УДК 551.524.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Шугунов Т.Л., Хаупшева М.Х., Шугунов Л.Ж.

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова», Нальчик, e-mail: tshugunov@yandex.ru

В работе приведены результаты исследования режима температуры в предгорной зоне Ставропольского края (г. Ставрополь), по данным метеонаблюдений. Предлагаемый метод основан на разложении временного ряда значений температуры на основные составляющие: регулярную и случайную. Используя преобразование Фурье-ряда, проводится выделение циклической составляющей, но так как оно содержит все гармоники, то возникает необходимость выделения из них основных гармоник (скрытых периодов). Поиск основных, гармоник осуществляется в областях максимумов спектра, перебирая пробные гармоники, удовлетворяющие критериям случайностей остатка ряда, а также согласованием регулярной части ряда с результатами метода классической декомпозиции и метода фильтра 4253H. С использованием современных методов и средств компьютерных технологий составлены соответствующие программы и проведены расчеты. В результате такого анализа построены модели динамики температуры в различные сезоны года и проведено ее прогнозирование до 2035 года, для летнего сезона.

Ключевые слова: временной ряд, интерполяция, экстраполяция, классическая декомпозиция, прогнозирование, асимметрия, автокорреляционная функция

RESEARCH OF DYNAMICS OF TEMPERATURE IN THE FOOTHILL ZONE OF STAVROPOL KRAI

Shugunov T.L., Haupsheva M.Kh., Shugunov L.Zh.

Kabardino-Balkarsky state university of H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: tshugunov@yandex.ru

In work results of a research of the mode of temperature are given in a foothill zone of Stavropol Krai (Stavropol), according to meteorological observations. The offered method is based on decomposition of a temporary number of values of temperature on the main components: regular and accidental components. Using Fourier's transformation of a row allocation of a cyclic component, but as it contains all harmonicas, there is a need of allocation from them the main harmonicas (the hidden periods) is carried out. Search of the main, harmonicas is performed in areas of a maximum of a range, touching the trial harmonicas meeting criteria of accidents of a remaining balance of a row and also coordination of a regular part of a row with results of a method of classical decomposition and a method of the filter 4253H. With use of modern methods and means of computer technologies, appropriate programs are constituted and calculations are carried out. As a result of such analysis, models of dynamics of temperature during various seasons of year are constructed and forecasting till 2035, for a summer season is carried out it.

Keywords: time row, interpolation, extrapolation, classical decomposition, forecasting, asymmetry, autocorrelated function

В современный период климат претерпевает значительные изменения, об этом свидетельствуют результаты наблюдений за различными метеорологическими процессами в различных регионах планеты. Анализу временных рядов различной природы посвящено много работ [1, 3], а практическая реализация приведена в [2].

Поэтому исследование сезонных колебаний температуры, в различных климатических зонах, представляет не только практический, но и научный интерес.

В работе проводится анализ и исследование динамики температуры воздуха в Ставропольском крае (г. Ставрополь), по данным метеорологических наблюдений.

Результаты предварительного статистического анализа данных приведены ниже, в табл. 1.

Из данных таблицы следует, что наблюдается значительный размах температуры, особенно в зимний период, достигая более 9 градусов. Асимметрия отрицательна в зимний, весенний и осенний периоды и положительна в летний период. Эксцесс отрицателен весной и положителен в остальные сезоны. Значения асимметрии и эксцесса слабо-умеренные. Все это, в первую очередь, свидетельствует о наличии сложного тренда, и требуются более глубокие исследования для решения данной задачи.

Проведено также исследование тенденции изменения среднего значения температуры в современный период по сравнению с климатической нормой, с использованием критериев Крамера-Уэлча и Т-критерия Стьюдента. Результаты таких исследований приведены в табл. 2.

Из данных таблицы следует, что зимой, весной и осенью рост температуры последних членов ряда незначительный, к тому же дисперсии в эти периоды значительны, достигая 3,1 – зимой, поэтому рост температуры может быть объяснен случайными факторами, а летом наблюдается тенденция роста температуры. Таким образом, среднее значение температуры в современный период больше климатической нормы (базовый период 1961–1990 гг.) только летом, как по Крамеру-Уэлчу (sig. = 2.317 > 1,96), так и по Т-тесту (sig. = 0,0033 < 0,05), на уровне значимости p = 0,05, в остальные сезоны года, хотя и наблюдается тенденция роста, она может быть объяснена случайностью изменений ряда.

Из предварительного анализа следует, что временной ряд температур в различные сезоны можно рассматривать как реализацию случайного процесса, состоящую из детерминированной и случайной части. Тогда, следуя методике [4, 5], для построения моделей динамики температур разлагаем временные ряды на основные составляющие: детерминированную и случайную части.

