

**Бойченко С.Г.**

*Институт геофизики имени С.И. Субботина НАН Украины  
Институт геохимии окружающей среды НАН Украины*

## **БЕРИЛЛИЙ-10 КАК ИНДИКАТОР ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОСЛЕДНЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ**

*Выявлены квазипериодические колебания в вековом ходе  $^{10}\text{Be}$ , которые можно считать геофизическим индикатором квазипериодических колебаний приземной температуры с периодом  $\sim 60$  лет и которые свойственны, как для тысячелетнего периода, так и современного. Полученный результат важен и потому, что он вполне обоснованно позволяет закладывать в сценарии изменений температуры в 21 ст. колебания с периодом около 60 лет, которые явно носят природный характер и могут приводить в определенные периоды к еще большему усилению или, наоборот, некоторому нивелированию эффекта глобального потепления.*

### **Введение**

Космогенные радиоизотопы типа  $^{10}\text{Be}$  (период полураспада  $\tau \sim 1,5 \cdot 10^6$  лет),  $^{14}\text{C}$  ( $\tau \sim 5,7 \cdot 10^3$  лет),  $^{26}\text{Al}$  ( $\tau \sim 7,6 \cdot 10^5$  лет),  $^{36}\text{Cl}$  ( $\tau \sim 3,1 \cdot 10^5$  лет) владеют потенциальной информацией об интенсивности потоков космического излучения, о солнечных и геомагнитных модуляциях в прошлом. Данные, полученным на основании анализа льда, Центральной Антарктиды (на ст. DF2001 и PS1) и Гренландии (на ст. Dye-3 и GISP-2) позволили восстановить возможное содержание радиобериллия в атмосфере более чем за тысячелетний период. В связи с тем, что образование радионуклидов является индикатором ритмов солнечной активности (обратная связь), которые считают, были причиной (или также индикатором) долгопериодных колебаний приземной температуры в последнем тысячелетии, в статье была сделана попытка оценить их возможную связь.

Основная доля  $^{10}\text{Be}$  имеет **космогенное происхождение**. Он образуется непосредственно в атмосфере, в основном, при взаимодействии высокоэнергетических галактических лучей и в меньшей мере солнечных лучей с ядрами азота и кислорода при прохождении ядерной реакции «скалывания», т.е. реакции, при которой от ядра-мишени отрывается несколько нуклонов. Скорость образования  $^{10}\text{Be}$  в атмосфере в этом случае составляет около  $\sim 8,5 \cdot 10^{-2} \text{ ат.}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  [8]. Значительный период полураспада  $^{10}\text{Be}$  дает ему возможность накапливаться и депонироваться в различных природных архивах: в атмосферных осадках (снеге, льде), почве, в ледовых покровах и в донных морских отложениях, а также в костных системах организмов.

Незначительным источником  $^{10}\text{Be}$ , является также **захват из ближнего космоса**, где он образуется при облучении межпланетного вещества (межпланетная пыль, метеоры, кометы) потоками космических лучей. Возможно также его **литосферное происхождение** из-за ветровой эрозии пород и диссипации в атмосферу (со средней скоростью около  $4 \cdot 10^{-4} \text{ ат.}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  [1]).

Сток  $^{10}\text{Be}$  из атмосферы происходит, в основном, в процессе влажного и, в меньшей мере, сухого осаждения путем сорбции атмосферными аэрозолями. Скорость осаждения различна в зависимости от физико-химических процессов, проходящих в атмосфере, синоптической ситуации и от высоты слоя атмосферы, из которого происходит осаждение:

- в верхней стратосфере (30—20 км) – преобладает гравитационное осаждение аэрозолей;
- в нижней стратосфере–тропопаузе–верхней тропосфере (20—10 км) – частицы переносятся атмосферной конвекцией (движениями воздушных масс);

- в средней и нижней тропосфере (ниже 10 км) происходит осаждение аэрозолей и осевших на них нуклидов путем вымывания атмосферными осадками. Аэрозоли в этом случае либо служат непосредственно ядрами конденсации, либо захватываются каплями в процессе седиментации. Максимальное и наиболее динамичное вымывание частиц происходит в области облаков на высотах 4—5 км.

Среднее время пребывания  $^{10}\text{Be}$  в атмосфере различно, так в стратосфере оно составляет около года, а в тропосфере около месяца. Максимальные концентрации  $^{10}\text{Be}$   $(1-250) \cdot 10^4 \text{ ат./м}^3$  в атмосфере приходятся на высоты 8-12 км на широтах  $50-60^\circ$ , что связывают с непосредственным максимумом его образования под действием космических лучей в атмосфере и с горизонтальным переносом с более низких широт в направлении полюсов [1,11].

