

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

*И.А. Ботыгин, к.т.н., доц. ОИТ ИШИТР,  
Н.П. Шкулов, студент гр. 8ВМ02.  
Томский политехнический университет  
E-mail: nps6@tpu.ru*

## Введение

Целью данной работы является исследование хаотичности температурных временных рядов на основе различных энтропийных оценок и провести их сравнительный анализ на реальных данных. Исходные данные для исследования (временные ряды температуры поверхности почвы в г. Томске за 60 лет наблюдений) были получены из Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (ВНИИГМИ-МЦД). На основе исходного CSV-файла было создано несколько временных рядов с различным шагом дискретизации: полные данные с частотой измерения каждые три часа, данные с частотой одно измерение в день, данные с частотой одно измерение в месяц.

## Выполнение исследования временных рядов

Полученные графики взаимной информации показаны на рисунке 1. Индекс взаимной информации – безразмерная величина, характеризующая зависимость значений между двумя переменными. Её большие значения указывают на высокую зависимость, если же она равна нулю, то переменные являются независимыми [1]. По данным графикам можно видеть, что между различными значениями рядов наблюдается некоторая связь. Так, на первом графике наблюдаются локальные максимумы взаимной информации на каждом восьмом значении лага. Лаг является расстоянием между измерениями. Полученная картина означает, что взаимная информация имеет наибольшие значения между каждым восьмым измерением, то есть в пределах временных отрезков целых дней (так как каждый день выполняется по 8 измерений). Тем не менее, можно видеть, что в целом график является убывающим и на больших дистанциях значения временного ряда имеют всё меньшее количество информации друг о друге.

Это подтверждается вторым графиком, построенном для временного ряда, включающего по одному измерению за каждый день и имеющего выраженный убывающий характер. Тем не менее, на третьем графике можно видеть, что каждые 6 измерений наблюдаются локальные максимумы и минимумы, причем в целом график остается на одном и том же уровне. На данном графике 6 измерений – это отрезок времени в полгода, то есть отрезок, за который температура почвы изменяется от минимального до максимального значения (или наоборот). Поэтому можно сделать вывод, что имеется некоторая связь, соединяющая значения, разделенные временным отрезком в 1 год (расстояние между двумя максимумами), и вызванная сезонной составляющей.

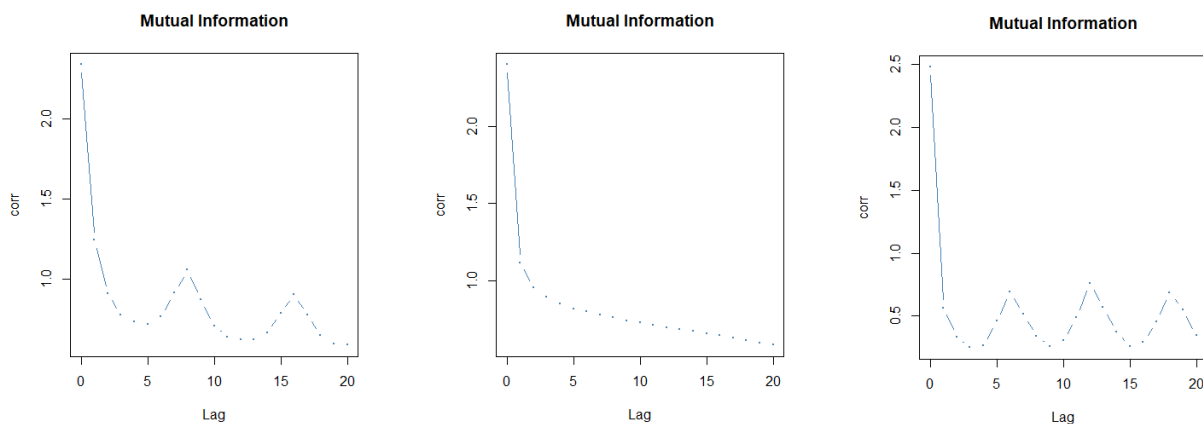


Рис. 1. Графики взаимной информации

На рисунке 2 представлены графики показателя Ляпунова [2]. По ним можно сделать вывод: несмотря на то, что графики и имеют различный вид, но, в целом, принимаемые значения довольно схожи, вне зависимости от периодичности измерений в соответствующих временных рядах. При этом,

все эти значения являются положительными. Соответственно, возможно предположить хаотичный характер всех трех исследуемых рядов.

