

УДК 550.3

Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли

В.А. Тартаковский*

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

Поступила в редакцию 8.10.2014 г.

Полагается, что внешнее вынуждающее воздействие синхронизирует природно-климатические процессы и проявляется в сходстве их существенных признаков. Вводятся ортогональные составляющие процессов, отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков. Отношения между составляющими можно интерпретировать как приток энергии от Солнца и как сток энергии.

Для вычисления составляющих разработаны алгоритмы на основе преобразования Фурье в базисе тригонометрических функций.

Теория применена для декомпозиции рядов чисел Вольфа и температуры с 818 метеостанций Северного полушария Земли в интервале с 1955 по 2010 г.

Новый подход характеризует проявления вынуждающей силы и соответствует известным представлениям о природно-климатических процессах, поэтому является информативным, непротиворечивым и пригодным для анализа рядов наблюдений.

Ключевые слова: вынуждающее воздействие, признаки синхронности, скрытые составляющие; forcing factor, signs of synchronicity, hidden components.

Введение

Природно-климатические процессы, протекающие на Земле, инициируются и регулируются внешним вынуждающим воздействием. Оно имеет сложную структуру, но основной вклад вносит Солнце, непосредственно и как регулятор иных космических влияний. Солнечная активность проявляется в наблюдаемых нестационарных явлениях в хромосфере. Усиление магнитного поля Солнца сопровождается возрастанием числа темных областей — солнечных пятен. Комплексной характеристикой, индикатором, солнечной активности выбрана линейная комбинация числа пятен и групп пятен, которая носит название чисел Вольфа [1–3]. Какой-либо размерности они не имеют. Астрономы ведут подсчет пятен около 400 лет, в результате был получен уникальный ряд инструментальных данных о космосе.

Природно-климатические процессы по своему происхождению и в связи с неадекватными измерениями состоят из недостаточно исследованных компонент. Основные изучаемые величины были выбраны еще в прошлые века с целью решения задач технологического развития. Для процессов в природе, особенно в живой природе, такой традиционный подход не является очевидным. Следует ожидать, что исследования дадут больший эффект, когда изучаемые факторы будут в каком-то смысле имманентны изучаемой системе.

Продвинуться в этом направлении могут помочь развитые варианты компонентного и факторного анализа. Их сущность заключается в выделении направлений, по которым происходят наибольшие изменения в пространстве исходных величин. Найденные векторы образуют новое пространство, в котором облако точек, представляющих состояние изучаемой системы, располагается оптимально, что дает основания для формирования других основных факторов и уменьшения размерности задачи [4]. Эти подходы являются универсальными и представляются формальными. Их эффективность напрямую связана с анизотропией облака точек, кроме того, найденные комбинации исходных величин не всегда поддаются содержательной интерпретации, для чего следует принять во внимание эмпирические закономерности, свойственные системе.

Специфика решаемой задачи учитывается в большей степени при декомпозиции исходного множества на подмножества, содержащие сильно связанные элементы, а связь между элементами различных подмножеств должна быть при этом слабее. Для такой декомпозиции используются различные варианты неформальных классификаций, основанных на оптимизации целевых функций, имеющих эмпирическую природу [5].

Воспользуемся классической феноменологической схемой действий.

— Выделим синхронность как сущностный фактор солнечно-земных связей. Опыт говорит о согласованности составляющих вынуждающего воздействия и различных природно-климатических процессов [6–9]. Цикличность движений в солнечной

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

системе проявляется на Земле в постоянной смене времен года, дневного прогрева и ночного охлаждения. Эти изменения отражают детерминизм, обусловленный конструкцией солнечной системы, он частично определяет климат на некотором временном интервале. Известны и другие факты проявления детерминизма: высокие коэффициенты корреляции интенсивности космических лучей, плотности потока радиоизлучения на длине волны 10,7 см и ряда чисел Вольфа [7, 8].

– Гиперболизируем эти факты и сформулируем новый принцип: «По своей природе внешнее вынуждающее воздействие синхронизирует инициированные им элементарные процессы в геосферах». Поддержим этот принцип формальным определением: «синхронность процессов проявляется в совпадении их существенных признаков», которые надо ввести.

– Следующий шаг есть количественное описание двух предыдущих. Ниже приводятся теория и поддерживающие алгоритмы, которые будут применены для синхронного анализа рядов среднемесячных чисел Вольфа за период с 1955 по 2010 г. и рядов среднемесячных температур, измеренных на 818 метеостанциях Северного полушария Земли.

Излагаемый подход отражен в публикациях [10–13], в которых показано его применение для климатических задач и в области дендрохронологии. Надо отметить, что степень синхронности или согласованности как информационный признак перехода процесса в новое состояние поддержана алгоритмически и применена для решения геофизических задач в монографии [4]. В нашем случае новизна в том, что синхронность получила конструктивное определение, которое положено в основу декомпозиции сигналов. Эта вычислительная операция должна выделить скрытые сущности в измеряемых величинах с целью получения новой информации о влиянии Солнца на температуру в приземном слое атмосферы.

1. Декомпозиция по выбранному ряду

Будем считать, что ряды экспериментальных данных $x_{k,l}$ взаимно однозначно представляют изучаемые процессы, действительные и с ограниченной энергией. Здесь k – дискретный аргумент, принимающий N значений на заданном интервале наблюдений, а l есть номер ряда и метеостанции.

