

## К вопросу о 36-летнем цикле в солнечной активности

© М.Г. Огурцов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
194021 Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 14 мая 2023 г.

В окончательной редакции 21 июля 2023 г.

Принято к публикации 30 октября 2023 г.

Проанализирован ряд данных о потоке космогенного  $^{10}\text{Be}$  в ледяном керне, извлеченном со станции Купол Фудзи (Восточная Антарктида), охватывающий период 700–1876 г. н. э. Фурье-анализ и вейвлетный анализ показали наличие в этом ряду цикличности с периодом около 36 лет. Поскольку поток  $^{10}\text{Be}$  содержит информацию о вариациях приходящей в атмосферу Земли космической радиации, связанных в основном с изменением солнечной активности, выявленная периодичность может быть результатом соответствующего солнечного цикла. Также обсуждена возможное климатическое происхождение 36-летней вариации.

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

DOI: 10.61011/JTF.2023.12.56830.f228-23

### Введение

Кроме известных 11-летних и 22-летних солнечных циклов, имеются указания на существование вариаций солнечной активности с периодом 31–36 лет. Например, в индексе Ар в период 1932–1982 г. была обнаружена вариация с периодом в 31.1 года [1]. Веретененко и др. [2–3] выявили преобладающую периодичность около 36 лет в данных о возникновении сильных и умеренных магнитных бурь с постепенным началом в период с 1878 по 2015 г. Распопов и др. [4] предположили, что эта солнечная вариация может быть причиной хорошо известного климатического цикла Брюкнера с периодом, близким к 35 годам. Но большая часть доказательств 35-летней солнечной периодичности получена путем анализа относительно коротких экспериментальных данных. В работе [5] сообщалось о 31-летнем колебании в ряде данных по концентрации нитратов (ионов  $\text{NO}_3^-$ ) в ледяном керне Guliya на плато Цинхай-Сизан, охватывающем 1032 года. Но концентрация ионов во льду зависит не только от проявлений солнечной активности (главным образом солнечных протонных событий), но и от процессов осаждения и постдепозитных эффектов, на которые серьезно влияют метеорологические процессы. А поскольку цикл Брюкнера выявлен во многих климатических рядах, неясно, связана ли 31-летняя вариация концентрации нитратов в Guliya с солнечной активностью или с климатом. В настоящей работе возможность существования 36-летней вариации солнечной активности исследована с помощью данных по  $^{10}\text{Be}$ , полученных в Центрально-Восточной Антарктиде. Этот индикатор солнечной активности имеет два преимущества:

(а) Центрально-Восточная Антарктида является регионом высокой климатической стабильности. Циклоны редко, если вообще когда-либо, проникают далеко вглубь суши в этой части континента [6,7]. Таким образом,

климатический вклад во временной ход концентрации  $^{10}\text{Be}$  здесь должен быть минимальным.

(б) Бериллий, выпадающий в высоких широтах, имеет значительный локальный тропосферный компонент. Согласно [8], не менее 20% бериллия, выпавшего на 77 широте, образовалось на широтах 60–90°. Поскольку 35-летний цикл был обнаружен в геомагнитной активности и концентрации нитратов, именно высокоширотная часть земного шара представляется наиболее подходящей для поиска проявлений этой периодичности на больших временных интервалах. Действительно, эта область представляет собой зону, где низок порог геомагнитного обрезания, и проникновение в атмосферу космических частиц, влияющих на геомагнитную активность и образование ионов, значительно облегчено.

