

УДК 524.9

Х. И. Абдусаматов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
196140 Санкт-Петербург, Пулковское шоссе 65, корп. 1
e-mail: abduss@gao.spb.ru

О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца

Показано, что наблюдаемые 11-летние циклические вариации потока интегральной радиации Солнца обусловлены соответствующими изменениями радиуса и эффективной температуры фотосферы, которые являются следствием фундаментальных глобальных процессов, происходящих в его недрах. 11-летние циклические вариации «солнечной постоянной» практически целиком являются результатом изменения площади излучающей поверхности фотосферы при сохранении ее эффективной температуры неизменной. Следовательно, 11-летний гелиоцикл представляет собой одновременное скоординированное колебание активности, радиуса и потока радиации как по фазе, так и по амплитуде. Впервые непосредственно обнаружено вековой компонент вариаций «солнечной постоянной». Предложена гипотеза о том, что наблюдаемые долговременные идентичные вариации активности, радиуса и потока радиации являются следствием одних и тех же процессов, происходящих в глубоких недрах, и скоординированы глобальной вариацией всего Солнца, обусловленной циклическими изменениями температуры в его ядре. При этом долговременные глобальные вариации всего Солнца могут служить катализатором генерации циклов активности. Прогнозируется наступление следующего достаточно глубокого минимума активности, потока радиации и радиуса квази-200-летнего цикла Солнца почти на уровне маундеровского минимума ориентировочно вблизи 2040 ± 10 г.

ПРО ДОВГОЧАСОВІ ВАРІАЦІЇ ПОТОКУ ІНТЕГРАЛЬНОЇ РАДІАЦІЇ ТА МОЖЛИВІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ В ЯДРІ СОНЦЯ, Абдусаматов Х. І.
— Показано, що спостережувані 11-річні циклічні варіації потоку інтегральної радіації Сонця обумовлені відповідними змінами радіуса і ефективної температури фотосфери, які є наслідком фундаментальних глобальних процесів у його недрах. 11-річні циклічні варіації «сонячної постійної» практично цілком є результатом змін площі випромінювальної поверхні фотосфери при збереженні її ефективної температури незмінною. Отже, 11-річний геліоцикл є одночасне скоординоване коливання активності, радіуса і потоку радіації як за фазою, так і за амплітудою. Вперше безпосередньо виявлено вікову складову варіацій «сонячної постійної». Пропонується гіпотеза про те, що спостережувані довгочасові

ідентичні варіації активності, радіуса і потоку радіації є наслідком одних і тих же процесів у глибоких надрах, і скоординовані глобальними варіаціями всього Сонця через циклічні зміни температури у його ядрі. При цьому довгочасві глобальні варіації всього Сонця можуть слугувати каталізатором генерації циклів активності. Прогнозується настання чергового досить глибокого мінімуму активності, потоку радіації та радіуса квазі-200-річного циклу Сонця майже на рівні маундерівського мінімуму орієнтовно у 2040 ± 10 р.

ON LONG-TERM VARIATIONS OF THE TOTAL IRRADIANCE AND ON PROBABLE CHANGES OF TEMPERATURE IN THE SUN'S CORE, by Abdussamatov H. I. — It is shown that the observable 11-year cyclic variation of the total irradiance of the Sun is caused by respective alterations of the radius and effective temperature of the photosphere, which are a consequence of fundamental global processes occurring deeply inside. The 11-year cyclic variation of «solar constant» almost entirely results from respective alterations of the area of the photosphere radiating surface as its effective temperature keeps practically constant. Hence, 11-year heliocycle represents the simultaneous coordinated fluctuation of the activity, radius and irradiance both for the phase and amplitude. The century component is first directly found in variations of «solar constant». We suppose that the observable long-term identical variations of activity, radius and irradiance are a result of the same processes occurring deeply inside and are coordinated by a global variation of the entire Sun which is caused by cyclic changes of temperature in the Sun's core. As this takes place, the long-term global variations of the whole Sun can serve the catalyst of the generation of solar cycles. We predict the approach of the following sufficiently deep minimum of activity, irradiance and radius of the 200-year cycle of the Sun near the year $2040+10$. The minimum will be close to the level of the Maunder Minimum.

