

Циклы солнечной активности и климат Северного Полушария Земли

© М.Г. Огурцов

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

Поступило в Редакцию 27 апреля 2024 г.
В окончательной редакции 27 июля 2024 г.
Принято к публикации 30 октября 2024 г.

Возможность связи между долговременными вариациями климата Земли и солнечными циклами исследована при помощи: (а) шести реконструкций солнечной активности и (б) восьми палеорекоonstrуций температуры Северного Полушария. Оказалось, что в температуре Северного Полушария Земли присутствуют значимые вариации с периодами 86 и 190 лет, близкими к периодам соответствующих солнечных циклов Глайссберга (вековой) и Зюсса (двухвековой). Однако заметной корреляции между вековыми и двухвековыми периодичностями в климате и солнечной активности не было обнаружено. Обсуждены возможные причины слабости солнечно-климатической корреляции.

Ключевые слова: солнечная активность, солнечная палеоастрофизика, климат.

DOI: 10.61011/JTF.2024.12.59242.337-24

Введение

Солнце является основным источником энергии, контролирующим нашу климатическую систему. Именно поэтому возможное влияние солнечной активности на климат Земли уже давно и интенсивно изучается. В последние десятилетия было собрано значительное количество свидетельств того, что солнечная активность (СА) может влиять на климат как непосредственно, путем изменения полной солнечной радиации, так и опосредованно, путем модуляции потока галактических и солнечных космических лучей [1]. Однако физический механизм, объясняющий связь между СА, космической погодой и климатом, пока не выяснен. Более того, некоторые данные о влиянии СА на климат Северного полушария в последнее время подвергаются сомнению [2]. С другой стороны, получены указания на то, что, по крайней мере, в климатах отдельных регионов (северная Фенноскандия, Южная Америка) присутствуют собственные внутренние колебания с периодами, близкими к периодам солнечных циклов, но не связанные с солнечными циклами [3]. В настоящей работе рассматривается возможность наличия природных циклов, подобных солнечным, в климате более обширной территории, охватывающей все Северное полушарие.

1. Данные

Были использованы данные:

(а) палеорекоonstrуции СА [4–9], охватывающие от 919 до более 10000 последних лет. Эти временные серии показаны на рис. 1. Все они для последующего анализа были интерполированы по годам;

(б) тепературные палеорекоonstrуции [10–17], охватывающие последние 1192–2015 лет. Эти временные серии показаны на рис. 2.