В современной науке физико-химические свойства  $^{10}\text{Be}$  используют для решения следующих задач [1,8,16]:

- *абсолютного датирования.* Свойства депонирования и обменные процессы  $^{10}\text{Be}$  в разных средах позволяют использовать его с хронометрическими целями для образцов, как неорганического, так и органического происхождения. Радиуглеродный метод является непригодным для хронометрии временных промежутков более  $5 \cdot 10^4$  лет, а долгоживущие изотопы ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{82}\text{Rb}$ ,  $^{235}\text{U}$  и др.) работают с промежутками более  $10^7$ . Просвет в датировании образцов в промежутке  $10^5$ — $10^8$  лет достаточно хорошо заполняет  $^{10}\text{Be}$ ;
- *уточнения вариаций  $^{14}\text{C}$ .* Изотопный состав  $\text{CO}_2$  и других химических соединений углерода может изменяться при интенсивных обменных процессах в системе атмосфера-океан-биосфера и в результате колебаний климатических условий. Как известно, бериллий и его химические соединения ведут себя значительно инертнее в обменных процессах между различными средами. Поэтому хронометрические пробелы радиоуглеродных часов, полученные при анализе ископаемых органических образцов, обычно заполняют данными, восстановленными по  $^{10}\text{Be}$ . Например, концентрация изотопов  $^{14}\text{C}$  в кольцах деревьев очень хорошо совпадает с рядами  $^{10}\text{Be}$ , причем без сдвигов, растяжек и смещений;
- *восстановления ритмов солнечной активности и определения солнечного форсинга.* Восстановление долгопериодных ритмов солнечной активности за исторический период проводят, используя вариации содержания  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$ , которые обусловлены флуктуациями космического излучения, модуляциями магнитного поля и процессами на Солнце. Вариации этих радиоизотопов, в том числе, используют для определения солнечного форсинга, как компонента общего радиационного форсинга для последнего тысячелетия;
- *восстановления величины напряженности геомагнитного поля.* Реконструкцию величины напряженности геомагнитного поля в прошлом проводят и по содержанию в природных архивах космогенных радионуклидов. Изменение момента геомагнитного поля и дрейф полюсов модулируют долгопериодные вариации интенсивности галактических космических лучей и экранируют потоки солнечных частиц при прохождении их в атмосфере на данной широте. Магнитное поле Земли является фактором, искажающим энергетическое распределение и меняющим траектории движения частиц космических лучей при входе их в атмосферу. Дрейф полюсов и изменение момента геомагнитного поля и приводят к долговременным вариациям интенсивности галактических космических лучей на заданной геомагнитной широте. Солнечные частицы же еще больше испытывают экранирующее действие геомагнитного поля и это является причиной резкого падения их доли в атмосфере;
- *геохимический трассер  $^{10}\text{Be}$ , как доказательство захвата океанических осадков в процессе субдукции.* Установлено, что в зоне субдукции в области океанических желобов в лавах молодых островных дуг обнаружено содержание  $^{10}\text{Be}$  (выше фонового) в пределах  $3$ — $8 \cdot 10^6$  ат./г (в Курильской дуге –  $(3,1$ — $8,0) \cdot 10^6$  ат./г,

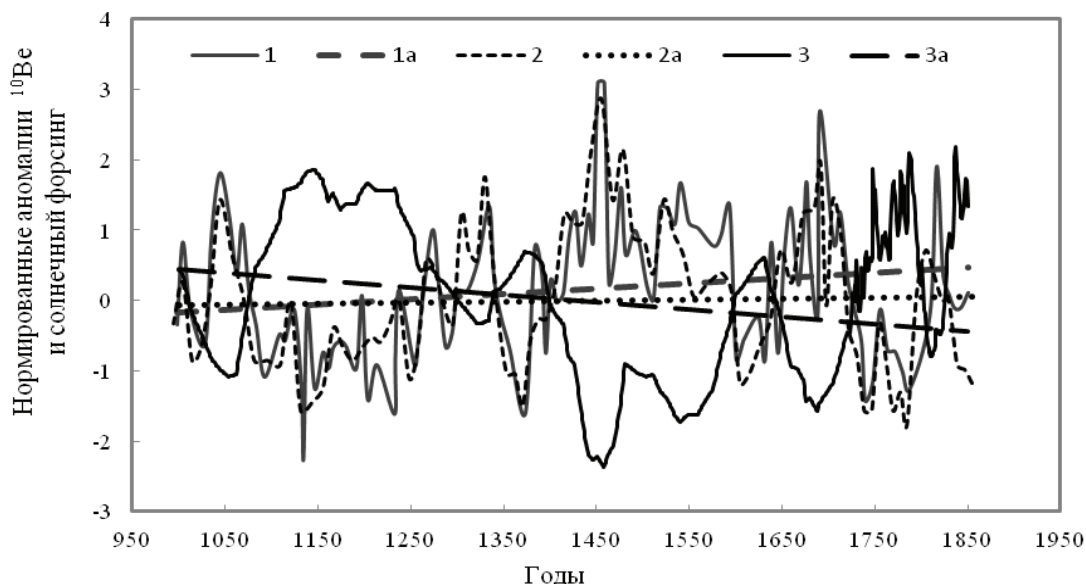
Алеутской –  $3,8 \times 10^6$  ат./г, на поверхности океанических осадков около  $5 \times 10^6$  ат./г, а в более древних дугах Японской, Марианской и Зондской – около  $1 \times 10^6$  ат./г). В то же время в выбросах вулканов рифтогенного или островного происхождения, удаленных от желобов,  $^{10}\text{Be}$  почти отсутствует. Таким образом, обнаруженный  $^{10}\text{Be}$  в изверженных породах и в океанических осадках в области желобов, есть доказательством того, что, погружаясь в желоб, океаническая плита вместе с донными осадками постоянно поставляет в мантию новое вещество;

