Возможное воздействие долговременных вариаций солнечной активности на колебания температуры Северного полушария Земли

© М.Г. Огурцов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,
194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 5 мая 2026 г.
В окончательной редакции 4 августа 2026 г.
Принято к публикации 23 октября 2026 г.

Проведен анализ возможной связи между вариациями солнечной активности и температуры Северного полушария в диапазоне периодов 63–240 лет, охватывающем вековой и двухсотлетний циклы солнечной активности. Исследованы десять реконструкций температуры Северного полушария, одна реконструкция глобальной температуры и шесть реконструкций солнечной активности, длительностью 1–2 тысячи лет. В ряде случаев обнаружены коэффициенты корреляции со значимостью $p < 0.10$. Это указывает на то, что влияние долговременных солнечных циклов на климат Северного полушария реально существует, хотя и является слабым и трудно выявляемым.

Ключевые слова: солнечная активность, солнечная палеоастрофизика, климат Земли.

DOI: 10.61011/JTF.2026.12.64049.309-26

Введение

Солнце — главный источник энергии климатической системы Земли, управляющей атмосферными и океаническими процессами. Это делает изучение солнечной активности (СА) важным для понимания климатических изменений. В последние десятилетия было накоплено немало свидетельств того, что СА может воздействовать на изменения климата на различных временных шкалах. В частности, были получены указания на возможность влияния долговременных, включая вековые (цикл Глейссберга) и двухвековые (цикл Зюсса), вариаций СА на климат как отдельных регионов Земли, так и на температуру всего Северного полушария [1–4]. Однако проявления этих солнечных вариаций в средней температуре Северного полушария, во-первых, выражены не слишком отчетливо [2], а во-вторых, наблюдаются в различных климатических реконструкциях. С учетом слабости выявленных солнечно-климатических связей, вероятно, нельзя полностью исключать возможность случайного возникновения обнаруженных корреляций. С другой стороны, разумно предположить, что если солнечные циклы реально влияют на климат и соответствующие корреляции возникли не случайно, то климатический эффект от совместного воздействия обоих солнечных циклов может оказаться более выраженным. Для проверки этой гипотезы в настоящей работе была оценена корреляция между солнечными и климатическими рядами данных, фильтрованными в полосе периодов 63–240 лет, охватывающей обе долговременных цикличности СА.

1. Материалы и методы

В настоящей работе были использованы:

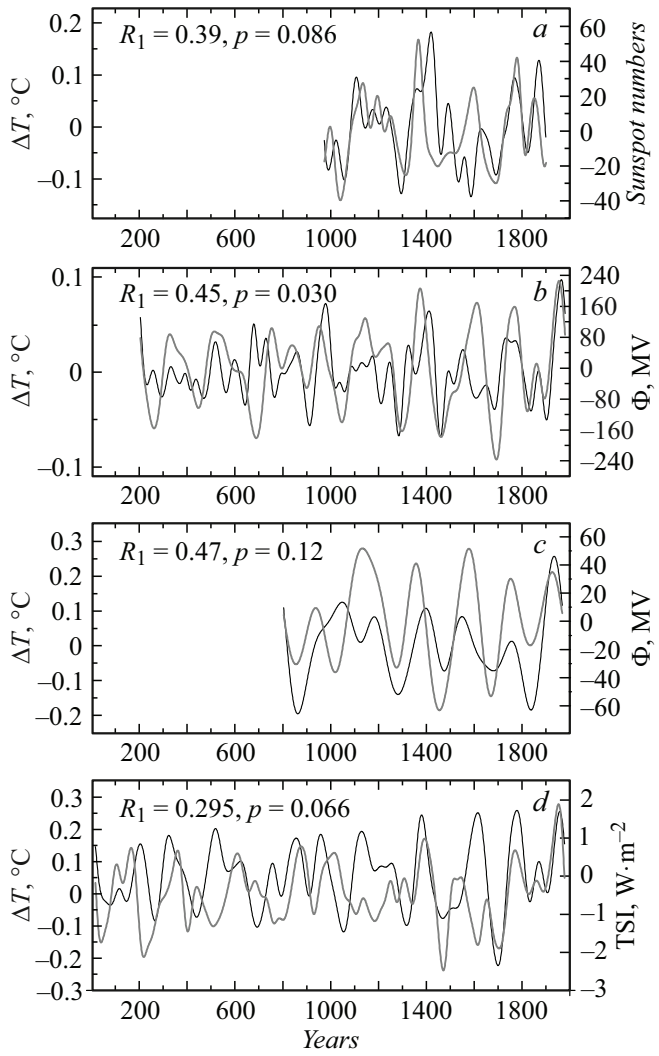
(а) десять реконструкций температуры Северного полушария и его внетропической части [5–14]. Основным источником информации служили кольца деревьев, дополнительными — концентрация стабильных изотопов $\delta^{18}O$ и $\delta^{13}C$ в земных архивах, пыльца растений, ленточные глины, исторические документы. Эти реконструкции охватывают промежутки времени длительностью от 1260 до 2016 лет;

(б) шесть реконструкций солнечной активности [15–20], полученных при помощи методов палеоастрофизики Солнца с использованием данных по концентрации космогенных изотопов ^{14}C и ^{10}Be в земных архивах и охватывающих до 11340 лет.

