

УДК 523.9

Х. И. Абдусаматов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
Пулковское шоссе 65, Санкт-Петербург, Россия 196140
abduss@gao.spb.ru

Двухвековое уменьшение солнечной постоянной приводит к несбалансированному тепловому бюджету Земли и глубокому похолоданию климата

Изменения во времени мощности длинноволнового излучения системы Земля — атмосфера в космос всегда отстают от изменений мощности поглощенного солнечного излучения вследствие медленного изменения её теплосодержания. Долговременное изменение поглощаемой Землей энергии солнечного излучения в течение времени, определяемого термической инерцией, остаётся нескомпенсированным излучаемой в космос энергией. Поэтому приходные и расходные части среднегодового энергетического бюджета земного шара с его воздушной и водной оболочками практически всегда находятся в несбалансированном состоянии, что является основным состоянием климатической системы. Среднегодовое сальдо теплового бюджета системы Земля — атмосфера за длительный период времени надежно определит ход и величину накопленного Землей избытка или дефицита энергии, и с учетом прогноза вариаций солнечной постоянной может достоверно определить и заблаговременно предсказать направление и глубину грядущего изменения климата. С начала 1990-х гг. наблюдается уменьшение солнечной постоянной. Вследствие того что Солнце входит в фазу спада двухвековых изменений светимости, Земля как планета и в дальнейшем будет иметь отрицательное сальдо в энергетическом бюджете, что ориентировочно в 2014 г. приведёт к снижению температуры. В результате увеличения альбедо и уменьшения концентрации парниковых газов в атмосфере дополнительно будут уменьшаться поглощаемая доля солнечной энергии и влияние парникового эффекта. Воздействия последовательной цепочки эффектов обратной связи могут привести к дополнительному снижению температуры, превосходящему влияние снижения солнечной постоянной. Наступление глубокого двухвекового минимума солнечной постоянной следует ожидать в 2042 ± 11 г., а 19-го Малого ледникового периода за последние 7500 лет — в 2055 ± 11 г.

ДВОВІКОВЕ ЗМЕНШЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПОСТІЙНОЇ ПРИЗВОДИТЬ ДО НЕЗБАЛАНСОВАНОГО ТЕПЛОВОГО БЮДЖЕТУ ЗЕМЛІ І ГЛИБОКОГО ПОХОЛОДАННЯ КЛІМАТУ, Абдусаматов Х. І. — Зміни у часі потужності довгохвильового випромінювання системи Земля — атмосфера в космос завжди відстають від змін потужності поглиненого сонячного випромінювання внаслідок повільних змін її теплоємності. Довгострокові зміни поглиненої Землею енергії сонячного випромінювання протягом часу, що визначається термічною інерцією, залишаються незкомпенсованими випромінюваною у космос енергією. Тому прихідні і витратні частини середньорічного енергетичного бюджету земної кулі з її повітряною і водяною оболонками практично завжди перебувають у незбалансованому стані, що є основним станом кліматичної системи. Середньорічне сальдо теплового бюджету системи Земля — атмосфера за тривалий час надійно визначить хід і величину накопиченого Землею надлишку чи дефіциту енергії, і з урахуванням прогнозу варіацій сонячної постійної може достовірно визначити і завчасно передбачити напрямок і глибину майбутніх змін клімату. З початку 1990-х рр. спостерігається зменшення сонячної постійної. Внаслідок того що Сонце входить у фазу спаду двовікових змін світності, Земля як планета і надалі матиме негативне сальдо в енергетичному бюджеті, що орієнтовно в 2014 р. призведе до зменшення температури. В результаті збільшення альбедо і зменшення концентрації парникових газів у атмосфері додатково будуть зменшуватися поглинена доля енергії сонячної постійної та вплив парникового ефекту. Дія послідовного ланцюжка ефектів зворотного зв'язку може призвести до додаткового зменшення температури, що перевищує вплив зменшення сонячної постійної. Настання глибокого двовікового мінімуму сонячної постійної слід очікувати у 2042 ± 11 р., а 19-го Малоого льодовикового періоду за останні 7500 років — у 2055 ± 11 р.