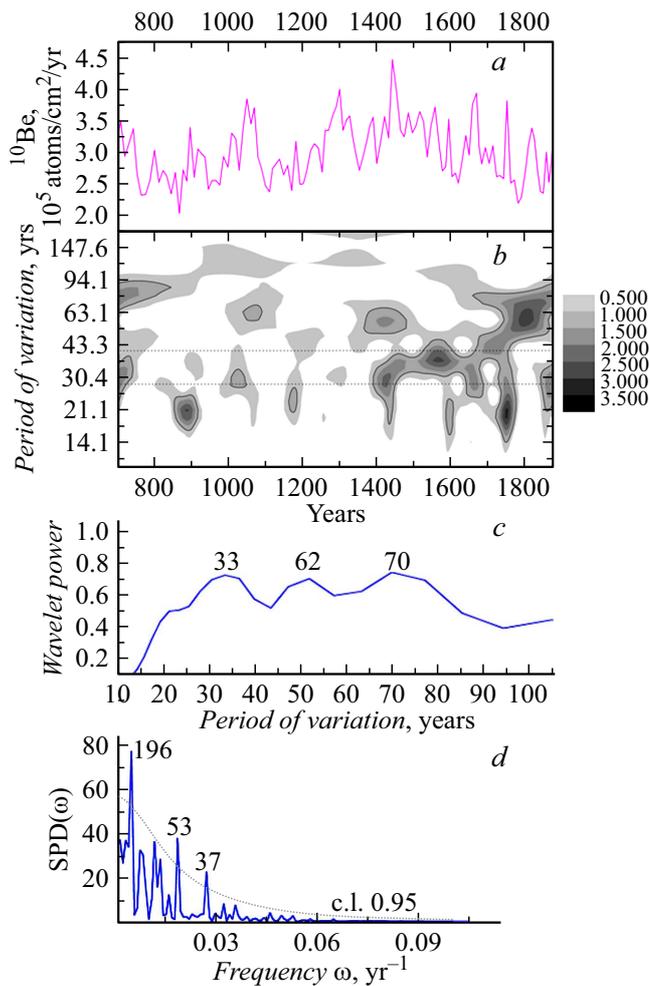
### 1. Данные

Сведения о вариациях солнечной активности на длительных временных шкалах предоставляет солнечная палеоастрофизика. В настоящей работе была использована серия данных о потоке  $^{10}\text{Be}$ , измеренном в ледяном керне, полученном со станции Купол Фудзи, расположенной во внутриконтинентальной части Восточной Антарктиды (77°19'S, 39°42'E, 3810 m above sea level). Этот временной ряд [9] показан на рис. 1, а. Его временное разрешение составляет 6–11 лет.

### 2. Результаты и дискуссия

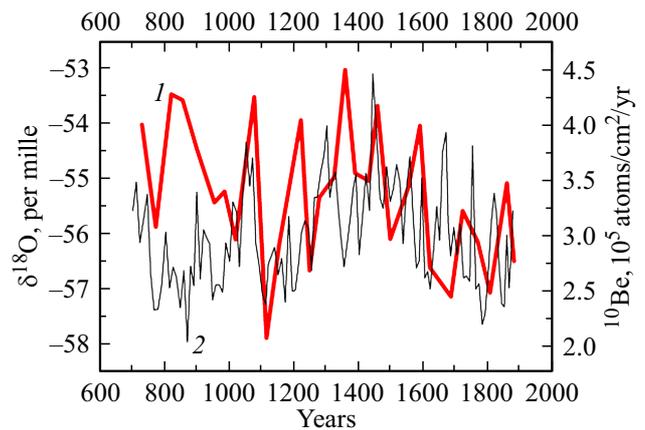
Спектральные свойства реконструкции [9] изучались с помощью вейвлет-анализа и фурье-анализа. Предварительно вычитался полиномиальный тренд второго порядка. Результаты анализа представлены на рис. 1, b–d.

Из рисунка видно, что значимая временная вариация с периодом 33–37 лет проявляется в потоке  $^{10}\text{Be}$  перио-



**Рис. 1.** *a* — поток  $^{10}\text{Be}$  в ледяном керне Dome Fuji [9]; *b* — локальный вейвлетный спектр Морле потока  $^{10}\text{Be}$ . Спектр нормализован на уровень доверия 0.95, рассчитанного для красного шума с  $\text{AR}(1) = 0.9$ . Полоса, соответствующая периодам 28–38 лет выделена пунктиром; *c* — глобальный вейвлетный спектр Морле потока  $^{10}\text{Be}$ . Линии очерчивают область с уровнем доверия более 0.95; *d* — фурье-спектр потока  $^{10}\text{Be}$ . Уровень доверия рассчитан для красного шума с  $\text{AR}(1) = 0.9$ .