Ряды можно дополнить и продолжить по непрерывности на всю действительную ось периодически, четным или нечетным образом. Для подобных рядов существуют прямое и обратное дискретные преобразования Фурье:

$$X_{v,l} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{k,l} \exp(-i2\pi vk/N), \quad (1)$$

$$x_{k,l} = \sum_{v=0}^{N-1} X_{v,l} \exp(i2\pi vk/N),$$

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 возможно 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 вносят соответствующие базисные функции в разложение, тем больше будет нарушаться это генетическое сходство. Сохранение знаков у коэффициентов Фурье можно расценивать как проявление детерминистских связей между рядами в каких-то пределах, а стохастичность будет определяться изменчивостью значений этих коэффициентов. Поэтому определим знак коэффициентов Фурье как существенный признак и положим его в основу излагаемого синхронного анализа. Ниже будут найдены и другие основания такого выбора.

Для пар рядов – ряда, характеризующего солнечное влияние, и каждого ряда, связанного с природно-климатическими процессами, введем составляющие с совпадающими существенными признаками (CS) и составляющие с несовпадающими признаками (NS). Назовем процедуру для попарного разделения рядов на такие составляющие «декомпозицией по выбранному ряду» (в дальнейшем «s-декомпозиция»). 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 $x_{k,l}$.

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

$$\hat{x}_{k,l} = \sum_{v=0}^{N-1} \hat{X}_{v,l} \exp(i2\pi vk/N);$$

$$\hat{X}_{v,l} = \begin{cases} X_{v,l}, & \text{sign } S_v = \text{sign } X_{v,l}, \\ 0, & \text{sign } S_v \neq \text{sign } X_{v,l}; \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{k,l} = \sum_{v=0}^{N-1} \tilde{X}_{v,l} \exp(i2\pi vk/N); \quad (2)$$

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

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

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

$$\hat{S}_{v,l} = \begin{cases} S_v, & \text{sign } S_v = \text{sign } X_{v,l}, \\ 0, & \text{sign } S_v \neq \text{sign } X_{v,l}; \end{cases} \quad (3)$$

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

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

Отметим, что s -декомпозиция оставляет без изменения значения исходных коэффициентов Фурье $X_{v,l}$ и S_v , но каждый коэффициент попадает либо в CS-, либо в NS-составляющую ряда с индексом l .

2. Свойства составляющих

Аддитивность. Из (2) и (3) ясно, что выполняются соотношения:

$$\begin{aligned} x_{k,l} &= \hat{x}_{k,l} + \tilde{x}_{k,l}, & X_{v,l} &= \hat{X}_{v,l} + \tilde{X}_{v,l}, \\ s_k &= \hat{s}_{k,l} + \tilde{s}_{k,l}, & S_v &= \hat{S}_{v,l} + \tilde{S}_{v,l}. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая инвариантность скалярного произведения относительно преобразования Фурье и определения (2)–(4), получим

$$\sum_{k=0}^{N-1} s_k x_{k,l} = (s_k, x_{k,l}) = \frac{1}{N} (S_v, X_{v,l}),$$

$$\begin{aligned} (\hat{x}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l}) &= (\hat{s}_{k,l}, \tilde{s}_{k,l}) = (\tilde{s}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l}) = (\tilde{s}_{k,l}, \hat{x}_{k,l}) = 0, \\ (\hat{X}_{v,l}, \tilde{X}_{v,l}) &= (\hat{S}_{v,l}, \tilde{S}_{v,l}) = (\tilde{S}_{v,l}, \tilde{X}_{v,l}) = (\tilde{S}_{v,l}, \hat{X}_{v,l}) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

и

$$\begin{aligned} (s_k, x_{k,l}) &= (\hat{s}_{k,l}, \hat{x}_{k,l}) + (\tilde{s}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l}), \\ (\hat{s}_{k,l}, \hat{x}_{k,l}) &> 0, \quad (\tilde{s}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l}) < 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Суммирование в (5) и (6) проводилось по индексам k или v , все ряды действительны по построению.

Таким образом, для каждой пары рядов с номером l их CS- и NS-составляющие будут ортогональны, из чего следует свойство аддитивности скалярных произведений (6).

Экстремальная корреляция. Получим выражение, связывающее коэффициенты корреляции r_l , \hat{r}_l и \tilde{r}_l : самих исходных рядов и их CS- и NS-составляющих:

$$\begin{aligned} r_l &= \text{corr}(s_k, x_{k,l}) = \text{corr}[(\hat{s}_{k,l} + \tilde{s}_{k,l}), (\hat{x}_{k,l} + \tilde{x}_{k,l})] = \\ &= \hat{r}_l \sqrt{\frac{\text{var} \hat{s}_{k,l} \text{var} \hat{x}_{k,l}}{\text{var} s_k \text{var} x_{k,l}}} + \tilde{r}_l \sqrt{\frac{\text{var} \tilde{s}_{k,l} \text{var} \tilde{x}_{k,l}}{\text{var} s_k \text{var} x_{k,l}}}, \\ \hat{r}_l &> 0, \quad \tilde{r}_l < 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где коэффициенты корреляции и дисперсия вычисляются по индексу k .

