

Научные статьи

УДК 550.34+523.98+004.62+504.052

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

© 2014 Н.А. Сергеева¹, И.П. Шестопапов¹, Л.П. Забаринская¹,
М.В. Нислевич¹, М.З. Згуровский², А.А. Болдак², К.В. Ефремов²

¹Геофизический центр РАН, Москва, 119296

²Институт прикладного системного анализа, Киев, 03056

Работа посвящена исследованию связи солнечной активности, представленной рядом чисел Вольфа, с сейсмической активностью Земли, выраженной количеством энергии, выделившейся при землетрясениях, на длительных промежутках времени 1890–2012 гг. и 1705–2012 гг. Представлены результаты экспериментального исследования процессов с помощью вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: солнечная активность, сейсмичность Земли, вейвлет-анализ, неортогональные базисы.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования сложных природных систем связаны с определенными трудностями, обусловленными отсутствием их формальных описаний, сложностью наблюдения и управления вследствие нестационарности исследуемых процессов, присутствия второстепенных взаимодействующих процессов, эволюции исследуемых систем и невозможности проведения активных экспериментов (Растринг, 1981).

Междисциплинарная задача исследования взаимосвязи гелио- и геофизических процессов, в частности активности Солнца и сейсмической активности Земли является одной из таких задач.

Существует достаточно обширный ряд публикаций, авторы которых устанавливают наличие связи между геоэффективными солнечными событиями и сейсмичностью Земли (Лоцинская, 1999; Одинцов и др., 2007; Сытинский, 1989, 1998; Georgieva et al., 2002; Gousheva et al., 2003; Simpson, 1968). Как показал анализ этих публикаций, результаты исследований влияния солнечной активности на сейсмичность Земли зависят от используемых параметров и длительности рядов наблюдений. Выводы в этих работах могут

изменяться от утверждения о существовании корреляции между сейсмической активностью Земли и активностью Солнца (Лоцинская, 1999; Georgieva et al., 2002) до обнаружения антикорреляции между ними (Одинцов и др., 2007).

В настоящей статье исследуется связь сейсмичности Земли с солнечной активностью на протяжении длительного периода, охватывающего три последних столетия. Для этого используется метод анализа причинно-следственных связей между процессами, основанный на неортогональном дискретном вейвлет-преобразовании (Згуровский и др., 2013).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве характеристики солнечной активности обычно используется ряд чисел Вольфа. Числа Вольфа R вычисляются по формуле

$$R = k(f + 10g),$$

где f – число пятен на солнечном диске; g – число групп, объединяющих эти пятна; k – нормировочный коэффициент, характеризующий условия наблюдения и применяемую

аппаратуру. Данные о числах Вольфа могут быть получены из каталога Центра анализа данных по влиянию Солнца (Solar Influences Data Analysis Center – SIDC, <http://sidc.oma.be>), находящегося в Бельгии. Для настоящего исследования в качестве данных, характеризующих солнечную активность, были выбраны ряды среднегодовых значений чисел Вольфа за период с 1890 по 2012 гг., соответствующий периоду инструментальных сейсмологических наблюдений, и более длинный приблизительно трехсотлетний период с 1705 по 2012 гг.

Сейсмическую активность можно характеризовать суммарной сейсмической энергией, высвобожденной при землетрясениях. Энергия землетрясений определяется (в эрг) по формулам (Касахара, 1985)

$$\lg E = 11.8 + 1.5M_s$$

для гипоцентров на глубине меньше 100 км и

$$\lg E = 5.8 + 2.4m_b$$

для гипоцентров на глубине больше 100 км, где E – энергия землетрясения, M_s – магнитуда по поверхностным волнам, m_b – магнитуда по объемным волнам.

Для расчета суммарных годовых значений сейсмической энергии землетрясений на земном шаре авторами был создан каталог землетрясений с магнитудами $M_s \geq 6$ и $m_b \geq 5.5$ для всего исследуемого периода времени. При составлении каталога использовались: база данных Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC USGS, <http://www.earthquake.usgs.gov/regional/neic/>); база данных о значительных землетрясениях мира Национального центра геофизических данных США (NGDC, <http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>); столетний каталог землетрясений Энгдала и Виллазенора

(Engdahl and Villaseñor) <http://earthquake.usgs.gov/data/centennial/centennial.pdf>; каталог землетрясений мира (Rothe, 1969); база данных о значительных землетрясениях, составленная в Геологической службе США (USGS, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/significant/>).

