ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ КОСМОГЕННЫХ ИЗОТОПОВ В ЭПОХУ ШПЁРЕРОВСКОГО МИНИМУМА

Огурцов М.Г.^{1,2}

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

VARIATIONS OF CONCENTRATION OF THE COSMOGENIC ISOTOPES DURING THE SPOERER MINIMUM

Ogurtsov M.G.^{1,2}

¹Ioffe Physico-Technical Institute of RAS, St. Petersburg

²Central Astronomical Observatory of RAS, St. Petersburg

Five sets of the data on concentration of the cosmogenic isotopes in terrestrial archives (two radiocarbon series and two beryllium ones) were studied at time interval AD 1432-1552, which covers the major part of the Spoerer solar minimum. It is shown that spectra of these records differ appreciably. Coefficients of correlation between short-term (period less than 30 years) variations of the analyzed time series are also not large. That can mean that during the global deep solar minima the short-term variability of cosmogenic isotopes are weakly connected with the corresponding changes of solar activity and reflect mainly variations of other factors.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-213-216

Введение

Грандиозные (глубокие) солнечные минимумы – эпохи существенно подавленной солнечной активности, связаны с особым состоянием солнечного динамо. Исследование временного хода активности Солнца в такие периоды важно для понимания физических механизмов солнечного и звездного динамо. Это, в значительной степени касается изучения солнечных циклов Швабе (~11 лет) и Хейла (~22 года). Подобную информацию предоставляют данные о концентрации космогенных изотопов ^{14}C и ^{10}Be в земных архивах. Огурцов [1], однако, изучив шесть радиоуглеродных серий, охватывающих полностью или частично период Маундеровского минимума (1645–1715 гг.), пришёл к выводу, что высокочастотная (ВЧ) составляющая (колебания с периодами до 30 лет) вариаций имеющих на сегодня рядов данных по $\Delta^{14}\text{C}$ не несёт значительной астрофизической информации, т.к. солнечный сигнал в них сильно искажён колебаниями несолнечной природы. Проверить справедливость этого вывода возможно при помощи анализа данных по концентрации космогенных изотопов в эпоху Шпёреровского минимума (1415–1545 гг.). Можно отметить, что минимум Шпёрера особенно подходит для этой цели, т.к. согласно данным работы [2], он был глубже Маундеровского.

Результаты

На сегодняшний день имеется пять рядов экспериментальных измерений содержания космогенных бериллия и радиоуглерода в природных архивах, охватывающих минимум Шпёрера [3–7]. Они приведены на рис. 1.

Рис. 1. А – поток ^{10}Be в скважине Dye-3 [3]; В – поток ^{10}Be в скважине NGRIP [4]; С – $\Delta^{14}\text{C}$ в кольцах японского кедра. Сглаженные по трём точкам данные сканированы из работы [5]; D – $\Delta^{14}\text{C}$ в кольцах датских деревьев. [6]; Е – $\Delta^{14}\text{C}$ в кольцах деревьев из Англии и Швейцарии [7].

Локальные вэйвлетные спектры этих рядов (базис Морле) показаны на рис. 2, а глобальные – на рис. 3. Спектры нормированы на уровни доверия 0.95, рассчитанные для красных шумов с AR(1) факторами α , индивидуальными для каждого ряда.

Как видно из рис. 2–3, спектры ВЧ вариаций различаются достаточно сильно. В одних доминирует 17-летняя периодичность, в других 11-летняя, в третьих 6-летняя.

В таблице показаны коэффициенты корреляции между рядами данных, охватывающими промежутки 1432–1552 гг. и вэйвлетно-фильтрован-

ными (базис МНАТ) в полосе периодов 7.3–29.8 лет, включающей в себя оба основных солнечных цикла.

Рис. 2. Локальные вэйвлетные спектры: А – потока ^{10}Be в скважине Dye-3 ($\alpha = 0.18$); В – потока ^{10}Be в скважине NGRIP ($\alpha = -0.05$); С – $\Delta^{14}\text{C}$ в кольцах японского кедр ($\alpha = 0.50$); D – $\Delta^{14}\text{C}$ в кольцах датских деревьев ($\alpha = 0.28$); E – $\Delta^{14}\text{C}$ в кольцах деревьев из Англии и Швейцарии ($\alpha = 0.39$).

Рис. 3. Кратковременная часть вэйвлетных спектров данных по космогенным изотопам

Как следует из таблицы, корреляция между космогенными рядами в полосе частот потенциально связанной с солнечными циклами не слишком сильна. Только значимость коэффициента корреляции между бериллиевыми сериями Dye-3 и NGRIP превышает уровень доверия 0.9, но и она обес-

печивается, в основном, мощным событием 1465 года, отразившимся в обоих рядах.

Таблица. Коэффициенты корреляции между вэйвлетно-фильтрованными (7.3–29.8 лет) временными рядами на интервале 1432–1552 гг.

Цифры в скобках – значимости корреляций.

	^{10}Be [3]	^{10}Be [4]	$\Delta^{14}\text{C}$ [5]	$\Delta^{14}\text{C}$ [6]	$\Delta^{14}\text{C}$ [7]
^{10}Be [3]		0.39 (0.92)			
^{10}Be [4]					
$\Delta^{14}\text{C}$ [5]				0.15 (0.37)	0.47 (0.88)
$\Delta^{14}\text{C}$ [6]					0.37 (0.88)
$\Delta^{14}\text{C}$ [7]					

Выводы

Проведённый анализ показал, что ВЧ колебания содержания космогенных изотопов в земных архивах в период минимума Шпёрера, отражают соответствующие изменения солнечной активности достаточно слабо.

Работа была поддержана грантом 19-02-00088.

Литература

1. Огурцов М.Г. Космогенные изотопы и их роль в современной палеоастрофизике Солнца // Геомагн. и Аэрон. 2007. 47(1). С. 90-98.
2. Ogurtsov, M.G. The Spörer minimum was deep // Adv. Space Res. 2019. V. 64. I. 5. pp. 1112-1116.
3. Beer, J., Siegenthaler, U., Bonani, G., et al. Information on past solar activity and geomagnetism from ^{10}Be in the Camp Century ice core // Nature. 1988. 331. 675-679.
4. Berggren, A.-M., Beer, J., Possnert, et al. A 600-year annual ^{10}Be record from the NGRIP ice core, Greenland // Geophys. Res. Lett. 2009. 36. L11801.
5. Miyahara, H., Masuda, K., Muraki, Y., et al. Variation of solar cyclicity during the Spörer Minimum. // J. Geophys. Res. 2006. 111. A03103.
6. Fogtmann-Schulz A., Kudsk, S.G.K., Trant, P.L.K., et al. Variations in solar activity across the Spörer Minimum based on radiocarbon in Danish oak // Geophys. Res. Lett. 2019. 46. 8617-8623.
7. Brehm N., Bayliss A., Christl M., et al. Eleven-year solar cycles over the last millennium revealed by radiocarbon in tree rings // Nature Geoscience. 2021. 14. 10–15.