- *хронометр вулканических извержений.* На основе анализа содержания  $^{10}\text{Be}$  в песчаниках и кварцитах вулканического происхождения определяют возраст вулканических событий. Например, анализ образцов с кратера вулкана Убехебе в «Долине Смерти» (Калифорния) на содержание  $^{10}\text{Be}$  в обломках песчаника и кварцита показал, что последнее его извержение произошло 800 лет тому назад, а не 6 тыс. лет, как считалось ранее.

**Особенности колебаний содержания бериллия-10 в атмосфере в последнем тысячелетии.** Вековой ход вариации  $^{10}\text{Be}$  в атмосфере для последних 1—2 тысяч лет был восстановлен несколькими известными научными группами на основании замеров во льдах Центральной Антарктиды и на куполе Южного полюса ст. Dome Fuji (DF2001) и PS1 и уточненные замеры на станциях Гренландии (Dye-3 и GISP-2). В данном исследовании были использованы следующие эмпирические ряды:

- ряд  $^{10}\text{Be}_1$  (Bard E.G. [9]), содержание восстановлено за период 843—1982 гг.;
- ряд  $^{10}\text{Be}_2$  (Delaugue G.E. [14]), содержание восстановлено за период 695-1882 гг.

В данном исследовании для анализа были использованы аномалии содержания  $^{10}\text{Be}$  для периода 1000-1850 гг., которые были стандартизированы: центрированы на линейный тренд и нормированы на общую дисперсию за рассмотренный периода. Солнечный форсинг для графического сопоставления представлен в условных единицах.



**Рис. 1.** Вековой ход нормированных аномалий радиоизотопа  $^{10}\text{Be}$  (1 – ряд  $^{10}\text{Be}_1$  [9], 2 – ряд  $^{10}\text{Be}_2$  [14], соответственно, 1а и 2а – линейный тренд для этих рядов) восстановленных на основании замеров во льдах Центральной Антарктиды и Гренландии и значений солнечного форсинга (3 – значения в у.е.[16]) и 3а – линейный тренд) за период 1000-1850 гг.

Как видно с рис.1, для обоих эмпирических рядов аномалий  $^{10}\text{Be}$  (приведенных к одной точке отсчета и нормированных на дисперсию) характерна практически линейная тенденция увеличения его содержания за период 1000—1850 гг. – с трендом 0,75 и 0,14 за

1000 лет, соответственно для рядов  $^{10}\text{Be}_1$  и  $^{10}\text{Be}_2$ . В то же время общее снижение значений солнечного форсинга составляет  $-1,3 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}/10^3$  лет (для наглядности на рис.1 вековой ход значений солнечного форсинга представлен в условных единицах).

В соответствии с результатами спектрального анализа нормированных рядов максимальные значения амплитуды колебаний содержания  $^{10}\text{Be}$  в атмосфере последнего тысячелетия приходится на периоды  $60\pm 10$ ,  $100\pm 10$ ,  $175\pm 25$  лет (см.рис.2). Квазипериодические колебания с периодами около 50—70 лет, имеют, возможно, одну физическую природу, но в восстановленных рядах, видимо, произошло расщепление волны с периодом около 60 лет.

