

УДК 551.501

Т.Л. Шугунов, Л.Ж. Шугунов, Г.В. Куповых

**АНАЛИЗ И ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ ЗНАЧЕНИЙ ВРЕМЕННОГО РЯДА
СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

В работе во временном ряде данных многолетних наблюдений среднегодовой температуры в Японии (г. Токио) выделены основные составляющие: полиномиальный тренд, циклический тренд и нерегулярная компонента ряда, с использованием спектрального анализа дополненного известными критериями случайности остатка ряда и согласовании полученных результатов с результатами основных методов сглаживания временных рядов. На основе полученных результатов построена модель динамики этого метеопараметра и вычислены прогнозные значения ряда до 2030 года.

Температура; тренд; спектральный анализ; временной ряд.

T.L. Shugunov, L.G. Shugunov, G.V. Kupovich

**ANALYSIS AND ANNUAL TEMPERATURE TIME SERIES VALUES
EXTRAPOLATION**

Basic components in the time series of average annual temperature long-term observations in Japan (Tokyo) were sorted out in the work: polynomial trend, cyclical trend and nonuniform series component, using spectral analysis complemented with well-known randomness test of residual series and matching received results with results of basic time series smoothing methods. The model of this weather parameter dynamics was made at the basis of received results and probable series values were calculated till 2030.

Temperature; trend; spectral analysis; time series.

Использование статистических методов применительно к реальным рядам из-за конечности ряда всегда носят приближенный характер, но тем не менее позволяет оценить наметившиеся и установившиеся тенденции. Следует также иметь в виду, что накопленной информации в большинстве случаев достаточно для выявления указанных тенденций с учетом того, что истинные причины зашумленные случайными факторами действуют всегда при относительно неизменных условиях.

В работе рассматривается задача анализа данных многолетних наблюдений среднегодовой температуры в Японии (г. Токио) с целью построения модели и получения ее прогноза.

Использована методика, предложенная в работе [2] и дополненная критерием, основанном на согласовании полученных результатов с результатами основных методов сглаживания временных рядов. Во временном ряде метеопараметра выделены основные составляющие: полиномиальный тренд, циклический тренд и нерегулярная компонента ряда. На основе полученных результатов построена модель динамики временного ряда среднегодовой температуры и вычислены прогнозные значения ряда на перспективу.

Для исследования и анализа временных рядов различной природы существуют различные методы, приведенные в работе [1].

На основе предварительного анализа данных можно сделать вывод, что временной ряд среднегодовой температуры описывается моделью:

$$Y(n) = m(t) + C(n) + \xi, \quad (1)$$

где $m(t)$ – полиномиальный тренд ряда; $C(n)$ – циклический тренд, подлежащий определению; ξ – случайная часть с нормальным законом распределения и нулевым математическим ожиданием; n – номер ряда.

Анализ исследуемого временного ряда показал, что его тренд с хорошим приближением можно описать моделью, определяемой формулой

$$m(t)=k+d*t, \quad (2)$$

где коэффициенты k и d определяются методом наименьших квадратов.

Для дальнейшего анализа необходимо исключить линейный тренд из ряда, тогда получим центрированный ряд:

$$Z(n) = C(n) + \xi, \quad (3)$$

Тогда к нему можно применить интегральное преобразование Фурье

$$F_L(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t)e^{-i\omega t} dt \equiv U(\omega) - iV(\omega),$$

где

$$U(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) \cos \omega t dt, \quad V(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) \sin \omega t dt. \quad (4)$$

При этом частоты гармонических компонент не предполагаются известными заранее, а определяются путем исследования в областях наибольших пиков функций $U(\omega)$, $V(\omega)$ с использованием различных критериев [2]. Построение функций $U(\omega)$, $V(\omega)$, позволяет обнаружить в $x(t)$ периодические компоненты.

На практике для оценки спектральной плотности строят периодограмму (которую сглаживают с использованием спектральных окон) в виде

$$S_j^2 = A_j^2 + B_j^2 \quad . j = 1, 2, \dots, g$$

где A_j и B_j – коэффициенты разложения Фурье ряда, определяемые по известным формулам. Тогда учитывая, что имеют место приближенные равенства, получим

$$A_j \approx U(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) \cos \omega_j t dt \quad B_j \approx V(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L x(t) \sin \omega_j t dt. \quad (5)$$

Разлагая центрированный временной ряд значений метеопараметра в ряд Фурье, построим периодограмму ряда и выделим пробные гармоники. Так как периодограмма ряда является случайной, проводится ее сглаживание с использованием спектральных окон. Так, в окне Хемминга веса для взвешенного скользящего среднего значений периодограммы вычисляются в виде

$$\Omega_k = 0,54 + 0,46*\cos(\pi*k/p) \quad (\text{для } k=0 \text{ до } p), \quad \Omega_{-k} = \Omega_k \quad (\text{для } k < 0).$$

Результаты такого анализа для исследуемого временного ряда (после сглаживания спектральным окном Хемминга с шириной окна $m1 = 5$) приведены на рис. 1.