BICENTENNIAL DECREASE OF THE TOTAL SOLAR IRRADIANCE LEADS TO UNBALANCED THERMAL BUDGET OF THE EARTH AND DEEP CLIMATE COOLING, by Abdussamatov H. I. — Temporal changes in the power of the long-wave radiation of the system “Earth — atmosphere” which is emitted to space always lag behind changes in the power of absorbed solar radiation due to slow change of its enthalpy. Long-term changes in the energy of solar radiation received by the Earth during a time interval determined by thermal inertia remain uncompensated by the energy emission to space. That is why the debit and credit parts of the average annual energy budget of the terrestrial globe with its air and water envelopes are practically always in an unbalanced state which is a basic state of climatic system. Average annual balance of the thermal budget of the system “Earth — atmosphere” during a long time period will reliably determine the course and value of an energy excess accumulated by the Earth or an energy deficit in the thermal budget and, with consideration for data of

the TSI forecast, can define and predict well in advance the direction and amplitude of the forthcoming climate changes. From early 1990s, some decrease in the TSI has been observed. Since the Sun is now approaching the phase of bicentennial luminosity decrease, the Earth as a planet will henceforward have negative balance in the energy budget which will result in a temperature drop in approximately 2014. Due to an increase of albedo and decrease of the atmospheric concentration of green-house gases, the absorbed portion of solar energy and the influence of the green-house effect will additionally decline. The influence of the consecutive chain of feedback effects which can lead to an additional drop of temperature will surpass the influence of the TSI decrease. The onset of the deep bicentennial minimum of the TSI is expected in approximately 2042 ± 11 and the on set of the 19th Little Ice Age during the past 7500 years is anticipated in 2055 ± 11 .

Введение. О наличии связи между уровнем пятнообразовательной активности Солнца и климатом впервые известил Уильям Гершель в 1801 г. после обнаруженной им отрицательной корреляции между ценой на пшеницу и уровнем солнечной активности до и в период минимума Дальтона [13]. Гершель предположил, что изменение цен на пшеницу является следствием соответствующих изменений климата, однако объяснить физическую природу этого явления он не мог. Позднее было установлено наличие взаимосвязи между чётко определенными периодами значительных вариаций уровня солнечной пятнообразовательной активности в течение всего прошлого тысячелетия и соответствующими глубокими изменениями климата как по фазе, так и по амплитуде [12]. В каждом из 18 глубоких минимумов солнечной активности типа маундеровского с двухвековым циклом, установленных в течение последних 7500 лет, наблюдался период глубокого похолодания, а в периодах высокого максимума активности — глобального потепления [8]. Новые исследования [11, 16] подтверждают наши ранние результаты [5, 6] о непосредственном совокупном влиянии 11-летнего и двухвекового колебаний солнечной постоянной с некоторой задержкой на изменение состояния поверхностных слоев (глубиной десятки и сотен метров) тропической части Тихого океана, сопровождающееся появлением теплой или холодной воды (циклы явлений Эль-Ниньо или Ла-Нинья), что незамедлительно отражается и на изменении климата. Наблюдаемые характеристики Эль-Ниньо на протяжении последних 31 лет изменялись не так, как предсказывали климатические модели, предполагающие преобладающее влияние парниковых газов [11, 16]. Итак, колебания характеристик Эль-Ниньо в целом были вызваны естественными причинами — циклическими вариациями солнечной постоянной.

Вариации солнечной постоянной и эффекты обратной связи. Физическая природа глубоких изменений климата в течение последних 7500 лет была непосредственно связана с соответствующими изменениями солнечной постоянной S . Нами установлено, что вариации

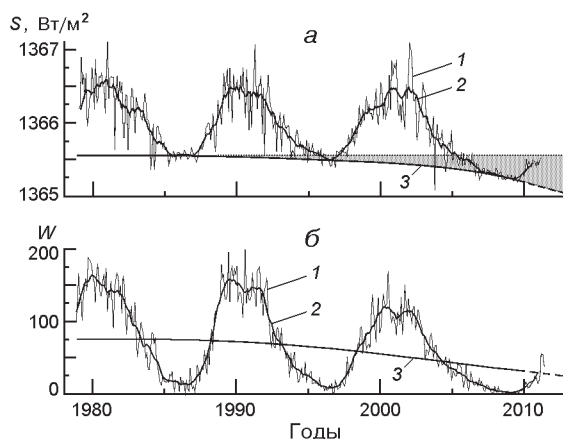


Рис. 1. Вариации солнечной постоянной (а) на основе ежедневных данных [www.pmduwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant] и солнечной активности (б) на основе ежемесячных данных [<http://sidc.oma.be/sunspot-data/>] с 1978 по 2011 г.: 1 — среднемесячные значения, 2 — среднегодовые значения, 3 — двухвековая составляющая

