

УДК 551.510.5

**СОЛНЕЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ВАРИАЦИЯХ  
ПРИЗЕМНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ***Д.А. Рыжов, А.Н. Фахрутдинова, Ю.П. Переведенцев***Аннотация**

Исследуются проявления солнечных эффектов в вариациях приземного температурного поля с использованием многолетних наблюдений на метеостанциях в г. Казани, университет (56N, 49E) и Англии (51-53N, 0-3W). Предложена методика анализа долгопериодных временных рядов, основанная на применении метода локальной когерентности, которая позволила выделить и оценить во временных вариациях температуры приземного слоя, полученных на указанных метеостанциях, периодичности, продолжительностью около 1 года, 5, 11 и 22 лет.

**Ключевые слова:** атмосфера, температура, приземный слой, вейвлет-анализ, периодичность, когерентность, временные вариации.

**Введение**

На основе теоретических и экспериментальных исследований в последнее десятилетие установлено, что солнечная активность (СА) и обусловленные ею возмущения межпланетной среды влияют на самые разнообразные процессы во всех оболочках Земли, включая магнитосферу, атмосферу, литосферу и биосферу [1].

В последнее время интенсивно исследуется влияние СА на циркуляцию земной стратосферы. В [2] установлена важная роль квазидвухлетней цикличности (КДЦ) экваториального стратосферного ветра (ЭСВ) в изменениях крупномасштабной циркуляции стратосферы с масштабами колебаний около 10 лет. В [3, 4] показано, что КДЦ ЭСВ реализуются главным образом в виде чередующихся серий колебаний с периодами около 2 и 2.5 лет, и чередование происходит согласованно с 11-летним циклом СА. Вариации с такими периодами обнаружены также для озона, температуры и ветра в стратосфере и тропосфере средних широт, а наличие вариаций с этими периодами может в силу нелинейности атмосферной динамики приводить к вариациям с периодом 10 лет [2–4]. В работе [5] показано влияние СА на когерентность временных вариаций скорости зонального ветра с масштабами планетарных волн в интервале высот 1.5–110 км.

Результаты выполненных ранее исследований воздействия СА и межпланетной среды на состояние нижней атмосферы, представленные в работах [6–15], позволили выявить ключевой фактор воздействия – изменение оптических свойств атмосферы, обусловленное физико-химическими процессами в нижней и средней атмосфере при вторжении модулированного потока космических лучей

галактического и солнечного происхождений. Это подтверждается в работе [16], в которой показано, что прозрачность атмосферы меняется с уровнем СА и подвержена воздействию галактических (ГКЛ) и солнечных (СКЛ) космических лучей.

В [1] представлен физический механизм воздействия СА на состояние нижней атмосферы и метеопараметры. СА вызывает изменения в интенсивности потоков плазмы, формирующих солнечный ветер и замороженных в него магнитных полей. Вариации солнечного ветра, в свою очередь, модулируют потоки галактических космических лучей, проникающих в среднюю и нижнюю атмосферу Земли. Постоянно существующий поток ГКЛ стимулирует протекание физико-химических реакций в атмосфере и определяет содержание NO в атмосфере. При этом концентрация NO определяет содержание в атмосфере NO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>, которые оказывают сильное воздействие на прозрачность атмосферы. Так, наличие в стратосфере избыточных количеств NO<sub>2</sub> приводит к дополнительному поглощению солнечной радиации и, соответственно, к уменьшению потоков радиации в нижней атмосфере, которое может достигать нескольких процентов (вплоть до 6% [16]) от величины солнечной постоянной.

Наряду с изменением содержания NO<sub>2</sub>, как указывалось выше, в результате изменения интенсивности потоков космических лучей может наблюдаться изменение плотности облачного покрова и содержания водяного пара в атмосфере, что также должно проявляться в интегральной прозрачности атмосферы. Таким образом, в атмосфере существует своеобразный «серый фильтр», препятствующий прохождению солнечных лучей к Земле и испытывающий вариации при изменении интенсивности ГКЛ, что непосредственно связано с вариациями солнечного ветра. При этом возрастание СА в цикле или в ходе развития индивидуального возмущения должно приводить к большей экранировке ГКЛ и, как следствие, к уменьшению их интенсивности в атмосфере. В этом случае должно происходить уменьшение содержания NO и NO<sub>2</sub> и, соответственно, возрастание прозрачности атмосферы. С другой стороны, уменьшение содержания NO приведет к возрастанию концентрации O<sub>3</sub> и уменьшению прозрачности атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне.