Из приведенных графиков следует, что спектр ряда имеет ряд максимумов (областей), в которых следует ожидать наиболее значимые периоды ряда.

Рассматривая полученные гармоники, (как пробные), далее проводится анализ ряда для выделения циклического тренда. При этом проводятся расчеты и сравнение полученных результатов с результатами других методов: классической декомпозиции, фильтра Filter 4253 [1] и экспоненциального сглаживания. Экспоненциальное сглаживание и предлагаемый метод лучше остальных «повторяют» основные тенденции ряда. В целом методы сглаживания между собой, с одной стороны, и аппрок-

симиационной модели – с другой, хорошо согласуются и, по-видимому, свидетельствуют о том, что тренд-циклическая компонента, выделенная этим методом может быть принята за основу. Следует отметить, что метод спектрального анализа имеет преимущество, по сравнению с методами сглаживания, потому, что он позволяет построить математическую модель, которая описывает динамику ряда, основанную на прошлых значениях временного ряда, а значит вычислить прогнозные значения ряда практически на любой срок, в том числе получить долгосрочный прогноз.

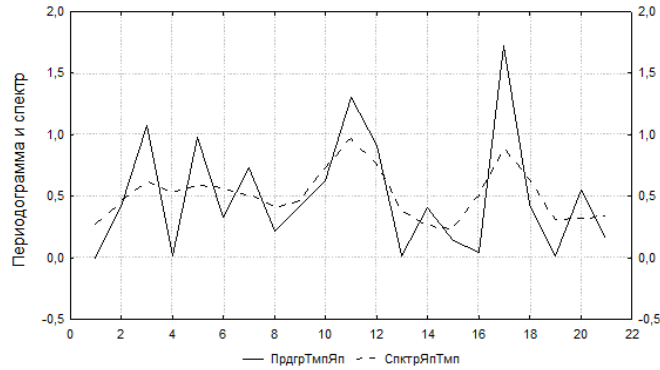


Рис. 1. Периодограмма (сплошная линия) и спектральная плотность (пунктирная линия) ряда среднегодовой температуры

Окончательный выбор основных гармоник осуществляется графически или по минимуму функционала

$$\sum_{i=1}^q (Y_i - F_i(\omega))^2 = \min,$$

где Y_i , F_i – фактические и тренд-циклические составляющие ряда.

Основные отличия и сходства результатов таких исследований в сравнении друг с другом легко рассмотреть на рис. 2.

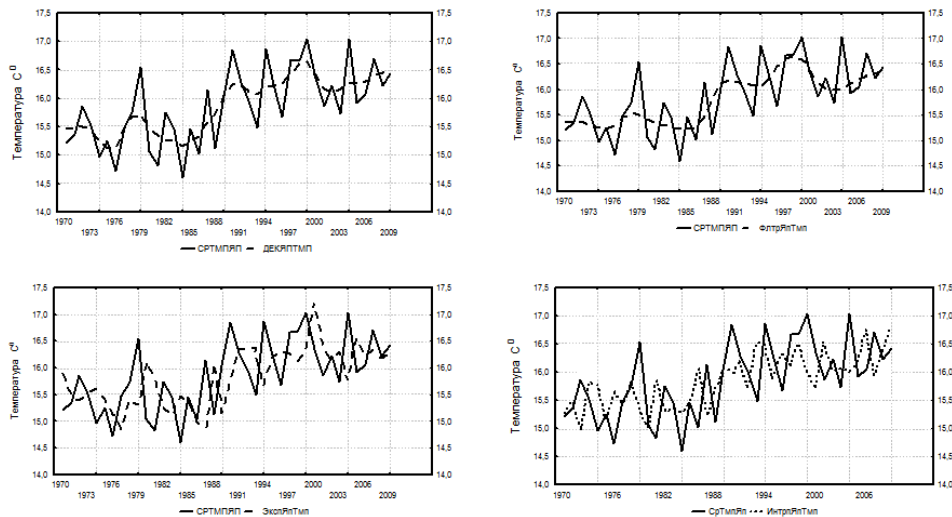


Рис. 2. Фактические (сплошная линия), сглаженные (пунктирная линия) и аппроксимационные (точечная линия) температуры

Из приведенных графиков видно, что методы декомпозиции (слева верхний) и фильтра (справа верхний) дают слишком сглаженные значения температуры. Нижние графики достаточно хорошо повторяют основное поведение ряда: метод экспоненциального сглаживания (слева) и аппроксимационный метод (справа). Заметно, что аппроксимационный метод дает лучшее согласие с фактическими данными.