солнечной постоянной S происходят синхронно и скоррелированно как по фазе, так и по амплитуде с двухвековыми и 11-летними циклическими вариациями индекса W пятнообразовательной активности (рис. 1) [1, 3—6, 9]. Это позволяет экстраполировать относительно короткий (с 1978 г.) ряд прецизионных внеатмосферных измерений солнечной постоянной S на более длительные периоды, используя длинные ряды индекса W солнечной активности [7, 14, 15, 20]. Следовательно, можно утверждать, что все известные периоды значительных вариаций земного климата были связаны с двухвековыми квазипериодическими изменениями солнечной постоянной [1, 3, 9]. Однако прямое влияние относительно малого двухвекового изменения солнечной постоянной (по последним реконструированным данным около 6.8 Вт м^{-2} , или 0.5% [19]) недостаточно, чтобы объяснить соответствующие циклические двухвековые изменения температуры на Земле от глобальных потеплений до малых ледниковых периодов. Требуется дополнительный «усилитель» прямого влияния вариации солнечной постоянной на наблюдаемые глобальные изменения климата.

Таковыми усилителями прямого воздействия изменения солнечной постоянной на вариации климата являются эффекты, обусловленные обратной связью: естественные изменения глобального альbedo Земли как планеты (альbedo Бонда) и концентрации парниковых газов в атмосфере (водяного пара, углекислого газа, метана и др.).

Альbedo Бонда определяется глобальными оптическими свойствами всего земного шара с его воздушной и водной оболочкой, усредненными по всей вертикали поверхность — атмосфера. Альbedo Бонда есть доля энергии солнечного излучения, отраженная (рассеянная) обратно в космос всей системой Земля — атмосфера, и поэтому является особо важным физическим параметром в энергетическом бюджете Земли как планеты. Альbedo Земли увеличивается до максималь-

но высокого уровня при глубоком похолодании и уменьшается до минимального уровня при глобальном потеплении, в то время как концентрация парниковых газов в атмосфере варьирует противоположным образом, поскольку она в значительной степени определяется температурой Мирового океана. Вариации характеристик поверхности Земли и её атмосферы, обусловленные двухвековой циклической вариацией солнечной постоянной, порождают последовательную цепочку дальнейшего дополнительного изменения температуры, вызванного многократными повторениями такого причинно-следственного цикла вторичных эффектов обратной связи, даже если солнечная постоянная впоследствии останется без изменений в течение определенного времени. В результате глобальные климатические изменения дополнительно могут усиливаться на величину, превосходящую влияние двухвековой вариации солнечной постоянной. Аналогичная картина наблюдалась в конце XX века. Все значительные изменения температуры от глобальных потеплений до малых ледниковых периодов, установленных в течение последних 7500 лет, были также обусловлены не только прямым воздействием двухвекового изменения солнечной постоянной, но и вторичными эффектами обратной связи. К сожалению, динамика скоростей увеличения общей площади снежного и ледяного покровов поверхности Земли и уменьшения концентрации парниковых газов в атмосфере в зависимости от снижения температуры изменяется нелинейно и весьма труднопрогнозируема. Известно, что естественная концентрация углекислого газа в атмосфере в ледниковых периодах истории Земли всегда была примерно в два раза ниже, чем в настоящее время [18].

