

УДК 550.3

Влияние солнечной активности на температуру в приземном слое

В.А. Тартаковский*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 27.07.2016 г.

Рассматриваются ряды температуры с 818 метеостанций Северного полушария Земли и ряд солнечной активности, характеризуемой числами Вольфа, за период с 1955 по 2010 г. Вводятся действующие разнонаправленно составляющие рядов, обладающие экстремальными свойствами. Подтверждается наличие разнообразных связей между солнечной активностью и температурой. Выявлены условия их возникновения. Разработанный подход целесообразно применять для развития анализа наблюдений и аналитических преобразований.

Ключевые слова: вынуждающее воздействие, синхронность, скрытые составляющие; forcing factor, synchronicity, latent components.

Введение

Сам факт существования Солнечной системы наводит на мысль, что природно-климатические процессы на Земле управляются Солнцем; вместе с тем распространены представления о недостаточности его вынуждающей силы для реализации этой функции. Известно, что наряду с непосредственным воздействием Солнце регулирует иные влияния на геосферы. Его магнитное поле модулирует потоки космических заряженных частиц и частиц солнечного ветра, которые затем изменяют прозрачность атмосферы для других переносчиков энергии [1]. Явление представляется сложным и многоаспектным. На данном этапе механизмы трансформации солнечной энергии в атмосфере являются предметом дискуссии, для их прояснения требуются дополнительные исследования [2].

Много работ посвящено анализу метеоданных, дендрохронологий с целью обнаружения их связей с циклами солнечной активности (из новых см. [3]). Физическая природа связей при этом не становится более понятной. В этом смысле интересна работа [4], в которой климатические изменения рассматриваются как собственные колебания системы под действием вынуждающей силы.

Ранее было отмечено [5, 6], что природно-климатические процессы по своему происхождению могут быть проявлением сложного комплекса различных факторов. В этом их принципиальное отличие от процессов в технических системах, которые специально сконструированы для реализации выделенных полезных факторов. По этим причинам представление климатической системы традиционными физическими величинами не является очевид-

ным и может быть неэффективным. Имманентными изучаемой системе оказались действующие разнонаправленно компоненты температуры и солнечной активности с экстремальной синхронностью. В работе [7] было показано, что синхронность — существенное свойство климатических процессов, ее географическая локализация привела к адекватной классификации климата в Северном полушарии. Физическая обусловленность введенных компонент следует также из того, что глобальный приток солнечной энергии может как повысить локальную температуру, так и понизить ее, что соответствует положительной и отрицательной корреляции компонент солнечной активности и температуры [5, 6].

В данной работе приводятся новые результаты исследований, направленных на получение информации о влиянии Солнца на температуру в приземном слое атмосферы. Как и прежде, использовались среднемесячные числа Вольфа и среднемесячные температуры, измеренные на 818 метеостанциях Северного полушария Земли в период с 1955 по 2010 г. Для удобства изложения описание теории и алгоритмов частично перенесено из предшествующих публикаций в раздел 1.

1. Математическое описание и обоснования

Рассматриваются ряды данных $x_{k,l}$, действительные и с ограниченной энергией, которые взаимно однозначно представляют изучаемые процессы. Здесь k — дискретный аргумент, принимающий N значений на интервале наблюдений, а l — номер ряда и метеостанции, где он получен.

Ряды можно дополнить и продолжить по непрерывности на всю действительную ось периодически, четным или нечетным образом. Для подобных рядов

* Валерий Абрамович Тартаковский (trtk@list.ru).

существуют прямое и обратное дискретные преобразования Фурье:

$$\begin{aligned} X_{v,l} &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{k,l} \exp\left(\frac{-i2\pi vk}{N}\right); \\ x_{k,l} &= \sum_{v=0}^{N-1} X_{v,l} \exp\left(\frac{i2\pi vk}{N}\right), \end{aligned} \quad (1)$$

где i – мнимая единица, а v – дискретная частота. При принятых условиях продолжения коэффициенты Фурье $X_{v,l}$ не будут комплексными числами.

Сходство рядов, связанное с их возможным общим происхождением, существенно уменьшится, если для различных номеров l и одинаковых частот v коэффициенты $X_{v,l}$ будут иметь разные знаки. Причем чем больший вклад вносит базисная функция в разложение, тем больше будет нарушение этого генетического сходства. Сохранение знаков у коэффициентов Фурье есть проявление стабильных связей между рядами, а стохастичность будет вызывать изменчивость значений этих коэффициентов. Поэтому знак коэффициентов Фурье определен как существенный признак при реализации декомпозиции рядов.

Для пары рядов, характеризующей солнечное влияние, и каждого температурного ряда введены составляющие с совпадающими существенными признаками (CS) и составляющие с несовпадающими (NS). Процедура для попарного разделения рядов на такие составляющие названа «декомпозицией по выбранному ряду», или «s-декомпозицией». Выбранным рядом в данном случае является ряд чисел Вольфа s_k , характеризующий солнечную активность для всей планеты. Он обладает теми же свойствами по отношению к преобразованию Фурье, что и ряды $x_{k,l}$.