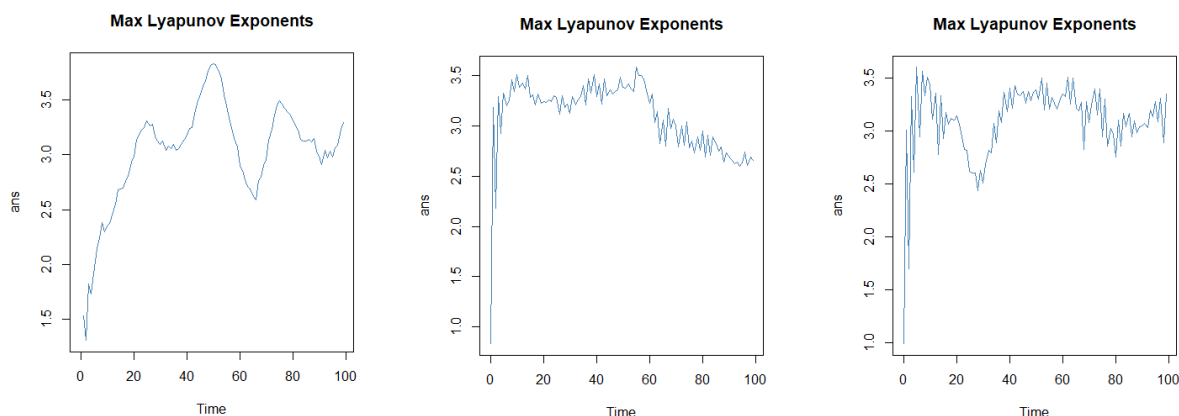


Рис. 2. Графики максимального значения показателя Ляпунова

Результаты использования теста Teraesvirta Neural Network Test (tnnTest) представлены на рисунке 3. В этом тесте используется разложение функции активации в ряд Тейлора для получения подходящей статистики [3]. Для всех трех временных рядов можно видеть, что значения из раздела Statistics, вычисленные тестом, значительно превышают критерий Фишера и критерий хи-квадрат. То есть, следует отвергнуть нулевую гипотезу, заключающуюся в линейности исследуемых рядов.

<p>Test Results:  PARAMETER:  lag: 1  m df: 2  t-lag-m df: 159566  STATISTIC:  Chi-squared: 7156.0563  F: 3659.4027  P VALUE:  Chi-squared: &lt; 2.2e-16  F: &lt; 2.2e-16</p>	<p>Test Results:  PARAMETER:  lag: 1  m df: 2  t-lag-m df: 159566  STATISTIC:  Chi-squared: 7156.0563  F: 3659.4027  P VALUE:  Chi-squared: &lt; 2.2e-16  F: &lt; 2.2e-16</p>	<p>Test Results:  PARAMETER:  lag: 1  m df: 2  t-lag-m df: 662  STATISTIC:  Chi-squared: 50.5338  F: 26.1333  P VALUE:  Chi-squared: 1.063e-11  F: 1.192e-11</p>
---	---	--

Рис. 3. Результаты применения Teraesvirta Neural Network Test

Результаты использования теста White Neural Network Test (wnnTest) также подтверждают хаотичность исследуемых временных рядов.

## Заключение

В результате проведенного исследования можно отметить следующие моменты:

1. Рассмотренные временные ряды температуры поверхности почвы в г. Томске являются хаотичными в соответствии со всеми проведенными тестами. Достаточно низкие значения взаимной информации, положительные значения показателя Ляпунова, необходимость отвержения нулевой гипотезы линейности временных рядов в тестах tnnTest и wnnTest – всё это указывает на хаотичность рядов.
2. Даже при общей хаотичности исследуемых рядов прослеживается влияние сезонной составляющей, проявившееся в графике взаимной информации для временного ряда с интервалом измерений в 1 месяц.

## Список использованных источников

1. Mutual information [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.scholarpedia.org/article/Mutual\\_information](http://www.scholarpedia.org/article/Mutual_information) (дата обращения: 22.02.2021).
2. Показатели Ляпунова [Электронный ресурс]. – URL: [https://scask.ru/q\\_book\\_ex.php?id=86](https://scask.ru/q_book_ex.php?id=86) (дата обращения: 22.02.2021).
3. NonLinTests: Time Series Tests [Электронный ресурс]. – URL: <https://rdrr.io/cran/fNonlinear/man/NonLinTests.html> (дата обращения: 22.02.2021).