Данные за период 1705–2012 гг. были не систематическими, в некоторых случаях они отсутствовали на протяжении нескольких лет. Для получения однородных рядов за весь исследуемый период данные о сейсмической энергии суммировались по 7 годам и затем сглаживались по трем значениям, а числа Вольфа усреднялись за 7 лет и сглаживались скользящим средним по трем значениям.

Для периода 1890–2012 гг. среднегодовые значения чисел Вольфа и суммарные годовые значения выделившейся энергии землетрясений сглаживались по 11 значениям (рис. 1).

В конце XIX века происходило быстрое увеличение сейсмической активности (рис. 1б). Максимального значения она достигла в начале XX столетия, затем происходило постепенное ее понижение. Минимальные значения сейсмической активности наблюдались перед 1990 г., то есть примерно через 100 лет от начала возрастания. Солнечная активность в период максимума энерговыделения при землетрясениях (в начале XX столетия) имела минимальные в течение всего XX столетия значения (рис. 1а). На протяжении столетия солнечная активность постепенно нарастала. Наиболее высокие ее сглаженные значения имели место в пятидесятые и восьмидесятые годы. Этим максимумам солнечной активности соответствует относительно низкая сейсмическая энергия. В целом установлена отрицательная корреляция между этими параметрами. Коэффициент корреляции $r = -0.8$ (Шестопалов, Харин, 2006). Это позволяет предполагать, что, как правило, наибольшая

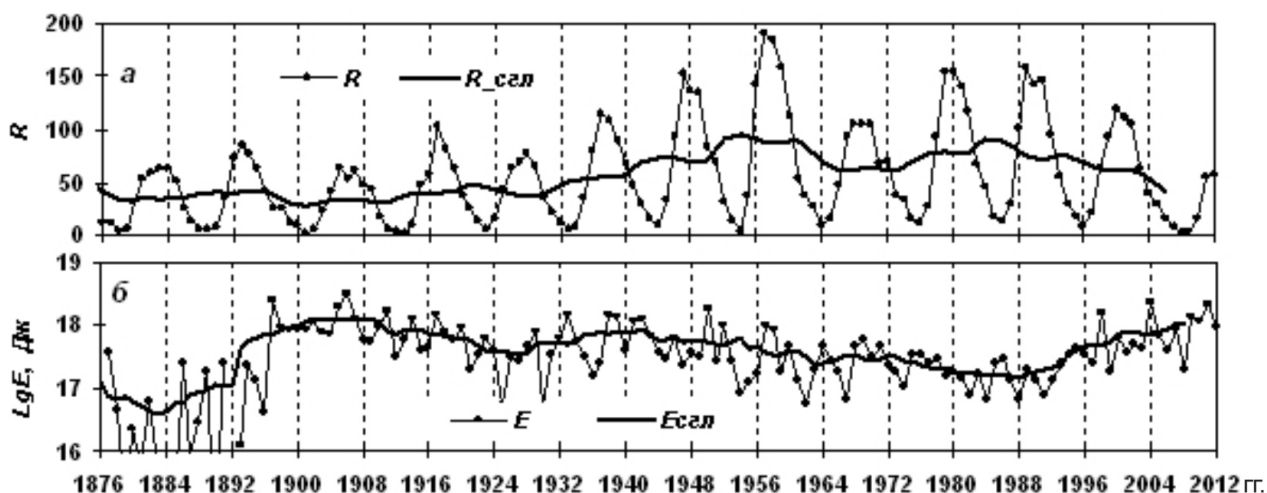


Рис. 1. Данные, используемые в исследовании: а – среднегодовые R и сглаженные $R_{сгл}$ значения чисел Вольфа; б – суммарные годовые E и сглаженные $E_{сгл}$ значения сейсмической энергии.

сейсмическая активность имеет место при минимальной солнечной активности, и наоборот. Необходимо также отметить следующее. В работе (Шестопапов, Харин, 2006) показано, что в некоторых случаях максимальное энерговыделение при землетрясениях наблюдалось во время минимума солнечной активности или в периоды, близкие к минимуму и наоборот, в максимумы солнечной активности сейсмичность Земли принимала наименьшие значения. Следовательно, за исследуемый период зафиксировано достаточное количество случаев, когда за 11-летние циклы сейсмическая активность Земли имела отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности. Но так происходило не всегда. В некоторых случаях возрастания сейсмической активности наблюдались на протяжении всего цикла после крупных геоэффективных солнечных вспышек, в которых генерируются протоны высоких энергий. (Соболев и др., 1998; Шестопапов, Харин, 2006).

Таким образом, для каждого текущего 11-летнего солнечного цикла следует ожидать повышения сейсмической активности в минимуме солнечной активности. Повышения сейсмической активности происходят и во время максимумов солнечной активности в случае крупных геоэффективных солнечных вспышек, генерирующих большие геомагнитные возмущения.