Энергетический бюджет системы Земля — атмосфера. Изменение во времени мощности длинноволнового излучения оболочечной системы Земля — атмосфера в космическое пространство всегда отстает от изменения мощности поглощенного солнечного излучения вследствие медленного изменения теплосодержания Земли как планеты. Термодинамическая температура, определяющая интегральный тепловой баланс планеты, изменяется со значительным запаздыванием относительно процесса изменения поглощаемой мощности солнечного излучения, определяемым термической инерцией системы Земля — атмосфера. Это эквивалентно избытку или дефициту бюджета между поглощаемой и излучаемой мощностью. Любое долговременное изменение поглощаемой Землей энергии солнечного излучения вследствие двухвековой вариации солнечной постоянной с учетом медленного изменения теплосодержания системы Земля — атмосфера в течение времени, определяемого термической инерцией, остается некомпенсированным излучаемой в космос энергией собственного длинноволнового излучения. Этот процесс описывается приращением планетарной термодинамической температуры, медленно изменяющейся во времени. Поэтому среднегодовой энергетический баланс Земли как планеты практически всегда находится в неравно-

весном состоянии и колеблется вокруг равновесного, поглощая и излучая неодинаковое количество энергии вследствие двухвековой вариации солнечной постоянной. В результате планета постепенно будет либо нагреваться, либо остывать. Среднегодовая разность между поступающей во внешние слои земной атмосферы энергии солнечного излучения и уходящей в космическое пространство отраженной энергии солнечного излучения и энергии длинноволнового излучения определяет сальдо теплового бюджета системы Земля — атмосфера. Удельная мощность E изменения теплосодержания системы Земля — атмосфера (разница между входящим и исходящим излучением) описывается следующим уравнением:

$$(S - S_0)(1 - A_0 - A) / 4 - (T_p - T_{p0})^4 = E, \quad E = C \frac{dT_p}{dt}, \quad (1)$$

где S — солнечная постоянная, S_0 — приращение солнечной постоянной, A — альbedo Земли как планеты (альbedo Бонда), A_0 — приращение альbedo Бонда, ϵ — степень черноты системы Земля — атмосфера, σ — постоянная Стефана — Больцмана; T_p — планетарная термодинамическая температура, E — удельная мощность изменения теплосодержания активного слоя Океана и атмосферы [Вт м^{-2}], C — удельная поверхностная теплоемкость активного слоя Океана и атмосферы, отнесенная к общей площади поверхности планеты [$\text{Дж м}^{-2}\text{К}^{-1}$], t — время. Множитель $1/4$ в левой части уравнения (1) отражает тот факт, что поток солнечного излучения проецируется на площадь сечения земной сферы (круг), а Земля излучает всей поверхностью сферы, которая в четыре раза больше. Удельная мощность изменения теплосодержания Земли E является специфическим показателем дефицита или избытка тепловой энергии, который может рассматриваться как энергетическое сальдо среднегодового бюджета в приходе и расходе тепловой мощности планеты.

В то же время приращение эффективной температуры Земли, входящее в радиационный баланс, осуществляется сразу с изменением поглощаемой мощности, в отличие от планетарной термодинамической температуры, которая входит в тепловой баланс. Относительное влияние вариации солнечной постоянной и альbedo Бонда на изменение эффективной температуры Земли может быть определено из радиационного баланса Земли как планеты:

$$S / 4 - T_{\text{эф}}^4 = A S / 4, \quad (2)$$

где $T_{\text{эф}}$ — эффективная температура Земли.

Введем приращение эффективной температуры $T_{\text{эф}} = T_{\text{эф}} - T_{\text{эф}0}$, где $T_{\text{эф}}$ — текущее значение эффективной температуры Земли, $T_{\text{эф}0}$ — ее начальное значение. Это приращение будем считать обусловленным приращениями солнечной постоянной S и альbedo Бонда A . В этом случае уравнение радиационного баланса (2) примет вид

$$(S - S_0) / 4 - (T_{\text{эф}} - T_{\text{эф}0})^4 = (A - A_0)(S - S_0) / 4. \quad (3)$$

Ввиду малых приращений эффективной температуры $T_{\text{эф}} \ll T_{\text{эф}0}$ с большой точностью выполняется равенство

$$\begin{aligned} S/4 - S/4 - T_{\text{эф}}^4 + 4 T_{\text{эф}}^3 T_{\text{эф}} - AS/4 - A S/4 - A(S - S)/4. \end{aligned} \quad (4)$$