В ходе развития цикла СА прозрачность атмосферы должна возрастать в периоды максимума и уменьшаться во время минимума СА. Однако на структуру проникающих к Земле потоков космических лучей в ходе солнечного цикла будет влиять не только общий средний уровень СА, который можно охарактеризовать числами Вольфа  $W$ , но и особенности развития индивидуальных возмущений в цикле, которые обусловлены вариациями геомагнитной активности  $C_i$ . Развитие геомагнитной активности в четных и нечетных солнечных циклах различно: в нечетных циклах наблюдается высокая корреляция между  $W$  и  $C_i$ , а в четных циклах эта корреляция ослабляется. В рамках рассматриваемой модели воздействия СА и других космофизических факторов на состояние нижней атмосферы можно предположить, что в четные и нечетные циклы воздействие СА на метеопараметры будет проявляться в различной степени, а ввиду несимметричности воздействия может проявляться 22-летняя составляющая в вариациях параметров нижней атмосферы [17].

### 1. Постановка задачи исследования

В настоящей работе исследуется влияние СА (среднемесячных значений числа Вольфа, полученных за период 1750–2008 гг. [<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/getdata.html>]) на временные вариации среднемесячных значений температуры приземного слоя воздуха, наблюдаемых на метеостанции в г. Казани, университет (56N, 49E) в период 1828–2008 гг., и на среднемесячные значения приземной температуры воздуха, полученные и усредненные по сети метеостанций в центральной части Англии (51-53N, 0-3W) [18] в период 1750–2008 гг.

### 2. Методика исследования

В работе исследуется локальная когерентность [19] временных вариаций геофизических параметров с использованием метода, построенного на основе вейвлет-анализа [20].

Для вещественной функции  $f(t)$  вейвлет-образ (ВО)  $\Psi(a, t)$  определяется интегральным преобразованием с ядром  $\Phi$ :

$$\Psi(a, t) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) \Phi\left(\frac{\xi - t}{a}\right) d\xi, \quad (1)$$

где  $a$  – временной масштаб вейвлета, при этом так называемая вейвлет-функция  $\Phi(\tau)$  должна удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{1}{a} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\tau/a)^2 d\tau = \text{const},$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\tau) d\tau = 0.$$

Первому условию удовлетворяют, например, финитные и быстро затухающие на бесконечности функции, второму условию – осциллирующие знакопеременные функции. Пример гладкой вейвлет-функции – это произведение гармонической функции на функцию Гаусса. Пусть

$$\Phi(\tau) = \Phi_{\beta}(\tau) = \cos(\beta\tau) \exp(-\tau^2/2). \quad (2)$$

При  $\beta = 5$  получаем вейвлет «Морле», при  $\beta = 2$  вейвлет-функция (2) имеет форму, близкую к так называемой «мексиканской шляпе». Первый множитель обеспечивает локализацию по временному масштабу (частоте), второй – локализацию по времени (за счет некоторого ухудшения локализации по масштабу).

Поскольку вейвлет-функция при  $\beta = 2$  имеет лучшее временное разрешение за счет худшего спектрального разрешения, а вейвлет-функция «Морле» ( $\beta = 5$ ), напротив, обеспечивает хорошее разрешение в области временных масштабов (частот) при относительно широком интервале локализации во времени, то мы использовали в качестве вейвлет-функции вейвлет «Морле».

Введем несколько характеристик связи двух сигналов в терминах их ВО как функций времени и масштаба для определения локальных сдвигов фаз сравниваемых сигналов и соответствующей им локальной когерентности [19]. Пусть  $s_1$  и  $s_2$  – два сигнала,  $\Psi_1, \Psi_2$  – их ВО,  $t'_i, t''_j$  – точки локальных экстремумов  $\Psi_1, \Psi_2$  соответственно. Назовем локальным сдвигом фазы двух сигналов  $s_1$  и  $s_2$  на масштабе  $a$  для локального экстремума  $t'_i$  следующую величину:

$$l_{1,2}(a, t'_i) = \min_j (t'_i - t''_j), \quad (3)$$

причем  $t''_j \in (t'_i - a/2, t'_i + a/2)$ . При этом для каждого экстремума  $t'_i$  функции  $\Psi_1$  отыскивается ближайшая точка экстремума (максимума или минимума) функции  $\Psi_2$  в окрестности точки  $t'_i$  шириной  $a$ . Этот подход позволяет вычислить локальный сдвиг фаз колебаний с масштабом  $a$  в точках экстремумов ВО. Локальный сдвиг фазы вычисляется с точностью до величины временной дискретизации сигнала.