Ранее при изучении взаимосвязи сейсмической активности Земли и активности Солнца на длинных рядах наблюдений 1690-2002 гг. сотрудниками Геофизического центра РАН были выявлены вековые циклы солнечной и сейсмической активности, продолжительностью около 100 лет (Белов и др., 2009; Шестопапов, Харин, 2006).

На рис. 2 показано, что в начале каждого из циклов в XVIII, XIX и XX веках сейсмическая активность имела максимальные значения, значения же чисел Вольфа, характеризующих солнечную активность, были минимальны. Таким образом, наблюдается существенная отрицательная корреляция сейсмичности Земли с солнечной активностью. Другими словами,

наибольшая сейсмическая активность имела место при небольшой солнечной активности, и наоборот.

Целью настоящего исследования является проверка гипотезы о причинно-следственной связи между гелио- и геофизическими процессами. Для этого нами предложен метод анализа охарактеризованных выше данных, основанный на вейвлет-разложении сигналов в неортогональных базисах.

МЕТОД АНАЛИЗА ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ

Континуальный многомасштабный вейвлет-анализ (Voashash, 2003) представляет собой довольно гибкий и, в то же время, весьма мощный инструмент временного и спектрального анализа, целью которого является построение частотно-временных характеристик сигналов, которые во многом проясняют природу не только сигналов в целом, но также и их составляющих.

Вейвлет-преобразование для непрерывного сигнала $x(t)$ относительно вейвлет-функции ψ определяется следующим образом (Rao, Bopardikar, 2008):

$$T(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt,$$

где ψ^* означает комплексное сопряжение к функции ψ , параметр $b \in R$ соответствует временному сдвигу и называется параметром положения, параметр $a > 0$ задает масштабирование и называется параметром растягивания.

Если определить нормированную функцию:

$$\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right),$$

то вейвлет-преобразование можно записать в виде:

$$T(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,b}^* dt.$$

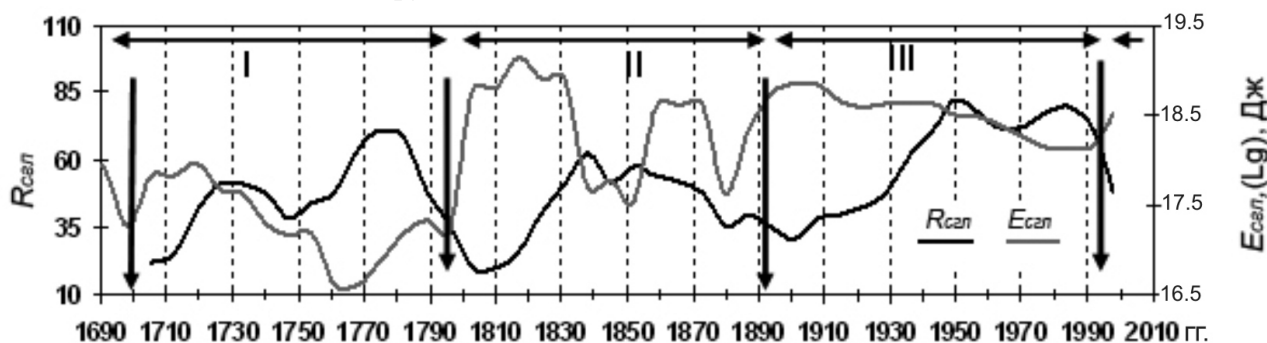


Рис. 2. Динамика солнечной активности и сейсмической активности Земли, представленная сглаженными рядами чисел Вольфа и сейсмической энергии.

Гибкость вейвлет-анализа достигается за счет применения различных функций ψ и, следовательно, различных процедур синтеза вейвлет-спектра сигнала. В соответствии с тем, каким образом формируется базис разложения сигнала (система функций ψ), выделяют неортогональные, ортогональные и биортогональные вейвлет-преобразования. В зависимости от способа представления анализируемых сигналов принято выделять непрерывное и дискретное вейвлет-преобразования.

Предлагаемый здесь метод анализа причинно-следственных связей между процессами основан на неортогональном дискретном вейвлет-преобразовании.

Модель сигналов. Пусть задан набор временных последовательностей $X = \{x_{1..n}\}$ и выдвигается гипотеза о существовании подмножества $X_E = \{x_m | m \subset 1..n\}$ последовательностей («причин»), формирующих исходную последовательность («следствие»), которая также входит в X . Необходимо разработать метод проверки такой гипотезы, учитывая то, что входящие последовательности могут присутствовать в исходной последовательности с произвольным сдвигом и масштабом. Также необходимо учитывать тот факт, что в причинно-следственной связи «следствие» не может предшествовать «причине» по времени.