Получаются CS- и NS-составляющие, $\hat{x}_{k,l}$ и $\tilde{x}_{k,l}$, следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k,l} &= \sum_{v=0}^{N-1} \hat{X}_{v,l} \exp\left(\frac{i2\pi vk}{N}\right); \\ \hat{X}_{v,l} &= \begin{cases} X_{v,l}, & \text{sign } S_v = \text{sign } X_{v,l}, \\ 0, & \text{sign } S_v \neq \text{sign } X_{v,l}; \end{cases} \quad (2) \\ \tilde{x}_{k,l} &= \sum_{v=0}^{N-1} \tilde{X}_{v,l} \exp\left(\frac{i2\pi vk}{N}\right); \\ \tilde{X}_{v,l} &= \begin{cases} 0, & \text{sign } S_v = \text{sign } X_{v,l}, \\ X_{v,l}, & \text{sign } S_v \neq \text{sign } X_{v,l}. \end{cases} \end{aligned}$$

Результат декомпозиции выбранного ряда s_k , его составляющие $\hat{s}_{k,l}$ и $\tilde{s}_{k,l}$ зависят от индекса l , т.е. индивидуальны для каждого ряда $x_{k,l}$:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{k,l} &= \sum_{v=0}^{N-1} \hat{S}_{v,l} \exp\left(\frac{i2\pi vk}{N}\right); \\ \hat{S}_{v,l} &= \begin{cases} S_v, & \text{sign } S_v = \text{sign } X_{v,l}, \\ 0, & \text{sign } S_v \neq \text{sign } X_{v,l}; \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

$$\tilde{s}_{k,l} = \sum_{v=0}^{N-1} \tilde{S}_{v,l} \exp\left(\frac{i2\pi vk}{N}\right);$$

$$\tilde{S}_{v,l} = \begin{cases} 0, & \text{sign } S_v = \text{sign } X_{v,l}, \\ S_v, & \text{sign } S_v \neq \text{sign } X_{v,l}. \end{cases}$$

Отмечено, что s-декомпозиция оставляет без изменения значения исходных коэффициентов Фурье $X_{v,l}$ и S_v , но каждый коэффициент входит либо в CS-, либо в NS-составляющую ряда с индексом l . Показано, что эти составляющие обладают экстремальными свойствами: ряды $\hat{x}_{k,l}$ и $\hat{s}_{k,l}$ ортогональны рядам $\tilde{x}_{k,l}$ и $\tilde{s}_{k,l}$ в любой комбинации, при этом $\hat{x}_{k,l}$ имеют максимальный коэффициент корреляции с $\hat{s}_{k,l}$, а $\tilde{x}_{k,l}$ с $\tilde{s}_{k,l}$. Эти свойства дополняют основания для выбора знаков коэффициентов Фурье в качестве существенных признаков для s-декомпозиции.

Введенные составляющие представляют собой некоторые сущности, без искажения перераспределяющие между собой информацию из исходных данных, при этом выявляются новые свойства исследуемых процессов.

2. Ряды данных, непрерывное и циклическое время

Анализировались ряды последовательных среднемесячных значений температуры, полученных в период с 1955 по 2010 г. на 818 метеостанциях Северного полушария Земли (http://www.metoffice.gov.uk/media/zip/e/0/station_files.20110720.zip; <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/station-data/station-data.zip>). Ряд среднемесячных значений чисел Вольфа за этот же период взят на сайте Пулковской обсерватории (<http://www.gao.spb.ru/>).

Для каждой из 818 метеостанций ряд среднемесячных температур содержал $56 \times 12 = 672$ отсчета, а объем выборки составлял $672 \times 818 = 549696$. Один для всех метеостанций ряд среднемесячных чисел Вольфа также содержал 672 отсчета.

Формировались последовательности среднегодовых значений температур для каждой метеостанции и один ряд среднегодовых чисел Вольфа. В каждом таком ряду было по 56 отсчетов, объем выборки для температур составлял $56 \times 818 = 45808$. Кроме того, для каждой метеостанции вычислялась величина среднегодовой многолетней (за 56 лет) температуры, получался ряд из 818 значений.

По построению обсуждаемые ряды есть последовательность значений сглаженных природных процессов в дискретные моменты непрерывного времени. Имея в виду, что в Солнечной системе происходят квазипериодические движения, целесообразно ввести дискретное циклическое время, в этом случае отсчеты берутся через характерные интервалы, определяемые длительностью цикла. Например, из рядов среднемесячных значений чисел Вольфа и температур отбираются значения для одного конкретного месяца в каждом году. При таком подходе

консолидируется однородная информация и появляется возможность выявить ее на фоне годового хода [5, 6].

Обозначения рядов во всех случаях остаются прежними: $x_{k,l}$ и s_k . Они упоминаются ниже в тексте как исходные в отличие от рядов, полученных путем s -декомпозиции, т.е. составляющих: $\hat{x}_{k,l}$ и $\hat{s}_{k,l}$, $\tilde{x}_{k,l}$ и $\tilde{s}_{k,l}$. Индекс k соответствует времени, а l — номеру метеостанции.

С целью проверки устойчивости результатов, уравнивания длин рядов и сглаживания выполнялась интерполяция, от первоначальных значений вплоть до 2^{12} отсчетов.

В качестве меры синхронности, наряду с коэффициентом корреляции по Пирсону, использовались нормированные начальные смешанные моменты. При их вычислении не происходит центрирования, т.е. в рядах сохраняется ненулевое среднее значение, которое может иметь физический смысл, например, постоянная составляющая солнечной активности. Вычисление этих моментов для рядов температуры, солнечной активности и их составляющих выполнялось в соответствии с выражениями

$$\begin{aligned}\tilde{\kappa}_g &= \frac{(x_{k,l}, \hat{x}_{k,l})}{\sqrt{(x_{k,l}, x_{k,l})(\hat{x}_{k,l}, \hat{x}_{k,l})}}; \\ \tilde{\kappa}_g &= \frac{(x_{k,l}, \tilde{x}_{k,l})}{\sqrt{(x_{k,l}, x_{k,l})(\tilde{x}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l})}}; \\ \tilde{\kappa}_\eta &= \frac{(x_{k,l}, \hat{s}_{k,l})}{\sqrt{(x_{k,l}, x_{k,l})(\hat{s}_{k,l}, \hat{s}_{k,l})}}; \\ \tilde{\kappa}_\eta &= \frac{(x_{k,l}, \tilde{s}_{k,l})}{\sqrt{(x_{k,l}, x_{k,l})(\tilde{s}_{k,l}, \tilde{s}_{k,l})}}.\end{aligned}\quad (4)$$