Локальную когерентность определим как коэффициент корреляции ВО этой пары сигналов на масштабе  $a$  для тех моментов времени  $t$ , где определена функция  $l_{1,2}(a, t'_i)$  по следующей формуле:

$$\gamma_{1,2}(a, t, l_{1,2}) = \frac{\sum_{\tau=t-a/2}^{t+a/2} \Psi_1(a, \tau) \Psi_2(a, \tau + l_{1,2}(a, \tau))}{\left[ \sum_{\tau=t-a/2}^{t+a/2} \Psi_1^2(a, \tau) \cdot \sum_{\tau=t-a/2}^{t+a/2} \Psi_2^2(a, \tau + l_{1,2}(a, \tau)) \right]^{1/2}}. \quad (4)$$

Введенные выше характеристики (3), (4) позволяют оценивать в исследуемых временных рядах фазовые сдвиги и когерентность не только для периодических составляющих, но и для локализованных в частотно-временной области возмущений. Для удобства представления на двумерном графике матрица значений локальной когерентности, полученная с помощью формулы (4), интерполируется по временным масштабам  $a$  и времени наблюдения  $t$ .

Частотно-временные области с низкими абсолютными значениями ВО для анализа локальной когерентности не представляют интереса, однако в этих областях локальная когерентность может резко меняться за счет шумовой компоненты, и поэтому мы применим так называемую маску прозрачности, чтобы рассматривать только те области когерентности, где абсолютные значения ВО велики.

Пусть  $\hat{\Psi}_1, \hat{\Psi}_2$  – комплексные ВО сигналов  $s_1$  и  $s_2$ , полученные с помощью комплексного вейвлета «Морле»:

$$\hat{\Phi}(\tau) = \frac{1}{\sqrt{\pi f_b}} \cdot \exp(i2\pi\tau f_c) \cdot \exp\left(-\frac{\tau^2}{f_b}\right), \quad (5)$$

где  $f_c = 0.8125$  – центральная частота вейвлета,  $f_b = 2$  – параметр, отвечающий за частотную и временную избирательность вейвлета. Параметры  $f_c$  и  $f_b$  подобраны таким образом, чтобы реальная часть комплексного вейвлета «Морле»

$\widehat{\Phi}(\tau)$  совпадала с вещественным вейвлетом «Морле»  $\Phi(\tau)$  (2). Геометрическое среднее  $\widehat{\Psi}_1$  и  $\widehat{\Psi}_2$  обозначим через  $M$ :

$$M = \sqrt{|\widehat{\Psi}_1| \cdot |\widehat{\Psi}_2|}. \quad (6)$$

Далее полученную матрицу  $M$  (6) сглаживаем медианным фильтром по масштабам в каждый момент времени  $t$  и получаем матрицу  $M'$ , являющуюся маской прозрачности для наиболее выраженных зон в частотно-временной области ВО сравниваемых сигналов  $s_1$  и  $s_2$ . Накладываем ее на проинтерполированную матрицу коэффициентов локальных когерентностей. В результате получаем изображение с наиболее значимыми зонами когерентности исследуемых сигналов  $s_1$  и  $s_2$ .

Чтобы оценить значимую зону локальной когерентности, необходимо определить диапазон временных масштабов, в пределах которого она проявляется. Для этого усредним по времени в пределах масштаба  $a$  матрицу  $M'$  и получим так называемый усредненный по времени вейвлет-спектр  $Sp$ :

$$Sp(a) = \frac{\sum_{t=1}^N M'(a, t)}{N}. \quad (7)$$

Ширине максимумов этого спектра соответствуют диапазоны временных масштабов, в пределах которых наблюдаются значимые зоны локальной когерентности. Ширину максимума можно определить на уровне  $1/\sqrt{2}$  от амплитуды максимума [21].

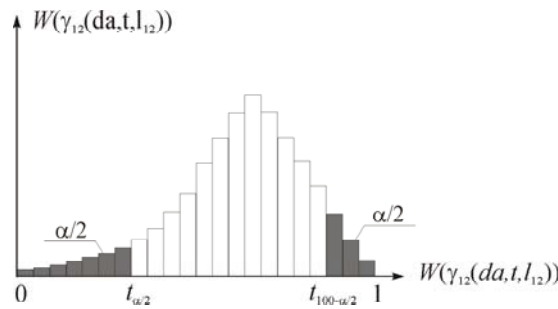
Поскольку закон распределения значений локальной когерентности  $\gamma_{1,2}(a, t, l_{1,2})$  нам неизвестен, оценим  $\gamma_{1,2}(a, t, l_{1,2})$  в заданном диапазоне временных масштабов  $da$  (от  $a_{st}$  до  $a_{en}$ ) следующим образом [22].