Аддитивную модель сигнала, соответствующую проверяемой гипотезе, можно представить следующим образом:

$$y(t) = \sum_{i=1}^n w_i e_i(a, b, t), \quad (1)$$

где w_i – соответствует степени влияния сигнала $e_i(a, b, t)$ на результат, а сигналы $e_i(a, b, t)$ представляют собой масштабированные и смещенные сигналы $x_i \in X_E$:

$$e_i(a_i, b_i, t) = x_i \left(\frac{t - b_i}{a_i} \right).$$

Модель (1) является двухуровневой: внутренняя модель описывает преобразования каждого отдельного сигнала x_i , а внешняя – формирование их аддитивной смеси.

Таким образом, для разложения сигнала-«следствия» в базисе сигналов-«причин» необходимо найти такие значения сдвигов b_i и масштабов a_i сигналов x_i , которые максимизируют w_i для всех i .

Определение параметров масштаба и сдвига.

Рассмотрим сначала случай, когда сигналы заданы непрерывной моделью.

Пусть задана некоторая функция $f(z)$, которая формирует последовательность значений выборки x , тогда функция $F(a, b, z)$, которая задает масштабирование и сдвиг по z , принимает

следующий вид:

$$F(z) = f\left(\frac{z - b}{a}\right).$$

Учитывая, что результатом вейвлет-анализа является поверхность, точки которой указывают на «сходство» между вейвлет-функцией и сигналом в заданном интервале, можно использовать в качестве вейвлет-функции одну из тех, которые описывают входящие последовательности. Применим формулу вейвлет-преобразования, заменив дискретные последовательности соответствующими им сигналами с помощью одного из видов интерполяции:

$$\begin{aligned} f(a_k, b_k) &= \sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} w_i x_i \left(\frac{t - b_i}{a_i} \right) x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right) dt = \\ &= w_k \int_{-\infty}^{\infty} w_i x_i \left(\frac{t - \bar{b}_k}{a_i} \right) x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right) dt + w_i \sum_{i=k}^N \int_{-\infty}^{\infty} x_i \left(\frac{t - b_i}{a_i} \right) x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right) dt \end{aligned} \quad (2)$$

В формуле (2) значения \bar{a}, \bar{b} соответствуют тем значениям сдвига и масштаба, с которыми последовательность x_k входит в модель (1). Первое слагаемое в формуле (2) является автокорреляционной функцией (Орлов, 2011), значение которой будет максимальным при условии максимальной «похожести» сигналов $e_k(a_k, b_k, t)$ и $e_k(\bar{a}_k, \bar{b}_k, t)$:

$$\max_k (f(a_k, b_k)) = f(\bar{a}_k, \bar{b}_k).$$

Значения функции (2) можно приближенно вычислить с помощью одной из формул численного интегрирования (Каханер и др., 2011).

В случае применения формулы прямоугольников имеем:

$$\begin{aligned} f(a_k, b_k) &= \sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} w_i x_i \left(\frac{t - b_i}{a_i} \right) x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right) dt \approx \\ &\approx \sum_{i=1}^N \sum_{t=t_{\min}}^{t_{\max}} w_i x_i \left(\frac{t - b_i}{a_i} \right) x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right) \Delta t \end{aligned} \quad (3)$$

где $(t_{\min}; t_{\max})$ – пределы интегрирования, соответствующие области, на которой заданы значения последовательности x_k ; Δt – шаг интегрирования.

Для приведения значений функции f к диапазону $(-1; 1)$ необходимо нормировать значения, вычисленные по формуле (3), разделив их на произведение энергий функций y_i и x_k :

$$f(a_k, b_k)_{norm} = \frac{\sum_{t=t_{\min}}^{t_{\max}} (y_i x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right) \Delta t)}{\sum_{t=t_{\min}}^{t_{\max}} (y_i^2 \Delta t) \sum_{t=t_{\min}}^{t_{\max}} ((x_k \left(\frac{t - b_k}{a_k} \right))^2 \Delta t)} \quad (4)$$

Задача вычисления значений w_k , определяя-

ющих степень влияния сигналов x_k на результат y , может быть решена с помощью реализации последовательной схемы поиска компонент.