Помимо этого, моменты вычислялись только для положительных значений температуры, что обозначено символом \uparrow , и только для отрицательных — символ \downarrow :

$$\begin{aligned}\uparrow\tilde{\kappa}_g &= \frac{(\uparrow x_{k,l}, \hat{x}_{k,l})}{\sqrt{(\uparrow x_{k,l}, \uparrow x_{k,l})(\hat{x}_{k,l}, \hat{x}_{k,l})}}; \\ \downarrow\tilde{\kappa}_g &= \frac{(\downarrow x_{k,l}, \tilde{x}_{k,l})}{\sqrt{(\downarrow x_{k,l}, \downarrow x_{k,l})(\tilde{x}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l})}}; \\ \uparrow\tilde{\kappa}_\eta &= \frac{(\uparrow x_{k,l}, \hat{s}_{k,l})}{\sqrt{(\uparrow x_{k,l}, \uparrow x_{k,l})(\hat{s}_{k,l}, \hat{s}_{k,l})}}; \\ \downarrow\tilde{\kappa}_\eta &= \frac{(\downarrow x_{k,l}, \tilde{s}_{k,l})}{\sqrt{(\downarrow x_{k,l}, \downarrow x_{k,l})(\tilde{s}_{k,l}, \tilde{s}_{k,l})}}.\end{aligned}\quad (5)$$

Коэффициенты корреляции вычислялись применением встроенной функции пакета Mathcad. Они имеют следующие обозначения:

$$\begin{aligned}\tilde{r}_g &= \text{corr}(x_{k,l}, \hat{x}_{k,l}); \quad \tilde{r}_g = \text{corr}(x_{k,l}, \tilde{x}_{k,l}); \\ \tilde{r}_\eta &= \text{corr}(x_{k,l}, \hat{s}_{k,l}); \quad \tilde{r}_\eta = \text{corr}(x_{k,l}, \tilde{s}_{k,l}).\end{aligned}\quad (6)$$

Энергия составляющих характеризовалась нормированными вторыми начальными моментами, они по определению положительны:

$$\begin{aligned}\hat{\vartheta}_l &= \frac{(\hat{x}_{k,l}, \hat{x}_{k,l})}{(x_{k,l}, x_{k,l})}; \quad \tilde{\vartheta}_l = \frac{(\tilde{x}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l})}{(x_{k,l}, x_{k,l})}; \\ \hat{\eta}_l &= \frac{(\hat{s}_{k,l}, \hat{s}_{k,l})}{(s_k, s_k)}; \quad \tilde{\eta}_l = \frac{(\tilde{s}_{k,l}, \tilde{s}_{k,l})}{(s_k, s_k)}.\end{aligned}\quad (7)$$

При этом выполняются соотношения

$$\hat{\vartheta}_l + \tilde{\vartheta}_l = 1; \quad \hat{\eta}_l + \tilde{\eta}_l = 1, \quad (8)$$

поэтому достаточно вычислить только моменты для CS -составляющих, $\hat{\vartheta}_l$ и $\hat{\eta}_l$.

Суммирование в скалярных произведениях, входящих в выражения (4)–(6), производилось по обоим индексам k и l , а в скалярных произведениях (7) — только по времени, т.е. по индексу k .

Нормированный спектр мощности P_v температурных рядов оценивался как среднее значение квадратов модулей их рядов Фурье (1) в соответствии с выражениями

$$P_v = \left\langle |X_{v,l}|^2 \right\rangle; \quad P_v = P_v / \max(P_v). \quad (9)$$

3. Соответствия температурных рядов

На рис. 1, *a* отображен нормированный спектр мощности P_v (9). Он вычислялся для 818 рядов среднемесячной температуры в интервале с 1955 по 2010 г. Вид этого спектра соответствует полосовым сигналам. В полосе частот $\nu_c \pm 5$ сосредоточена основная мода, она содержит в себе 97% энергии сигналов.

На рис. 1, *б* показано относительное число совпадений знаков коэффициентов Фурье рядов температуры и ряда чисел Вольфа для среднегодовых и для среднемесячных значений. В последнем случае, в интервале основной моды, число совпадений изменяется от 86,9 до 97,7%. Вследствие этого при s -декомпозиции рядов среднемесячных значений CS -составляющая будет существенно ближе к исходной температуре, нежели NS -составляющая. Этот новый факт, полученный из наблюдений, является следствием регулярного влияния Солнца на температуру в приземном слое атмосферы, циклические изменения температуры в годовом ходе преобладают над прочими. Тем самым подтверждается ранее высказанная гипотеза об устойчивости знаков коэффициентов ряда Фурье [5].

Совершенно иная ситуация выявляется при анализе рядов среднегодовых значений. В этом случае кривая относительного числа совпадений знаков коэффициентов Фурье рядов температуры и чисел Вольфа изменяется в широком диапазоне возможных значений, и нет консолидации совпадений знаков для каких-либо частот (рис. 1, *б*).