Исследование причин изменений 11-летней и вековой составляющей вариации потока интегральной радиации Солнца — «солнечной постоянной», и следовательно, климата Земли в прошлом и настоящем особенно актуально в связи с наблюдаемым глобальным потеплением климата. Решение этой задачи позволит заблаговременно скорректировать свои действия, сообразуясь с предстоящими изменениями климатических условий. На основе длительных космических измерений потока радиации можно утверждать, что 11-летний гелиоцикл представляет собой скоординированное идентичное колебание как активности, так и потока радиации. При этом мы ранее прогнозировали, что при вариации амплитуды уровня активности в цикле соответственно должна измениться и амплитуда вариации потока радиации [2, 8]. Действительно, последние результаты космических измерений потока радиации [14] полностью подтверждают данную гипотезу и показывают, что кривые 11-летних вариаций уровня активности и величины «солнечной постоянной» взаимокоррелированы и квазипараллельны как по фазе, так и по амплитуде (рис. 1). На более длительных шкалах времени — порядка века и более — также установлено наличие достоверной корреляции между четко установленными периодами значительных вариаций уровня солнечной активности и соответствующими достоверными изменениями в климате Земли, тождественными изменениям потока радиации Солнца как по фазе, так и по амплитуде в течение всего прошлого тысячелетия [5, 6, 12, 13]. Более того, в каждом из 18 глубоких минимумов солнечной активности типа маундеровского квази-200-летнего периода, установленных в течение последних 7500 лет, наблюдались похолодания климата, а в период высоких максимумов — потепление [6]. Любые наблюдаемые за этот период

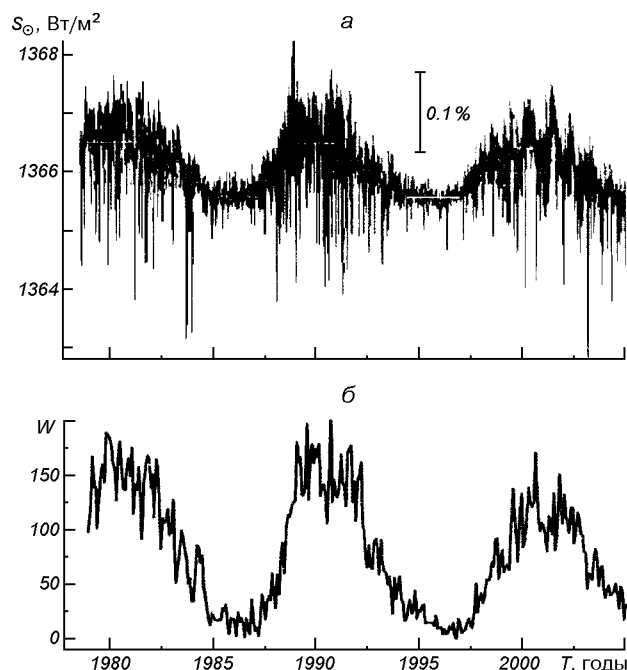


Рис. 1 Вариации «солнечной постоянной» с 1978 г., взятые из [14] (а), и изменение среднемесячных значений чисел Вольфа W (б)

глубокие изменения в климате Земли (например глобальное потепление или похолодание) могли быть вызваны только соответствующим долговременным изменением приходящего потока солнечной радиации. Следовательно, в периодах максимального всплеска уровня солнечной активности поток радиации всегда был существенно повышенным, а в периодах глубокого минимума активности он заметно снижался, т. е. на любых интервалах наблюдений вековые вариации активности и потока радиации в целом имели сильно коррелированный (квазипараллельный) ход изменения как по фазе, так и по амплитуде [2].

Заметное понижение потока радиации в минимуме 22-го цикла относительно минимума 21-го цикла (рис. 1) является не только непосредственным доказательством наличия также и векового компонента в вариациях «солнечной постоянной», но и доказательством скоррелированного падения векового компонента потока радиации одновременно с падением уровня вековой вариации активности.

Долговременная циклическая вариация «солнечной постоянной» S_{\odot} , выражаемая формулой

$$S_{\odot} = \sigma R_{\odot}^2 T_{\text{эф}}^4 / A^2,$$

где A — астрономическая единица, обусловлена соответствующими изменениями радиуса R_{\odot} и эффективной температуры $T_{\text{эф}}$ фотосферы:

$$\Delta S_{\odot} / S_{\odot} = 2\Delta R_{\odot} / R_{\odot} + 4\Delta T_{\text{эф}} / T_{\text{эф}}.$$

