendung auf das Eiszeitenproblem., 1941 In: Canon of insolation and the ice Age problem. With introduction and biographical essay by Nicola Pantic Hardbound. Alven Global Belgrade 1998. 636 p.
3. Abdussamatov H. I. the sun dictates climate of Earth. SPb.: Logos publishing house, 2009. 197 p. (in Russian)
4. Abdussamatov H. I. The deep minimum of power of sunlight will lead to Small Ice Age. SPb.: Nestor History, 2013. 246 p. (in Russian)
5. Bolshakov V. A. New concept of the orbital theory of a paleoklimat. Under the editorship of the academician of RAS Kondratyev K. Ya. Moscow, 2003. 256 p. (in Russian)
6. Carl Wunsch. Quantitative estimate of the Milankovitch forced contribution to observed Quaternary climate change. *Quaternary Science Reviews*, 2004, vol. 23, pp. 1001–1012.
7. Broecker W. S. Climate cycles — upset for Milankovitch theory. *Nature*. 1992, vol. 359, pp. 779–780.
8. Hays, J. D., Imbrie, J., Shackleton, N. J. Variations in the Earth’s orbit, pacemaker of the ice ages. *Science*. 1976, vol. 194, pp. 1121–1132.

9. Imbrie, J., Imbrie, J. Z. Modeling the climatic response to orbital variations. *Science* 1980, vol. 207, pp. 943–953.
10. Karner, D. B., Muller, R. A. A causality problem for Milankovitch // *Science*. 2000, vol. 288, pp. 2143–2144.
11. Ruddiman, W. F. *Earth's Climate. Past and Future*. W. H. Freeman, New York, 2001, 465 p.
12. Saltzman, B. *Dynamical Paleoclimatology. Generalized Theory of Global Climate Change*. Academic Press, San Diego, 2002, 354 p.
13. Ashkenazy Y., Eisenman I., Gildor H., Tziperman E. The Effect of Milankovitch Variations in Insolation on Equatorial Seasonality // *Journal of climate*, 2010, vol. 23, pp. 6133–6142.
14. Абдусаматов Х. И., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Методика расчета планетарной температуры в условиях установления циклов Миланковича // *Вестник Международной академии холода*. 2016, № 3, С. 82–86.
15. Дзитоев А. М., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Аналитическая методика расчета нестационарной температуры сферического космического объекта при его движении по полярной эллиптической орбите // *Труды ВКА имени А. Ф. Можайского*. 2014. № 2 (643). С. 98–106.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Kevin E. Trenberth, John T. Fasullo. An apparent hiatus in global warming? // *Earth's Future* 2013, vol. 1, № 1, pp. 19–32.
20. 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.
21. 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.
9. Imbrie, J., Imbrie, J. Z. Modeling the climatic response to orbital variations. *Science*. 1980, vol. 207, pp. 943–953.
10. Karner, D. B., Muller, R. A. A causality problem for Milankovitch. *Science*. 2000, vol. 288, pp. 2143–2144.
11. Ruddiman, W. F. *Earth's Climate. Past and Future*. W. H. Freeman, New York, 2001, 465 p.
12. Saltzman, B. *Dynamical Paleoclimatology. Generalized Theory of Global Climate Change*. Academic Press, San Diego, 2002, 354 p.
13. Ashkenazy Y., Eisenman I., Gildor H., Tziperman E. The Effect of Milankovitch Variations in Insolation on Equatorial Seasonality. *Journal of climate*, 2010, vol. 23, pp. 6133–6142.
14. Abdussamatov H. I., Lapovok E. V., Khankov S. I. A method of calculation of planetary temperature in the conditions of establishment of cycles of Milankovich. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2016, No. 3, p. 82–86. (in Russian)
15. Dzitoyev A. M., Lapovok E. V., Khankov S. I. An analytical method of calculation of nonstationary temperature of a spherical space object at its movement on a polar elliptic orbit. *Works VKA of name A. F. Mozhaisky*. 2014. No. 2 (643). P. 98–106. (in Russian)
16. Lapovok E. V., Khankov S. I. Earth's climate and the transmission of earth's heat radiation through the atmosphere. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2017, No. 1, p. 62–65. (in Russian)
17. 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.
18. 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.
19. Kevin E. Trenberth, John T. Fasullo. An apparent hiatus in global warming? *Earth's Future*. 2013, vol. 1, No 1, pp. 19–32.
20. 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.
21. Abdussamatov H. I., Lapovok E. V., Khankov S. I. Monitoring of the energy balance of Earth from a point of Lagrange of L1. *Optical Journal*. 2014, vol. 81, No. 1, p. 25–31. (in Russian)

Сведения об авторах

Абдусаматов Хабибулло Исмаилович

д. физ.-мат. н., заведующий Сектором космических исследований Солнца ГАО РАН,
196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65,
abduss@gao.spb.ru

Лаповок Евгений Владимирович

к.т. н., ГАО РАН,
196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65,
leva0007@rambler.ru

Ханков Сергей Иванович

д.т. н., ГАО РАН,
196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65,
leva0007@rambler.ru

Information about authors

Abdussamatov Habibullo Ismailovich

D. Sc., head of the department of space researches of the Sun of Pulkovo Observatory,
196140, Russia, Saint-Petersburg, Pulkovskoye chaussee 65,
abduss@gao.spb.ru

Lapovok Evgeny Vladimirovich

Ph.D., Pulkovo Observatory,
196140, Russia, Saint-Petersburg, Pulkovskoye chaussee 65,
leva0007@rambler.ru

Khankov Sergey Ivanovich

D. Sc., Pulkovo Observatory,
196140, Russia, Saint-Petersburg, Pulkovskoye chaussee 65,
leva0007@rambler.ru