



Общероссийский математический портал

А. Б. Тристанов, П. П. Фирстов, Н. А. Жукова, Сегментация связанных временных рядов на примере объемной активности радона и атмосферного давления, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2010, выпуск 1(1), 62–67

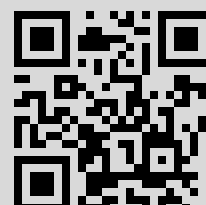
DOI: <http://dx.doi.org/10.18454/2079-6641-2010-1-1-62-67>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением  
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 77.82.199.43

20 июля 2016 г., 05:02:03



УДК 519.688

## **СЕГМЕНТАЦИЯ СВЯЗАННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

**А.Б. Тристанов<sup>1,2</sup>, П.П. Фирстов<sup>1,2</sup>, Н.А. Жукова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Камчатский филиал Геофизической службы РАН, 683036,  
г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

<sup>2</sup> Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032,  
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени  
В.И. Ульянова (Ленина), 197376, г. Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, 5

E-mail: alextristanov@mail.ru

Изложены результаты применения метода сегментации связанных временных рядов на основе теста Грейнджера к сигналам объемной активности радона и атмосферного давления.

*Ключевые слова: интеллектуальный анализ временных рядов, сегментация, объемная активность радона*

© Тристанов А.Б., Фирстов П.П., Жукова Н.А., 2010

MSC 62N86

## **SEGMENTATION OF RELATED TIME SERIES BY THE EXAMPLE OF RADON VOLUMETRIC ACTIVITY AND ATMOSPHERE PRESSURE**

**A.B. Tristanov<sup>1,2</sup>, P.P. Firstov<sup>1,2</sup>, N.A. Zhukova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Kamchatkan experimental & methodical seismological department, Geophysical service,  
RAS, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 683036, Pijpa st., 9, Russia

<sup>2</sup> Kamchatka State University by Vitus Bering, 683032, Petropavlovsk-Kamchatskiy,  
Pogranichnaya st., 4, Russia

<sup>3</sup> Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 197376, St. – Petersburg,  
Popova st., 5, Russia

E-mail: alextristanov@mail.ru

This paper is devoted to the results of using related time series segmentation method based on Grager test to the radon volumetric activity and atmosphere pressure signals.

*Key words: time series data mining, segmentation, radon volumetric activity*

© Tristanov A.B., Firstov P.P., Zhukova N.A., 2010

## Введение

В настоящее время отмечается большой интерес к анализу временных рядов как источнику, как правило, косвенных данных о процессах в исследуемых системах. Важной задачей обработки временных рядов является нахождение участков временных рядов, обладающих постоянными свойствами, и выявление закономерностей в их изменениях.

Проблема сегментации заключается в построении детектора, обеспечивающего выявление момента изменения свойств временного ряда. Как правило, эта задача решается анализом некоторой функции самого сигнала. В большинстве случаев данный метод дает неплохие результаты. Тем не менее интересен другой подход, заключающийся в сегментации не только по исследуемому временному ряду, но и с учетом других рядов, оказывающих на него влияние. В настоящей работе предпринята попытка решить задачу сегментации ряда объемной активности радона по данным атмосферного давления.

Известно, что большое влияние на наблюдаемые данные объемной активности радона (ОА Rn) и, как следствие, на ее характеристики, такие как плотность потока (ППР), оказывают метеопараметры. Целью настоящей работы является оценка влияния атмосферного давления на ППР.

Гипотеза исследования заключается в наличии причинно-следственной связи между изменениями атмосферного давления и ОА Rn. Для оценки этой связи предлагается применить тест Грейнджера с анализом улучшения прогноза процесса при помощи линейной системы под управлением другого процесса по сравнению с моделью авторегрессии.

Данная методика применяется в исследовании связи между сложными процессами в медицине, экономике, а также в науках о Земле [2].

## Экспериментальный материал

В работе используются данные, полученные в районе Паратунской гидротермальной системы. В ноябре 1997 г. начала работать станция мониторинга подпочвенного радона, которая расположена в узкой долине ручья Коркино. В 700 м от станции, ниже по течению ручья, находятся естественные выходы термальных вод с содержанием растворенного радона до 1500 Бк/м<sup>3</sup>. Регистрация на станции Паратунка ведется в двух разноглубинных точках. Точка 1 расположена на подрезанном склоне долины ручья Коркино, на глубине 1 м от дневной поверхности. Точка 2 удалена на 25 м от первой точки по направлению к ручью и находится на 1 м выше дна бункера глубиной в 3 м, вырытого в глинисто-аллювиальных отложениях речной долины.

## Методика обработки

### Используемые модели

Будем рассматривать «черный ящик», на вход которого поступает «управляющее» воздействие – атмосферное давление, а на выходе имеем реакцию – объемную активность радона. Соотношение вход–выход данной системы будет иметь вид:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n-k) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k) + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $y(n)$  – значения объемной активности радона;  $x(n)$  – значения атмосферного давления;  $\varepsilon$  – ошибка.

