

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЗЕМЛИ В 13–15 ТЫСЯЧЕЛЕТИЯХ ДО НАШЕЙ ЭРЫ. ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА

Кудрявцев И.В.^{1,2}, Дергачев В.А.¹, Наговицын Ю.А.^{2,3}

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

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

³Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия

THE CHANGE IN THE EARTH'S CLIMATE IN THE 13TH-15TH MILLENNIA BC. POSSIBLE REASON

Kudryavtsev I.V.^{1,2}, Dergachev V.A.¹, Nagovitsyn Y.A.^{2,3}

¹Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

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

³State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

Data on the content of the cosmogenic isotope ^{14}C in the Earth's atmosphere make it possible, as is known, to study variations in solar activity in past epochs. However, changes in the earth's climate over time lead to a distortion of information about solar activity. This paper examines the time interval from the end of the 17th millennium BC to the beginning of the 10th millennium BC. This time interval, as is known, accounted for several periods of climate change on Earth. There were several warming events (Mayendorf, Allerødian) and cooling events (the Oldest, Ancient and Younger Dryas). The reasons for these changes have not yet been established. It is shown that a possible cause of cooling during the Oldest Dryas could be a decrease in solar activity.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-189-192>

Как известно, максимум последнего глобального оледенения имел место приблизительно 19–27 тысяч лет назад, а теплый период Голоцен наступил около 11700 лет назад. Таким образом, переход от глобального похолодания к межледниковому потеплению Голоцену занимал 7–8 тысяч лет. В этот переходный период повышение глобальной температуры происходило не монотонно – имели место смены периодов потеплений и похолоданий. В частности, к периодам потеплений относились Майендорфское и Алерёдское потепления. К периодам похолоданий – Древнейший, Древний и Поздний Дриасы. В последнее время получены свидетельства, что Поздний Дриас мог быть связан с уменьшением активности Солнца. В статье с использованием радиоуглеродных данных исследуется вопрос о том, мог ли Древнейший Дриас (14800–12800 гг. до нашей эры, рисунок 1) также быть результатом пониженной активности Солнца.

На рис. 1 представлены данные по вариациям содержания изотопа ^{18}O (т.е. $\delta^{18}\text{O}$) в слоях гренландского льда, которые отражают температуру слоя

льда при его формировании [1]. На этом рисунке видно, что ≈ 15000 лет до н.э. началась похолодание, которое закончилось потеплением в ≈ 12800 г. до н.э. Это похолодание совпадает по времени с похолоданием в Древнейшем Дриасе (на рис. 1 оно обозначено Dr_1). Затем наступило Майендорфское (или Бёллингское) потепление (M). Возникает вопрос о природе этих климатических изменений.

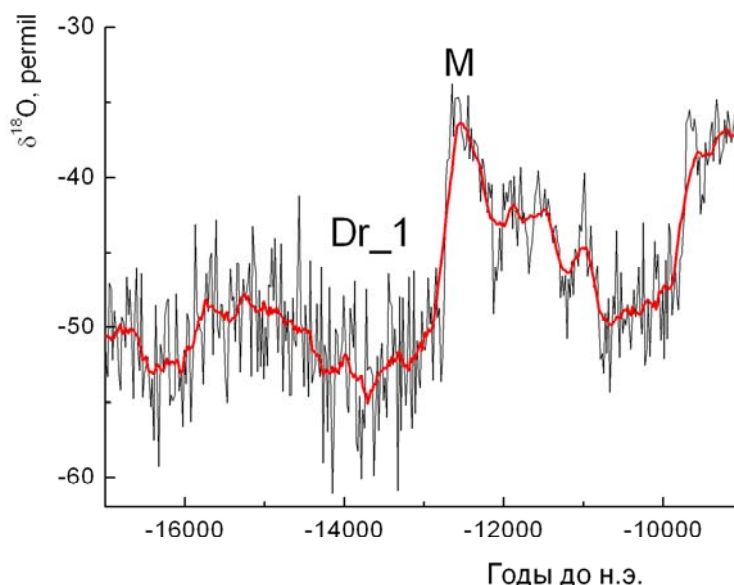


Рис. 1. Изменение содержания изотопа ^{18}O в леднике Гренландии [1].