Строится гистограмма значений локальной когерентности  $W(\gamma_{1,2}(da, t, l_{1,2}))$  в заданном диапазоне временных масштабов  $da$  (рис. 1). Введем уровень значимости  $\alpha = 5\%$ . Слева направо будем складывать количество значений в гистограмме значений локальной когерентности до тех пор, пока их количество не станет равным  $\alpha/2 = 2.5\%$  от общего количества. Левая граница доверительного интервала значений локальной когерентности будет равна  $t_{\alpha/2}$ , где  $t_{\alpha/2}$  – квантиль распределения  $W(\gamma_{1,2}(da, t, l_{1,2}))$ , соответствующий уровню значимости  $\alpha/2 = 2.5\%$ . Аналогичным образом находим правую границу, которую обозначим как  $t_{100-\alpha/2}$  (рис. 1).

Оценка среднего значения локальной когерентности в заданном диапазоне временных масштабов  $da$  определяется по формуле:

$$\widehat{\gamma} = \sum_{i=a_{st}}^{a_{en}} \sum_{t=1}^K \frac{\gamma_{1,2}(a_i, t, l_{1,2})}{K}, \quad (8)$$

где  $K$  – количество точек  $\gamma_{1,2}(da, t, l_{1,2})$  в интервале масштабов  $da$ .

Рис. 1. Гистограмма  $W(\gamma_{1,2}(da, t, l_{1,2}))$ 

Таким образом, мы можем вычислить оценку среднего значения локальной когерентности  $\hat{\gamma}$  и определить доверительный интервал значений локальной когерентности  $[t_{\alpha/2}, t_{100-\alpha/2}]$  в интервале масштабов  $da$  с заданным уровнем значимости  $\alpha$ .

### 3. Результаты и их обсуждение

Вышеописанная методика применена для анализа временных вариаций среднемесячных значений температуры приземного слоя, полученных на метеостанции в г. Казани в период 1828–2008 гг., на ряде метеостанций в Англии [18] в период 1750–2008 гг., и временных вариаций среднемесячных значений СА (числа Вольфа), полученных за период 1750–2008 гг.

На рис. 2–4 представлены локальные сдвиги фаз (в радианах) между температурным рядом, полученным в Англии и данными СА за период 1750–2008 гг.; между температурным рядом, полученным на станции в г. Казани, и данными СА за период 1828–2008 гг.; а также между рассматриваемыми температурными рядами за период 1828–2008 гг. На рис. 5–7 представлены соответствующие им локальные когерентности с наложенной на них маской прозрачности  $M'$  для выделения значимых зон когерентности. Наиболее значимым зонам локальной когерентности соответствуют наиболее насыщенные цвета шкалы когерентности.

Циклы СА являются важными источниками внешнего квазипериодического воздействия на климатическую систему. Можно рассматривать параметрические резонансы на многочисленных комбинационных гармониках этих циклов как механизм усиления откликов климатической системы на солнечное воздействие [23]. Эти отклики могут быть длительными, в десятки, сотни и даже тысячи лет. Поскольку атмосфера является нелинейной средой, отклики могут быть модулированными по амплитуде и частоте, что может приводить к смещению и уширению спектральных составляющих.

Анализ рис. 5, 6 показал, что на графиках локальной когерентности временных вариаций температуры приземного слоя, полученных как в Англии, так и в г. Казани, относительно среднемесячных значений СА выделяется несколько основных периодичностей с высокими значениями когерентности: около 1 года, 5, 10–12 и около 20–24 лет. Как и следовало ожидать, периодичность на масштабах около 10–12 лет более ярко выражена и наиболее значима в ряду указанных выше периодичностей.

На графике локальной когерентности температуры приземного слоя в г. Казани и Англии (рис. 7) на масштабах около одного года выделяется наиболее значимая периодичность, связанная с годовым ходом температуры, а также выделяются менее значимые периодичности на временных масштабах около 5 и 10–12 лет.

Указанные выше температурные ряды в области временных масштабов от 30 до 100 лет показали, что, помимо перечисленных выше периодичностей, в сигналах присутствуют когерентные периодичности в диапазоне временных масштабов 60–100 лет в период наблюдения 1750–2008 гг. для температурного ряда, полученного в Англии, и в период 1828–2008 гг. для температурного ряда, полученного на станции в г. Казани, университет.

Чтобы оценить значения выраженных зон локальной когерентности, определим диапазоны временных масштабов, в пределах которых они устойчивы. Для этого строятся усредненные по времени вейвлет-спектры  $S_p$  по формуле (7) для трех случаев сравнения указанных выше временных рядов.