Они являются следствием фундаментальных глобальных процессов в недрах Солнца, проистекающих из вариаций его основных внутренних характеристик. При постоянстве эффективной температуры $\Delta T_{\text{эф}} = 0$ вариация радиуса составляет $\Delta R_{\odot} \leq 350$ км/цикл, а при постоянстве радиуса $\Delta R_{\odot} = 0$ вариация температуры — $\Delta T_{\text{эф}} \approx 1.45^{\circ}$ /цикл (или менее 0.001° /сут),

поскольку $\Delta S_{\odot}/S_{\odot} \leq 0.001$. Плавное изменение температуры фотосферного слоя, достигающее до $0.001^{\circ}/\text{сут}$, приведет к изменению давления в нем, и следовательно, к нарушению солнечного равновесия, определяемого балансом сил внутреннего давления и силы гравитации. В результате в реальном масштабе времени происходит плавное изменение радиуса фотосферы за счет соответствующей вариации внутреннего давления до восстановления гидростатического равновесия, что ведет к восстановлению температуры фотосферы практически до прежнего уровня [3, 8]. Поэтому долговременная циклическая вариация «солнечной постоянной», на наш взгляд, фактически целиком является результатом соответствующего изменения площади излучающей поверхности фотосферы при сохранении ее эффективной температуры практически неизменной, т. е.

$$\Delta S_{\odot}/S_{\odot} \approx 2\Delta R_{\odot}/R_{\odot}.$$

Эта вариация практически всецело определяется соответствующим колебанием радиуса фотосферы с амплитудой в пределах до 350 км или $\Delta R_{\odot} < 0.5''$ за 11-летний цикл [8]. Таким образом, 11-летний гелиоцикл представляет собой одновременное скоординированное колебание активности, радиуса и потока радиации как по фазе, так и по амплитуде.

Действительно, несмотря на то, что наземные измерения радиуса Солнца существенно искажены земной атмосферой, а ряды наблюдений крайне неоднородны, тем не менее, наличие 11-летних вариаций радиуса, скоррелированных с изменением уровней активности и потока радиации, подтверждено и непосредственными длительными наземными наблюдениями. На основе сопоставления рядов визуальных измерений радиуса и вариаций уровня активности за последние 300 лет установлено, что больший радиус связан с высоким уровнем активности, а меньший радиус — с низким уровнем активности [9]. Последние исследования [7, 17, 18], основанные на различных наземных фотометрических измерениях радиуса, также подтверждают реальность тесной связи между изменениями уровня активности и потока радиации в 11-летнем цикле и ходом вариаций радиуса. При этом в циклах с повышенным уровнем активности в целом наблюдается большая амплитуда вариации радиуса, а в циклах с пониженным уровнем активности — меньшая амплитуда [7], т. е. кривые 11-летних вариаций как радиуса и уровня активности, так и величины «солнечной постоянной» взаимокоррелированы и квазипараллельны друг другу как по фазе, так и по амплитуде. Наличие 80-летнего цикла в вариациях радиуса [7, 15, 19] наряду с вековыми вариациями климата является дополнительным доказательством впервые обнаруженного нами векового компонента в вариациях потока радиации Солнца.

Итак, легко наблюдаемые в наземных условиях в течение весьма длительного времени 11-летняя и вековая составляющая вариации активности одновременно иллюстрируют и соответствующие в целом квазипропорциональные изменения радиуса и потока радиации. Поэтому Солнце, строго говоря, в целом не находится в состоянии механического и энергетического равновесия.

Оно является переменной звездой, пульсирующей по крайней мере с тремя квазипериодическими (11, 80 и 200 лет) скоординированными вариациями активности, радиуса и потока радиации.

Такие скоррелированные долговременные вариации, требующие огромных энергетических ресурсов, позволяют нам выдвинуть гипотезу о том, что они являются следствием одних и тех же процессов, происходящих в глубоких недрах, и скоординированы глобальной вариацией всего Солнца, обусловленной циклическими изменениями температуры в его ядре —