На рис. 2 показана интерполированная по времени и упорядоченная по возрастанию температура

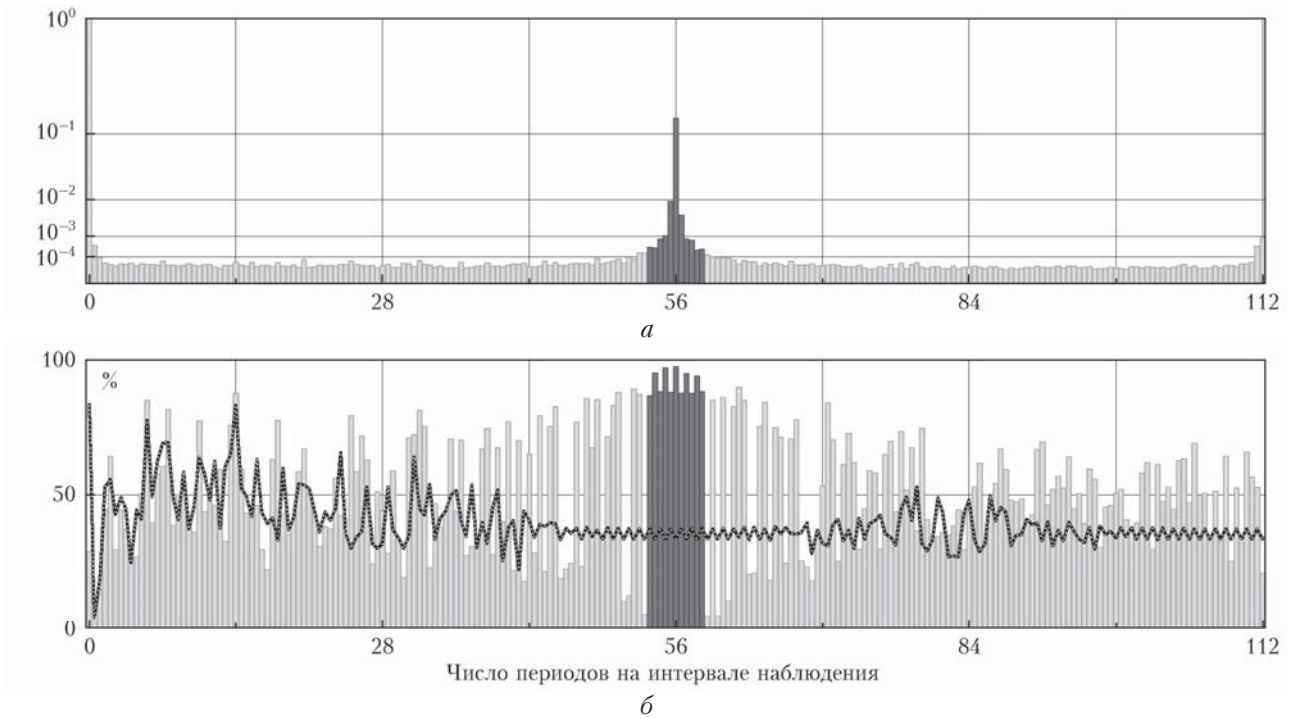


Рис. 1. Нормированный спектр мощности 818 рядов среднемесячной температуры на интервале от 0 до 112 из 2048 отсчетов, по оси ординат использован степенной масштаб с показателем $1/4$ (а). Показано относительное число совпадений знаков коэффициентов Фурье ряда чисел Вольфа со знаками коэффициентов Фурье 818 рядов среднемесячной температуры (столбики) и среднегодовой температуры (черная кривая с белым пунктиром) (б). Темным тоном выделен интервал $\nu_c \pm 5$, в котором сосредоточено 94% энергии сигналов, число совпадений знаков в этом интервале изменяется от 86,9 до 97,7% (а, б)