Полученные вейвлет-спектры  $S_p$  показали, что для случаев сравнения временных вариаций температуры приземного слоя, зарегистрированных как на станции в Англии, так и в г. Казани относительно среднемесячных значений СА, выделяется сильно выраженный максимум на масштабах около 11 лет. Ширина максимума периодичности определяется по уровню  $1/\sqrt{2}$  от амплитуды этого максимума. Для случая сравнения ряда СА и английского температурного ряда ширина максимума 11-летней периодичности равна 80 месяцев и находится в диапазоне временных масштабов от 7 лет 7 месяцев до 14 лет 3 месяцев. Для случая сравнения ряда СА и казанского температурного ряда ширина максимума равна 55 месяцев и лежит в диапазоне от 8 лет 8 месяцев до 13 лет 3 месяцев. Для случая сравнения временных вариаций температуры приземного слоя, полученных на метеостанциях в Англии и в г. Казани, выделяется яркий максимум на масштабах около 1 года. Ширина этого максимума равна 8 месяцев и находится в диапазоне временных масштабов от 8 до 16 месяцев.

С помощью гистограмм строятся распределения значений локальной когерентности в выбранных диапазонах временных масштабов для случаев сравнения указанных выше временных рядов. Количество интервалов разбиения выбирается в соответствии с оцениваемым количеством значений когерентности. По этим распределениям для заданного уровня значимости  $\alpha = 5\%$  оценивается доверительный интервал значений локальной когерентности в диапазоне временных масштабов, соответствующем ширине максимума анализируемой периодичности.

По данным локальной когерентности временных вариаций среднемесячных значений температуры приземного слоя (Англия) и среднемесячных значений СА за период 1750–2008 гг. установлено наличие ярко выраженной значимой 11-летней периодичности, обусловленной 11-летним периодом СА, со средним значением когерентности 0.89. Значения локальной когерентности лежат в интервале от 0.33 до 1 при вероятности ошибки 5%. Причиной такого широкого интервала значений локальной когерентности является присутствие областей с низкими значениями когерентности в оцениваемом диапазоне временных масштабов. Помимо ярко выраженной 11-летней периодичности обнаружены также

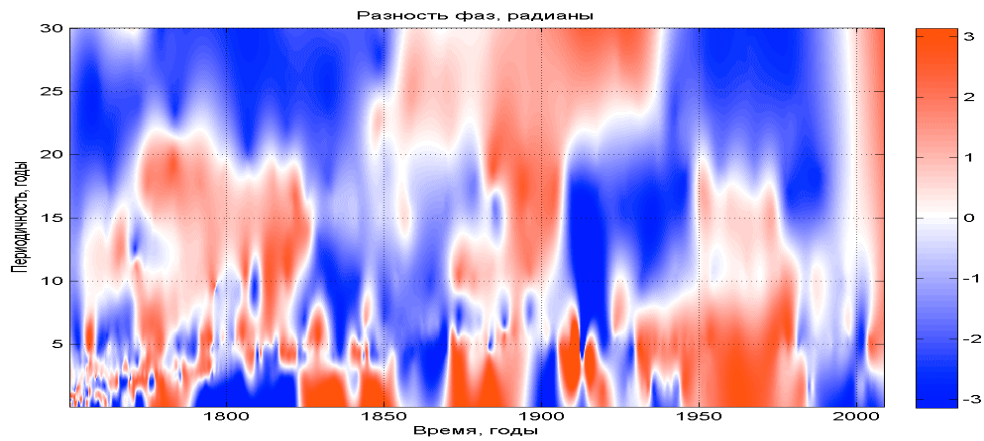


Рис. 2. Локальный сдвиг фаз между значениями приземной температуры (Англия) и значениями СА за 1750–2008 гг.

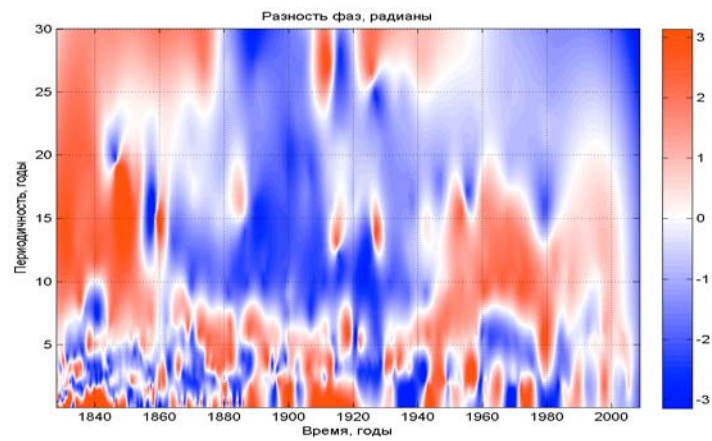


Рис. 3. Локальный сдвиг фаз между значениями приземной температуры (Казань) и значениями СА за 1828–2008 гг.