выхода энергии из него, ведущей к нарушению солнечного равновесия [1]. Значительные (до 40 %) временные вариации потока солнечных нейтрино с различными периодами, хотя еще недостаточно уверенно коррелированы с фазой цикла, но указывают на соответствующие значительные изменения в термоядерных процессах в ядре [16]. А аналогичные вариации сплюснутости диска указывают на изменение динамических процессов в нем [10, 20, 22]. Долговременные квазипериодические повышения температуры и давления в ядре обуславливают неизбежный общий разогрев всего Солнца, увеличение его размера и «солнечной постоянной» пропорционально квадрату радиуса, и приведут к циклическим глобальным перестройкам всего Солнца. Такие долговременные глобальные циклические перестройки всего Солнца могут также являться катализатором генерации циклов активности и потока радиации, а дополнительная энергия, выделяемая ядром, — источником их энергии [3]. Циклические возмущения тахоклина, его положения и возможные изменения его ширины, обусловленные перестройками всего Солнца, могут, на наш взгляд, играть роль такого катализатора генерации и спада циклов активности. При этом квазипериодическое долговременное увеличение температуры ядра и соответствующее расширение всего Солнца могут служить катализатором генерации цикла и подъема активности и потока радиации, а снижение температуры ядра и соответствующее сжатие Солнца — катализатором их спада. При этом амплитуда вариаций температуры ядра может определять мощность цикла. При малых амплитудах колебаний температуры ядра могут развиваться слабые циклы с малой амплитудой уровня активности и потока радиации, а при больших амплитудах температуры — мощные циклы. Отсутствие или весьма малая амплитуда колебаний температуры при минимуме температуры ядра может привести к глубокому минимуму как активности, так и потока радиации типа маундеровского [8]. Следовательно, точная абсолютная величина радиуса Солнца является важнейшим фундаментальным параметром и одним из основных индикаторов уровня активности и потока радиации.

Доминирующим фактором климатических изменений — долговременных геофизических эффектов — является совокупное влияние 11-, 80- и 200-летних циклов в солнечных вариациях, определяемое соответствующими квазипериодическими скоординированными изменениями как активности, так и размера (а следовательно, и «солнечной постоянной» $\Delta S_{\odot}/S_{\odot} \approx \approx 2\Delta R_{\odot}/R_{\odot}$). При этом, хотя амплитуда вариации «солнечной постоянной» и достигает 0.1 % в течение 11-летнего цикла, ее влияние на изменение климата значительно сглаживается благодаря термической инерции Земли. Однако при продолжении повышения или понижения амплитуды вариации «солнечной постоянной» в течение двух 11-летних циклов подряд ее влияние неизбежно проявится в соответствующем плавном изменении климата [1].

Влияние наблюдаемого в течение почти трех десятилетий падения вековой составляющей уровня активности (рис. 2) приведет к снижению уровня 11-летней активности по крайней мере в трех последующих солнечных циклах после 2000-го года [11, 21]. При этом правило Гневывшева—Оля (превышение максимального уровня активности в нечетном цикле над соответствующим уровнем предыдущего цикла), нарушенное в 22-23-м циклах должно быть нарушено также и в 24-25-м циклах [11]. Поэтому в следующих 24-25-м циклах сохранится тенденция дальнейшего уменьшения уровня вариаций 11-летней активности и потока радиации.

Наблюдаемое нарушение правила Гневывшева—Оля в 22-23-м циклах и ожидаемое нарушение этого правила в 24-25-м циклах является результатом непосредственного влияния падения вековой составляющей уровня

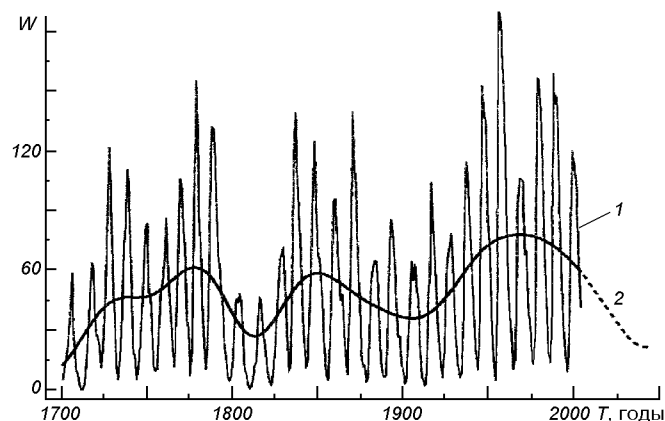


Рис. 2. Наблюдаемые уровни 11-летних квазипериодических колебаний чисел Вольфа W за последние 300 лет (кривая 1) и циклические вариации вековой составляющей (кривая 2)

активности и индикатором наступления активной фазы спада нынешнего продолжительного квазидвухсотлетнего цикла (см. рис. 2). В конце этого квази 200-летнего цикла мы ожидаем наступление следующего очередного достаточно глубокого минимума активности, потока радиации и радиуса Солнца почти на уровне маундеровского минимума, по нашим оценкам в начале 27-го цикла, ориентировочно вблизи 2040 ± 10 г. [4]. При этом циклические колебания уровня солнечной активности, развивающиеся параллельно аналогичным колебаниям радиуса и потока радиации, являясь сопутствующим явлением циклической вариации всего Солнца, на наш взгляд, сами по себе практически не оказывают значимого влияния ни на вариацию потока радиации, ни на изменение климата.

