

УДК 519.254

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Паровик Р.И.^{1,2}, Фирстов П.П.^{1,3}

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

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

³ Камчатский филиал геофизической службы РАН, 683036, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

E-mail: romanparovik@gmail.com

В работе рассмотрен один из этапов предпрогнозного анализа временных рядов, основанный на разложении их фазового портрета по квазициклам на примере временного ряда объемной активности радона (ОА Rn).

Ключевые слова: фазовый портрет, квазициклы, временной ряд, габаритный прямоугольник

© Паровик Р.И., Фирстов П.П., 2013

MSC 37M10

PHASE ANALYSIS OF TIME SERIES OF GEOPHYSICAL FIELDS

Parovik R.I.^{1,2}, Firstov P.P.^{1,3}

¹ Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7

² Kamchatka State University by Vitus Bering, 683032, Petropavlovsk Kamchatskiy, Pogranichnaya st, 4, Russia

³ Kamchtkan experimental and methodical seismological department, Geophysical service RAS, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 683036, Pijpa st.,9, Russia.

E-mail: romanparovik@gmail.com

In this paper we consider one of the stages predprognoznogo time series analysis, based on the decomposition of the phase portrait on the example quasicycle time-series radon.

Key words: phase portrait, quasicycles, time series, bounding box

© Parovik R.I., Firstov P.P., 2013

Введение

Известно, что природные временные ряды (ВР), как правило, обладают «памятью» – значение наблюдаемого уровня ВР зависит от значений предшествующих ему уровней, количество которых определяет глубину памяти [1],[2]. Память ВР, в свою очередь, связана с его фрактальной размерностью. Поэтому иногда классические корреляционно-регрессионные модели ВР могут обладать слабой адекватностью и приходится применять другие методы анализа. Количественную оценку глубины памяти ВР можно определить, например, с помощью фрактального анализа (последовательного R/S анализа) или можно использовать теорию нелинейной динамики, исследуя фазовый портрет ВР [3],[4].

В работе рассмотрен фазовый анализ на примере ВР ОА Рп. В качестве наблюдаемых уровней ВР выступают дневные значения ОА Рп за июль 2010 года на станции «Карымшина» (река Карымшина), расположенной на Петропавловско-Камчатском геодинамическом полигоне. Необходимо отметить, что в этот период (30 июля) произошло сильное землетрясение с $M=6.3$ [5].

Методика анализа

Для обозначения этого ВР будем использовать следующую запись $X = \langle x_i \rangle$, где $i = 1, 2, \dots, n$, а $n = 795$ и x_i – значения ОА Рп. Представим ВР графически (рис.1).

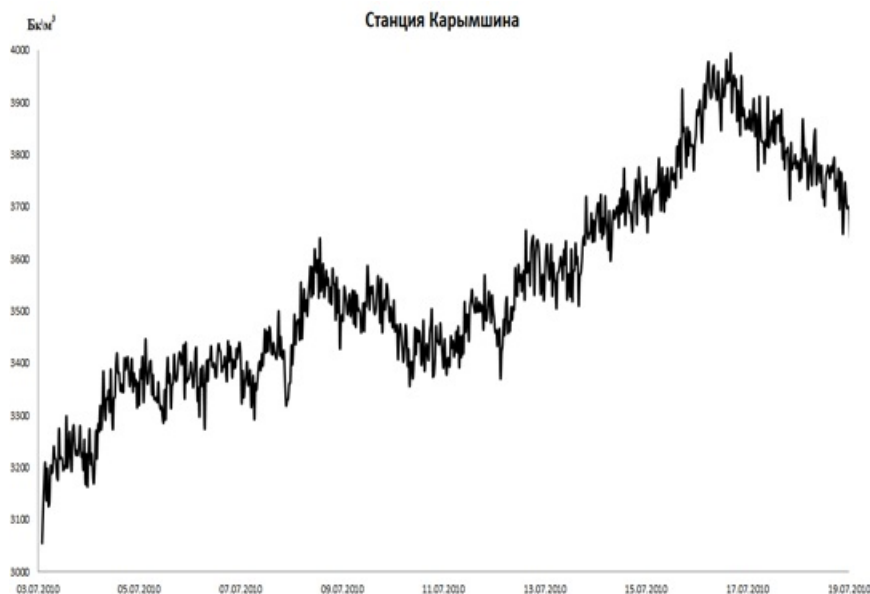


Рис. 1. Временной ряд ОА Рп (ст. Карымшина июль, 2010)

В ходе моделирования ВР с помощью нелинейной динамики возникает вопрос о существовании в его фазовой траектории странного аттрактора. Обычно для ответа на этот вопрос используют различные алгоритмы или тесты: например, вычисление корреляционной размерности, К-энтропии и т.д. Однако эти методы обладают высокой вычислительной сложностью, и поэтому прибегают к графическим методам. Одним из них является тест Гилмора [1] суть, которого заключается в обнаружении неустойчивых квазипериодов в странном аттракторе. Квазипериоды определяются с помощью разложения фазового портрета на квазициклы.