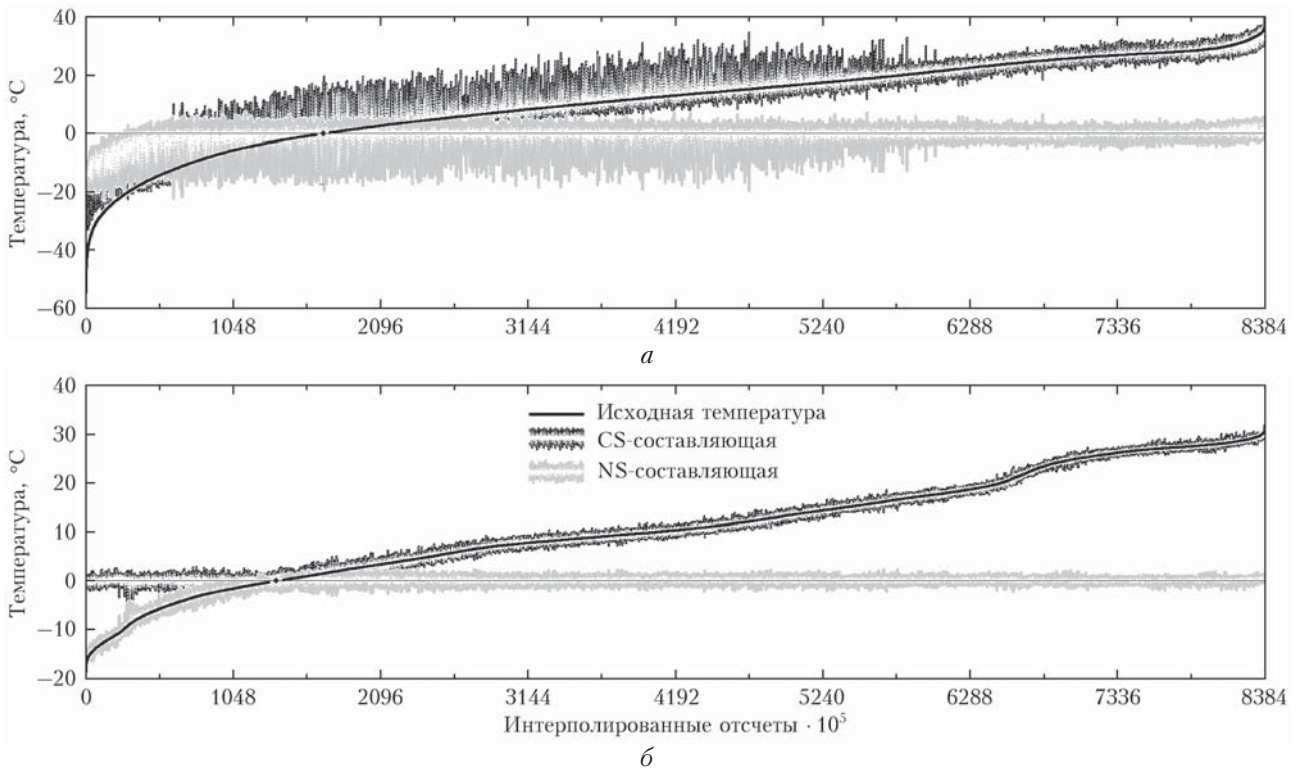


Рис. 2. Упорядоченная по возрастанию температура и ее составляющие в интервале от 1956 до 2010 г.: среднемесячные значения (а); среднегодовые (б). Нормированная среднеквадратичная разность исходной среднемесячной температуры и составляющих – около 4% на участках сближения (б). Темным ромбом обозначен центр области конfluенции температурных кривых и линии нуля (пунктир)

совместно с ее CS- и NS-составляющими. На рис. 2, *a* используются среднемесячные значения в интервале от 1956 до 2010 г. для всех 818 станций. Видно, что в этом случае исходные ряды в некоторой степени сближаются с их CS-составляющими, особенно с повышением температуры. Это соответствует выводу, сделанному при анализе рис. 1, *a*.

Случай рядов среднегодовых значений за тот же период показан на рис. 2, *б*. Видно, что ход среднегодовых температур в интервале положительных значений очень близок к ходу их CS-составляющих, а в интервале отрицательных — к их NS-составляющим. Степень близости оценивалась нормированной среднеквадратичной разностью исходной температуры и составляющих на интервалах, отделенных нулевым значением среднегодовой температуры. Близких к нулю значений может быть несколько, в любом случае вычисленная разность мало отличается от 4%. Таким образом, результат состоит в том, что CS-составляющие рядов среднегодовых температур при положительных значениях, а NS-составляющие — при отрицательных отличаются небольшими флуктуациями от хода среднегодовой температуры по годам и по станциям.

Все нулевые значения обеих составляющих среднегодовых температур располагаются в окрестностях нулевых значений самой среднегодовой температуры на рис. 2, *б*. Взаимное расположение этих трех линий зависит, в частности, от постоянной составляющей среднегодовой температуры, которая,

в свою очередь, зависит от выбора нуля температурной шкалы. Например, для шкалы Кельвина область конfluenceции трех линий не образуется. Таким образом, с точки зрения возникновения взаимосвязей применяемая шкала Цельсия представляется оптимальной для климатической системы.

4. Распределения температурных рядов

Рассмотрим гистограммы температур и их составляющих. Ранее были получены гистограммы для среднемесячных значений в дискретном циклическом времени [6]. Новые результаты показаны на рис. 3. На рис. 3, *a* представлены среднемесячные температуры за все месяцы и годы. Можно видеть, что распределение CS-составляющих сближается с распределением исходных среднемесячных температур при их росте. Это подтверждает предыдущие выводы по рис. 1 и 2.

На рис. 3, *б* представлены распределения для среднегодовых температур и их составляющих. Видно, что, исключая интервал около ± 2 °C, распределение CS-составляющих совпадает с распределением исходной среднегодовой температуры в области положительных значений, а распределение NS-составляющих — в области отрицательных значений. Нормированная среднеквадратичная разность на участках сближения кривых не превышает 4%. Такой же

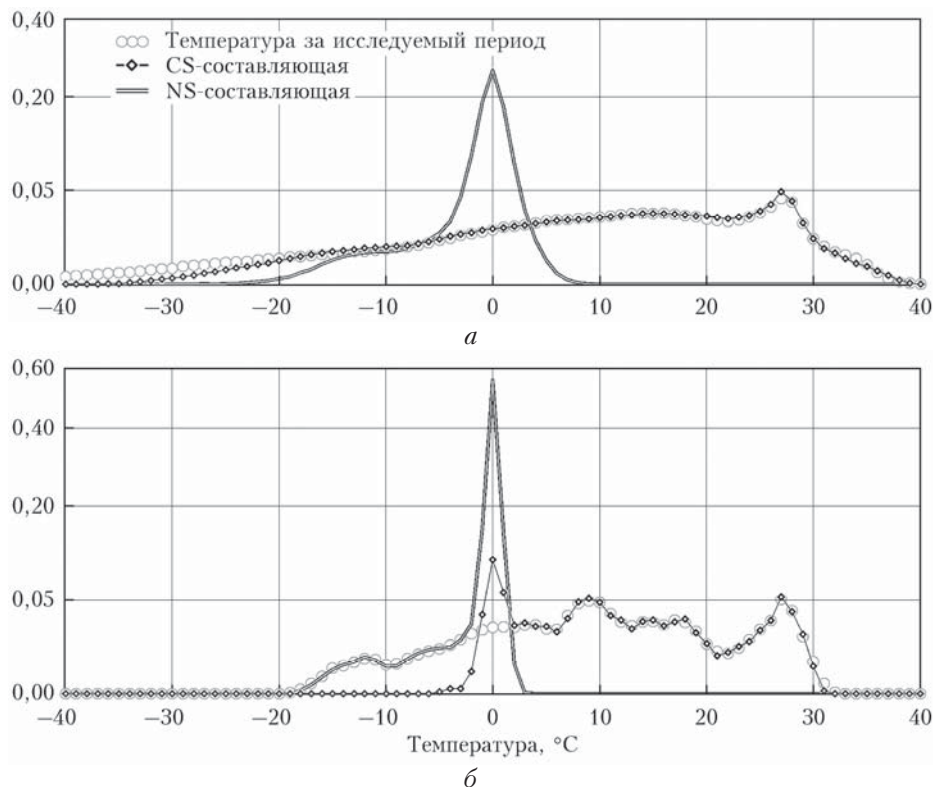


Рис. 3. Гистограммы температурных рядов и их составляющих в интервале от 1956 до 2010 г.: среднемесячные значения (*a*); среднегодовые (*б*). Интервал разбиения равен 1 °C, нормированная среднеквадратичная разность на участках сближения кривых не превышает 4%. По осям ординат степенной масштаб с показателем 1/2

результат был получен ранее [6] для всех 12 среднемесячных температур в циклическом времени.