Для выделения квазивековых и двухсотлетних вариаций была использована вэйвлетная фильтрация в полосе периодов 63–240 лет, производившаяся с помощью вещественного базиса MHAT. Выделенный таким образом частотный диапазон охватывает обе долговременных солнечных вариации — циклы Зюсса и Глайссберга. Наличие связи между исследуемыми солнечными и температурными рядами тестировалось при помощи анализа коэффициентов линейной корреляции R_l.

2. Результаты и дискуссия

Большинство из рассчитанных коэффициентов корреляции оказались незначимыми. Однако в ряде случаев значимая корреляция была обнаружена. Коэффициент корреляции между сериями Moberg et al. [7] и Usoskin et al. [20] на интервале 971–1900 лет составил 0.39. Значимость этого коэффициента корреляции (вероятность нуль-гипотезы) была оценена при помощи статистического эксперимента и оказалась равной $p = 0.083$. Для рядов Loehle [10] и Egorova et al. [19] на



a — тонкая черная линия — мультиреконструкция температуры из работы [10], жирная серая линия — реконструкция числа солнечных пятен из работы [17]; *b* — тонкая черная линия — мультиреконструкция из работы [14], жирная серая линия — реконструкция солнечного модуляционного потенциала (СМП) из работы [14]; *c* — тонкая черная линия — дендрореконструкция из работы [20], жирная серая линия — реконструкция СМП из работы [12]; *d* — тонкая черная линия — реконструкция из работы [19], жирная серая линия — реконструкция полной солнечной радиации (total solar irradiance, TSI) из работы [16].

промежутке 17–1978 $R_l = 0.29$ ($p = 0.066$). Для рядов Mann, Jones [20] и Steinhilber et al. [17] на промежутке 200–1980 $R_l = 0.45$ ($p = 0.030$). Обнаруженные корреляции проиллюстрированы на рисунке.

Таким образом, в нескольких температурных палеореконструкциях долговременные вариации в частотном диапазоне, соответствующем солнечным циклам Глайссберга и Зюсса, коррелируют с соответствующими колебаниями СА. Причем эта связь может сохраняться на протяжении 1780–1960 лет. В то же время для серий [7,10] значимая корреляции с СА на вековой и квазивековой шкалах по отдельности не обнаруживается.

Выводы

Статистический анализ показал, что значимая корреляция между вариациями температуры Северного полушария и СА в полосе периодов 63–240 лет, соответствующей солнечным циклам Глайссберга и Зюсса, обнаруживается в отдельных случаях. Причем результат совместного воздействия двух солнечных периодичностей может оказываться более заметным, чем эффект от каждого из этих циклов по отдельности. Получено еще одно свидетельство того, что располагаемые нами эмпирические данные не исключают возможности влияния долговременных вариаций СА на климат Северного полушария Земли в течение достаточно длительных промежутков времени. Однако связь эта слаба и проявляется лишь в нескольких реконструкциях температуры. Причиной такой слабости может служить искажение солнечного сигнала естественно-природными вариациями с периодами близкими к 100 и 200 годам, но не связанными с солнечной активностью. В последнее время были обнаружены квазивековые и квазидвухсотлетние вариации температуры Северного полушария Земли, вызванные соответствующими изменениями активности вулканов. Еще одной причиной затруднений при выявлении долговременных солнечно-климатических связей могут служить неточности и неопределенности соответствующих палеореконструкций возрастающие по мере углубления в прошлое.