Построение фазового пространства для ВР зависит от его размерности ρ . Размерность должна быть не менее, чем размерность аттрактора наблюдаемого ряда. С другой стороны, размерность аттрактора можно оценить с помощью фрактальной размерности, которая вычисляется по формуле $D = 2 - H$, где H – показатель Херста. Так как показатель Херста удовлетворяет неравенству $0 < H < 1$, то фрактальная размерность $D < 2$ и $\rho = 2$. Поэтому фазовое пространство будет задаваться так: $\Phi(X) = \{(x_i, x_{i+1})\}, i = 1, 2, \dots, n - 1$. Для нашего ВР фазовый портрет представлен на рис.2.



Рис. 2. Фазовый портрет ВР ОА RN

Можно заметить, что фазовая траектория для этого ВР имеет тенденцию к возрастанию. Фазовый анализ ВР будет заключаться в разложении его фазового портрета на квазициклы – звенья, соединяющие соседние точки (x_i, x_{i+1}) , (x_{i+1}, x_{i+2}) , при этом большое значение имеет характер их вращения. Начальная и конечная точки квазицикла могут не совпадать. Допускается самопересечения начального и конечного звеньев, если это обеспечивает наилучшее приближение начальной и конечной точек.

В работе было определено 155 квазициклов для ВР X , некоторые из них приведены на рис.3.

На рис.3 представлены некоторые квазициклы ВР с габаритными прямоугольниками (числами отмечены уровни ВР, входящие в соответствующие квазициклы), точки пересечения их диагоналей определяют центры вращения соответствующих квазициклов, а значения точек – направление вращения.

В большинстве случаев квазициклы вращаются по часовой стрелке (рис.3), но существуют квазициклы с вращением против часовой стрелки. Как показали несложные расчеты, их доля составляет около 13%. Необходимо отметить, что большинство таких «аномальных» квазициклов имеют длину равную 3, т.е. минимальную глубину памяти.