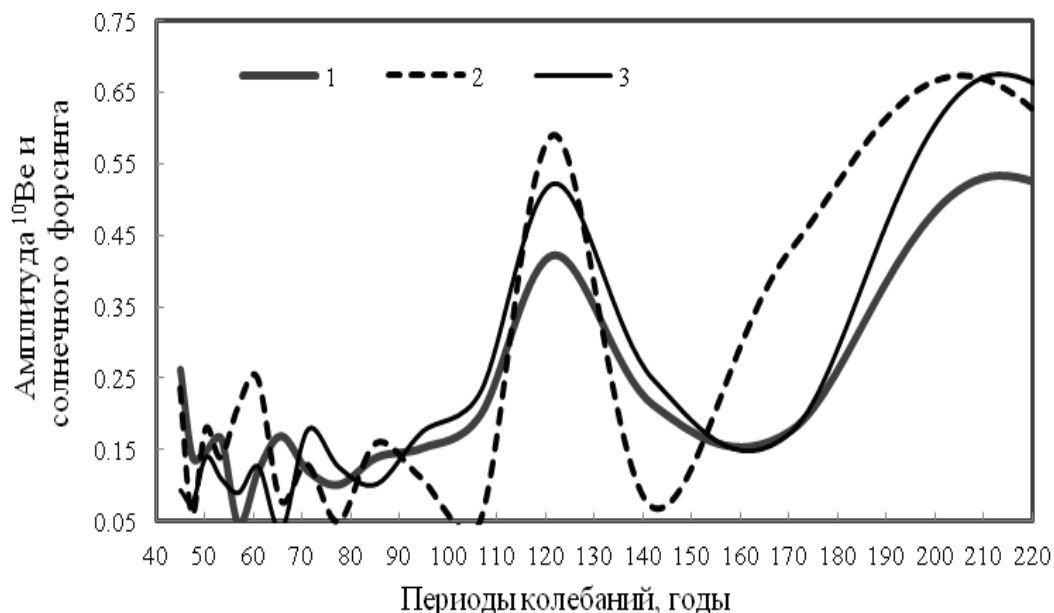


Рис. 2. Спектр Фурье аномалий содержания  $^{10}\text{Be}$  (1 – ряд  $^{10}\text{Be}_1$ , 2 – ряд  $^{10}\text{Be}_2$  и солнечного форсинга (3))

**Особенности вековых колебаний приземной температуры в последнем тысячелетии.** Восстановление векового хода приземной температуры для последнего тысячелетия проводят с помощью современных физико-химических методов, основанных на анализе изотопных соотношений водорода (H/D) и кислорода ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) в морских и континентальных отложениях, а также во льдах Антарктиды и Гренландии. Температурные реконструкции также калибруют и компилируют с помощью палеоданных, исторических рукописей и частично данных инструментальных наблюдений.

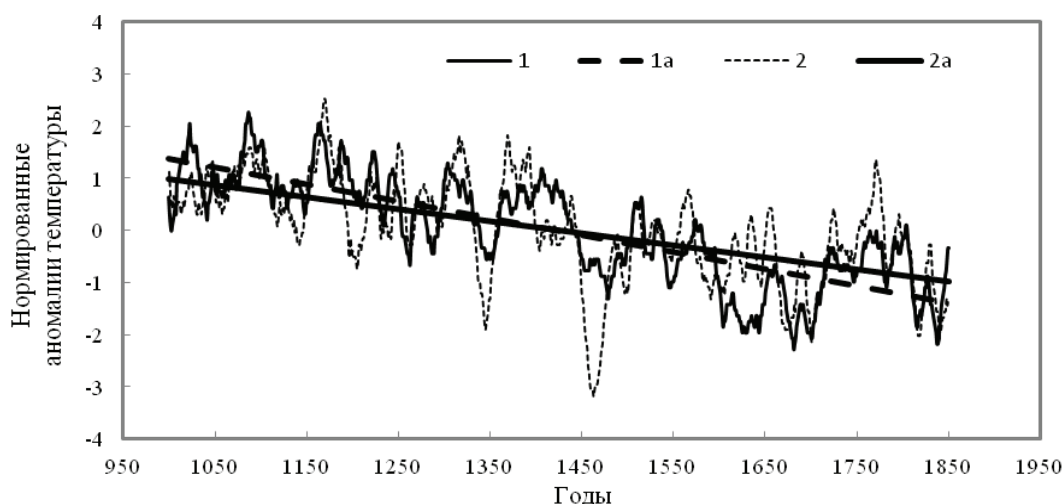
Для последнего тысячелетия вековой ход приземной температуры Северного полушария был восстановлен несколькими известными научными группами, однако, в данном исследовании использовались только следующие данные:

- ряд  $T_1$  (Crowley T.J. [13]) – аномалии температуры, базирующиеся на 15-и палеорядах разных регионов Северного полушария с разрешением от года до нескольких десятилетий. Реконструкции калибровались путем сопоставления с температурами Северного полушария для периода 1961-1990 гг.;
- ряд  $T_2$  (Mann M.E. [15]) – аномалии температуры, полученные по 12-и региональным палеорядам с годовым разрешением. Данные калибровались по инструментальным данным за период 1902-1980 гг.

