

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ О СОДЕРЖАНИИ ^{44}Ti В МЕТЕОРИТАХ

Огурцов М.Г.^{1,2}

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

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

LONG-TERM VARIATIONS OF INTENSITY OF THE GALACTIC COSMIC RAYS, DERIVED FROM THE DATA ON ^{44}Ti ABUNDANCE IN METEORITES

Ogurtsov M.G.^{1,2}

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

²Central Astronomical Observatory of RAS, St. Petersburg, Russia

Analysis of activity of the cosmogenic isotope ^{44}Ti , measured in 20 meteorites, which have fallen to the ground during 1766–2001, is performed. It is shown that both: (a) an angle of slope of a long-term trend and (b) amplitude of a century-scale cycle of Glejssberg in measured activity of ^{44}Ti differ from the theoretical estimations obtained by means of the data on concentration of ^{14}C and ^{10}Be in terrestrial archives. Large fluctuation of titanium activity in second half of 19th – first half of 20th century looks especially abnormal. The obtained results show that at present the cosmogenic isotope data contain mostly qualitative information about the changes of the cosmic ray flux in the past.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-251-254

Введение

^{44}Ti образуется в метеоритах, движущихся в межпланетном пространстве на гелиоцентрических расстояниях 1–3 AU [1]. Его основной источник – ядерные взаимодействия энергичных ($E > 70$ MeV) космических лучей с содержащимся в метеорном веществе Fe [2, 3]. Период полураспада ^{44}Ti равен 59.2 ± 0.6 годам [4], поэтому он пригоден для изучения долгосрочных (несколько десятилетий и более) вариаций потока космических лучей. В то время как содержание космогенных изотопов ^{14}C и ^{10}Be в естественных архивах существенно зависит от ряда земных факторов (метеорология, климат, геомагнитное поле), активность ^{44}Ti в упавших на Землю метеоритах несёт прямую информацию о потоке КЛ в прошлом, свободную от земных влияний. Поэтому данные по ^{44}Ti используются для верификации информации о прошлом интенсивности КЛ, полученной при помощи ^{14}C и ^{10}Be . В данной работе была исследована активность ^{44}Ti измеренная в 20 каменных метеоритах, которые упали на Землю в период 1766–2001 [1, 5, 6].

Данные

Данные по активности титана (распадов в минуту на 1 кг железа и никеля) в метеоритах приведены на рис. 1.

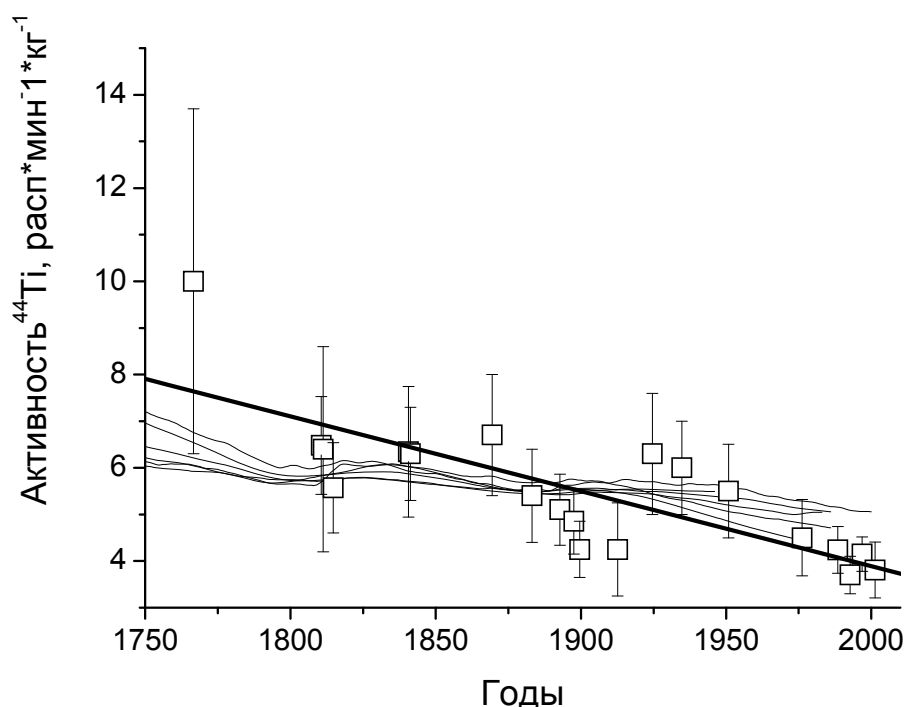


Рис. 1. Пустые квадраты — активность ^{44}Ti , измеренная экспериментально. Жирная линия — её линейный тренд. Тонкие линии — активность ^{44}Ti , рассчитанная с помощью данных по солнечному модуляционному потенциалу [7–11].