Наличие ошибки  $\varepsilon$ , очевидно, следует из невозможности учесть все параметры, влияющие на процесс генерации радона.

С другой стороны, может быть рассмотрена модель авторегрессии, не учитывающей, в отличие от первой модели, в явной форме влияния атмосферного давления. Тогда данная модель будет иметь вид:

$$y(n) = \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k) + \eta. \quad (2)$$

Обе модели могут быть рассмотрены в терминах передаточных функций, т. е.

$$H_{XY}(z) = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} b_k z^k}{\sum_{k=0}^{M-1} a_k z^k} - \text{передаточная функция модели процесса } Y \text{ под управлением } X;$$

$$H_Y(z) = \frac{1}{\sum_{k=0}^{M-1} a_k z^k} - \text{передаточная функция модели авторегрессии процесса } Y.$$

Идентификация обеих моделей (определения коэффициентов) происходит методом наименьших квадратов путем минимизации ошибки прогноза.

Данные модели хорошо изучены, например, в работе [2].

### Тест причинности по Грейнджеру

Будем считать, что процессы  $X$  и  $Y$  связаны между собой, если имеет место существенное отличие от нуля коэффициентов  $b_k$ . Для этого строят уравнение авторегрессии процесса  $Y$  и полное уравнение с учетом влияния процесса  $X$ , после чего сравнивают остаточные суммы по  $F$ -статистике.

Относительным улучшением прогноза называют величину

$$P_{X \rightarrow Y} = \frac{\sigma_{XY}^2 - \sigma_X^2}{\Omega_X^2},$$

где  $\sigma_Y^2, \sigma_{XY}^2$  – дисперсии ошибок оптимальных моделей авторегрессии и управляемой модели соответственно;  $\Omega_X^2$  – дисперсия процесса  $X$ .

Отметим, что тест Грейнджера не гарантирует наличие причинно-следственной связи при положительном прохождении теста, но гарантирует ее отсутствие в противоположном случае.

## Алгоритм обработки

Вначале выполнялась предобработка сигналов ОА R<sub>n</sub> и атмосферного давления, а именно приведение их к одинаковой частоте дискретизации (8 отсч./сут), заполнение пропусков, центрирование и нормирование.

Все расчеты велись в скользящем окне, длительностью 10 суток, с шагом 1 сутки.

Для каждого окна рассчитывались коэффициенты моделей 1, 2 и определялись остаточные ошибки прогноза, по которым вычислялась величина его улучшения. Далее определялась *F*-статистика.

Вычисления проводились для обоих рядов, регистрируемых на станции ПРТ.

## Результаты и обсуждения

Вопросу зависимости баровариаций и ОА R<sub>n</sub> посвящены работы П.П. Фирстова и др. [3], в которых построена математическая модель данной зависимости. Тем не менее, несмотря на очевидную связь между атмосферным давлением и эманацией радона, следует отметить, что в зависимости от состояния среды атмосферное давление может оказывать исчезающе малое воздействие, чем другие факторы, например напряженно-деформированное состояние среды.

Предпосылки для определения порядков моделей следующие:

- на ОА R<sub>n</sub> влияют вариации давления длительностью не более суток;
- задержка реакции радона на изменение давления составляет не более нескольких часов;
- авторегрессионная (обратная связь) часть (1) имеет порядок не более 6.

Ограничения на порядок моделей оказывает и размер окна, используемый при обработке.

На рис. 1 показаны рассчитанная оценка уровня значимости критерия Грейнджера, ОА R<sub>n</sub> и значения атмосферного давления; отмечены сегменты, на которых отсутствует значимая связь между ОА R<sub>n</sub> и давлением.

Рис. 1. Оценка уровня значимости критерия Грейнджера для ОА R<sub>n</sub> и атмосферного давления с 01.11.2003 г. по 31.10.2004 г.

Далее приведены значения оценки уровня значимости критерия Грейнджера, рассчитанные для 2000-2007 гг. для точки R<sub>1</sub> (рис. 2) и R<sub>2</sub> (рис. 3).

Отметим, что учет атмосферного давления для точки R<sub>2</sub> не оказывает, как правило, значительного влияния на качество прогноза в отличие от точки R<sub>1</sub>. Подчеркнем, что наличие значимого влияния показывает: включение в прогнозную модель ряда членов, отвечающих за атмосферное давление, уменьшает дисперсию ошибки, а не свидетельствует о наличии причинно-следственной связи. О наличии такой связи можно судить исходя из физических гипотез.

К сожалению, экспериментальный материал для данного исследования не обладает достаточным качеством в том смысле, что в дальнейшем следует проводить синхронные наблюдения ОА R<sub>n</sub> и давления в одной точке, дабы не вносить дополнительные погрешности в процессе искусственной синхронизации.