В связи с тем, что аномалии температуры отсчитывались авторами этих рядов от различных периодов – эти ряды были стандартизированы, а для спектрального анализа ряды были еще и центрированы на линейный тренд.

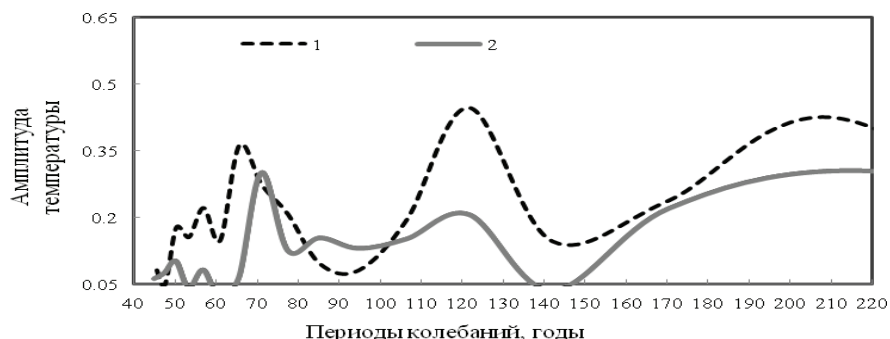
На основе анализа модифицированных рядов векового хода приземной температуры за период 1000-1850 гг. получены оценки, близкие к оценкам, полученным ранее в [2], а это позволяет сделать выводы, что для климата последнего тысячелетия характерно:

- крупномасштабное снижение глобальной температуры с темпом  $\sim -0,2-0,3$  °C/1000 лет, связанное вероятнее всего с уменьшением эксцентриситета земной орбиты [2,4]) (см. рис.3);
- долгопериодные квазипериодические колебания температуры с периодом около  $175 \pm 25$  лет, развивающиеся на фоне крупномасштабного снижения температуры: потепление в раннем средневековье (*малый климатический оптимум*) и похолодание в позднем средневековье (*малый ледниковый период*), а также квазипериодические колебания температуры с периодами около 50-70 лет, которые практически соответствуют и современным колебаниям температуры с периодом около 60 лет [2] (см.рис.4).



**Рис. 3.** Вековой ход нормированных аномалий приземной температуры в Северном полушарии за период 1000-1850 гг. (1 – ряд  $T_1$  [13], 2 – ряд  $T_2$  [15]), соответственно 1a и 2a – линейный тренд для этих рядов).

Следует отметить, что при анализе векового хода глобальной приземной температуры, полученной путем прямых инструментальных наблюдений за период 1856-2010 гг. (представленных в [12]), установлена практически линейная тенденция к потеплению с темпом  $0,5-0,7$  °C/100 лет, на фоне которого проявились квазипериодические колебания с периодом около 60 лет [2,3,5-7,12]. Однако, амплитуда колебаний температуры для современного периода примерно на порядок выше амплитуды колебаний температуры для периода 1000-1850 гг., что связано, скорее всего, со сглаживанием палеоданных при обработке. Также возможно с этим связано и «расщепление» периода колебаний температуры  $\sim 60$  лет на два  $\sim 50$  и  $\sim 70$  лет. Очень похоже, что эти колебания имеют одну и ту же физическую природу.



**Рис. 4.** Спектр Фурье аномалий приземной температуры в последнем тысячелетии (1 – ряд  $T_1$ , 2 – ряд  $T_2$ )

**О физической природе колебаний климата в последнем тысячелетии.** Колебания температурного режима планеты в последнем тысячелетии связывают с долгопериодными

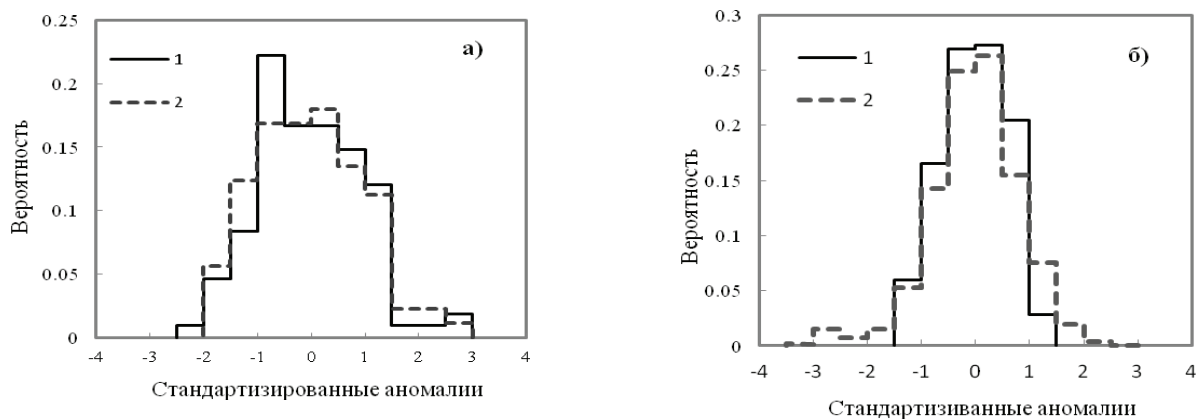
ритмами солнечной активности [7,8]. Установлено, что относительно теплый период раннего средневековья (малый климатический оптимум) совпадает со средневековым максимумом солнечной активности, а похолодание в позднем средневековье (малый ледниковый период) согласуется с минимумами солнечной активности (*минимум Шьорера и минимум Маундера*) (см.рис.1 и рис.3). Солнечные модуляции для последнего тысячелетия восстанавливают с помощью данных по содержанию  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$  и уточняют с помощью данных визуальных наблюдений солнечных пятен и интенсивности проявления полярных сияний, приведенных в исторических манускриптах [8-11,18].