Вычитая уравнение (2) из уравнения (4), можно записать

$$S/4 - 4 T_{\text{эф}}^3 T_{\text{эф}} - A S/4 - A(S - S)/4, \quad (5)$$

или

$$16 T_{\text{эф}}^3 T_{\text{эф}} - S - A S - AS - A S. \quad (6)$$

Из выражения (6) можно получить формулу для приращения эффективной температуры Земли, возникающего под действием приращений солнечной постоянной и альbedo Бонда:

$$T_{\text{эф}} = [S(1 - A - A) - AS]/(16 T_{\text{эф}}^3). \quad (7)$$

При постоянстве солнечной постоянной ($S = 0$) из (7) получим

$$T_{\text{эф}} = AS/(16 T_{\text{эф}}^3). \quad (8)$$

Принимая известные значения эффективной температуры Земли, которое в настоящее время равно $T_{\text{эф}} = 254$ К, и солнечной постоянной $S = 1366$ Вт/м², из (8) при $S = 0$ получим

$$T_{\text{эф}} = 92 A. \quad (9)$$

При постоянстве альbedo Бонда ($A = 0$) из (7) получим

$$T_{\text{эф}} = S(1 - A)/(16 T_{\text{эф}}^3). \quad (10)$$

Принимая известное значение глобального альbedo Земли, которое по последним данным равно $A = 0.30$ [21], из (10) при $A = 0$ получим

$$T_{\text{эф}} = 0.047 S. \quad (11)$$

Уменьшение только величины солнечной постоянной на 0.5 %, (или $S = -6.83$ Вт/м²) при неизменном альbedo Бонда $A = 0$, как следует из выражения (11), ведет к снижению эффективной температуры земного шара с его воздушной и водной оболочкой на $T_{\text{эф}} = -0.32$ К. Снижение эффективной температуры Земли на $T_{\text{эф}} = -0.32$ К, как следует из (9), обуславливает повышение величины глобального альbedo Земли на $A = +0.0035$, или на 1.16 %. При таком увеличении альbedo Бонда эффективная температура Земли как планеты дополнительно снизится еще примерно на 0.3 К, что ведет к образованию длинной цепочки таких циклов. Однако эффективная (радиационная) температура системы Земля — атмосфера описывает безынерционный процесс лучистого теплообмена в равновесном тепловом режиме. Вследствие этого радиационный мгновенный баланс реализуется с опережением относительно полного энергетического

(или теплового) баланса планеты (1) с учетом медленного изменения теплосодержания системы Земля — атмосфера. Эффективная температура является радиационной температурой планеты и не отражает временных изменений планетарной температуры, но указывает тенденции изменений климата планеты. Таким образом, изменение альбедо Бонда оказывает значительное влияние на изменение эффективной (радиационной) температуры Земли, являясь наряду с солнечной постоянной наиболее существенным фактором, определяющим грядущее изменение климата. Однако изменение термодинамической температуры Земли под действием вариации солнечной постоянной и альбедо Бонда происходит не мгновенно, а со значительной временной задержкой, определяемой постоянной термической инерции планеты [10]

$$t = 0.095 (1 + 0.42 \cdot l) \text{ лет}, \quad (12)$$

где l — глубина активного слоя Мирового океана. Если глубина активного слоя Мирового океана равна 200—500 м, то термическая инерция

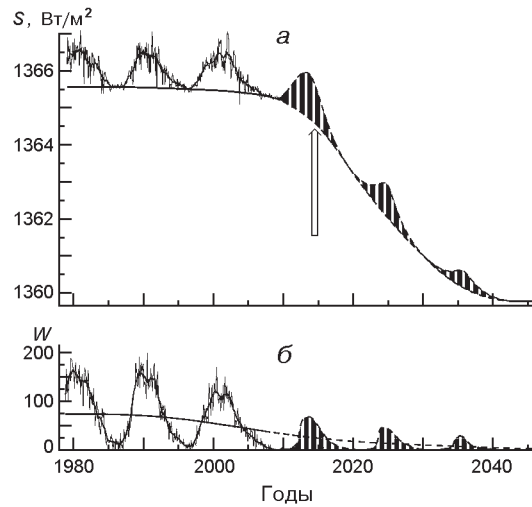
$$t = 14 \pm 6 \text{ лет}. \quad (13)$$