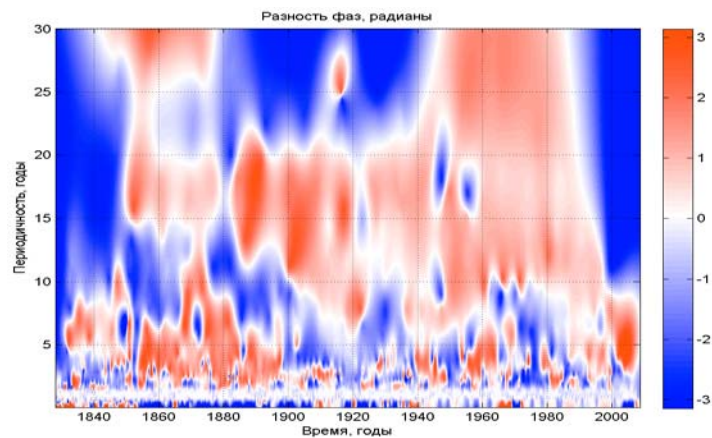


Рис. 4. Локальный сдвиг фаз между долгопериодными английским и казанским температурными рядами (1828–2008 гг.)



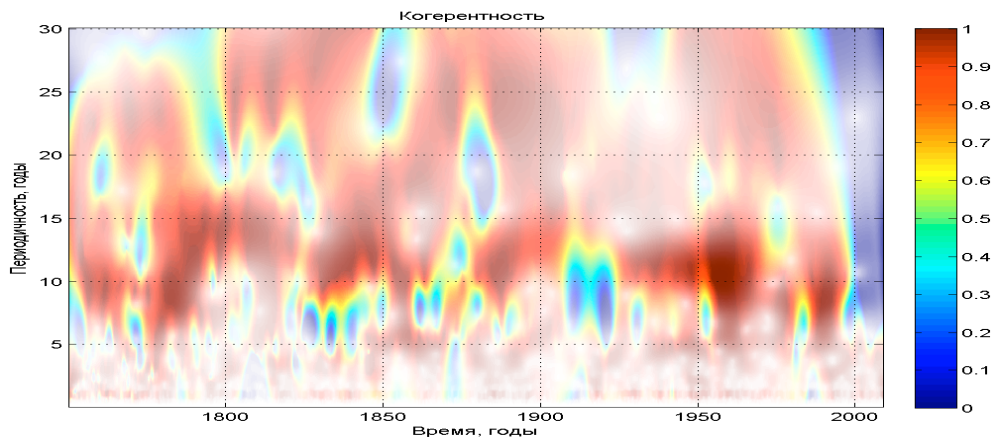


Рис. 5. Локальная когерентность значений приземной температуры (Англия) и значений СА за 1750–2008 гг.

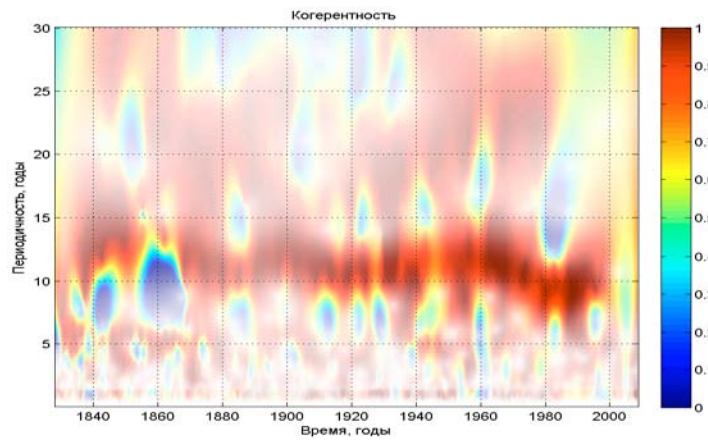


Рис. 6. Локальная когерентность значений приземной температуры (Казань) и значений СА за 1828–2008 гг.

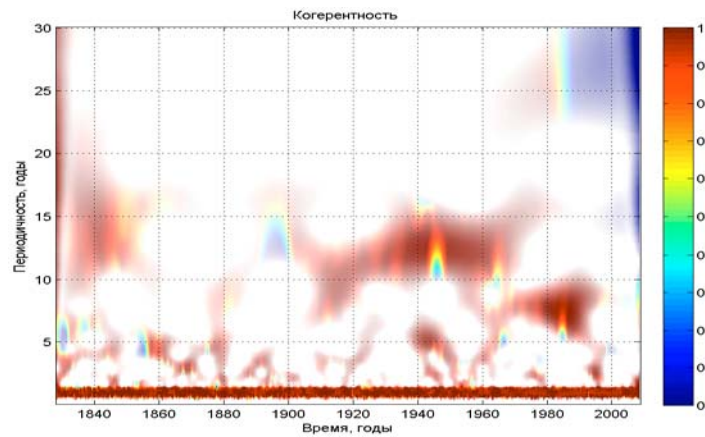


Рис. 7. Локальная когерентность значений температуры приземного слоя, полученных на метеостанциях в Англии и Казани за 1828–2008 гг.