На первом шаге по формуле (4) для каждого сигнала $x_k \in X_E$ осуществляется поиск параметров сдвига и масштаба, максимизирующих w_k . На втором шаге выполняется проверка достоверности значений сдвига и масштаба, которая заключается в нахождении коэффициента w_k с помощью линейной регрессии. На третьем шаге осуществляется вычитание сигнала $e_k(a_k, b_k, t)$ из y . При этом x_k остается в списке исходных последовательностей-«причин», благодаря чему можно обнаружить такие эффекты влияния как «эхо».

Применение предложенного метода для анализа периодических сигналов требует уточнения, связанного с выбором и согласованием размеров временных окон, в пределах которых исследуются сигналы. Окном будем называть отрезок входного сигнала, который включает в себя ровно один период. Теперь задача сравнения последовательностей будет заключаться в сравнении окна входного сигнала с применением к нему соответствующих преобразований с окном выходного сигнала.

Для определения размера окна могут быть применены средства спектрального анализа на основе преобразования Фурье. (Павлейно, Ромаданов, 2007). Однако, в том случае, когда сигнал плохо аппроксимируется гармоническими функциями, такой способ определения

размера окна может давать ошибочный результат. Решение задачи определения размера окна для таких сигналов может основываться на анализе их вейвлет-разложения в ортонормированном базисе вейвлет-функций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предложенный метод реализован в системе обеспечения жизненного цикла данных для научных исследований, разрабатываемой Мировым центром данных «Геоинформатика и устойчивое развитие» Украины <http://wdc.org.ua> (Болдак, Єфремов, 2012). Результаты, полученные с помощью разработанных программных средств, представлены далее.

Вейвлет-анализ столетнего ряда чисел Вольфа позволил отчетливо выделить известные 11-летние солнечные циклы (рис. 3). На результате анализа ряда чисел Вольфа длительного периода времени отчетливо прослеживаются циклы длительностью приблизительно в 100 лет (рис. 4а). Такие же циклы видны на срезе графика вейвлет-коэффициентов для коэффициента, равного 20 (рис. 4б).

На графике 5а показано, что аналогично солнечной активности, сейсмическая активность имеет цикл. Расстояние между двумя первыми максимумами около 100 лет. Третий максимум менее достоверный, потому, что третий период еще не закончился и вейвлет-функция не полно-

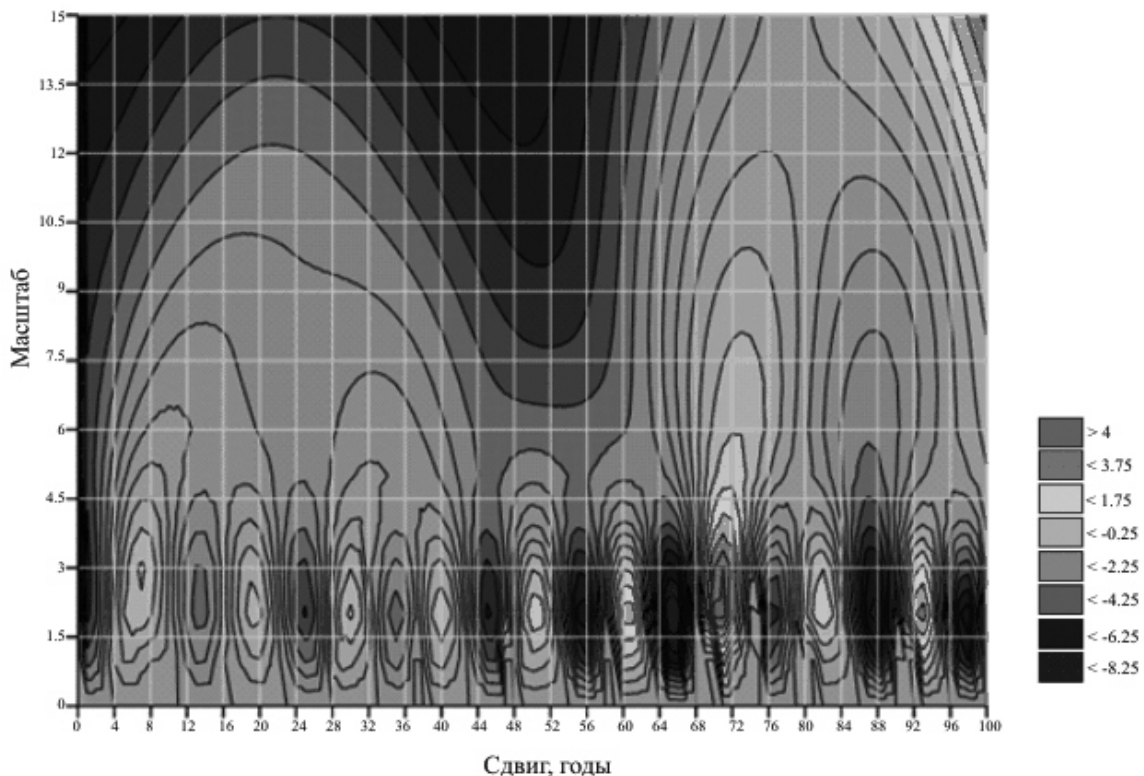


Рис. 3. Результат вейвлет-анализа чисел Вольфа за период 1890-2012 гг.