Конфликт интересов

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

Список литературы

[1] Yu.A. Nagovitsyn. Geomagnetism Aeronomy, **54** (8), 1010 (2014). DOI: 10.1134/S001679321408012X
[2] М.Г. Огурцов. ЖТФ, **94** (12), 1996 (2024). DOI: 10.61011/JTF.2024.12.59242.337-24
[3] H. Matsumoto, H. Svensmark, M.B. Enghoff. J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., **230**, 105845 (2022). DOI: 10.1016/j.jastp.2022.105845
[4] B. Tinsley. Bull. American Meteorol. Soc., **104**, E2171 (2023). DOI: 10.1175/BAMS-D-23-0065.1
[5] B. Christiansen, C.F. Ljungqvist. Clim. Past., **8**, 765 (2012). DOI: 10.5194/cp-8-765-2012
[6] PAGES 2k Consortium. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. Nat. Geosci., **12**, 643 (2019). DOI: 10.1038/s41561-019-0400-0
[7] A. Moberg, D.M. Sonechkin, K. Holmgren, N.M. Datsenko, W. Karlén, S.-E. Lauritzen. Nature, **433**, 613 (2005). DOI: 10.1038/nature03265
[8] R. Wilson, K. Anchukaitis, K. Briffa, U. Büntgen, E. Cook, R. D'Arrigo, N. Davi, J. Esper, D. Frank, B. Gunnarson, G. Hegerl, S. Helama, S. Klesse, P.J. Krusic, H.W. Linderholm, V.S. Myglan, T.J. Osborn, M. Rydval, L. Schneider, A. Schurer, G. Wiles, P. Zhang, E. Zorita. Quat. Sci. Rev., **134**, 1 (2016). DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.12.005

[9] J. Esper, E.R. Cook, F.H. Schweingruber. Science, **295**, 2250 (2002). DOI: 10.1126/science.1066208
[10] C. Loehle. Energy Environ., **18**, 1049 (2007). DOI: 10.1260/095830507782616797
[11] L. Schneider, J.E. Smerdon, U. Büntgen, R.J.S. Wilson, V.S. Myglan, A.V. Kirdyanov, J. Esper. Geophys. Res. Lett., **42**, 4556 (2015). DOI: 10.1002/2015GL063956
[12] S. Guillet, Ch. Corona, M. Stoffel, M. Khodri, F. Lavigne, P. Ortega, N. Eckert, P.D. Sielenou, V. Daux, O.V. Churakova (Sidorova), N. Davi, J.-L. Edouard, Y. Zhang, B.H. Luckman, V.S. Myglan, J. Guiot, M. Beniston, V. Masson-Delmotte, C. Oppenheimer. Nat. Geosci., **10**, 123 (2017). DOI: 10.1038/ngeo2875
[13] U. Büntgen, K. Allen, K.J. Anchukaitis, D. Arseneault, É. Boucher, A. Bruning, S. Chatterjee, P. Cherubini, O.V. Churakova (Sidorova), Ch. Corona, F. Gennaretti, J. Grießinger, S. Guillet, J. Guiot, B. Gunnarson, S. Helama, Ph. Hochreuther, M.K. Hughes, P. Huybers, A.V. Kirdyanov, P.J. Krusic, J. Ludescher, W.J.-H. Meier, V.S. Myglan, K. Nicolussi, C. Oppenheimer, F. Reinig, M.W. Salzer, K. Seftigen, A.R. Stine, M. Stoffel, S.St. George, E. Tejedor, A. Trevino, V. Trouet, J. Wang, R. Wilson, B. Yang, G. Xu, J. Esper. Nat. Commun., **12**, 3411 (2021). DOI: 10.1038/s41467-021-23627-6
[14] M.E. Mann, P.D. Jones. Geophys. Res. Lett., **30** (15), 1820 (2003). DOI: 10.1029/2003/GL017814
[15] R. Muscheler, F. Joos, J. Beer, S.A. Müller, M. Vonmoos, I. Snowball. Quat. Sci. Rev., **26**, 82 (2007). DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.07.012
[16] K. Horiuchi, T. Uchida, Y. Sakamoto, A. Ohta, H. Matsuzaki, Y. Shibata, H. Motoyama. Quaternary Geochronology, **3** (3), 253 (2008). DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.07.012
[17] F. Steinhilber, J. Abreu, J. Beer, I. Brunner, M. Christl, H. Fischer, U. Heikkila, P.W. Kubik, M. Mann, K.G. McCracken, H. Miller, H. Miyahara, H. Oerter, F. Wilhelms. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **109** (16), 5967 (2012). DOI: 10.1073/pnas.1118965109
[18] I.G. Usoskin, G. Hulot, Y. Gallet, R. Roth, A. Licht, F. Joos, G.A. Kovaltsov, E. Thebault, A. Khokhlov. Astron. Astrophys., **562**, L10 (2014). DOI: 10.1051/0004-6361/201423391
[19] T. Egorova, W. Schmutz, E. Rozanov, A.I. Shapiro, I. Usoskin, J. Beer, R.V. Tagirov, T. Peter. Astron. Astrophys., **615**, A85 (2018). DOI: 10.1051/0004-6361/201731199
[20] I.G. Usoskin, S. Solanki, N. Krivova, B. Hofer, G.A. Kovaltsov, L. Wacker, N. Brehm, B. Kromer. Astron. Astrophys., **649**, A141 (2021). DOI: 10.1051/0004-6361/202140711