менее значимые колебания с временными масштабами около 1 года, 5 и 22 лет, природа возникновения которых также связана с влиянием СА.

В результате анализа локальной когерентности временных вариаций среднемесячных значений температуры приземного слоя (Казань) и среднемесячных значений СА за период 1828–2008 гг. установлено наличие 1-, 5-, 11- и 22-летней периодичности в данных рядах. Наиболее устойчивой и значимой периодичностью является 11-летняя периодичность. Среднее значение локальной когерентности в диапазоне временных масштабов, соответствующем ширине максимума данной периодичности, равно 0.94, а доверительный интервал значений локальной когерентности соответствует значениям от 0.74 до 1 при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ .

В ходе анализа временных вариаций среднемесячных значений температуры приземного слоя по наблюдениям на метеостанциях в Англии и г. Казани установлена устойчивая годовая периодичность в температурных рядах со средним значением локальной когерентности 0.97 и доверительным интервалом значений когерентности от 0.86 до 1 при вероятности ошибки 5%.

Локальный сдвиг фаз (рис. 2–4) показывает, насколько отличаются сравниваемые сигналы по фазе. По знаку фазы можно определять знак когерентности. На рис. 2 локальный сдвиг фаз между временными вариациями температуры приземного слоя (Англия) и СА в диапазоне временных масштабов от 7 лет 7 месяцев до 14 лет 3 месяцев (соответствующем ширине максимума 11-летней периодичности) в период времени 1760–1830, 1870–1910, 1950–1970 гг. имеет положительный знак, а в интервалах 1830–1870, 1910–1950, 1970–2000 гг. – отрицательный знак. Из рис. 3 видно, что локальный сдвиг фаз между временными вариациями температуры приземного слоя (г. Казань) и СА в диапазоне временных масштабов от 8 лет 8 месяцев до 13 лет 3 месяцев (соответствующем ширине максимума 11-летней периодичности) ведет себя иначе: в период времени 1828–1865 и 1950–2002 гг. имеет положительный знак, а с 1865 по 1950 гг. – отрицательный знак. Локальный сдвиг фаз между временными вариациями температуры приземного слоя в пунктах наблюдений Англии и г. Казани (рис. 4) в диапазоне временных масштабов от 8 до 16 месяцев (соответствующем ширине максимума годовой периодичности) ведет себя достаточно устойчиво во всем интервале наблюдения (1828–2008 гг.) и варьируется около нуля, что соответствует выраженным синфазным периодичностям в данном интервале временных масштабов.

#### 4. Выводы

На основе метода локальной когерентности предложена методика обнаружения и оценки значимых зон когерентности длинных рядов геофизических наблюдений.

По данным локальной когерентности временных вариаций среднемесячных значений температуры приземного слоя (Англия) и среднемесячных значений СА за период 1750–2008 гг. установлено наличие значимой 11-летней периодичности, обусловленной 11-летним циклом СА и имеющей среднее значение когерентности 0.89 в диапазоне временных масштабов, соответствующем ширине максимума данной периодичности. Помимо ярко выраженной 11-летней

периодичности обнаружены также менее значимые колебания с временными масштабами около 1 года, 5 и 22 лет, природа возникновения которых определяется влиянием СА.

Из временных вариаций среднемесячных значений температуры приземного слоя (Казань, университет) и СА за период 1828–2008 гг. установлено наличие периодичностей с масштабами около 1 года, 5, 11 и 22 лет. Наиболее значимая периодичность выделяется на временных масштабах около 11 лет со средним значением когерентности 0.94.

Установлено, что во временных вариациях среднемесячных значений температуры приземного слоя по наблюдениям на метеостанциях в Англии и в Казани имеется устойчивая годовая периодичность со средним значением локальной когерентности 0.97.

Полученные результаты могут быть полезными при изучении земных климатических вариаций, обусловленных действием малых внешних сил.

### Summary

*D.A. Ryzhov, A.N. Fakhruddinova, Yu.P. Perevedentsev.* Solar Effects in Variations of Surface Layer Temperature Field.

The work investigates solar effects in variations of surface temperature field using the long-term observations at the weather stations in the city of Kazan, University (56N, 49E), and England (51-53N, 0-3W). A technique for the analysis of the long-period time series based on the method of local coherence was proposed, which made it possible to identify and evaluate the 1-, 5-, 11- and 22-year periodicities in the surface layer temperature time variations obtained at the mentioned weather stations.