Известно, что вариации  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$  в атмосфере имеют обратную связь с возмущениями магнитного поля Солнечной системы (*эффект де Врие*) [8]. В максимуме солнечной активности магнитное поле Солнца защищает Землю от проникновения высокоэнергетических космических протонов, что приводит к уменьшению образования радионуклидов в атмосфере и, наоборот, в минимуме солнечной активности магнитное поле ослабевает и больше пропускает галактических протонов в атмосферу, где и образуются радионуклиды. Доминирующий вклад в образование радиоизотопов типа  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  и др. вносят именно высокоэнергетичные космические протоны галактического происхождения, а менее энергетичные солнечные протоны дают всего лишь 1-2 % от общего их содержания.

В современной климатологии введено понятие солнечного форсинга, как компонента общего радиационного форсинга (радиационное воздействие рассчитывается для условий восстановления стратосферных температур до радиационного баланса, но при фиксированных значениях всех тропосферных свойств) [12].

Значения солнечного форсинга для тысячелетнего периода определялись с учетом вариаций радиоизотопов  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$ , солнечных и геомагнитных модуляций [16,17]. Вековые значения солнечного форсинга для последнего тысячелетия были опубликованы в [16].

Как видно из рис.1, вариации аномалий радиоизотопа  $^{10}\text{Be}$  обратно пропорциональны значениям солнечного форсинга, вариации которого достаточно хорошо согласуются с колебаниями приземной температуры в Северном полушарии для периода 1000-1850 гг. Результаты спектрального анализа, представленные на рис.2, также указывают на совпадение периодов колебаний около 50-70 лет,  $100\pm 10$ ,  $175\pm 25$  лет, как для содержания  $^{10}\text{Be}$ , так и для приземной температуры и значений солнечного форсинга.



**Рис. 5.** Эмпирическое распределение аномалий  $^{10}\text{Be}$  (а: 1 – ряд  $^{10}\text{Be}_1$ , 2 – ряд  $^{10}\text{Be}_2$ ) и приземной температуры (б: 1 – ряд  $T_1$ , 2 – ряд  $T_2$ )

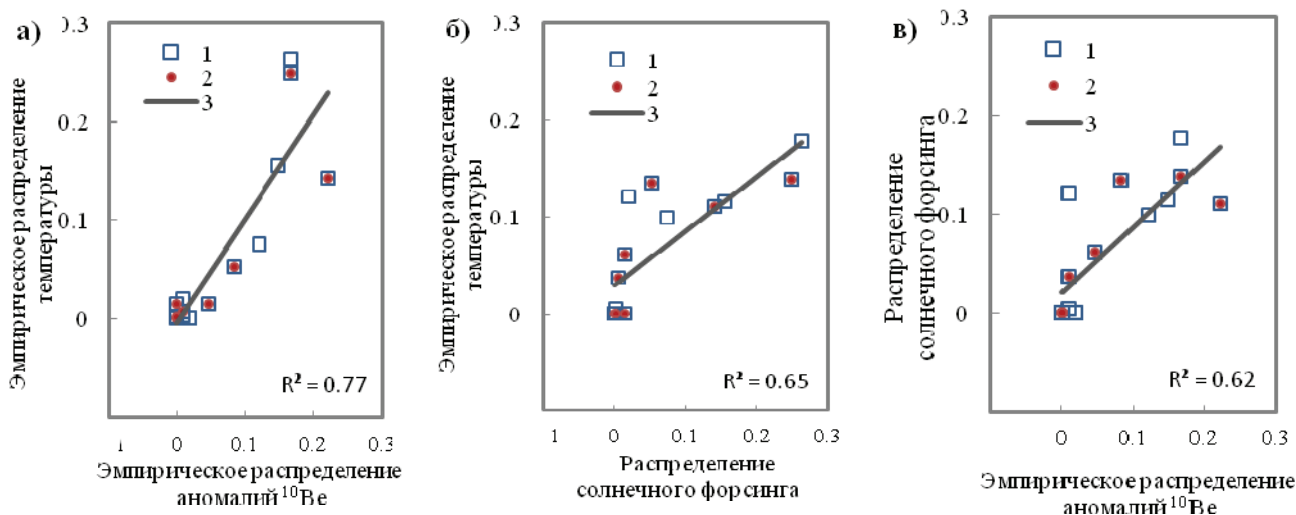
Все указывает на то, что долгопериодные ритмы солнечной активности могут действительно быть причиной определенных изменений климата. Однако, основным контраргументом этого предположения – незначительное изменение энергии солнечного электромагнитного излучения, связанного с солнечными ритмами. Поэтому, речь, скорее всего, может идти не о прямом влиянии солнечной активности на земную климатическую систему (причинно-следственной связи), а об индикаторной связи: синхронное влияние