дически. Наиболее ярко она проявилась в XV–XVIII вв., но она возникает и в другие века. Главный вопрос заключается в том, не является ли наблюдаемая 33–37-летняя вариация результатом климатического цикла. Помочь прояснить этот вопрос могут данные о концентрации  $^{18}\text{O}$  (показатель приземной температуры воздуха), измеренные в том же керне [10]. Однако имеющийся ряд данных по  $\delta^{18}\text{O}$  на станции Dome Fuji (рис. 2) имеет низкое временное разрешение 22–42 года. На основании этих данных можно лишь сделать вывод, что ряды  $^{10}\text{Be}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  не коррелируют на мультидекадных и более длительных временных масштабах (коэффициент корреляции между интерполированными по десятилетиям рядам  $R_I = 0.11$ ). Это вполне согласуется с общим



**Рис. 2.** Линия 1 — концентрация  $^{18}\text{O}$  в ледяном керне Dome Fuji [10]; линия 2 — поток  $^{10}\text{Be}$  в ледяном керне Dome Fuji [9].

представлением о слабом влиянии местного климата центральной Антарктиды на концентрацию бериллия, но сделать однозначный вывод о неклиматическом характере 33–37-летней периодичности вряд ли возможно.

## Выводы

Анализ данных о концентрации космогенного нуклида  $^{10}\text{Be}$  в ледяном керне, извлеченном со станции Fuji Dome (Восточная Антарктида), показал наличие вариации с периодом около 36 лет как минимум в течение нескольких столетий. Эта вариация может отражать соответствующее изменение потока космического излучения, поступающего в атмосферу. Однако возможность того, что эта периодичность носит климатический характер, пока еще не исключена. В этой связи можно отметить, что в данных по концентрации бериллия в гренландских льдах отчетливой 36-летней вариации не наблюдается. Необходимо дальнейшее исследование новых солнечных и климатических реконструкций, получаемых в Центральной Антарктиде и других местах с высоким временным разрешением.

## Конфликт интересов

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

## Список литературы

- [1] A.L. Clua de Gonzalez, W.D. Gonzalez, S.L. Dutra, B.T. Tsurutani. *J. Geophys. Res.*, **98**, 9215 (1993). DOI: 10.1029/92ja02200
- [2] S. Veretenenko, M. Ogurtsov, V. Obridko. *J. Phys.: Conf. Ser.*, **1400**, 022038 (2019). DOI: 10.1088/1742-6596/1400/2/022038
- [3] S. Veretenenko, M. Ogurtsov, V. Obridko. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **205**, 105295 (2020). DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105295

- [4] O.M. Raspopov, O.I. Shumilov, E.A. Kasatkina, E. Turunen, M. Lindholm. Proc. In *1<sup>st</sup> Solar and Space Weather Euroconference, „The Solar Cycle and Terrestrial Climate“* (Santa Cruza de Tenerife, Tenerife, Spain, 2000), p. 517–521. SP-463.
- [5] N. Wang, T. Yao, L.G. Thompson. *Chinese Sci. Bull.*, **43** (10), 841 (1998). DOI: 10.1007/bf03182750
- [6] R.J. Murray, I. Simmonds. *Aust. Meteor. Mag.*, **39**, 167 (1991).
- [7] R. Massom, M. Pook, J. Comiso, N. Adams, J. Turner, T. Lachlan-Cope, T.T. Gibson. *Climate*, **17**, 1914 (2004). DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<1914:POTIEA>2.0.CO;2
- [8] U. Heikkila, J. Beer, J. Feichter. *Atmos. Chem. Phys.*, **9** (2), 515 (2009). DOI: 10.5194/acp-9-515-2009
- [9] K. Horiuchi, Y. Uchida, A. Sakamoto, A. Ohta, H. Matsuzaki, Ya. Shibata, H. Motoyama. *Quat. Geochron.*, **3** (3), 253 (2008). DOI: 10.1016/j.quageo.2008.01.003
- [10] R. Uemura, H. Motoyama, V. Masson-Delmotte, J. Jouzel, K. Kawamura, K. Goto-Azuma, Sh. Fujita, T. Kuramoto, M. Hirabayashi, T. Miyake, H. Ohno, K. Fujita, A. Abe-Ouchi, Y. Iizuka, Sh. Horikawa, M. Igarashi, K. Suzuki, T. Suzuki, Y. Fujii. *Nature Commun.*, **9** (1), 961 (2018). DOI: 10.1038/s41467-018-03328-3