**Key words:** atmosphere, temperature, surface layer, wavelet analysis, periodicity, coherence, time variations.

### Литература

1. Пудовкин М.И., Распопов ОМ. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1992. – Т. 32, № 5. – С. 1–22.
2. Безверхний В.А., Груздев А.Н. О связи квазидесятилетних и квазидвухлетних колебаний солнечной активности экваториального стратосферного ветра // Докл. РАН. – 2007. – Т. 415, № 6. – С. 809–813.
3. Груздев А.Н., Безверхний В.А. Многолетние вариации квазидвухлетней цикличности экваториального стратосферного ветра // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 35, № 6. – С. 773–785.
4. *Gruzdev A.N., Bezverkhny V.A.* Two regimes of the quasi-biennial oscillation in the equatorial stratospheric wind // *J. Geophys. Res. D.* – 2000. – V. 105, No 24. – P. 29435–29443.
5. *Фахрутдинова А.Н.* Волновая структура циркуляции нижней и средней атмосферы Земли. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2006. – 180 с.
6. Пудовкин М.И., Любич А.А. Проявление циклов солнечной и магнитной активности в вариациях температуры воздуха в Ленинграде // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1989. – Т. 29, № 3. – С. 359–363.

7. Пудовкин М.И., Бабушкина С.В. Влияние электромагнитного и корпускулярного излучений солнечной вспышки на интенсивность зональной циркуляции атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. – 1991. – Т. 31, № 3. – С. 493–499.
8. Пудовкин М.И., Бабушкина С.В. Эффекты солнечных вспышек в вариациях приземного давления атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. – 1990. – Т. 30, № 3. – С. 469–473.
9. Пудовкин М.И., Веретенко С.В. Влияние геомагнитных возмущений на интенсивность потока прямой солнечной радиации // Геомагнетизм и аэрономия. – 1992. – Т. 32, № 1. – С. 148–150.
10. Шумилов О.И., Распопов О.М., Касаткина Е.А. и др. Уменьшение общего содержания озона внутри полярной шапки после протонных вспышек на Солнце // Докл. АН СССР. – 1991. – Т. 318, № 3. – С. 576–579.
11. Задорожный А.М., Кихтенко В.Н., Кокин Г.Л. и др. Реакция средней атмосферы на солнечные протонные события в октябре 1989 г. // Геомагнетизм и аэрономия. – 1992. – Т. 32, № 2. – С. 32–40.
12. Пудовкин М.И., Веретенко С.В. Вариации меридионального профиля атмосферного давления в ходе геомагнитного возмущения // Геомагнетизм и аэрономия. – 1992. – Т. 32, № 1. – С. 118–122.
13. Kondratyev K.Ya., Nikolsky G.A. The solar Constant and Climate // Sol. Phys. – 1983. – V. 89. – P. 215–222.
14. Kondratyev K.Ya., Nikolsky G.A. Some Results of Studing the Relationships between Meteorological Parameters and Solar Activity // STP Newsletters. – 1989. – V. 89, No 1. – P. 31–32.
15. Kondratyev K.Ya., Nikolsky G.A. Influence of Solar Activity upon the Level Atmosphere // Assembly IUGG. Programm and Abstracts IAGA. – 1991. – P. 226.
16. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Стратосферный механизм солнечного и антропогенного влияния на климат // Солнечно-земные связи, погода и климат. – М.: Мир, 1982. – С. 354–360.
17. Fisk L.A. Solar Modulation of Galactic Cosmic Rays // Solar-Terrestrial Physics: Principles and theoretical foundations. – Dordrecht: D. Reidd Publ. Co., 1983. – P. 217–230.
18. Parker D.E., Legg T.P., Folland C.K. A new daily Central England Temperature Series, 1772–1991 // Int. J. Clim. – 1992. – V. 12. – P. 317–342.
19. Безверхний В.А. Развитие метода вейвлет-преобразования для анализа геофизических данных // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 37, № 5. – С. 630–638.
20. Morlet J. Sampling theory and wave propagation // NATO ASI Series V. 1. Issues in acoustics signal/image processing and recognition / Ed. C.H. Chen. – Springer Verlag, 1983. – P. 233–261.
21. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.
22. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. – М.: Изд-во техн.-теорет. лит., 1955. – 556 с.
23. Монин А.С., Сонечкин Д.М. О роли нелинейных механизмов в прошлых и современных изменениях климата // Наука об изменении климата. Всемирная конф. по изменению климата. М., 29 сент. – 3 окт. 2003 г.: Труды. – М., 2004. – С. 294–299.

Поступила в редакцию  
07.07.10

**Рыжов Дмитрий Александрович** – аспирант физического факультета Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *dima616@mail.ru*

**Фахрутдинова Антонина Николаевна** – доктор физико-математических наук, профессор физического факультета Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *antonina.fahrutdinova@ksu.ru*

**Переведенцев Юрий Петрович** – доктор географических наук, профессор, ведущий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Yuri.Perevedentsev@ksu.ru*