неизвестного космического X-фактора или процесса, как на процессы на Солнце и Солнечной системе, так и на процессы на ее планетах [2].

**Эмпирическое распределение аномалий  $^{10}\text{Be}$  и приземной температуры Северного полушария в последнем тысячелетии.** Как видно с рис. 5. эмпирическое распределение вариаций  $^{10}\text{Be}$  и приземной температуры близко к нормальному, правда, с небольшой асимметрией для  $^{10}\text{Be}$  в правой части, а для температуры в левой части распределения (значения коэффициента асимметрии (А) и эксцесса (Е) для  $^{10}\text{Be}$ : А = -0,15 и -0,61; Е = -0,75 и 1,41 и для температуры: А = 0,42 и 0,41; Е = 0,30 и -0,26, соответственно для каждого из рядов).

Анализ эмпирических распределений аномалий  $^{10}\text{Be}$ , значений солнечного форсинга и приземной температуры для последнего тысячелетия показал существование довольно тесной их корреляционной связи (коэффициент корреляции около 79—88 %) (см. рис. 6).



**Рис. 6.** Корреляционная связь между эмпирическим распределением аномалий  $^{10}\text{Be}$ , приземной температуры и значений солнечного форсинга для последнего тысячелетия (1 – положительные аномалии, 2 – отрицательные аномалии, 3 – линейная регрессия).

Таким образом, анализ векового хода аномалий  $^{10}\text{Be}$ , приземной температуры и солнечным форсингом для последнего тысячелетия указывает на существование:

- прямой корреляционной связи температуры и солнечного форсинга, а именно установленная тенденция снижения температуры и значений солнечного форсинга с характерными колебаниями с периодами около  $60 \pm 10$  лет,  $100 \pm 10$  и  $175 \pm 25$  лет;
- обратной корреляционной связи долгопериодных вариациях  $^{10}\text{Be}$  и вариаций солнечного форсинга и приземной температуры, а именно тенденция повышения содержания  $^{10}\text{Be}$  для периода 1000—1850 гг., на фоне которой проявляются колебания с периодами  $60 \pm 10$  лет,  $100 \pm 10$  и  $175 \pm 25$  лет.

### Заклучение

Особый интерес для нас представили выявленные идентичные колебания, с периодом  $\sim 50$ —70 лет, т.к. и в вековом ходе современной температуры выявлен период близкий к 60 годам. По-видимому, эти колебания имеют одну и ту же физическую природу. Согласно одной из гипотез, которая кажется наиболее вероятной, доминирующим фактором, формирующим колебания с периодом  $\sim 60$  лет является астрономический фактор – квазипериодические пространственные вариации центра инерции Солнечной системы [6,7]. Главный цикл пространственного смещения центра Солнечной системы (повторение конфигурации стояния Солнца, Юпитера и Сатурна) имеет период около 60 лет. Одни из последних астрономических исследований показали, что Солнце, описывая незамкнутый трилистник вокруг центра инерции, имеет довольно сложные, как квазипериодические движения с периодом около 175—200 лет, так и кажущие хаотические движения, а скорее

всего квазипериодические движения с меньшими периодами [7]. Этот процесс в Солнечной системе может приводить к солнечным и геомагнитным модуляциям, колебаниям потока электромагнитного солнечного излучения, возмущению гравитационных полей и формированию ритмов тектонической и вулканической деятельности на планетах Солнечной системы и, в том числе, на Земле.

Выявленные квазипериодические колебания в вековом ходе  $^{10}\text{Be}$  можно считать геофизическим индикатором квазипериодических колебаний приземной температуры с периодом  $\sim 60$  лет, которые свойственны, как для тысячелетнего периода, так и современного. Полученный результат важен еще и потому, что это вполне обоснованно позволяет закладывать в сценарии изменений температуры в 21 столетии колебания с периодом около 60 лет, которые явно носят природный характер и могут приводить в определенные периоды к еще большему усилению или, наоборот, некоторому нивелированию эффекта глобального потепления [2,3].