Благодаря весьма большой теплоемкости Мирового океана происходит медленное изменение его теплосодержания, что в полном тепловом балансе учитывается текущим значением постоянной термической инерции. Поэтому изменение термодинамической планетарной температуры (с учетом излучательной способности — степени черноты) происходит весьма медленно. Следовательно, приходные и расходные части среднегодового энергетического бюджета земного шара с его воздушной и водной оболочкой вследствие 11-летних и двухвековых вариаций солнечной постоянной практически всегда находятся в несбалансированном состоянии ($E \neq 0$), имея либо положительное, либо отрицательное сальдо. Такой несбалансированный среднегодовой тепловой бюджет является основным состоянием климатической системы Земля — атмосфера. При долговременном понижении солнечной постоянной среднегодовое изменение теплосодержания системы Земля — атмосфера оказывается отрицательным ($E < 0$), а при долговременном повышении — положительным ($E > 0$). При этом вариации солнечной постоянной и альбедо Бонда играют важнейшую роль в изменении энергетического баланса системы Земля — атмосфера и в изменении ее термодинамической температуры. Среднегодовое сальдо энергетического бюджета системы Земля — атмосфера за длительный период времени надежно определит ход и величину накопленной Землей избытка энергии или образовавшегося ее дефицита в тепловом бюджете. Поэтому долговременный мониторинг состояния среднегодового энергетического баланса Земли как планеты с учетом прогноза вариации солнечной постоянной может достоверно определить и заблаговременно (за 10—20 лет) предсказать направление (при $E > 0$ — к потеплению, а при $E < 0$ — к похоло-

данию) и глубину грядущего изменения глобального климата с высокой надежностью.

Двухвековое снижение солнечной постоянной ведёт к глубокому похолоданию климата. С начала 1990-х гг. наблюдается уменьшение как 11-летней, так и двухвековой составляющих солнечной постоянной с ускоряющимися в настоящее время темпами (рис. 1, *a*). Следовательно, поглощаемая Землей доля энергии уменьшается такими же темпами [3—6, 14]. Нижняя огибающая линия на рис. 1, *a*, соединяющая сглаженные минимальные значения уровня солнечной постоянной в нескольких последовательных 11-летних циклах (общий уровень, относительно которого происходят её 11-летние циклические вариации), представляет собой составляющую её двухвековой квазипериодической вариации [1, 3—6]. Среднее значение солнечной постоянной в 23-м цикле было на 0.17 Вт м^{-2} меньше, чем в 22-м цикле. Сглаженное значение солнечной постоянной в минимуме между циклами 23 и 24 ($1365.24 \pm 0.02 \text{ Вт м}^{-2}$) было на 0.26 и 0.33 Вт м^{-2} меньше, чем в минимумах между циклами 22 и 23 и 21 и 22 соответственно. Однако образовавшийся с начала 1990-х гг. дефицит поступающей солнечной энергии (рис. 1, *a*) не компенсировался снижением излучаемой Землей в космос собственной тепловой энергии, которая практически остаётся на прежнем завышенном уровне в течение 14 ± 6 лет из-за термической инерции Мирового океана. Вследствие того что Солнце входит в двухвековую стадию низкой светимости (см. работы [1, 3, 4, 17], а также сайты [<http://www.myweathertech.com/2011/06/14/american-astronomical-society-joins-the-dark-side/>, <http://cbdakota.wordpress.com/2011/06/24/%E2%80%9Ccheshire-cat-sunspots%E2%80%9D-livingston-and-penn/>]), такой энергетический дисбаланс системы ($E < 0$) сохранится в течение нескольких последующих 11-летних циклов. В результате Земля как планета и далее будет иметь отрицательное сальдо в энергетическом бюджете. Этот очередной солнечный циклический переход указывает на то, что Земля стоит на пороге длительных существенных климатических изменений. Такое постепенное расходование Мировым океаном накопленной в течение практически всего XX века солнечной энергии, вследствие отрицательного сальдо в энергетическом бюджете Земли, по истечении 14 ± 6 лет непременно приведёт к уменьшению глобальной температуры. Это в свою очередь приведёт к увеличению альбедо земной поверхности (вследствие увеличения снежных и ледяных покровов и др.), уменьшению концентрации водяного пара, играющего определяющую роль в парниковом эффекте, а также углекислого газа и некоторых других компонентов атмосферы [5, 6]. При этом водяной пар поглощает около 68 %, а углекислый газ — только около 12 % от интегральной мощности собственного длинноволнового излучения Земли. В результате дополнительно будут снижаться поглощаемая Землей доля энергии солнечного излучения и влияние парникового эффекта, обусловленные вторичными эффектами обратной связи. Воздействие после-