С учетом (6) и (7) найдем

$$r_l > 0 \Rightarrow \hat{r}_l > r_l \text{ или } r_l < 0 \Rightarrow |\tilde{r}_l| > |r_l|. \quad (8)$$

Из этих выражений следует, что s -декомпозиция выделяет для каждого индекса l из пары рядов $(x_{k,l}$ и $s_k)$ составляющие с экстремальной корреляцией: CS-составляющие с положительной, NS-составляющие с отрицательной. Эти свойства также являются основанием для выбора знаков коэффициентов преобразования Фурье в качестве существенного признака синхронности.

Коммутативность. Запишем формулу свертки с использованием преобразования Фурье:

$$\sum_{k=0}^{N-1} s_k \omega_{\tau-k} = \frac{1}{N} \sum_{v=0}^{N-1} S_v \Omega_v \exp(i2\pi v \tau / N). \quad (9)$$

Здесь ω обозначает окно в области координат, а Ω — его образ в области частот.

Применение операции свертки с одним и тем же окном к двум рядам $x_{k,l}$ и s_k не изменяет исходное соответствие знаков у коэффициентов Фурье этих рядов в области частот v . Поэтому сглаживание исходных рядов в соответствии с (9) приводит к такому же сглаживанию их CS- и NS-составляющих, т.е. сглаживание и s -декомпозиция являются коммутативными операциями.

Средние значения. Учтем, что среднее значение какой-либо функции пропорционально значению ее Фурье-преобразования при нулевой частоте, и получим из выражений (4) соотношения для средних величин:

$$\begin{aligned} \langle x_{k,l} \rangle &= \langle \hat{x}_{k,l} \rangle + \langle \tilde{x}_{k,l} \rangle, & X_{0,l} &= \hat{X}_{0,l} + \tilde{X}_{0,l}, \\ \langle s_k \rangle &= \langle \hat{s}_{k,l} \rangle + \langle \tilde{s}_{k,l} \rangle, & S_0 &= \hat{S}_{0,l} + \tilde{S}_{0,l}. \end{aligned} \quad (10)$$

Суммирование в (10) проводится по индексу k для каждого ряда с индексом l .

Числа Вольфа s_k всегда положительны, поэтому с учетом четного продолжения рядов величина S_0 действительна и положительна. В тех случаях, когда $X_{0,l} > 0$ в соответствии с (10), получим

$$\tilde{X}_{0,l} = X_{0,l}, \quad \tilde{X}_{0,l} = 0; \quad \tilde{S}_{0,l} = S_0, \quad \tilde{S}_{0,l} = 0;$$

если же $X_{0,l} < 0$, то

$$\tilde{X}_{0,l} = 0, \quad \tilde{X}_{0,l} = X_{0,l}; \quad \tilde{S}_{0,l} = 0, \quad \tilde{S}_{0,l} = S_0.$$

Сделаем вывод, что образуются два множества значений индекса l . На одном из этих множеств средние значения CS-составляющих равны средним значениям исходных рядов, а средние значения NS-составляющих равны нулю; на другом множестве составляющие меняются местами.

Если температурная шкала допускает нулевые значения, то CS- и NS-составляющие $(\hat{x}_{k,l}$ и $\tilde{x}_{k,l})$ в среднем формируют зоны, разграниченные нулевой изотермой, в которых расположены метеостанции с положительными или отрицательными средними температурами (см. [12, карта]). При этом средние значения CS- и NS-составляющих ряда чисел Вольфа $(\hat{s}_{k,l}$ и $\tilde{s}_{k,l})$ в отличие от таких же составляющих температуры постоянны в пределах этих зон: либо нулевые, либо не нулевые.

Начальные моменты для исходных рядов и их CS- и NS-составляющих. При вычислении начальных моментов не происходит центрирования, т.е. в рядах сохраняется постоянная составляющая, у которой может быть физический смысл, например ненулевая постоянная составляющая солнечной активности.

Нормированные вторые начальные моменты по определению положительны. Пусть моменты ϑ_l и $\hat{\eta}_l$

соответствуют рядам $\hat{x}_{k,l}$ и $\hat{s}_{k,l}$, а $\tilde{\vartheta}_l$ и $\tilde{\eta}_l$ – рядам $\tilde{x}_{k,l}$ и $\tilde{s}_{k,l}$, т.е.

$$\begin{aligned}\hat{\vartheta}_l &= \frac{(\hat{x}_{k,l}, \hat{x}_{k,l})}{(x_{k,l}, x_{k,l})}, & \tilde{\vartheta}_l &= \frac{(\tilde{x}_{k,l}, \tilde{x}_{k,l})}{(x_{k,l}, x_{k,l})}; \\ \hat{\eta}_l &= \frac{(\hat{s}_{k,l}, \hat{s}_{k,l})}{(s_k, s_k)}, & \tilde{\eta}_l &= \frac{(\tilde{s}_{k,l}, \tilde{s}_{k,l})}{(s_k, s_k)}.\end{aligned}\quad (12)$$

С учетом свойств ортогональности и аддитивности (5), (6) найдем, что

$$\hat{\vartheta}_l + \tilde{\vartheta}_l = 1; \quad \hat{\eta}_l + \tilde{\eta}_l = 1, \quad (13)$$

а коэффициент корреляции этих моментов по Пирсону имеет следующие свойства:

$$\begin{aligned}r_2 &= \text{corr}(\hat{\eta}_l, \tilde{\vartheta}_l) = \text{corr}(\tilde{\eta}_l, \hat{\vartheta}_l) = \\ &= -\text{corr}(\hat{\eta}_l, \tilde{\vartheta}_l) = -\text{corr}(\tilde{\eta}_l, \hat{\vartheta}_l).\end{aligned}\quad (14)$$

3. Ряды данных, группы: числа Вольфа и температура

Для расчетов использовались ряды среднемесячных значений температуры, полученных в период с 1955 по 2010 г. на 818 метеостанциях Северного полушария [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 интервал времени взят на сайте Пулковской обсерватории [http://www.gao.spb.ru/].