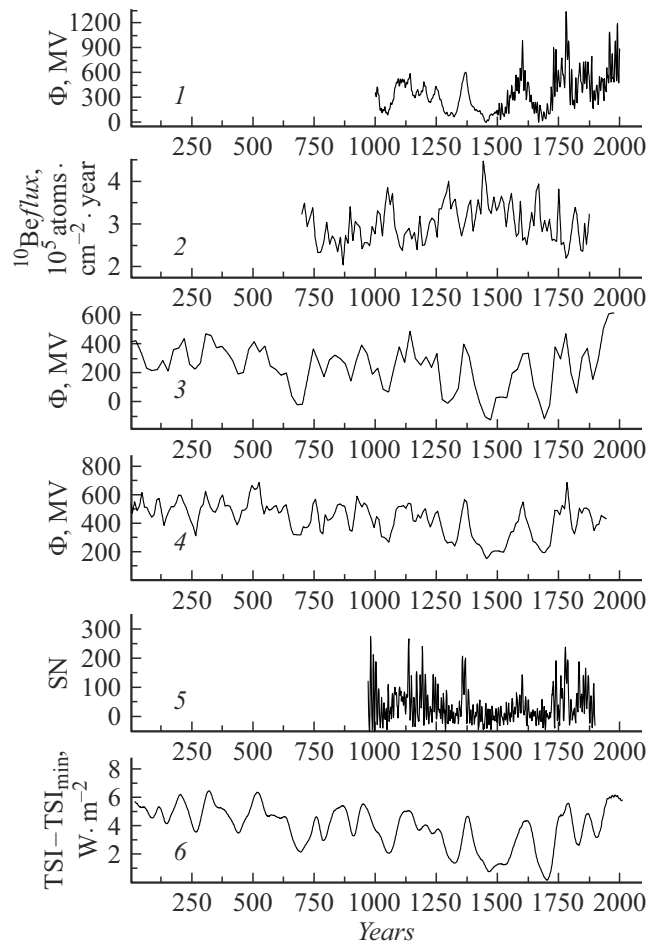


Рис. 1. Индикаторы солнечной активности, использованные в работе: 1 — солнечный модуляционный потенциал [4]; 2 — концентрация ^{10}Be во льду Антарктиды [5]; 3 — солнечный модуляционный потенциал [6]; 4 — солнечный модуляционный потенциал [7]; 5 — число солнечных пятен [8]; 6 — полная солнечная радиация [9].

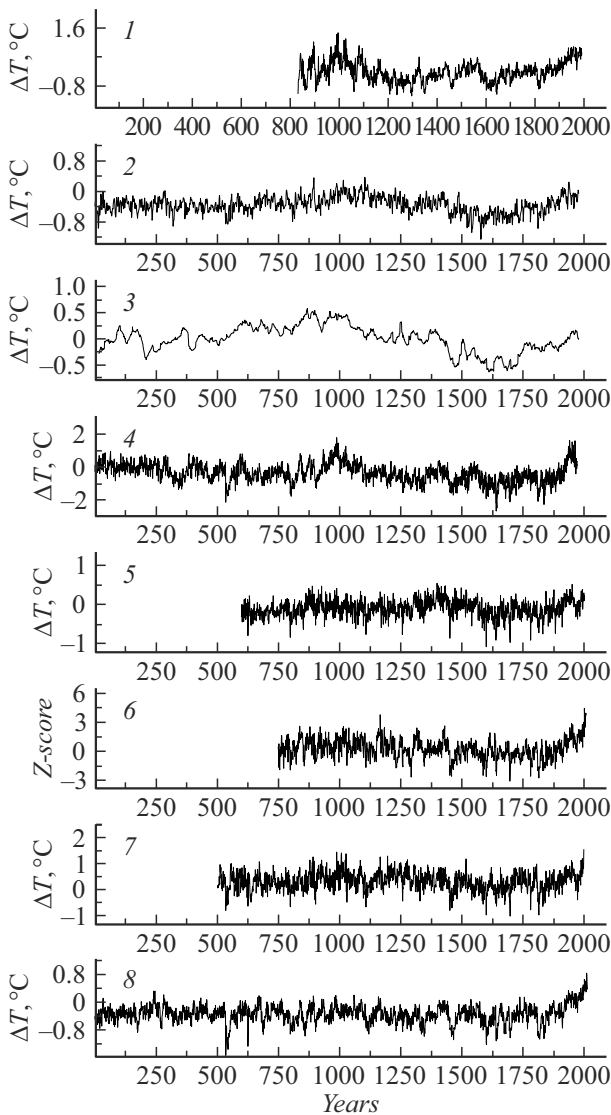


Рис. 2. Реконструкции температуры в Северном Полушарии, использованные в работе: 1 — дендрорекострукция из работы [10]; 2 — мультирекострукция из работы [11]; 3 — мультирекострукция, не использующая дендроданные [12]; 4 — мультирекострукция из работы [13]; 5 — дендрорекострукция из работы [14]; 6 — дендрорекострукция из работы [15], нормированная на нулевое среднее и единичную дисперсию; 7 — дендрорекострукция из работы [16]; 8 — дендрорекострукция из работы [17].

2. Результаты и дискуссия

Фурье и вэйвлетный анализы показали, что в спектрах всех температурных рядов на протяжении последних 1–2 тысячелетий присутствуют колебания с периодами около 100 лет и 180–270 лет, близкие к периодам солнечных циклов Гляйсберга (квазивековой) и Зюсса (квазидвухвековой). Данный вывод можно проиллюстрировать рис. 3, на котором приведена первая главная компонента PC1 восьми температурных рядов, показанных

на рис. 1, восстанавливающая 55% их общей дисперсии, и, таким образом, выявляющая и отражающая наиболее общие колебания, присущие этим временным сериям. Как видно из рис. 3, первый спектр PC1 имеет пик на 86 годах и мощный пик на 189 годах.