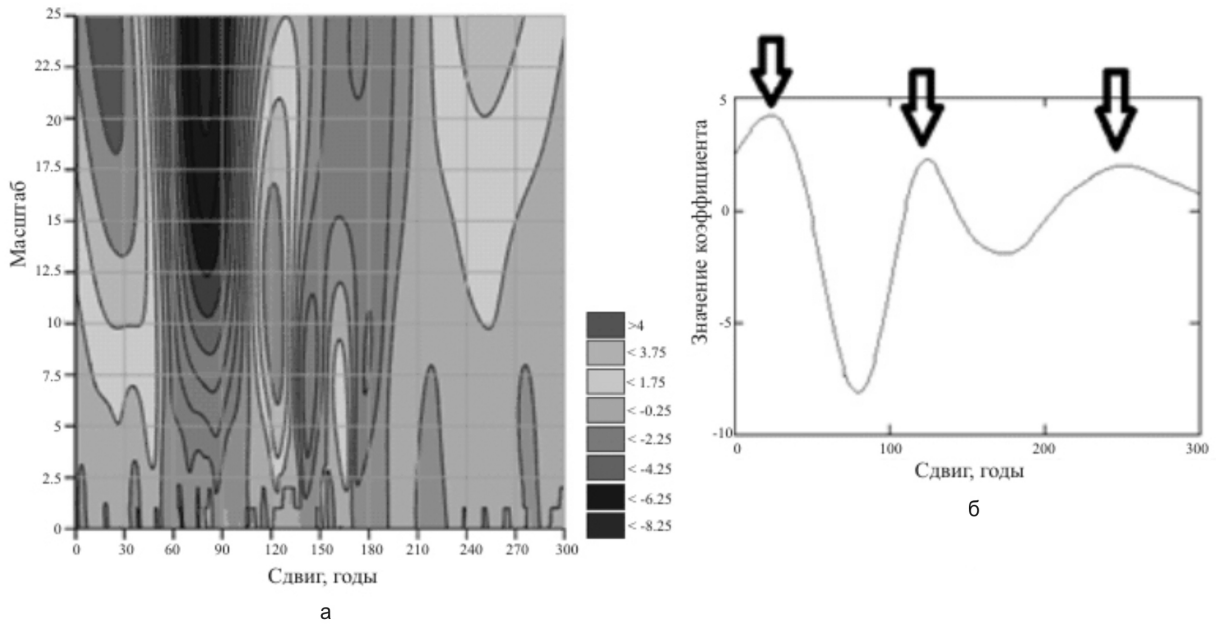


Рис. 4. Анализ ряда солнечной активности на периодичность (1705-2012 гг.): *а* – расписание функции с помощью вейвлет-преобразования; *б* – срез графика для масштаба 20.