С целью консолидации однородной информации формировались группы, в которые из рядов среднемесячных значений чисел Вольфа и температур отбирались значения для одного конкретного месяца в каждом году. Получалось 12 температурных рядов для каждой из 818 метеостанций и 12 рядов чисел Вольфа для всех метеостанций. В каждом ряду было по 56 значений. Так как алгоритм содержит нелинейные операции, уширяющие спектры промежуточных функций, выполнялась интерполяция этих рядов по времени от первоначальных 56 вплоть до 2^{12} отсчетов.

Для реализации дискретного преобразования Фурье ряды продолжались за пределы интервала определения периодически четным образом. Наличие финитности у преобразования Фурье продолженных рядов и соответствие процедур дискретизации и интерполяции теореме отсчетов контролировались при вычислении [13], что в конечном итоге обеспечило необходимую точность численных алгоритмов, которые были реализованы на основе пакета Mathcad.

Обозначения вновь образованных рядов остаются прежними: $x_{k,l}$ и s_k . Они будут упоминаться ниже в тексте как исходные в отличие от рядов, полученных путем s-декомпозиции, т.е. CS- и NS-составляющих: $\hat{x}_{k,l}$ и $\hat{s}_{k,l}$, $\tilde{x}_{k,l}$ и $\tilde{s}_{k,l}$ соответственно. Индекс k соответствует времени, а l – номеру метеостанции. Для этих рядов будут вычисляться начальные моменты, коэффициенты корреляции и средние значения.

4. Результаты и обсуждение

В данном разделе проведем верификацию представленных выше рассуждений и полученных на их основе соотношений путем их применения к уникальным данным наблюдений и сопоставления результатов расчетов с известными физическими закономерностями.

Коэффициенты корреляции рядов температуры, чисел Вольфа и их составляющих ($\hat{\eta}_l$, $\tilde{\eta}_l$ и $\tilde{\vartheta}_l$) вычислены помесячно с 1955 по 2010 г. для каждой из 818 метеостанций. Было получено 9816 значений коэффициентов корреляции, зависимости приведены на рис. 1. Коэффициенты изменялись в диапазонах: $\hat{r} \in [0,902; 0,165]$, $\tilde{r} \in [-0,933; -0,183]$, $r \in [0,497; -0,519]$. В 85% случаев $|r| < 0,2$ и r никогда не достигает значений \hat{r} и \tilde{r} для конкретного месяца и метеостанции, как и следует из (6)–(8). Для меньшего числа метеостанций подобный расчет ранее был проведен в [12].

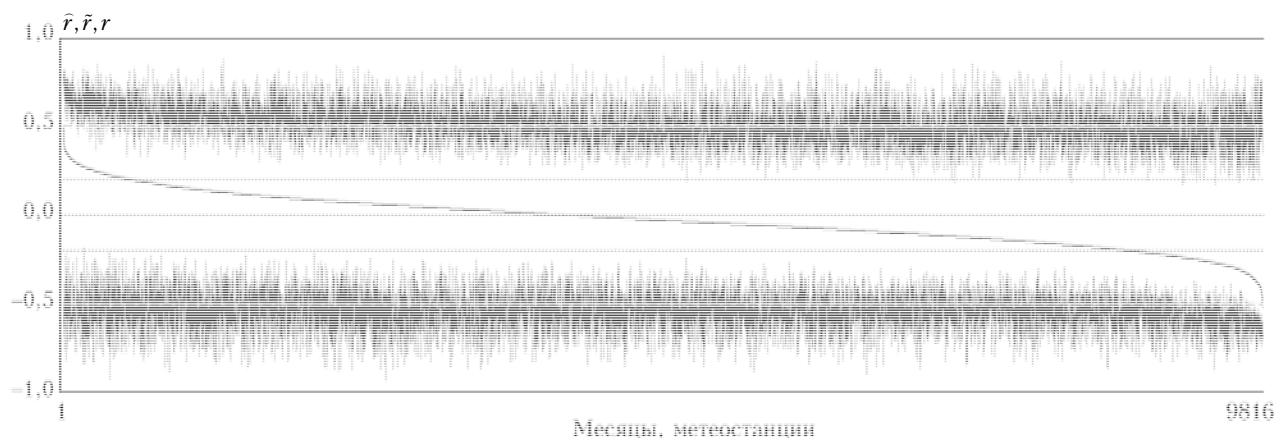


Рис. 1. Коэффициенты корреляции рядов температуры, чисел Вольфа, а также их CS- и NS-составляющих. Вверху \hat{r} , внизу \tilde{r} , в середине r . Все коэффициенты корреляции упорядочены по убыванию r вдоль оси абсцисс, каждое значение соответствует одному температурному ряду из 818 рядов, в один из 12 мес за 56 лет. Пунктирными линиями обозначен коридор $\pm 0,2$

На рис. 1 видно, что флуктуации величин \hat{r} и \tilde{r} в основном происходят около уровней $\pm 0,5$, но с некоторым трендом и модуляцией, связанных с ходом r . При этом не обнаружено выраженных закономерностей в зависимостях r , \hat{r} и \tilde{r} от географических координат, высоты над уровнем моря, месяца и температуры.