На гистограммах (рис. 3) в окрестности нулевой температуры, в интервале $\pm 2^\circ\text{C}$, наблюдается резкий пик распределения NS-составляющих. У CS-составляющих этот пик присутствует только для средне-годовых рядов и менее выражен. Аналогичный вид имеют гистограммы, полученные ранее для циклического времени. Это объясняется определениями (2), (3) и свойствами составляющих (см. [6]) в сочетании с положительностью чисел Вольфа и преобладающими положительными значениями среднегодовых температур. Последнее следует из соотношения площадей слева и справа от нуля у гистограмм для рядов среднегодовых температур.

5. Смешанные моменты температур и чисел Вольфа

В этом разделе приводятся результаты вычислений всех моментов по формулам (4)–(6) в их годовом ходе для рядов среднемесячных температур и чисел Вольфа. При анализе полученных зависимостей будем иметь в виду прежние результаты [5, 6], по которым CS-составляющие рядов имеют положительную корреляцию, а NS-составляющие отрицательную.

Результаты расчетов по формулам (5) показаны на рис. 4, а. Как и следовало ожидать, наибольшую связь показывают положительные среднемесячные температуры и CS-составляющие исходных среднемесячных рядов, момент $\bar{\kappa}_g$ в течение всего года мало отличается от единицы. Связь, характеризуемая моментом $\bar{\kappa}_\eta$, более слабая – летом возрастает, а зимой убывает. Разницу в поведении этих моментов можно объяснить тем, что в первом случае сопоставляются положительные значения среднемесячной температуры и синхронная CS-составляющая исходной среднемесячной температуры, характеризующая поглощенную энергию. Во втором случае используется CS-составляющая ряда Вольфа. Она характеризует энергию, которая пришла от Солнца, но еще не поглотилась в геосферах, причем летом поглощение менее стохастично, нежели зимой, как это следует из хода момента $\bar{\kappa}_\eta$.

Рассмотрим момент $\bar{\kappa}_g$, определяющий отношение между отрицательной среднемесячной температурой и NS-составляющей исходной среднемесячной температуры, характеризующей локальное выхолаживание. На рис. 4, а видно, что связь сильна в зимние месяцы и быстро падает к середине лета, когда отрицательные среднемесячные температуры отсутствуют. Годовой ход момента $\bar{\kappa}_\eta$ (со знаком минус) напоминает ход момента $\bar{\kappa}_g$. При этом надо иметь в виду, что локальное выхолаживание, на конкретной метеостанции, происходит летом в большей степени через движения воздуха, за счет притока и диссипации энергии в других местах, что повышает стохастичность связи, как и показывает момент $\bar{\kappa}_\eta$.

На рис. 4, б представлены значения моментов, вычисленные по формулам (4). Связь среднемесячных

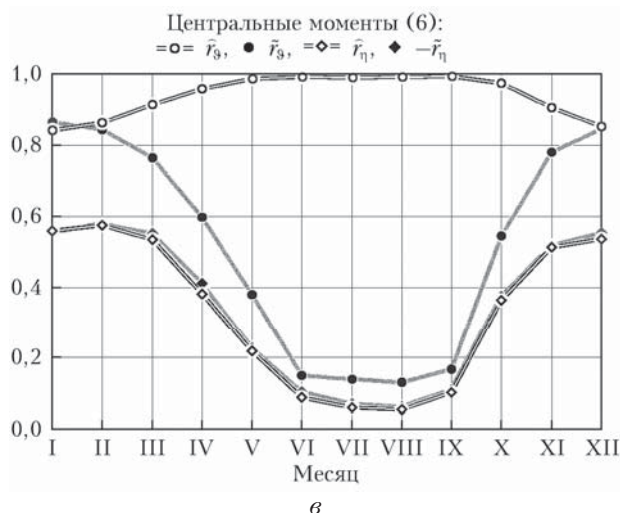
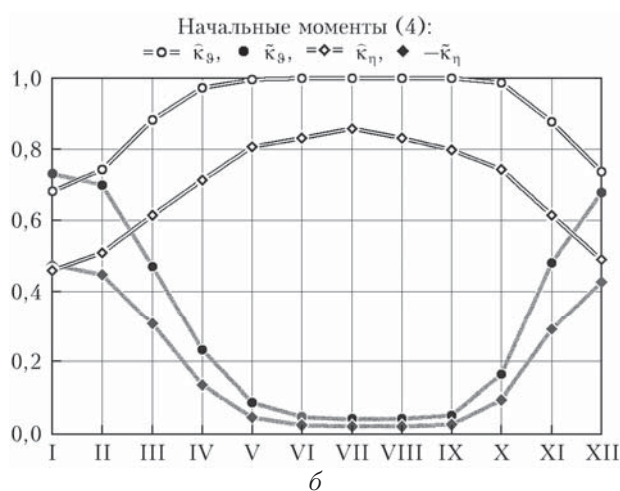
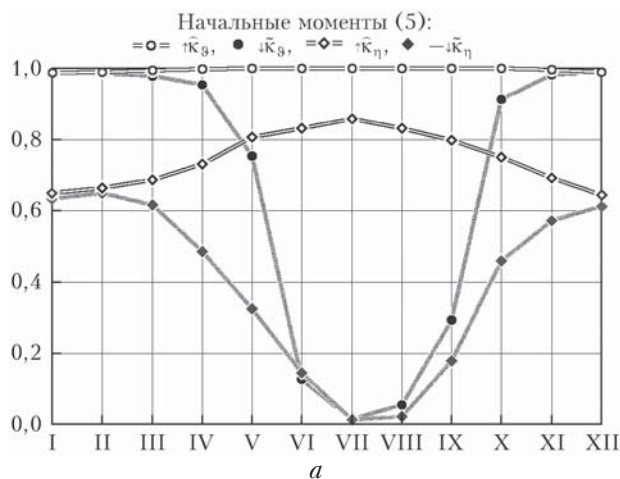