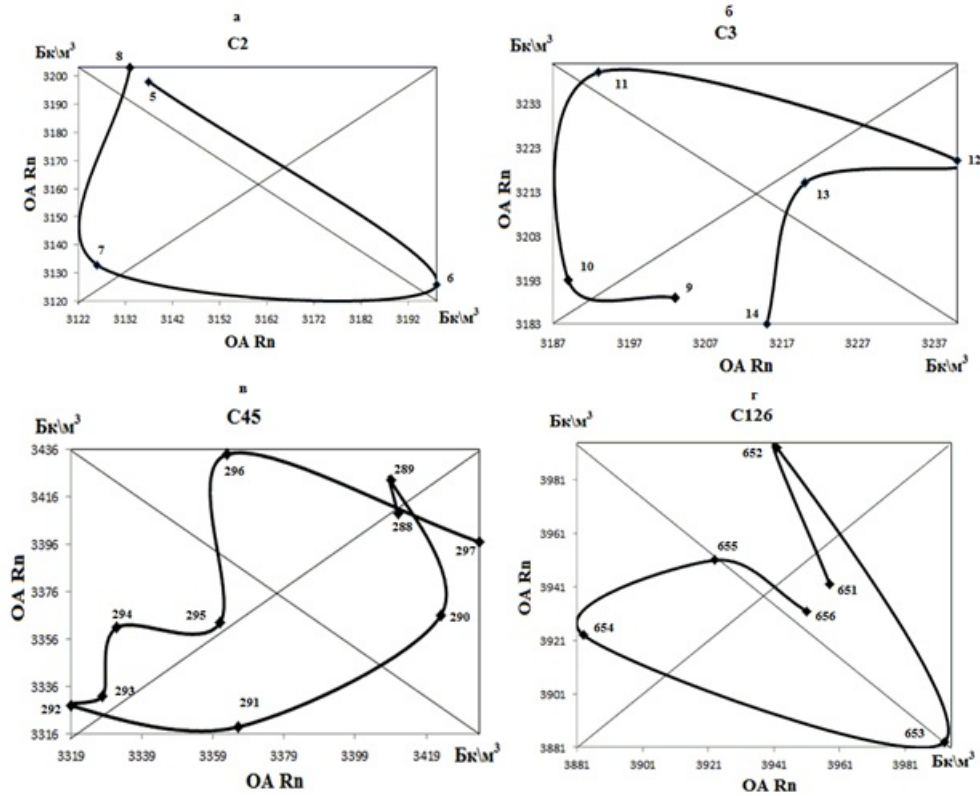


Рис. 3. Некоторые квазициклы фазового портрета ВР: а – 2-й квазицикл длиной 4; б – 3-й квазицикл длиной 6; в – 45-й квазицикл длиной 10; г – 126-й квазицикл длиной 6

На рис. 4 представлено распределение частот длин квазициклов фазового портрета ВР.

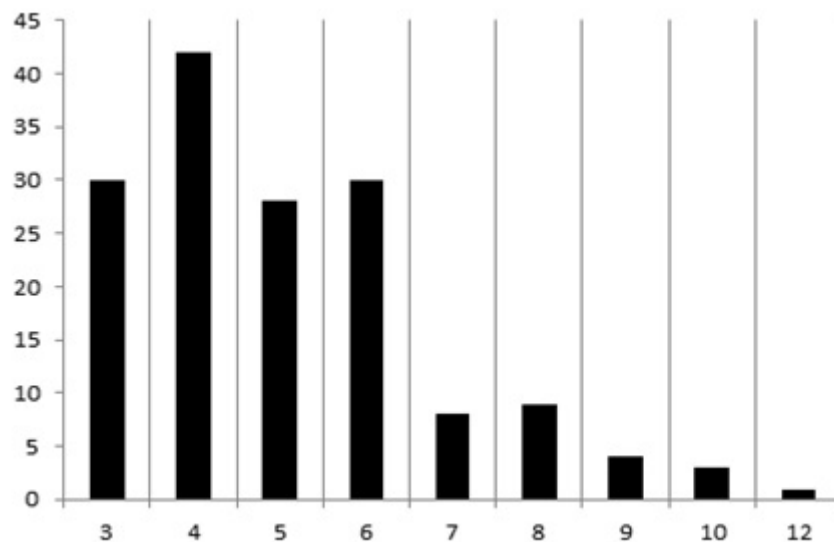


Рис. 4. Гистограмма частот длин квазициклов фазового портрета ВР

Как следуют из рис. 4, в фазовом портрете ВР преобладают квазициклы длиной 3, 4, 5 и 6, что указывает на устойчивые эффекты памяти ВР. Следуя работе

[4], рассмотрим дрейф центров квазициклов (рис. 5а), а также их полупериметров габаритных прямоугольников (рис. 6).