Коэффициенты \hat{r} и \tilde{r} показывают присутствие достаточно заметной и однозначной связи между $\hat{s}_{k,l}$ и $\hat{x}_{k,l}$ и между $\tilde{s}_{k,l}$ и $\tilde{x}_{k,l}$. В большинстве случаев эти коэффициенты являются значимыми с вероятностью не менее 0,95 для используемой небольшой выборки.

Положительная корреляция CS-составляющих и отрицательная NS-составляющих характеризуют их разнонаправленное действие в геосистеме. Следствием этого является небольшой коэффициент корреляции исходных рядов солнечной активности и температуры r .

Помесячный ход вторых начальных моментов $\hat{\eta}_l$ (12) показан на рис. 2 (цв. вклейка). Наблюдаются два четко разграниченных диапазона их изменений. Верхний диапазон в течение всего года занимают начальные моменты 400 станций (оранжевый, зеленый, голубой и синий цвета на рис. 2). Моменты оставшихся 418 станций (черный цвет) находятся в верхнем диапазоне только в июле и августе. В холодный период года (по местоположению) моменты этих станций находятся в нижнем диапазоне.

Проанализируем расположение этих 400 станций. Из них 31 станция находится в зоне влияния теплого Северо-Атлантического течения (табл. П.1), которое движется в северной части Атлантического океана и является продолжением Гольфстрима. Одиннадцать станций находятся на Северо-Западном побережье Америки (табл. П.2) под влиянием Северо-Тихоокеанского теплого течения. У берегов Северо-Западной Канады и Южной Аляски оно превращается в Аляскинское течение. Оставшиеся 358 станций расположены между 0,5 и 50° с.ш. в тропическом и субтропическом поясах.

Равномерное поступление солнечной энергии в течение года происходит посредством прямого прогрева поверхности и атмосферы в соответствии с климатическим поясом, а также устойчивого переноса тепла. Интересно, что годовой ход вторых начальных моментов CS-составляющих ряда чисел Вольфа $\hat{\eta}_l$ (см. рис. 2) отображает существующую

географию климата. При этом обнаруживается скрытая закономерность – распределение поступающей энергии по двум диапазонам, ширина которых и расстояние между ними составляют около 30% возможных изменений.

Сопоставление средней температуры и моментов $\hat{\eta}_l$ для каждой из 818 станций Северного полушария за 56 лет проведено на рис. 3 (цв. вклейка). Наблюдаются два вида зависимостей величины $\hat{\eta}_l$ по метеостанциям. В июле и августе эти зависимости непрерывны, для всех остальных месяцев характерен скачок слева вверх величиной от 27% в январе до 39% в мае. Средняя температура также испытывает скачок слева вверх в этих точках с изменением знака с минуса на плюс. Точка скачкообразного изменения притока энергии перемещается по метеостанциям для разных месяцев.

По всей видимости, на рис. 2 и 3 проявляются одни и те же закономерности. На графике января (см. рис. 3) в зоне отрицательных температур (слева от скачка) находятся 418 станций, а оставшиеся 400 станций располагаются в течение года справа, в зоне положительных температур. На рис. 2 вторые начальные моменты этих 400 станций отмечаются в верхнем диапазоне также в течение всего года, а расстояния между диапазонами изменяются вместе с величиной скачка в годовом ходе на рис. 3, в том числе и нулевой в июле и августе.

В годовом ходе станции постепенно перемещаются из левой зоны в правую вплоть до июля–августа. В этот период левой зоны нет. Затем начинается обратный процесс, который заканчивается в декабре. Этот месяц по числу станций в зонах подобен февралю, март подобен ноябрю. Подобие уменьшается для пары апрель–октябрь и далее для пары май–сентябрь.

Скачки средней температуры от отрицательной к положительной (см. рис. 3) происходят по естественным причинам, однако солнечная активность s_k , характеризуемая рядом чисел Вольфа, одинакова для всех метеостанций и никаких видимых скачков не содержит. Только в результате декомпозиции выявляются скрытые составляющие солнечной активности, зависящие от местоположения станций, от индекса l . Коэффициенты корреляции вторых начальных моментов и средней температуры по метеостанциям приводятся в таблице. Видно, что они определяются этими скачками.