Корреляционный анализ рядов, фильтрованных в столетней и двухсотлетней полосах частот, показал, однако, что эти температурные вариации не коррелируют с соответствующими циклами солнечной активности, за исключением 200-летней периодичности в ряде Esper et al. [10]. Только ряд [10], вэйвлетно фильтрованный в полосе 186–259 лет, коррелирует с фильтрованной аналогично первой главной компонентой шести солнечных реконструкций с коэффициентом -0.72 (уровень доверия $p = 0.03$). Все остальные коэффициенты корреляции лежат в пределах -0.47 – -0.42 и их значимость не достигает 0.10. Причинами слабости солнечно-климатической корреляции могут служить: (а) нелинейность связи между температурой и активностью Солнца, (б) искажение солнечного сигнала колебаниями вулканической актив-

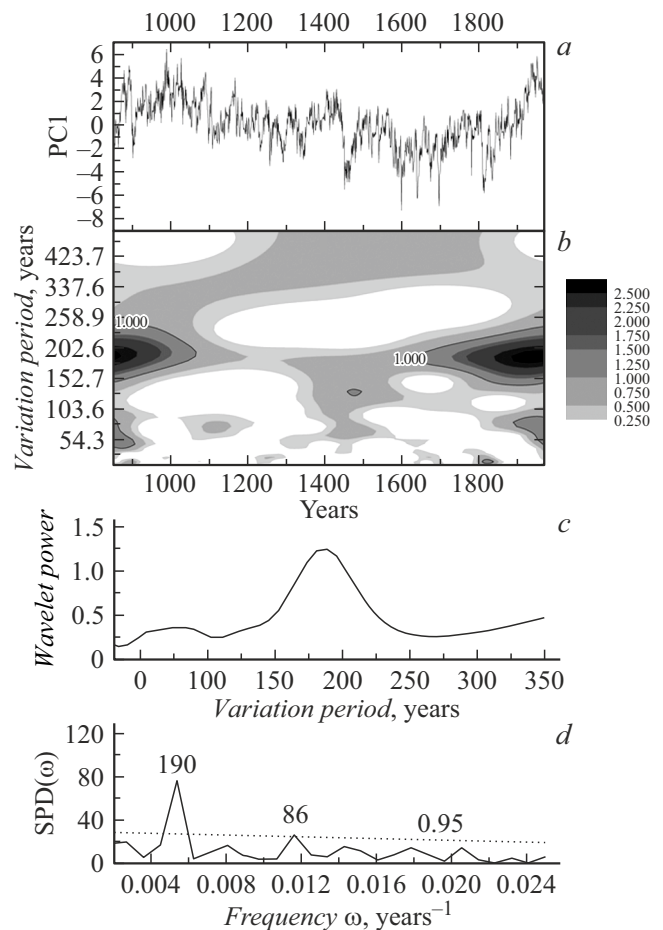


Рис. 3. *a* — первая главная компонента восьми температурных серий; *b* — локальный вэйвлетный спектр PC1, нормированный на уровень доверия 0.95; *c* — глобальный вэйвлетный спектр PC1, нормированный на уровень доверия 0.95; *d* — спектр Фурье PC1, пунктирная линия — уровень доверия 0.95.

ности [18], (в) искажение солнечного сигнала внутренними осцилляциями, имеющимися в климатической системе [3], (г) неточности климатических реконструкций.

Выводы

Статистический анализ восьми палеорекоконструкций температуры Северного Полушария, охватывающий последние 1–2 тысячелетия, показал, что в их спектрах присутствуют значимые вариации с периодами 86 и 190 лет. Однако их корреляции с соответствующими циклами СА оказались слабыми. Это может означать присутствие в климате Северного Полушария естественно-природной квазидвухвековой вариации, не связанной с СА. Такая периодичность может существенно исказить солнечный сигнал и затруднять его выявление.