Так как ряды колеблющиеся, то необходимо детерминированную часть разложить на периодическую часть и полином невысокой степени, т.е. ряд можно описать полигармоническим процессом вида

$$T(t) = m + k^*t + \sum_{i}^{q} a_i \cos(\omega_i t) + b_i \sin(\omega_i t) + \varepsilon(t), \qquad (1)$$

где $\varepsilon(t)$ – случайная часть с нулевым математическим ожиданием.

Для выделения периодической составляющей используется известное и широко применяемое преобразование Фурье. При этом возникает две взаимосвязанные задачи:

– отделение случайной части от регулярной;

– выделение основных, так называемых, скрытых периодичностей.

Известно, что в разложении Фурье содержатся все гармоники и для выделения основных, необходимо использовать дополнительные критерии.

Сначала, как обычно, строим периодограммы и спектры рядов [1, 2], графики которых приведены на рис. 1 для летнего (слева) и осеннего (справа) сезонов.

Из периодограмм видно, что они содержат много пиков, а спектры (построены с использованием спектрального окна Хемминга) – относительно небольшое число – 4–6 максимумов, в областях которых осуществляется поиск значимых гармоник.

В работе для отделения регулярной части от случайной используются следующие критерии случайности остатка ряда: Дарбина-Уотсона, числа поворотных точек, АКФ (автокорреляционная функция), коэффициенты корреляции Пирсона.

Как известно, для оценки степени корреляции остатка ряда используется статистика Дарбина-Уотсона, определяемая по формуле

$$d = \sum_{t=1}^{n} (e_i - e_{i-1})^2 / \sum_{t=1}^{n} e_i^2 , \qquad (2)$$

где e_i – остаток ряда.

Таблица 1

Описательная статистика

	N	Средн.	Мин.	Макс.	Дисп.	Стд. отк.	Ст. ош.	Асим.	Эксц.
Зима	51	– 1,975	– 6,70	2,33	3,107	1,763	0,247	– 0,181	0,351
Весна	51	8,907	6,33	10,97	1,256	1,121	0,157	– 0,167	– 0,753
Лето	51	20,93	18,67	24,40	1,665	1,291	0,181	0,619	0,094
Осень	51	9,917	5,633	12,63	1,753	1,324	0,185	– 0,550	0,967

Таблица 2

Т-критерий независимых выборок и критерий Крамера – Уэлча

	Сред. 1	Сред. 2	t-знач.	ст. св.	p	N1	N2.	Ст. откл.	Ст. откл.	F-отн.	p	Крам-У
Зима	– 2,14	– 1,74	– 0,79	49	0,43	30	21	1,89	1,58	1,44	0,40	0,47
Весна	8,83	9,02	– 0,60	49	0,55	30	21	1,25	0,92	1,84	0,16	0,55
Лето	20,49	21,5	– 3,09	49	0,003	30	21	1,06	1,36	1,64	0,22	2,31
Осень	9,749	10,2	– 1,09	49	0,283	30	21	1,18	1,51	1,63	0,22	0,74