В работах [2, 3] было показано, что Майендорфское потепление могло быть результатом повышенной активности Солнца. Для ответа на вопрос о возможной природе похолодания во время Древнейшего Дриаса, мы рассмотрим реконструкцию гелиосферного модуляционного потенциала, на основе данных по относительному содержанию космогенного изотопа ^{14}C , (т.е. $\Delta^{14}\text{C}$) в атмосфере Земли [4], рис. 2.

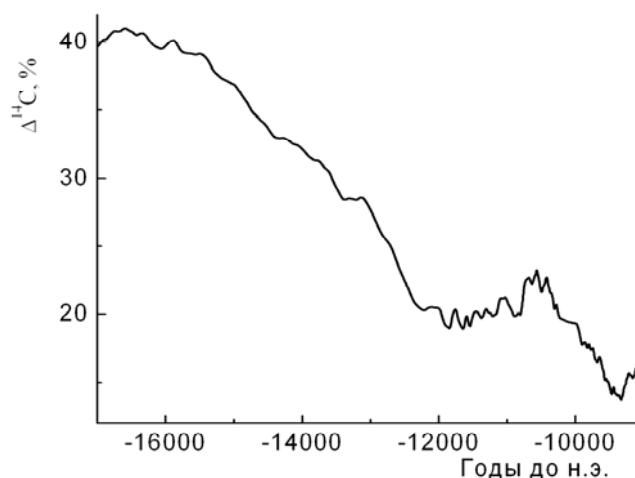


Рис. 2. Относительное изменение содержания космогенного изотопа ^{14}C в атмосфере Земли [4].

Из рис. 2 следует, что во время Древнейшего Дриаса имело место систематическое уменьшение относительного содержания изотопа ^{14}C к изотопу ^{12}C , т.е. $\Delta^{14}\text{C}$ уменьшалось. Такое поведение $\Delta^{14}\text{C}$ возможно при уменьшении скорости образования этого изотопа при уменьшении солнечной активности. Об изменении активности Солнца можно судить по изменению гелиосферного модуляционного потенциала $\phi(t)$, полученного на основе радиоуглеродных данных (смотри, например, [2, 3]) и который представлен на рис. 3.

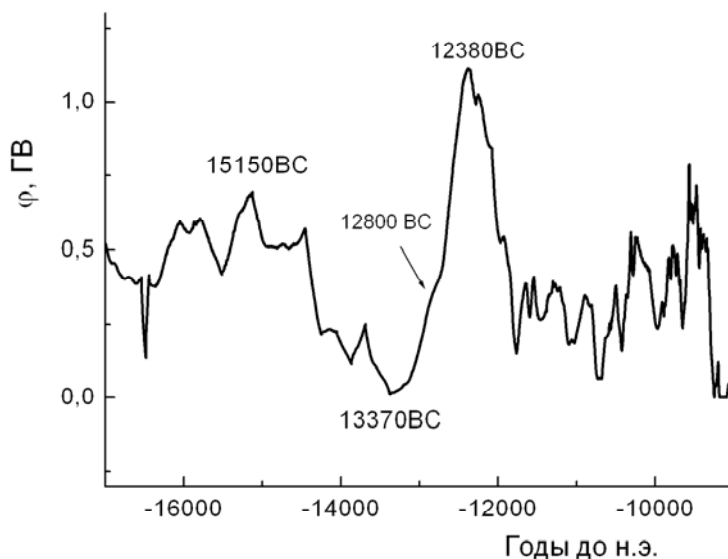


Рис. 3. Реконструкция гелиосферного модуляционного потенциала.

Как видно на рис. 3, приблизительно с 15150 года до нашей эры солнечная активность начала уменьшаться и достигла минимума около 13370 года до нашей эры, после чего начался её рост. Это уменьшение активности Солнца совпадает с Древнейшим Дриасом.