Рис. 4. Годовой ход нормированных смешанных моментов

температур и их CS-составляющих характеризуется моментом $\bar{\kappa}_g$. В теплый период года он не отличается от $\bar{\kappa}_g$ на рис. 4, а. Отличия в холодный период обусловлены тем, что в расчете участвуют отрицательные температуры. Сопоставление этих двух моментов показывает, что CS-составляющие слабо взаимодействуют с отрицательными температурами.

Годовой ход момента $\bar{\kappa}_\eta$ в основном повторяет ход момента $\bar{\kappa}_\theta$, но меньше его приблизительно на 0,2. Можно предположить, что эта величина характеризует усиление стохастизации при трансформации солнечной энергии в температуру воздуха.

Момент $\bar{\kappa}_\theta$ характеризует отношение между исходной среднемесячной температурой и NS-составляющей этой температуры, связанной с локальным выхолаживанием. На рис. 4, б видно, что взаимосвязь сильна в самые холодные месяцы начала и конца года и спадает практически до нуля в теплые месяцы. Как и в случае с моментами $\bar{\kappa}_\eta$ и $\bar{\kappa}_\theta$, годовой ход момента $\bar{\kappa}_\eta$ со знаком минус напоминает ход момента $\bar{\kappa}_\theta$, но меньше его, по всей видимости, из-за дополнительной стохастизации величины при диссипации и движениях воздушных масс.

Коэффициенты корреляции \hat{r}_θ , \hat{r}_θ , \hat{r}_η и \hat{r}_η (6) в годовом ходе показаны на рис. 4, в. Эти моменты (смешанные, центральные, нормированные) отличаются от предыдущих (4), (5) тем, что из анализируемых рядов удаляется постоянная составляющая. Видно, что годовой ход коэффициентов корреляции \hat{r}_θ и \hat{r}_θ качественно похож на ход соответствующих моментов на рис. 4 и 5. Два других коэффициента имеют особенность: \hat{r}_η уменьшается летом (в отличие от аналогичных моментов на рис. 4, а, б) и его ход практически совпадает с ходом \hat{r}_η . Таким образом, без постоянной составляющей в ряде чисел Вольфа локальное положительное влияние Солнца на температуру и локальное отрицательное выглядят с точки зрения синхронности одинаковыми.

6. Моменты второго порядка температур и чисел Вольфа

Нормированные вторые начальные моменты CS-составляющих рядов среднегодовых температур $\hat{\theta}_l$ и чисел Вольфа $\hat{\eta}_l$ (7) представлены на рис. 5. Моменты упорядочены по возрастанию среднегодовой многолетней температуры по метеостанциям в период с 1956 до 2010 г. Ранее моменты для солнечной активности $\hat{\eta}_l$ были вычислены [5] для среднемесячных значений в циклическом времени, т.е. отдельно для каждого месяца. Наблюдалось скачкообразное изменение момента при переходе среднемесячной многолетней температуры через ноль.

В данном случае на рис. 5, а также наблюдается скачкообразное изменение момента $\hat{\eta}_l$ и менее резкое, сглаженное диссипацией, изменение момента $\hat{\theta}_l$. При этом среднегодовая многолетняя температура как аргумент изменяется монотонно и без скачков. Эти зависимости выявляют присутствие в климатической системе скрытого сингулярного фактора.

На рис. 5, а видны две зоны, нижняя и верхняя, внутри которых от станции к станции изменяется момент. Эти энергетические зоны расположены по обе стороны от нуля среднегодовой многолетней температуры. Величина каждой составляет около четверти возможных изменений момента. Внутри зон наблюдаются разрешенные уровни для $\hat{\eta}_l$, характеризующие приток энергии в систему. Момент $\hat{\eta}_l$, как ранее было установлено, характеризует сток энергии;