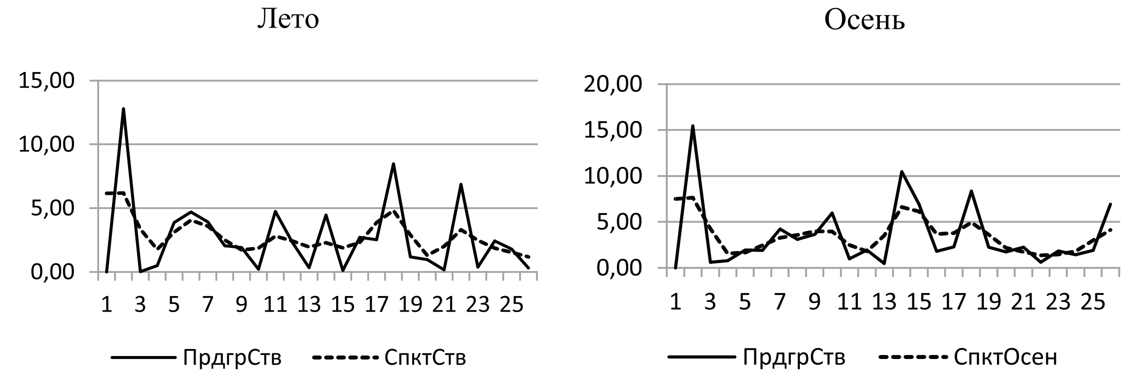

Рис. 1. Периодограммы (сплошная) и спектры (пунктирная) временных рядов

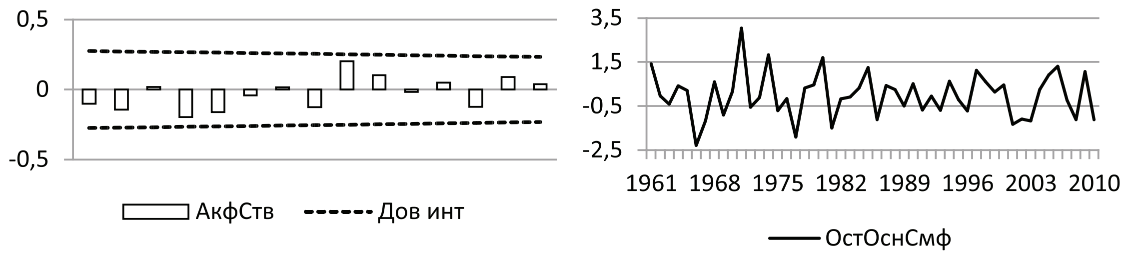

Рис. 2. АКФ остатков ряда (слева) и остатков ряда (справа)

Таблица 3

Значения критериев случайностей остатка ряда летнего сезона

Периоды (лет)	Критерий Дарбина-Уотсона		Число поворотных точек		Невязка (°С)	Коэффициенты корр. Пирсона		
						Фкт-прогноз	Дек-прогноз	4253Н-прогноз
	Факт.	Теор.	Фак.	Теор.				
50, 10, 5, 3,8, 2,9, 2,4	2,29	2	34	32,7	51,3	0,65	0,71	0,70
50, 10, 3,8	2,11	–	32	–	57,9	0,63	83	84
50, 5, 2,9	2,17	–	32	–	56,4	0,58	0,73	0,71
50, 10, 2,9	2,21	–	28	–	56,5	0,58	0,79	0,80
50, 5, 3,8	2,12	–	36	–	50,9	0,62	0,77	0,75

Составлены соответствующие программы на языке высокого уровня (Visual Basic), и проведены расчеты. Используя различные критерии случайности, проведен анализ остатка ряда, последовательно включая в циклический тренд пробные гармоники, полученные по результатам спектрального анализа.

Одним из критериев адекватности модели является невязка, определяемая по формуле

$$\sum_{i=1}^{q}\left(Y_i - F_i(\omega)\right)^2 = \min, \qquad (3)$$

где Yi, Fi – фактические и модельные значения ряда, соответственно.

В качестве примера, результаты такого анализа, по данным наблюдений в предгорной зоне Ставропольского края (г. Ставрополь), для летней температуры, приведены в табл. 3.

Данные таблицы показывают, что по комплексу параметров наиболее подходит вариант 2 (2 строка), так как по многим критериям, приведенным в таблице, он соответствует теоретическим значениям. Кроме того, вариант 2 лучше по значениям АКФ (рис. 2) и содержит период в области максимального значения на периодограмме.

На рис. 2 приведены некоторые результаты такого анализа.

Из графика (слева), следует, что АКФ остатка ряда, полученного как разность фактических и модельных значений выбранного варианта удовлетворяет условию случайности на уровне р = 0,05. По графику остатков ряда (справа) определяется число поворотных точек, теоретическое значение которого определяется по формуле [1]:

$$N = 2/3(n - 2).$$

В предлагаемом методе для оценки степени адекватности построенной модели также проводится анализ регулярной части, используя коэффициенты корреляции Пирсона и результаты широко известных методов сглаживания временных рядов: метода классической декомпозиции и метода, основанного на использовании фильтра Ф4253Н [2].

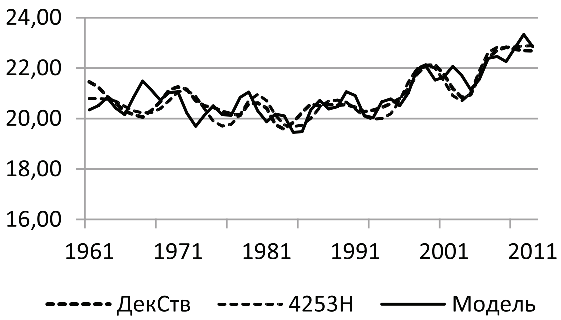

Рис. 3. Модельные значения (пунктирная) и результаты с использованием фильтра 4253Н (точечная) и метода декомпозиции (сплошная)

Эти методы позволяют более адекватно контролировать низкие гармоники, так как в случае коротких рядов в разложении ряда могут появиться «ложные» низкие гармоники, которые зависят к тому же от длины ряда. Такой комплексный анализ случайной и регулярной частей ряда, на наш взгляд, может позволить получить более адекватную модель. На рис. 3 приведены некоторые результаты такого анализа.