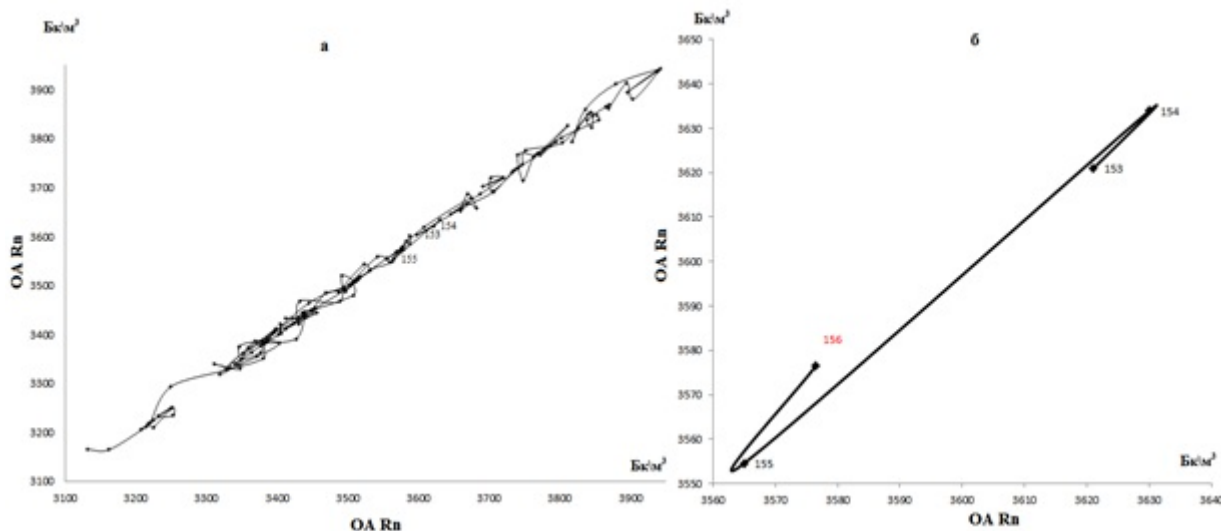


Рис. 5. Фазовая траектория дрейфа центров квазициклов фазового портрета ВР (а) и ее фрагмент со следующим наблюдаемым уровнем (б)

Из рис. 5а можно сделать вывод о том, что координаты центров квазициклов возрастают и убывают, при этом их дрейф происходит вдоль биссектрисы координатного угла. Например, траектория 153-154-155, здесь значения определяют номера центров квазициклов фазового портрета ВР.

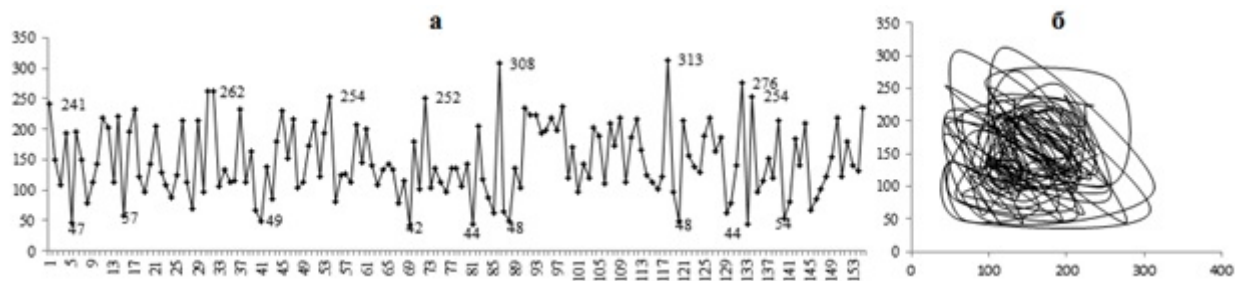


Рис. 6. Динамика полупериметров габаритных прямоугольников квазициклов фазового портрета ВР (а) и их фазовая траектория (б)

На рис. 6а представлена кривая изменения полупериметров габаритных прямоугольников квазициклов, числами отмечены некоторые максимальные и минимальные значения. Можно отметить, что максимальные значения полупериметров в основном приходятся на квазициклы с большей глубиной памяти, а минимальные значения – с меньшей глубиной памяти.

Например, для квазицикла C_{118} глубина памяти составляет 6 значений, а значение полупериметра габаритного прямоугольника – 313; для квазицикла C_{86} глубина памяти – 8, а значение полупериметра – 308; для квазицикла C_{133} глубина памяти – 3, значение полупериметра – 44; для квазицикла C_{41} глубина памяти – 3, значение полупериметра – 49.

Фазовый портрет полупериметров квазициклов (рис. 6б) содержит странный аттрактор, что соответствует хаотическому процессу.

В результате предпрогнозного анализа ВР ОА Рп можно сделать следующие выводы:

1. Дрейф центров квазициклов происходит вдоль биссектрисы координатного угла.
2. Большинство квазициклов вращаются по часовой стрелке (87%), а квазициклы с аномальным вращением имеют минимальную глубину памяти, равную 3-м значениям.
3. Квазициклы фазового портрета ВР в основном обладают памятью глубиной 4, 5, 6 значений. Последний квазицикл в разложении фазового портрета ВР является завершенным (рис. 7а).