Таким образом, предложенная нами гипотеза о циклических вариациях температуры в ядре в целом может объяснить наблюдаемые долговременные нестационарные явления в цикловых идентичных вариациях активности, радиуса и потока радиации Солнца.

1. Абдусаматов Х. И. О вариациях радиуса и светимости Солнца // Тр. междунар. конф. «Солнечная активность и космические лучи после смены знака полярного магнитного поля Солнца». — Санкт-Петербург, 2002.—С. 13—18.
2. Абдусаматов Х. И. О долговременных скоординированных вариациях активности, радиуса, светимости Солнца и климата // Тр. междунар. конф. «Климатические и экологические аспекты солнечной активности». — Санкт-Петербург, 2003.—С. 3—10.
3. Абдусаматов Х. И. Скоординированные вариации диаметра, активности и светимости Солнца и эксперимент «Измерения временных вариаций формы и диаметра Солнца» на борту российского сегмента МКС // Петербургские фрагменты научной картины мира. — Санкт-Петербург, 2003.—Вып. 2.—С. 8—20.
4. Абдусаматов Х. И. О долговременных вариациях солнечной светимости и смене знака градиента глобальной температуры Земли после максимума 24-го цикла активности и светимости // Тез. докл. междунар. конф. «Солнечная активность, как фактор Космической погоды». — Санкт-Петербург, 2005.—С. 123—124.
5. Григорьев А. А., Кондратьев К. Я. Экодинамика и геополитика. — Санкт-Петербург, 2001.—687 с.—(Экологические катастрофы; Т. 2).
6. Колебания климата за последнее тысячелетие / Под ред. Е. П. Борисенкова. — Л.: Гидрометеоздат, 1988.—275 с.
7. Свеиников М. Л. Вариации радиуса Солнца из прохождений Меркурия по его диску // Письма в Астрон. журн.—2002.—28.—С. 133—139.
8. Abdussamatov H. I. About the long-term coordinated variations of the activity, radius, total irradiance of the Sun and the Earth's climate // Proc. IAU Symp. N 223. — Cambridge: Univ. press, 2004.—P. 541—542.

9. *Basu D.* Radius of the Sun in relation to solar activity // *Solar Phys.*—1998.—**183**.—P. 291—294.
10. *Basu D.* Solar neutrino in relation to solar wind particles // *Solar Phys.*—1999.—**184**.—P. 153—156.
11. *Duhau S.* An early prediction of maximum sunspot number in solar cycle 24 // *Solar Phys.*—2003.—**213**.—P. 203—212.
12. *Eddy J. A.* The Maunder minimum // *Science.*—1976.—**192**.—P. 1189—1202.
13. *Eddy J. A.* The case of the missing sunspots // *Sci. Amer.*—1977.—**236**.—P. 80—88.
14. *Frühlich C.* Solar Constant // ...www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant
15. *Gilliland R. L.* Solar radius variations over the past 265 years // *Astrophys. J.*—1981.—**248**.—P. 1144—1155.
16. *Giunti C., Laveder M.* Essential solar neutrinos // e-Print Archive.—2003.—39 p.—hep-ph/0301276.
17. *Noël F.* Visual and CCD astrolabe observations of the solar radius // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**374**.—P. 697—702.
18. *Noël F.* On solar radius measurements with Danjon astrolabes // *Astron. and Astrophys.*—2002.—**396**.—P. 667—672.
19. *Parkinson J. H., Morrison L. V., Stephenson F. R.* The constancy of the solar diameter over the past 250 years // *Nature.*—1980.—**288**.—P. 548—551.
20. *Rozelot J. P.* The correlation between the Calern solar diameter measurement and the solar irradiance // *Solar Phys.*—1998.—**177**.—P. 321—327.
21. *Sello S.* Solar cycle activity: a preliminary prediction for cycle 24 // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**401**.—P. 691—693.
22. *Sofia S., Heaps W., Twigg L. W.* The solar diameter and oblateness measured by the solar disk sextant on the 1992 September 30 balloon flight // *Astrophys. J.*—1994.—**427**.—P. 1048—1052.

Поступила в редакцию 10.10.05