Из рисунка видно, что кривые, полученные по модели метода классической декомпозиции и метода с использованием фильтра 4253Н, хорошо согласуются, это также подтверждают коэффициенты корреляции Пирсона (см. табл. 2). При этом модельные значения более точно отображают особенности фактических значений ряда, тогда как методы с использованием фильтра и декомпозиции дают слишком сглаженные значения.

В результате такого комплексного анализа проводится окончательный выбор гармоник и построение моделей. Результаты полученных значений параметров моделей для всех сезонов года приведены в табл. 4.

Используя данные таблицы легко построить модели для всех сезонов, для этого достаточно из таблицы подставить в формулу (1) соответствующие коэффициенты Фурье и линейного тренда.

Так, например, для летнего сезона построена модель вида

$$T(t) = 20,02 + 0,035 * t + 0,741\cos\left(\frac{2\pi}{51}t\right) + 0,063\sin\left(\frac{2\pi}{51}t\right) + 0,232\cos\left(\frac{2\pi}{51}5t\right) -$$

$$-0,389\sin\left(\frac{2\pi}{51}5t\right) + 0,0495\cos\left(\frac{2\pi}{51}13t\right) - 0,424\cos\left(\frac{2\pi}{51}13t\right).$$

Таблица 4

Параметры моделей температуры в различные сезоны года

Зима					Весна				
Коэфф. лин. тр.			Коэфф. Фурье		Коэфф. лин. тр.			Коэфф. Фурье	
m	k	период	кос	син	m	k	период	кос	син
			0,35	– 0,35				0,37	– 0,02
– 2,3	0,012	25,4,2, 2,9	0,17	0,75	8,8	0,005	50, 5,6 , 2,9	0,58	0,34
			– 0,27	– 0,35				– 0,09	0,03
лето					Осень				
			0,74	0,06				0,86	0,05
20,02	0,035	50, 10, 3,8	0,232	– 0,39	9,65	0,01	50, 5,6, 2,9	0,08	0,49
			0,05	– 0,42				– 0,47	– 0,21

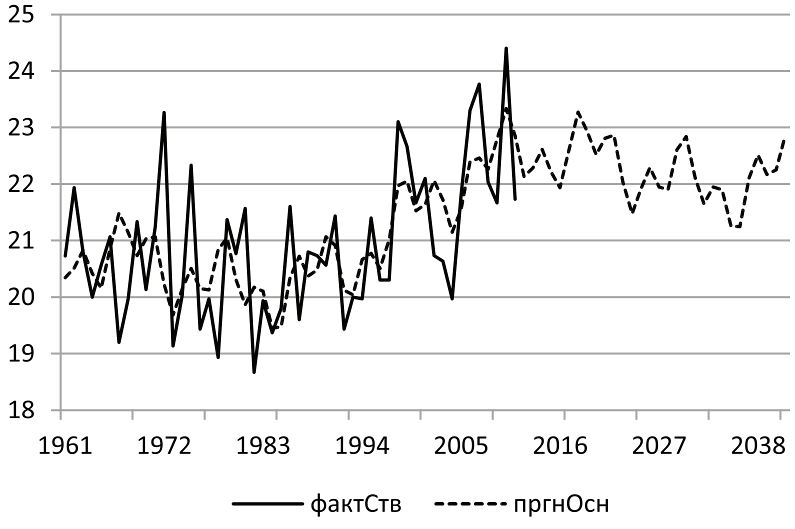

Рис. 4. Фактические (сплошная) и прогнозные (пунктирная) значения ряда

На рис. 4 приведены графики фактических и прогнозных значений температуры летнего сезона по построенной модели, до 2040 года.

Из графиков рисунка следует, что в годы наблюдений кривые хорошо согласуются, что свидетельствует об адекватности построенной модели. Значения температуры изменяются достаточно сложным образом, совершая колебания около линейного тренда, указывающего на тенденцию роста. Максимальные значения она принимает в 2017–2022 и 2027–2030, а минимальные – в 2023–2026 и 2031–2037 годы.

Список литературы

1. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS. – М.: «Финансы и статистика», 1999. – 382 с.

2. М. Кендэл. Временные ряды. – М.: «Финансы и статистика», 1981. – 200 с.

3. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М.: «Наука», 1965. – 244 с.

4. Шугунов Л.Ж., Шугунов Т.Л. Исследование и анализ среднегодовой температуры на основе методов спектрального анализа и классической декомпозиции. Известия Высших Учебных Заведений. Северо-Кавказский Регион. Серия: Естественные Науки. – 2006. – № S1. – С. 83–88.

5. Хаупшева М.Х., Шугунов Т.Л., Шугунов Л.Ж. Моделирование временных рядов метеопараметров в горной зоне Дагестана (г. Ахты) Доклады Адыгской (Черкесской) международной академии наук. – 2015. – Т. 17. № 1. – С. 116–120.