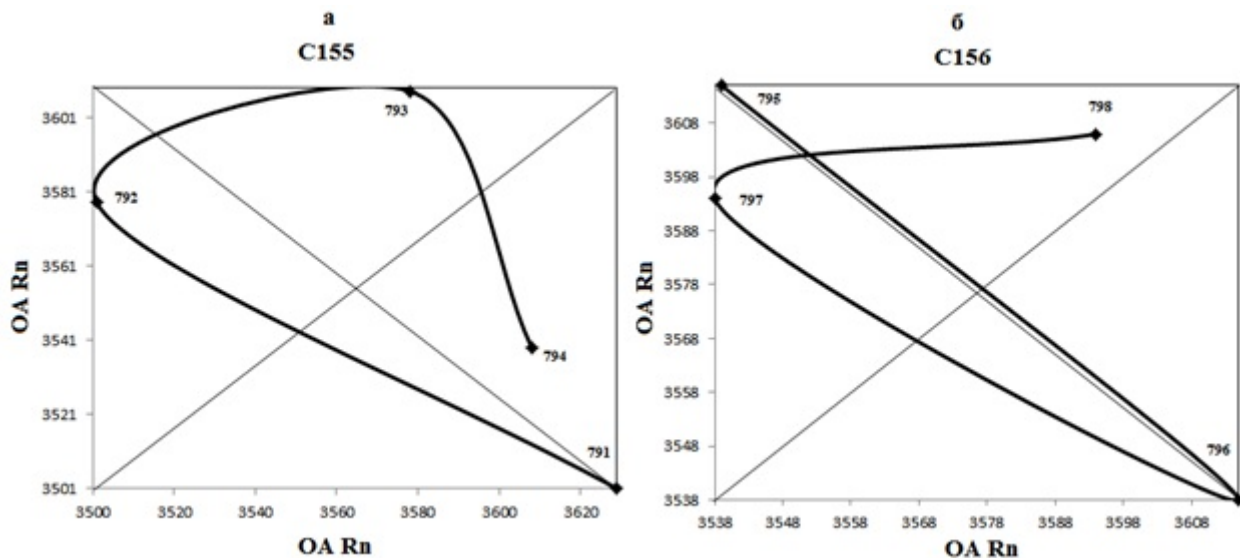


Рис. 7. Квазициклы фазового портрета ВР ОА Рп: а – последний завершённый 155-й квазицикл; б – следующий 156-й квазицикл

Согласно представленным выше выводам можно, сделать рекомендации по прогнозу следующего уровня ВР ОА Рп x_{n+1} :

1. Звено (x_n, x_{n+1}) будет принадлежать квазициклу, который вращается вокруг своего центра по часовой стрелке.
2. Габаритный прямоугольник такого квазицикла согласно рис.6а будет несколько уменьшен.
3. Центр квазицикла будет смещен по направлению к центру 153-го квазицикла.

Следовательно, значение x_{n+1} очередного уровня ВР должно быть больше значения x_n . Действительно для следующего реального значения ОА Рп центр нового 156-го квазицикла смещен к центру 153-го квазицикла, а его полупериметр составит 154 (рис. 5б и 7б). Последнее значение ОА Рп из рассматриваемого ряда $x_n = 3539$ Бк/м³, а следующее за ним – $x_{n+1} = 3615$ Бк/м³.

Заключение

В работе был рассмотрен фазовый анализ ВР ОА Рп, в результате которого мы выдвинули рекомендации относительно следующего наблюдаемого уровня ВР, а также проверили эти рекомендации для следующего реального значения ОА Рп.

Фазовый анализ указывает направление в динамике ВР, поэтому считается предпрогнозным методом. Однако существуют другие предпрогнозные методы: фрактальный анализ и метод нечетких множеств. Поэтому для уточнения результатов исследования ВР есть определенный смысл в их использовании.

С другой стороны, фазовый анализ ВР может дополнить известные классические регрессионно-корреляционные методы исследования ВР, что даст еще больше информации об их динамике с целью прогнозирования сильных землетрясений на Камчатке.

Библиографический список

1. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. М.: Мир, 2000. 333 с.
2. Hurst H.E. Long Term Storage Capacity of Reservoirs // Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1951. V. 116. P. 770-799.
3. Перепелица В.А., Попова Е.В. Фрактальный анализ поведения природных временных рядов // Современные аспекты экономики. 2002. № 9(22). С.185-200.
4. Овчаренко Н.Ф., Джашеева Ф.М. Фазовый анализ экономического временного ряда инвестиций в основной капитал региона // Современные проблемы науки и образования. 2006. №2. С. 16-20.
5. Паровик Р.И., Фирстов П.П., Макаров Е.О. Математическое моделирование объемной активности радона с целью изучения сейсмической активности в районе Южной Камчатки // Доклады АМАН. 2012. Т. 14. №2. С. 60-67.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 20.04.2013