В настоящей работе показано, что, несмотря на очевидные факты физической связи атмосферного давления и ОА R<sub>n</sub>, статистическая значимость данной связи в отношении улучшения прогноза поведения ряда различна. Кроме того, обнаружены моменты отсутствия такой связи в некоторые периоды времени.

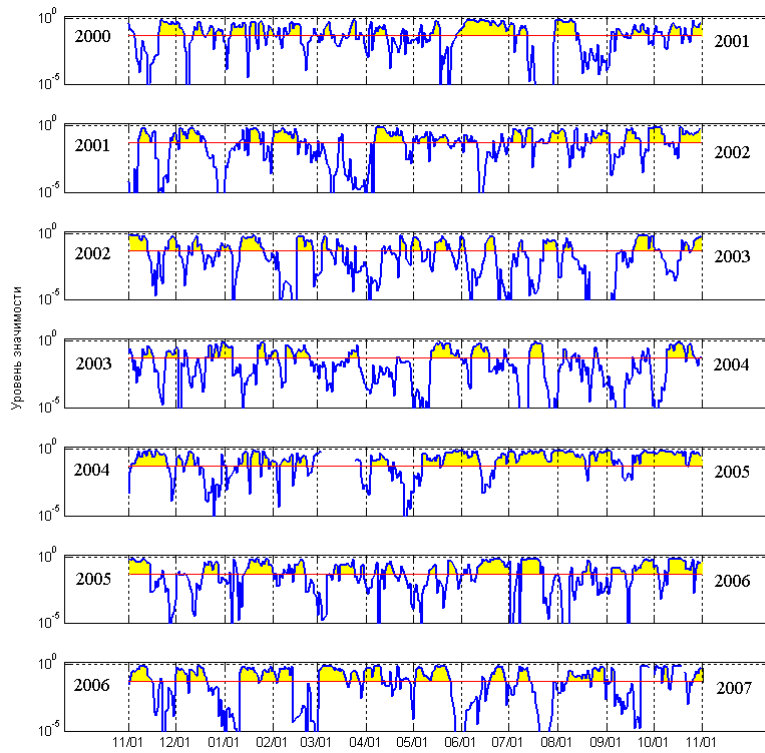


Рис. 2. Значимость оценки критерия Грейнджера для ОА  $R_n$  за 2000–2007 гг. в  $R_1$

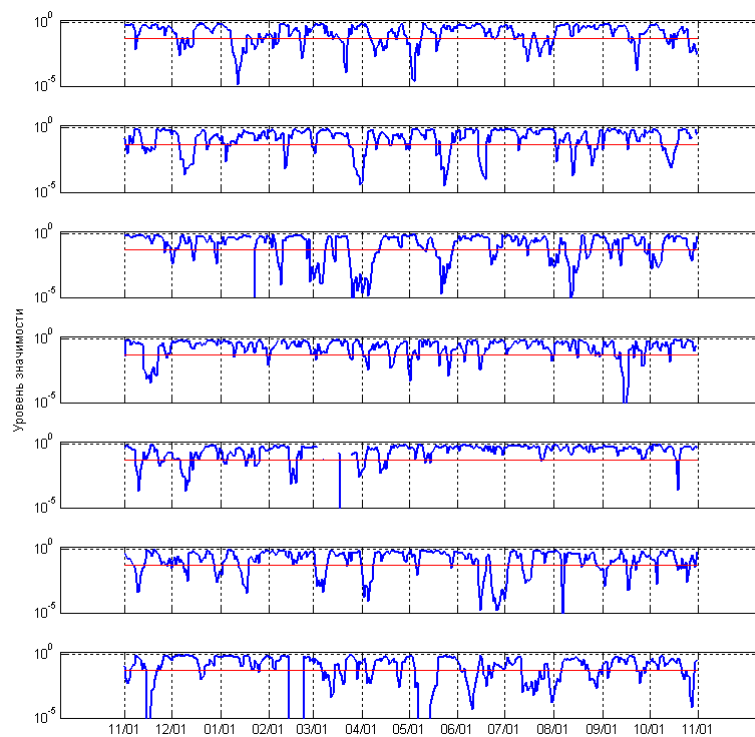


Рис. 3. Значимость оценки критерия Грейнджера для ОА  $R_n$  за 2000–2007 гг. в  $R_2$

## Библиографический список

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление / пер. с англ. М.: Мир, 1974.
2. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Диагностика причинно-следственной связи солнечной активности и изменений глобальной приповерхностной температуры Земли // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. №. 3. С. 283–293.
3. Фирстов П.П. [и др.] К вопросу о влиянии баровариаций на поступление радона в атмосферу // Вулканология и сейсмология. 2007. № 6. С. 46–53.
4. Фирстов, П.П., Рудаков В.П. Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997–2000 гг. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 1–16

Поступила в редакцию / Original article submitted: 17.11.2010