1. Блинов А.В. Долгоживущие космогенные радионуклиды, индикаторы физических процессов в окружающей среде // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2003.–№4. –С.108-138.
2. Бойченко С.Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних коливань змін клімату. –К.: «Наукова думка», 2008. –310 с.
3. Бойченко С.Г., Волощук В.М. Основные закономерности современной динамики глобального температурного режима тропосферы // Доклады НАН Украины. –2006. –№5 –С.104–110.
4. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Особенности реакции климатических условий Земли на «орбитальный сигнал» // Доклады НАНУ, 2005. –№10. –С.
5. Даценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А. и др. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Доклады РАН, 2004. –Т.339. –№2. –С.253–256.
6. Монин А.М., Берестов А.А. Новое о климате // Вестник РАН, 2005. –Т.75. –№2. –С.126–138.
7. Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата по данным наблюдения. Тройной солнечный и другие циклы. –С.П.: Из-во «Наука», 2005. 194 с.
8. Поток энергии Солнца и его изменения (под ред. О.Уайта). –М.: Мир, 1980. –558с.
9. Bard E.G., Raisbeck F.Y., and Jouzel J. Solar modulation of cosmogenic nuclide production over the last millennium: comparison between  $^{14}\text{C}$  and  $^{10}\text{Be}$  records // Earth and Planetary Science Letters, 1997.–V. 150, – P.453-462.
10. Beer J. Long-term indirect indices of solar variability. /Space Science Reviews, 2000. N.94. –P. 53–66.
11. Beer J., Blinov A.V., Bonani G. et. al. Use of Be-10 in polar ice to trace the 11-year cycle of solar activity// Nature, 1990. V. 347. P. 164–166.
12. Climate change 2007: The Scientific Basis – Contribution of Working Group I to the IPCC Fourth Assessment Report, UNEP/WMO, 2007. –250 p.
13. Crowley T. J. Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years // Science, 2000. –V.289. –P.270-277.
14. Delaygue G. and Bard E.: An Antarctic view of Beryllium-10 and solar activity for the past millennium, Clim.Dynam., 2011.–V. 36. –P.2201–2218.
15. Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties and Limitations // Geophysical Research Letters, 1999. –V.26. –P.759–762.
16. Mann M., Cane M., Zebiak S., Clement A. Volcanic and Solar Forcing of the Tropical Pacific over the Past 1000 Years // Journal of Climate, 2005. –V.18.– P. 447–456.
17. Schmidt G., Jungclaus J., Ammann C., Bard E., Crowley T., Delaygue G. et.al. Climate forcing reconstructions for use in PMIP simulations of the Last Millennium (v1.1) // Geoscientific Model Development, 2012.–V.5. – P.185–191.
18. Usoskin I.G. Millennium-Scale Sunspot Number Reconstruction: Evidence for an Unusually Active Sun since the 1940s //Physical Review Letters, 2003.–V. 91. –N.21. P.201101-1–211101-4.

## **Бойченко С.Г. БЕРИЛІЙ-10 ЯК ІНДИКАТОР ДОВГОПЕРІОДНИХ КВАЗІПЕРІОДИЧНИХ КОЛИВАНЬ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ І ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ОСТАННЬОМУ ТИСЯЧОЛІТТІ**

*Встановлені квазіперіодичні коливання у віковому ході  $^{10}\text{Be}$ , які можна вважати геофізичним індикатором квазіперіодичних коливань приземної температури з періодом  $\sim 60$  років і які властиві, як для тисячолітнього періоду, так і сучасного. Отриманий результат важливий і тому, що він цілком обґрунтовано дозволяє закладати в сценарії змін температури в 21 ст. коливання з періодом близько 60 років, які явно*



носять природний характер і можуть приводити в певні періоди до ще більшого посилення або, навпаки, деякого нівелювання ефекту глобального потепління.

**Boychenko S.G. BERYLLIUM-10 AS AN INDICATOR OF LONG-TIME QUASI-PERIODIC FLUCTUATIONS OF SOLAR ACTIVITY AND GROUND TEMPERATURE OF THE NORTHERN HEMISPHERE IN THE LAST MILLENNIUM**

*The investigation reveals quasi-periodic fluctuations of  $^{10}\text{Be}$  which can be considered the geophysical indicator of quasi-periodic fluctuations of the ground temperature with the period of 60 years and which are characteristic both for the previous thousand-year period and for the present. The obtained result also allows quite reasonably to include the 60-year-period fluctuations, which obviously have natural character and can cause in certain periods even greater amplification or, on the contrary, some levelling of the global warming effect, into the temperature changes scenarios in the 21 century.*