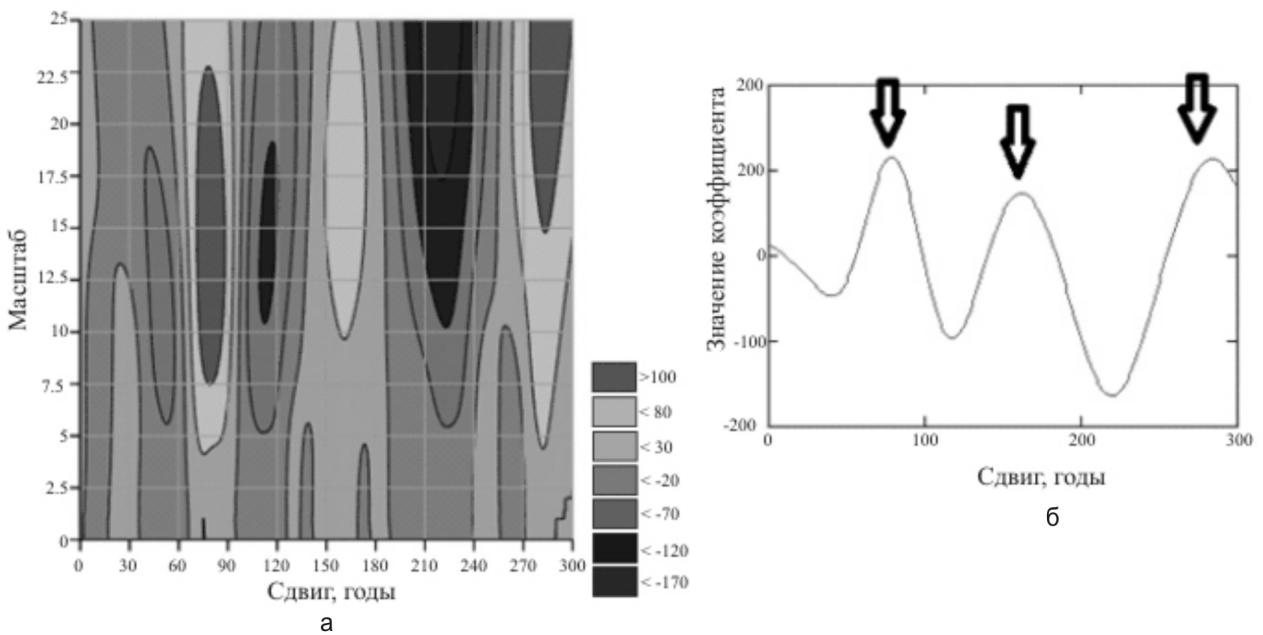


Рис. 5. Анализ ряда сейсмической активности на периодичность (1705-2012 гг.): *а* – расписание функции с помощью вейвлет-преобразования; *б* – срез графика для масштаба 20.

стью пересекается с этим периодом, возникает краевой эффект.

На срезе графика вейвлет-коэффициентов для такого же значения коэффициента, как и для чисел Вольфа, тоже видны циклы сейсмической активности с периодом около 100 лет (рис. 5б). Сравнение рис. 4б и 5б показывает, что максимумам солнечной активности можно поставить в соответствие минимумы сейсмической активности и наоборот. Это подтверждается также результатами расчета коэффициента корреляции (рис. 6).

Таким образом, в системе Солнце-Земля

существует общий вековой цикл, имеющий свои особенности как на Солнце, так и на Земле. На Солнце в начале цикла активность незначительная, затем она постепенно увеличивается. На Земле, наоборот, в начале цикла сейсмичность максимальна, затем она постепенно уменьшается. Об отрицательной корреляции сейсмичности Земли с солнечной активностью свидетельствует значение коэффициента корреляции $r \approx -0.78$, которое достигается при смещении ряда сейсмической активности относительно ряда солнечной активности на три года.

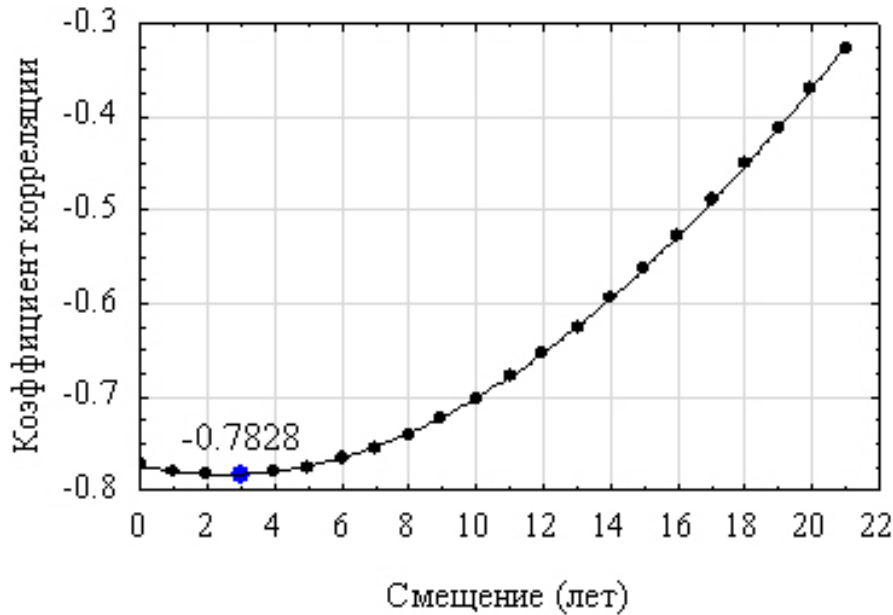


Рис. 6. Зависимость коэффициента корреляции от смещения временных рядов солнечной и сейсмической активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод позволил выделить 11-летние циклы солнечной активности на ряде чисел Вольфа за период 1890-2012 гг. и на ряде чисел Вольфа за период 1705-2012 гг., что подтверждает достоверность данного метода. В то же время, нельзя говорить об 11-летней периодичности сейсмичности Земли на ряде значений выделившейся сейсмической энергии за период 1890-2012 гг.