Помесячный ход коэффициентов корреляции вторых начальных моментов $\hat{\eta}_l$ и средней температуры по метеостанциям, объем выборки равен 818 (см. рис. 3)

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,812	0,779	0,719	0,657	0,387	0,148	-0,050	-0,002	0,386	0,615	0,778	0,778

Таблица П. 1

31 метеостанция из зоны влияния теплого Северо-Атлантического течения

SI*	Широта, град	Долгота, град	Расположение
7015	50,6	3,1	Франция
6447	50,8	4,4	Бельгия
10469	51,3	12,4	Германия
10410	51,4	7,0	Германия
3955	51,9	-8,5	Ирландия
10361	52,1	11,6	Германия
6260	52,1	5,2	Голландия
10338	52,5	9,7	Германия
10384	52,5	13,4	Германия
3962	52,7	-8,9	Ирландия
3377	53,2	-0,5	Англия
3302	53,3	-4,5	Англия
3969	53,4	-6,3	Ирландия
10147	53,6	10,0	Германия
10184	54,1	13,5	Германия
10170	54,2	12,1	Германия
10035	54,5	9,6	Германия
3917	54,7	-6,2	Ирландия
3162	55,3	-3,2	Англия
3980	55,4	-7,3	Ирландия
6186	55,7	12,5	Дания
3100	56,5	-6,9	Англия
3091	57,2	-2,2	Англия
3026	58,2	-6,3	Англия
1415	58,9	5,6	Норвегия
3005	60,1	-1,2	Англия
1317	60,4	5,3	Норвегия
6011	62,0	-6,8	Дания
1212	62,9	6,5	Норвегия
4018	63,1	-22,6	Исландия
4082	64,3	-15,2	Исландия

*SI – синоптический индекс.

Таблица П. 2

11 метеостанций Северо-Западного побережья Америки

SI*	Широта, град	Долгота, град	Расположение
72594	40,8	-124,2	США
72597	42,4	-122,9	США
72698	45,6	-122,6	США
72688	45,7	-118,8	США
72791	46,2	-123,9	США
72792	47,1	-122,9	США
72793	47,5	-122,3	США
71994	49,4	-126,6	Канада
71109	50,7	-127,4	Канада
71101	53,3	-131,8	Канада
70398	55,0	-131,6	Аляска

1. *Витинский Ю.И.* Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973. 257 с.
2. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 367 с.
3. *Шугрин С.М.* Космическая организованность биосферы и ноосферы. Новосибирск: Наука, 1999. 496 с.
4. *Любушин А.А.* Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.

Таким образом, полученные после s-декомпозиции вторые начальные моменты $\hat{\eta}_l$ и $\tilde{\eta}_l$ (12) изменяются согласованно (в смысле коэффициентов корреляции) с ходом средней температуры по станциям. По этой причине отношения между CS-составляющими можно интерпретировать как приток энергии от Солнца, а между NS-составляющими – как сток энергии.

Заключение

Внешнее вынуждающее воздействие инициирует природно-климатические процессы и поэтому должно проявляться в сходстве их существенных признаков. Солнечная активность, характеризующая числами Вольфа, рассматривается как интегральный индикатор вынуждающего воздействия. Вводятся ортогональные CS- и NS-составляющие рядов чисел Вольфа и исследуемых процессов, отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков. Составляющие представляют собой некоторые сущности, без искажения перераспределяющие между собой информацию из исходных данных, при этом выявляются новые свойства исследуемых процессов. Для вычисления составляющих разработаны алгоритмы на основе преобразования Фурье в базисе тригонометрических функций.

Теория применена для декомпозиции рядов чисел Вольфа и температуры с 818 метеостанций Северного полушария в интервале с 1955 по 2010 г. Получены следующие результаты.

Отношения между CS-составляющими рядов чисел Вольфа и температуры можно интерпретировать как приток энергии от Солнца, а между NS-составляющими – как сток энергии.

Одноименные составляющие рядов чисел Вольфа и температуры имеют значимые коэффициенты корреляции в диапазоне от слабых до сильных при небольших выборках, характерных для минимальных периодов стабильности климата.

Составляющие солнечной энергии в годовом ходе распределяются по двум диапазонам, ширина и расстояние между которыми близки к 30% от возможных изменений.

Распределение притока и стока солнечной энергии по метеостанциям испытывает скачок от 27% в январе и до 39% в мае, исключая июль и август.

Годовой ход вторых начальных моментов CS-составляющих чисел Вольфа отображает существующую географию климата и тем самым демонстрирует физичность этого ряда.

Новый подход информативен, характеризует проявления вынуждающей силы и соответствует известным представлениям о природно-климатических процессах. Он заслуживает широкого применения для поиска других соответствий или несоответствий.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 43П.

5. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
6. Будовый В.И., Хорозов С.В., Inacio M. Martin, Медведев В.А., Белоголов В.С. К вопросу о характере и механизмах влияния солнечной активности и космических лучей на годовое количество осадков в различных регионах планеты // URL:www.rrc.phys.spbu.ru/msar06/rep1.doc
7. Куклин Г.В. О связи чисел Вольфа и потока радионизлучения Солнца на частоте 2800 МГц // Солнечные данные. 1984. № 1. С. 87–95.
8. Бухаров М.В. Изучение взаимосвязи между изменениями погоды и космическими факторами // Исслед. Земли из космоса. 1993. № 4. С. 3–11.
9. Алексеев Г.В., Лукьянова Р.Ю., Иванов Т.Е. Влияние флуктуаций и изменений солнечной активности на характеристики климата высоких и умеренных широт // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 28–32.
10. Воронин В.И., Тартаковский В.А., Несветайло В.Д., Schleser G.H., Helle G. Древесно-кольцевые изотопные хронологии Прибайкалья и их связь с ледовой изотопной хронологией Гренландии // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 1. С. 60–64.
11. Tartakovsky V.A., Voronin V.I., Markelova A.N. External forcing factor reflected in the common signals of $\delta^{18}\text{O}$ -tree-ring series of *Larix sibirica* Ledeb in the Lake Baikal region // Dendrochronologia. 2012. V. 30, N 3. P. 199–208.
12. Тартаковский В.А., Кусков А.И. Декомпозиция наблюдаемых рядов температуры и чисел Вольфа. Свойства средних величин // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 5. С. 414–421.
13. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2 т. / Пер. с франц. М.: Мир, 1983. Т. 1. 312 с.