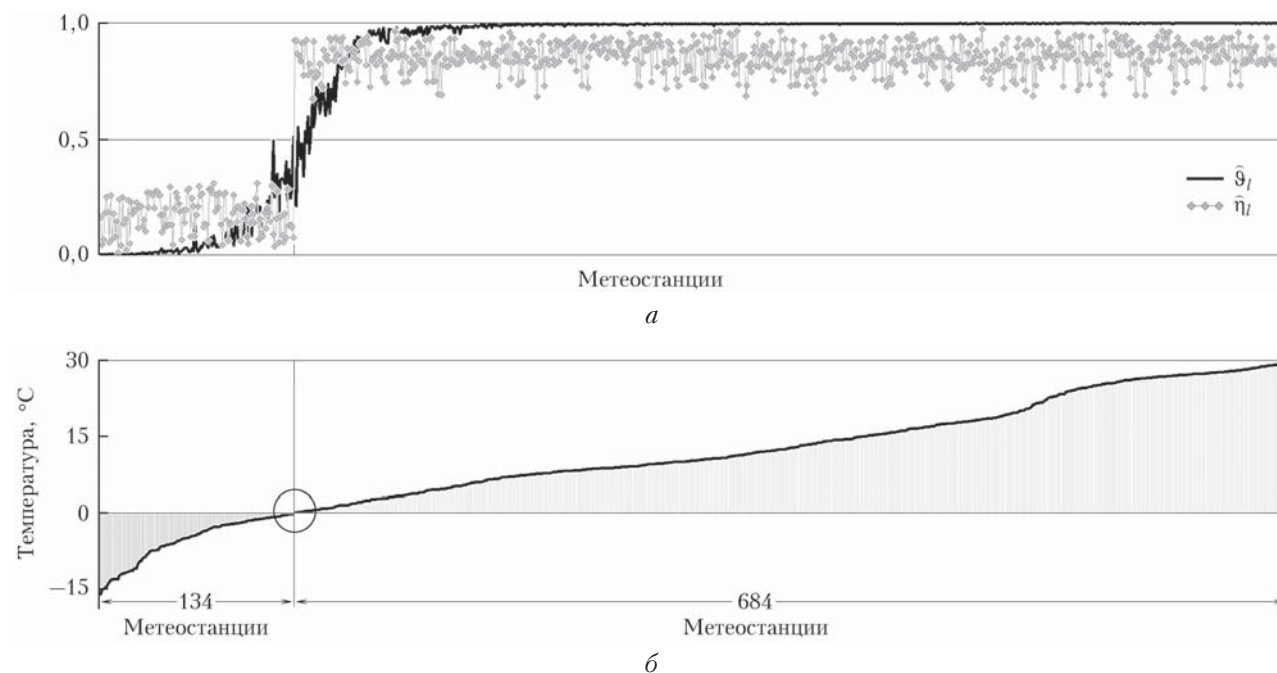


Рис. 5. Нормированные вторые начальные моменты CS-составляющих рядов среднегодовых температур $\hat{\theta}_l$ и чисел Вольфа $\hat{\eta}_l$ (а), упорядоченные вдоль оси абсцисс по возрастанию средней многолетней (за 56 лет) температуры по метеостанциям. Точка перехода через ноль этой кривой (выделена окружностью на фрагменте б) находится между станциями с синоптическими индексами № 28138 в России (слева) и № 71816 в Канаде (справа)

он вычисляется и формирует зоны в соответствии с выражением (8). Нахождение метеостанций в явно разграниченных зонах, при том, что зависимость зон от географических координат не выявлена, заставляет задуматься о кооперативном явлении, которое характерно для локального притока и стока энергии в климатической системе.

Заключение

Наличие связей между солнечной активностью и температурой в климатической системе получило подтверждение. Проявления этих связей обусловлено постоянным притоком солнечной энергии, наличием механизма ее перераспределения и циклическими движениями в солнечной системе, кроме того, выбором интервала усреднения, связанного с длительностью цикла. При анализе рядов среднемесячных температур, измеренных за период с 1955 по 2010 г. на 818 метеостанциях Северного полушария Земли, и чисел Вольфа за тот же период получены следующие основные результаты.

1. Число совпадений знаков коэффициентов Фурье рядов среднемесячных температур и чисел Вольфа изменяется от 86,9 до 97,7% в полосе частот основной моды, где содержится 97% энергии температурных рядов.

2. Для шкалы Цельсия CS-составляющие рядов среднегодовых температур при положительных значениях температур, а NS-составляющие при отрицательных отличаются от хода среднегодовой температуры по годам и по станциям на 4% в среднеквадратичном смысле.

3. Исключая интервал около ± 2 °C, распределение CS-составляющих совпадает с распределением исходной среднегодовой температуры в области положительных значений, а распределение NS-составляющих – в области отрицательных значений.

4. Начальные и центральные, смешанные и вторые моменты CS- и NS-составляющих и исходных

зависимостей выявили новые детали глобального перераспределения энергии в климатической системе.

5. Выявлены дискретные зоны притока и стока солнечной энергии в среднем за год.

Введение разнонаправленных компонент с экстремальными свойствами оказалось полезным. Целесообразно развивать этот подход для анализа наблюдений и применения в аналитических вычислениях.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № I.33.П.

1. Пудовкин М.И. Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 10. С. 106–113.
2. Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние внешних факторов на климат: возможные механизмы воздействия и результаты моделирования // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 119–132.
3. Васильев Д.Ю., Кучеров С.Е., Лазарев В.В. Взаимосвязь солнечной активности, климатических индексов и осадков мая–июля, реконструированных на основе анализа радиального прироста лиственницы на Южном Урале // Оптика атмосфер. и океана. 2016. Т. 29, № 3. С. 224–231.
4. Гусев А.А. Собственные климатические осцилляции, управляемые солнечной активностью // Геомагнетизм и аэрон. 2011. Т. 51, № 1. С. 133–140.
5. Тартаковский В.А. Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 2. С. 182–188.
6. Tartakovsky V.A. Synchronicity as an essential property of solar–terrestrial relations: Latent components. Copernicus GmbH // Nonlinear Proc. Geophys. Discuss. 2015. V. 2. P. 1275–1299. DOI: 10.5194/npgd-2-1275-2015.
7. Тартаковский В.А., Крутиков В.А., Волков Ю.В., Чередько Н.Н. Классификация климата путем анализа фазы температурных рядов // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 8. С. 711–717. DOI: 10.15372/AOO20150806.

V.A. Tartakovsky. Influence of solar activity on the temperature in the surface layer.

The temperature series from 818 weather stations of the Northern hemisphere and the Wolf numbers for the period from 1955 to 2010 are considered. Components of the series, acting in opposite directions and having extreme properties, are introduced. The presence of various connections between the solar activity and the temperature are confirmed. Conditions of occurrence of the connections are discovered. The developed approach is advisable to apply for the analysis of observations and to analytical transformations.