Из рис. 2 также видно, что кривые, полученные различными методами, находятся в хорошем согласии. Отсюда можно сделать вывод, что тренд-циклическая составляющая ряда, выделенная предлагаемыми подходами, достаточно точно описывает регулярную часть ряда. Тогда динамику временного ряда этого метеопараметра можно описать моделью:

$$Y(t) = 15,14 + 0,035t - 0,039 \cos\left(\frac{\pi}{20} 2t\right) + 0,23 \sin\left(\frac{\pi}{20} 2t\right) + 0,17 \cos\left(\frac{\pi}{20} 10t\right) + (6) \\ + 0,19 \sin\left(\frac{\pi}{20} 10t\right) + 0,04 \cos\left(\frac{\pi}{20} 16t\right) - 0,29 \sin\left(\frac{\pi}{20} 16t\right).$$

Используя формулу (6), можно вычислить прогнозные значения ряда на перспективу. На рис. 3 приведены графики среднегодовой температуры Японии (сплошная линия) и прогнозных значений ряда (пунктирная линия) на период до 2030 года.

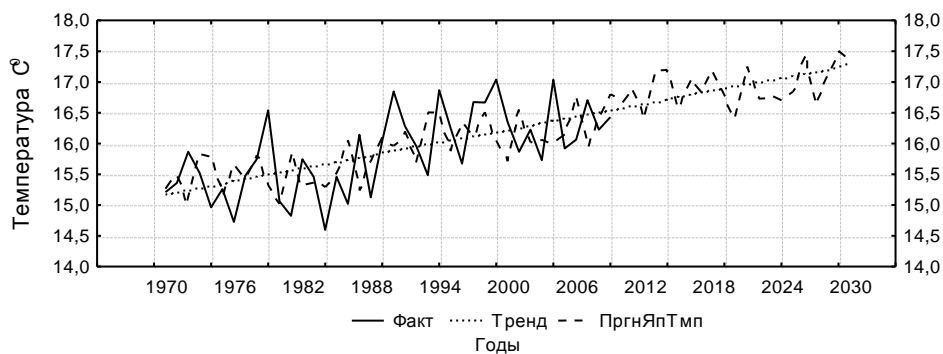


Рис. 3. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) значения ряда

Из приведенного рисунка видно, что прогнозные значения ряда носят колебательный характер. На фоне этих периодических колебаний имеется тенденция повышения среднегодовой температуры до 17,5 градуса тепла в соответствии с линейным трендом ряда к концу прогнозируемого периода. К 2012–2015 гг. ожидается небольшое повышение температуры до 17 градусов, а в 2018–2025 гг. некоторое понижение до 16,5 градусов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 382 с.
2. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Исследование и анализ среднегодовой температуры на основе методов спектрального анализа и классической декомпозиции // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. – 2005. – № 1. – С. 83-88.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.И. Жорник.

Шугунов Тимур Лионович

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова.

E-mail: shugunov@rambler.ru.

Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Тел.: 84959563504; 88662442762.

Кафедра чрезвычайных ситуаций; к.ф.-м.н.; доцент.

Шугунов Лион Жамбулатович

Кафедра физических основ микро- и нанотехнологий; д.ф.-м.н.; профессор.

Куповых Геннадий Владимирович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kupovykh@users.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44.

Тел.: 88634371649.

Кафедра физики; заведующий кафедрой; д.ф.-м.н.; профессор.

Shugunov Timur Lionovich

Kabardino-Balkaria state university S.M. Berbekova.

E-mail: shugunov@rambler.ru.

173, Chernichevskogo Street, Nalchik, Kabardino-Balkaria Republic, Russia.

Phone: 84959563504; 88662442762.

The Department of Emergency Situations; Cand. of Phys.-Math. Sc.; Associate Professor.

Shugunov Lion Jambulovich

The Department of Physical Basis of Micro- and Nanotechnology, Dr. of Phys.-Math. Sc.; Professor.

Kupovykh Gennady Vladimirovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kupovykh@users.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371649.

The Department of Physics; Head of a Chair; Dr. of Phys.-Math. Sc.; Professor.