Рис. 2. Прогноз вариаций солнечной постоянной и солнечной активности в циклах 24—26 до 2045 г. Стрелкой указано начало нового Малого ледникового периода



довательно возрастающей цепочки таких изменений могут привести к дополнительному ещё большему снижению глобальной температуры, превосходящему влияние двухвекового снижения солнечной постоянной. Таким образом, изучение всех значительных вариаций земного климата в течение последних 7500 лет показывает, что двухвековая квазипериодическая вариация солнечной постоянной (принимая во внимание ее прямое действие и вторичное, основанное на эффектах обратной связи) определяет соответствующий циклический механизм климатических изменений от глобальных потеплений до малых ледниковых периодов и задаёт временные масштабы практически всем физическим процессам, происходящим в системе Солнце — Земля [8, 12].

Вследствие того что Солнце входит в фазу спада двухвековых вариаций светимости, на основе наблюдаемого ускоряющегося уменьшения 11-летней и двухвековой составляющих солнечной постоянной с начала 1990-х гг. можно прогнозировать дальнейшее её снижение по аналогии с периодом минимума Маундера до $1363.4 \pm 0.8 \text{ Вт м}^{-2}$, $1361.0 \pm 1.6 \text{ Вт м}^{-2}$ и до глубокого минимума $1359.5 \pm 2.4 \text{ Вт м}^{-2}$ в минимумах между циклами 24 и 25, 25 и 26 и 26 и 27 соответственно (рис. 2). Продолжительность 11-летнего цикла зависит от фазы двухвекового цикла и последовательно увеличивается от фазы роста к фазам максимума и спада двухвекового цикла [2, 5, 6]. Исходя из ожидаемого увеличения продолжительности 11-летних циклов в фазе спада двухвекового цикла наступления времени минимума между циклами 24 и 25, 25 и 26 и 26 и 27 следует ожидать ориентировочно в 2020.3 ± 0.6 , 2031.6 ± 1.2 и 2042.9 ± 1.8 гг. соответственно. При этом максимальный сглаженный за 13 месяцев уровень относительного числа пятен в 24, 25 и 26 циклах может достигать 65 ± 15 , 45 ± 20 и 30 ± 20 соответственно [4—6]. Следовательно, наступление глубокого квазидвухвекового минимума солнечной постоянной можно прогнозировать ориентировочно в 2042 ± 11 г., а 19-го глубокого минимума темпе-

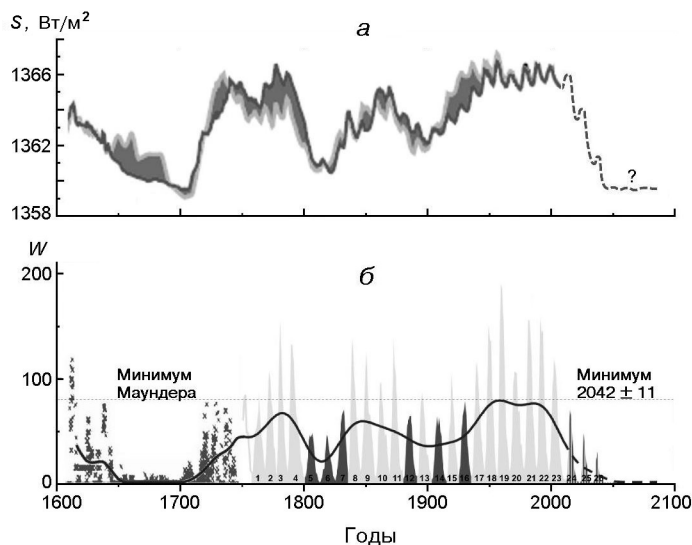


Рис. 3. Вариации солнечной постоянной (с использованием реконструированных данных [19]) и солнечной активности с 1611 г. [<http://sidc.oma.be/sunspot-data/>] и прогноз их вариаций до конца XXI века: серый цвет — горячее Солнце, черный — холодное

ратуры за последние 7500 лет — ориентировочно в 2055 ± 11 г. (рис. 3). В ближайшее время мы будем наблюдать переходный от глобального потепления к глубокому похолоданию период нестабильных изменений климата, когда глобальная температура ориентировочно до 2014 г. будет колебаться вблизи максимума, достигнутого в 1998—2005 гг. После максимума 24-го солнечного цикла ориентировочно с 2014 г. следует ожидать начала очередного двухвекового цикла глубокого похолодания с Малым ледниковым периодом в 2055 ± 11 г. (рис. 3). Таким образом, долговременные вариации солнечной постоянной (принимая во внимание их прямое и вторичное, основанное на эффектах обратной связи, действия) являются главной и основной причиной климатических изменений, поскольку вариация климата Земли определяется долговременным дисбалансом поступающей в верхние слои земной атмосферы энергии солнечного излучения и уходящей суммарной энергии от Земли обратно в космос.