V.A. Tartakovsky. Synchronous analysis of the Wolf numbers and temperature series from weather station in the Northern Hemisphere of the Earth.

A hypothesis is suggested that the forcing synchronizes the climatic processes and manifests itself in the similarity of their essential signs. Orthogonal components are introduced; they differ because of coincidence and noncoincidence of essential signs. The relationship between components can be interpreted as a supply of energy from the Sun, and as an energy sink. For the computation, the algorithms have been developed using the Fourier transform in the basis of trigonometric functions. The theory is applied to decompose the series of the Wolf numbers and temperature from 818 weather stations of the Northern Hemisphere in the range from 1955 to 2010. The new approach characterizes the manifestation of the forcing and corresponds to the well-known notions of natural and climatic processes, so, it is informative, consistent, and suitable for the analysis of series of observations.

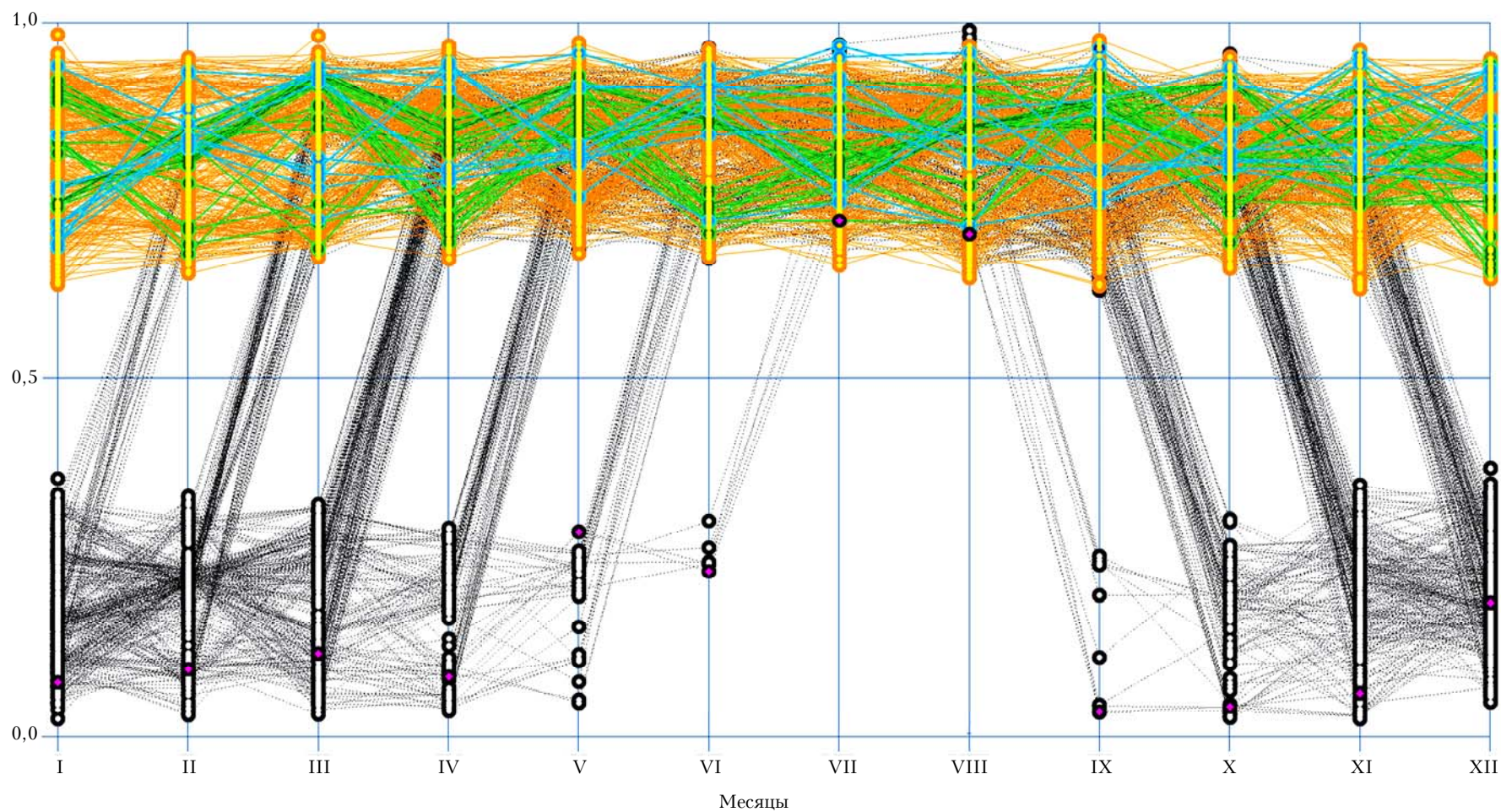


Рис. 2. Нормированные вторые начальные моменты CS-составляющих рядов чисел Вольфа помесячно в интервале с 1955 по 2010 г. по метеостанциям: желтый и оранжевый – 358 станций от 0,5 до 50° с.ш.; зеленый – 31 станция Северной Атлантики от 50 до 64,3° с.ш.; синий и голубой – 11 станций Северо-Западного побережья Америки от 40,8 до 55° с.ш.; черный – 418 станций, не совпадающих с предыдущими, от 80 до 50° с.ш.; черный кружок с красной серединкой – самая северная станция на 80,6° с.ш., синоптический индекс 20046

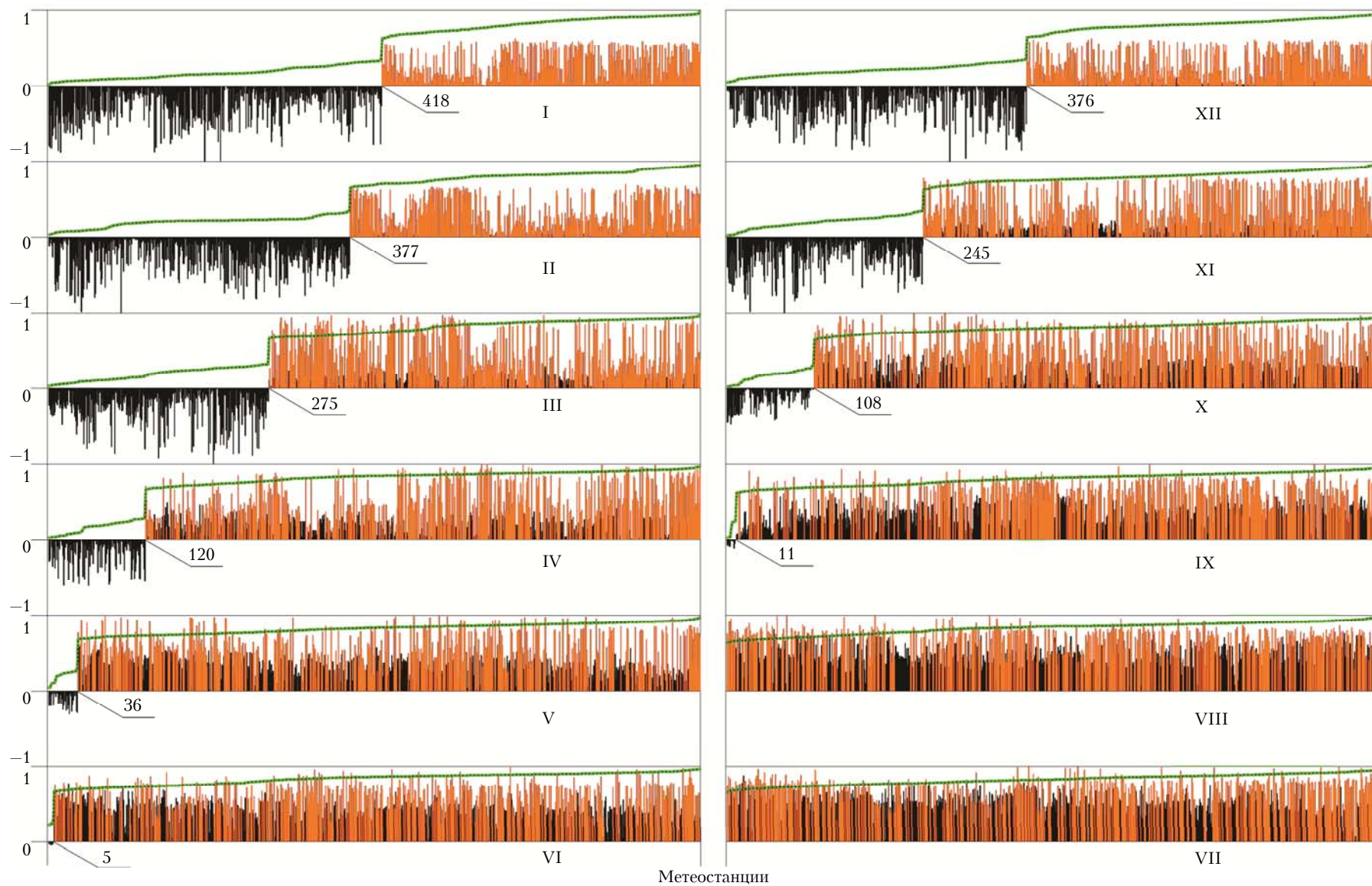


Рис. 3. Нормированная средняя температура помесечно за 56 лет для 818 станций Северного полушария: полярный и умеренный пояс – черные столбики, тропический и субтропический – оранжевые столбики. Станции упорядочены вдоль оси абсцисс по возрастанию моментов $\bar{\eta}_t$ (зеленая линия) независимо для каждого месяца. На выносках указано число станций, попадающих в область отрицательных температур. Месяцы обозначены римскими цифрами