На ряде чисел Вольфа и на ряде значений сейсмической энергии за период 1705-2012 гг. выделены циклы длительностью около 100 лет — вековые циклы солнечной активности и сейсмичности Земли. Максимумы и минимумы циклов сейсмической активности Земли не совпадают по времени с максимумами и минимумами солнечной активности. Установлена отрицательная корреляция сейсмичности Земли с солнечной активностью. Значение коэффициента корреляции равно:

$$r \approx -0.78.$$

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-01-90418-Укр_а) и Национальной академии наук Украины (2268/12, 2268/13).

Список литературы

Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П. О взаимосвязях эндогенной активности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // ДАН. 2009. Т. 428. № 1. С. 104-108.

Болдак А.О., Ефремов К.В. Предметно-ориентована мова аналітичної обробки даних // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. К.: Век+, 2012. № 55. С. 46-54.

Згуровский М.З., Болдак А.А., Ефремов К.В. и др. Применение методов интеллектуального анализа данных для эмпирических исследований взаимосвязи гелио- и геофизических процессов // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. 2013. № 58. С. 4-10.

Касахара К. Механика землетрясений. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 264 с.

Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение. М.: Мир, 2011. 575 с.

Лоцинская Н.И. Связь глобальной энергии землетрясений с солнечной активностью // Вестник Киевского университета. Серия астрономия. 1999. Вып. 35. С. 45-50.

Одицов С.Д., Иванов-Холодный Г.С., Георгиева К. Солнечная активность и глобальная сейсмичность Земли // Известия РАН. Серия физическая. 2007. Т. 71. № 4. С. 608-610.

Орлов А.И. Прикладная статистика. М.: Издательство «Экзамен», 2011. 425 с.

Павлейно М.А., Ромаданов В.М. Спектральные преобразования в MatLab. СПб., 2007. 160 с.

Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.

Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. 1998. № 7. С. 85-89.

Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнеч-

- ной активностью // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1989. № 2. С. 13-30.
- Сытинский А.Д.* Зависимость сейсмичности Земли от процессов на Солнце, в межпланетной среде и в атмосфере // Атлас временных вариаций природных антропогенных и социальных процессов. М.: Научный Мир, 1998. Т. 2. С.70-72.
- Шестопалов И.П., Харин Е.П.* Изменчивость во времени связей сейсмичности Земли с циклами солнечной активности различной длительности // Геофизический журнал. 2006. Т. 28. № 4. С. 59-70.
- Boashash B.* Time-Frequency Signal Analysis and Processing. A Comprehensive Reference / Oxford, UK: Elsevier Science, 2003. 771 p.
- Georgieva K., Kirov B., Atanasov D.* On the relation between solar activity and seismicity on different time scales // Journal of Atmospheric Electricity. 2002. V. 22. № 3. P. 291-300.
- Gousheva M.N., Georgieva K.Y., Kirov B.B., Atanssov D.* On the relation between solar activity and seismicity // Proceedings of International Conference on Recent Advances in Space Technologies, 20-22 November 2003. P. 236-240.
- Rao R.M., Bopardikar A.S.* Wavelet Transforms: Introduction to Theory & Applications. Upper Saddle River, New Jersey, US: Prentice Hall PTR, 2008. 336 p.
- Rothe J.P.* The seismicity of the Earth 1953-1965 Paris: UNESCO. 1969. 336 p.
- Simpson I.F.* Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes // Earth and Planet. Sci. Letter. 1968. V. 3. № 5. P. 417-425.

INVESTIGATION OF RELATION BETWEEN THE SUN ACTIVITY AND THE EARTH SEISMIC ACTIVITY USING THE WAVELET TRANSFORMATION

**N.A. Sergeyeva¹, I.P. Shestopalov¹, L.P. Zabarinskaya¹,
M.V. Nisilevich¹, M.Z. Zgurovsky², A.A. Boldak², K.V. Efremov²**

¹*The Geophysical Center RAS, Moscow, 119296*

²*The Institute of Applied System Analysis, Kyiv, 03056*

The paper presents research of relation between solar activity provided by Wolf number series and the Earth seismic activity expressed by the amount of energy released during the earthquakes over the long periods of 1890-2012 and 1705-2012. The paper includes the results of experimental study of processes achieved using the wavelet transformation.

Keywords: solar activity, Earth seismicity, wavelet analysis, non-orthogonal bases.