Теперь рассмотрим изменение содержания изотопа ^{14}C в составе углекислого газа, которое можно определить (см., например, [2, 5]) на основе измерений содержания углекислого газа в атмосфере Земли [6] и $\Delta^{14}\text{C}$ [4]. Результаты расчетов приведены на рис. 4. Подобные расчеты приведены и в работе [7]. Здесь следует отметить, что содержание космогенного изотопа ^{14}C в атмосфере Земли определяется двумя факторами: 1) изменением солнечной активности и 2) перераспределением углекислого газа между природными резервуарами. Первый фактор приводит к тому, что при увеличении солнечной активности скорость генерации изотопа ^{14}C в атмосфере Земли уменьшается, а при уменьшении – увеличивается. С другой стороны, при охлаждении океана происходит увеличение скорости перехода CO_2 в океан в результате температурной зависимости растворимости CO_2 в воде. Эти два фактора действуют в противоположные стороны, что может нарушать корреляцию между $\phi(t)$ и содержанием изотопа ^{14}C в атмосфере. Срав-

нивая рисунки 3 и 4, мы можем видеть отрицательную корреляцию в 14–16 и в 13 тысячелетиях до н.э. При этом временные задержки могут быть связаны с указанной выше причиной. Систематический рост содержания ^{14}C в атмосфере связан с перераспределением углекислого газа между океаном и атмосферой во время окончания последнего глобального оледенения.

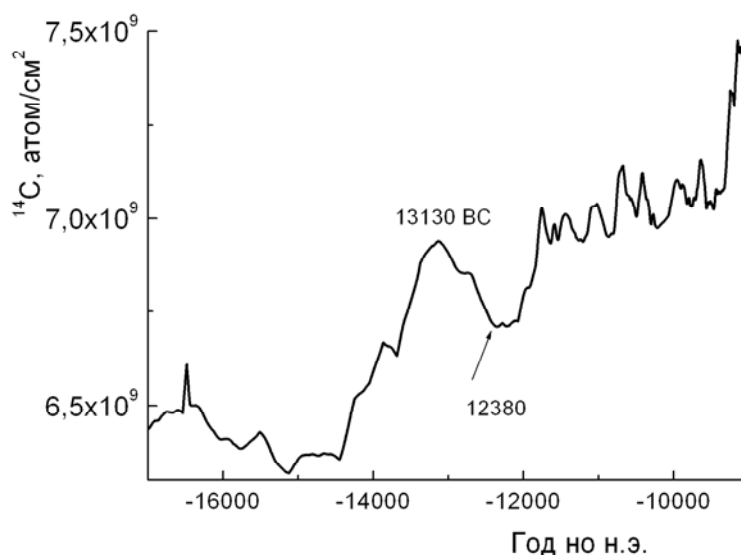


Рис. 4. Изменение содержания радиоуглерода в атмосфере Земли на единицу её поверхности.

Выводы

Показано, что возможной причиной понижения температуры на Земле во время Древнейшего Дриаса (≈ 15 –12,8 тысяч лет до нашей эры) может быть уменьшение активности Солнца в этот период времени.

Литература

1. Svensson, A., Andersen, K.K., Bigler, M., et al. // *Clim. Past*, 2008, V. 4, pp. 47-57.
2. Kudryavtsev I.V. and Dergachev V.A. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2019, V. 59, No. 8, pp. 1099-1102.
3. Kudryavtsev I.V., Dergachev V.A., Nagovitsyn Yu.A. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2022, V. 62, No. 7, pp. 851-858.
4. Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., et al. // *Radiocarbon*, 2013, Vol. 55, no. 4, pp. 1869-1887.
5. Koudriavtsev I.V. et al. // *Geohronometria*, 2014, V.41(3), P. 216-222.
6. Monnin E. et al. // *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, V. 224, p. 45.
7. Roth R. and Joos F. // *Climate of the Past*, 2013, V. 9, p.1879.