Автор искренне признателен С. И. Ханкову за обсуждение затронутых проблем.

1. Абдусаматов Х. И. О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—**21**, № 6.—С. 471—477.
2. Абдусаматов Х. И. О времени завершения текущего солнечного цикла и зависимости продолжительности 11-летних циклов от фазы векового цикла // Кинематика и физика небес. тел.—2006.—**22**, № 3.—С. 183—186.
3. Абдусаматов Х. И. Об уменьшении потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания в середине XXI века // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2007.—**103**, № 4.—С. 292—298.

4. *Абдусаматов Х. И.* Об оптимальном прогнозировании высоты следующего 11-летнего цикла активности и нескольких последующих циклов на основе долговременных вариаций радиуса Солнца или солнечной постоянной // Кинематика и физика небес. тел.—2007.—**23**, № 3.—С. 141—147.
5. *Абдусаматов Х. И.* Солнце определяет климат Земли // Наука и жизнь.—2009.—С. 34—42.
6. *Абдусаматов Х. И.* Солнце диктует климат Земли. — Санкт.-Петербург: Logos, 2009.—197 с.
7. *Авдюшин С. И., Данилов А. Д.* Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнетизм и аэрономия.—2000.—**40**, № 5.—С. 3—14.
8. *Колесняк В. П.* Климат за последнее тысячелетие / Под ред. Е. П. Борисенкова — Л.: Гидрометеиздат, 1988.—408 с.
9. *Abdussamatov H. I.* About the long-term coordinated variations of the activity, radius, total irradiance of the Sun and the Earth's climate // Proceedings of IAU Symposium N 223. — Cambridge: Univ. press, 2004.—P. 541—542.
10. *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 and Applications.—2010.—**2**.—P. 133—138.
11. *Bal S., Schimanke S., Spangehl T., Cubasch U.* On the robustness of the solar cycle signal in the Pacific region // Geophys. Res. Lett.—2011.—**38**.—P. L14809—L14814.
12. *Eddy J. A.* The Maunder Minimum // Science.—1976.—**192**.—P. 1189—1202.
13. *Herschel W.* Observations tending to investigate the nature of the Sun, in order to find the causes or symptoms of its variable of light and heat; with remarks on the use that may possibly be drawn from solar observations // Phil. Trans. Roy. Soc. London.—1801.—**91**.—P. 265—318.
14. *Krivova N. A., Solanki S. K., Wenzler T.* ACRIM-gap and total solar irradiance revisited: Is there a secular trend between 1986 and 1996? // Geophys. Res. Lett.—2009.—**36**.—P. L20101.
15. *Lean J. L.* Short term, direct indices of solar variability // Space Sci. Revs.—2000.—**94**.—P. 39—51.
16. *McPhaden M. J., Lee T., McClurg D.* El Nino and its relationship to changing background conditions in the tropical Pacific Ocean // Geophys. Res. Lett.—2011.—**38**.—P. L15709—L15712.
17. *Penn M., Livingston W.* Long-term evolution of sunspot magnetic fields // 2010. arXiv:1009.0784v1 [astro-ph.SR].
18. *Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., et al.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature.—1999.—**399**.—P. 429—436.
19. *Shapiro A. I., Schmutz W., Rozanov E., et al.* A new approach to the long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing // Astron. and Astrophys.—2011.—**529**.—A67.
20. *Solanki S. K., Krivova N. A.* Solar irradiance variations: from current measurements to long-term estimates // Solar Phys.—2004.—**224**.—P. 197—208.
21. *Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J.* Earth's global energy budget // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2009.—**90**, N 3.—P. 311—324.

Поступила в редакцию 08.11.10