На рис. 1 также показаны шесть теоретических кривых, рассчитанных с помощью данных по солнечному модуляционному потенциалу, восстановленному в работах [7–11] с использованием концентрации ^{14}C и ^{10}Be в земных архивах.

Результаты

Из рис. 1 видно, что, несмотря на то, что в наиболее общих чертах экспериментальная кривая согласуется с расчётными (активность титана спадает на всём промежутке 1766–2001 гг., в ней заметен вековой цикл), между ними есть и различия. Угол наклона линейного тренда измеренной активности ^{44}Ti на промежутке с 1766 по 1945–2001 гг. равен $0.78\text{--}1.17$ ($\text{расп} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$)/столетие. У расчётных кривых этот угол $0.33\text{--}0.77$ ($\text{расп} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$)/столетие. Удвоенная амплитуда вековой вариации (цикл Глейссберга) в период 1869–1976 гг. у экспериментальной величины не менее $2.0 \text{ расп} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$, а у теоретических кривых — не более $0.5 \text{ расп} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$. Статистические эксперименты, проведённые с помощью наборов монте-карловских розыгрышей, показали, что для линейных трен-

дов вероятность того, что наблюдаемое различие возникло из-за экспериментальных погрешностей, равна 0.034–0.182, а для квазивековой флуктуации в 1869–1976 гг. – менее 10^{-3} .

Выводы

Сопоставление экспериментально измеренной активности ^{44}Ti в метеоритах с шестью теоретическими кривыми, рассчитанными при помощи данных по концентрации космогенных изотопов ^{10}Be и ^{14}C в земных архивах, показало, что между экспериментальной и расчётными зависимостями есть различия: (а) долговременный тренд активности титана спадает быстрее, чем это можно было ожидать из радиоуглеродных и бериллиевых данных, (б) амплитуда вековой вариации активности ^{44}Ti в 1869–1976 гг. значительно превышает величину, которую можно было ожидать из данных по ^{10}Be and ^{14}C . Причём во втором случае статистическая значимость обнаруженного различия очень велика. Полученный результат, в целом согласуется с выводом работы [12] о том, что палеоастрофизика космогенных изотопов обеспечивает нас лишь качественной информацией о прошлом солнечной активности, которая не всегда пригодна для количественных оценок.

Работа была поддержана грантами РФФИ 18-02-00583, 19-02-00088.

Литература

1. *Taricco, C., Bhandari N., Cane D., et al.* Galactic cosmic ray flux decline and periodicities in the interplanetary space during the last 3 centuries revealed by ^{44}Ti in meteorites // *J. Geophys. Res.*, 2006, 111, A08102.
2. *Bonino, G., G. Cini Castagnoli, N. Bhandari, and C. Taricco.* Behavior of the heliosphere over prolonged solar quiet periods by ^{44}Ti measurement in meteorites // *Science*, 1995, 270, 1648–1650.
3. *Michel, R., and S. Neumann.* Interpretation of cosmogenic nuclides in meteorites on the basis of accelerator experiments and physical model calculations // *Earth. Planet. Sci.*, 1998, 107, 207–223.
4. *Usoskin, I.G., Solanki S.K., Taricco C., et al.* Long-term solar activity reconstructions: direct test by cosmogenic ^{44}Ti in meteorites // *Astron. Astrophys.*, 2006, 457, L25–L28.
5. *Taricco, C., Bhandari N., Colombetti, P., Verma N.* Mid 19th century minimum of galactic cosmic ray flux inferred from ^{44}Ti in Allegan meteorite // *Advances in Space Research*, 2008, 41, 275–279.
6. *Taricco C., Sinha N., Bhandari N., et al.* Early 18th century cosmic ray flux inferred from ^{44}Ti in Ager meteorite // *Astrophys Space Sci*, 2016, 361, 338.
7. *Delaygue G. and E. Bard.* An Antarctic view of Beryllium-10 and solar activity for the past millennium // *Clim. Dyn.*, 2011, 36, 2201.
8. *Muscheler, R., Joos, F., Beer, J., et al.* Solar activity during the last 1000 yr inferred from radionuclide records // *Quat. Sci. Rev.*, 2007, 26, 82–97.
9. *Ogurtsov, M.* Solar activity during the Maunder Minimum: comparison with the Dalton Minimum // *Astron. Lett.*, 2018, 44, 278–288

10. *Steinhilber, F., Abreu J.A., Beer J., et al.* 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2012, 109 (16), 5967–5971.
11. *Usoskin, I.G., Hultot, G., Gallet, Y. et al.* Evidence for distinct modes of solar activity // *Astron. Astrophys.*, 2014, 562, L10.
12. *Ogurtsov M.G.* Was the solar activity in the last 100 years abnormally high? On the quality of modern solar paleoreconstructions // *Astronomy Letters*, 2007, 33(6), pp. 419–426.