Конфликт интересов

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] S. Veretenenko, M. Ogurtsov. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **149**, 207 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.04.003>
- [2] G. Chiodo, J. Oehrlein, L. Polvani, J.C. Fyfe, A.K. Smith. *Nature Geosci*, **12**, 94 (2019). DOI:10.1038/s41561-018-0293-3
- [3] M. Ogurtsov. *Atmosphere*, **13**, 1360 (2022). <https://doi.org/10.1177/09596836211060487>
- [4] R. Muscheler, F. Joos, J. Beer, S.A. Müller, M. Vonmoos, I. Snowball. *Quat. Sci. Rev.*, **26**, 82 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.012>
- [5] K. Horiuchi, T. Uchida, Y. Sakamoto, A. Ohta, H. Matsuzaki, Y. Shibata, H. Motoyama. *Quaternary Geochronology*, **3** (3), 253 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.012>
- [6] F. Steinhilber, J. Abreu, J. Beer, I. Brunner, M. Christl, H. Fischer, U. Heikkilä, 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). <https://doi.org/10.1073/pnas.1118965109>
- [7] I.G. Usoskin, G. Hulot, Y. Gallet, R. Roth, A. Licht, F. Joos, G.A. Kovaltsov, E. Thébault, A. Khokhlov. *Astron. Astrophys.*, **562**, L10 (2014). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201423391>
- [8] I. Usoskin, S. Solanki, N. Krivova, B. Hofer, G.A. Kovaltsov, L. Wacker, N. Brehm, B. Kromer. *Astron. Astrophys.*, **649**, A141 (2021). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140711>
- [9] T. Egorova, W. Schmutz, E. Rozanov, A.I. Shapiro, I. Usoskin, J. Beer, R.V. Tagirov, T. Peter. *Astron. Astrophys.*, **615**, A85, (2018). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201731199>
- [10] J. Esper, E.R. Cook, F.H. Schweingruber. *Science*, **295**, 2250 (2002). <https://doi.org/10.1126/science.1066208>
- [11] A. Moberg, D.M. Sonechkin, K. Holmgren, N.M. Datsenko, W. Karlén. *Nature*, **433**, 613 (2005). <https://doi.org/10.1038/nature03265>
- [12] C. Loehle. *Energy Environ.*, **18**, 1049 (2007). <http://dx.doi.org/10.1260/095830507782616797>
- [13] B. Christiansen, F.C. Ljungqvist. *Clim. Past.*, **8**, 765 (2012). <https://doi.org/10.5194/cp-8-765-2012>
- [14] L. Schneider, J.E. Smerdon, U. Büntgen, R.J.S. Wilson, V.S. Myglan, A.V. Kirilyanov. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 4556 (2015). <https://doi.org/10.1002/2015GL063956>
- [15] 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. Myglan, T.J. Osborn, M. Rydval, L. Schneider, A. Schurer, E. Zorita. *Quat. Sci. Rev.*, **134**, 1 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.12.005>
- [16] S. Guillet, C. Corona, M. Khodri, M. Khodri, F. Lavigne, P. Ortega, N. Eckert, P. Dkengne 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). <https://doi.org/10.1038/ngeo2875>
- [17] U. Büntgen, K. Allen, K.J. Anchukaitis, D. Arseneault, É. Boucher, A. Bräuning, S. Chatterjee, P. Cherubini, O.V. Churakova (Sidorova), Ch. Corona, F. Gennaretti, J. Griebinger, S. Guillet, J. Guiot, B. Gunnarson, S. Helama, Ph. Hochreuther, M.K. Hughes, P. Huybers, A.V. Kirilyanov, 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, Jan. Nat. Commun., **12**, 3411 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23627-6>
- [18] P. Breitenmoser, J. Beer, S. Brönnimann, D. Frank, F. Steinhilber, H. Wanner. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **313–314**, 127 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.10.014>