

УДК 551.524.3

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И КРЫМА****Хаупшева М.Х., Шугунов Т.Л., Шугунов Л.Ж.***ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: Haupshewa@yandex.ru*

В работе приведены результаты исследования среднегодовой температуры воздуха по данным метеонаблюдений на Северном Кавказе и в Крыму. Сначала проводится предварительный статистический анализ рядов исходных данных. После этого проводится разложение временного ряда значений температуры на основные составляющие: детерминированную и случайную части. Для построения моделей температуры проводится поиск основных гармоник в областях максимумов спектра, удовлетворяющих критериям случайностей остатка ряда. Кроме того, проводится согласование регулярной части ряда с результатами метода классической декомпозиции и метода с использованием фильтра 4253H. В результате такого анализа построены модели динамики температуры в различных географических зонах Северного Кавказа и Крыма. После построения моделей проведен сравнительный анализ температурных режимов Северного Кавказа и Крыма.

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

**COMPARATIVE ANALYSIS OF AVERAGE ANNUAL TEMPERATURE
OF THE NORTH CAUCASUS AND CRIMEA****Khaupsheva M.Kh., Shuginov T.L., Shuginov L.Zh.***Kabardino-Balkarsky State University of name Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: Haupshewa@yandex.ru*

In work results of a research of average annual air temperature according to meteorological observations are given in the North Caucasus and in the Crimea. At first the preliminary statistical analysis of ranks of basic data is carried out. After that it is carried out decomposition of a temporary number of values of temperature on the main components: determined and casual speak rapidly. For creation of models of temperature, search of the main harmonicas in areas of maxima of a range, meeting criteria of accidents of the rest of a row is carried out. Besides, coordination of a regular part of a row with results of a method of classical decomposition and a method, with use of the filter 4253H is carried out. As a result of such analysis, models of dynamics of temperature in various geographical zones of the North Caucasus and the Crimea are constructed. After creation of models, the comparative analysis of temperature conditions of the North Caucasus and the Crimea is carried out.

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

Исследованию изменений климата в настоящее время уделено много внимания. Наиболее часто говорят о его глобальном потеплении, хотя существует и противоположная точка зрения, утверждающая о возможном похолодании. Само существование двух противоположных мнений об изменении климата недвусмысленно говорит, что эта проблема далека от завершения и необходимы дальнейшие исследования этой сложной проблемы, используя различные методы. Необходимость исследования этой проблемы также отмечена МГЭИК, при этом использованы результаты региональных наблюдений за динамикой основных климатических характеристик — основных метеорологических параметров. В частности, проводятся исследования динамики температуры, количества осадков, влажности и других основных характеристик климата, используя данные многолетних наблюдений. Анализу временных рядов различной природы посвящено много работ [1–4]. В настоящей работе, используя данные метеорологических параметров за более чем

полувековой период наблюдений, проводятся исследования данных пунктов Северного Кавказа по данным наблюдений (Ставропольского края, КБР, КЧР, Дагестана) и Крыма, и их сравнительный анализ.

Сначала проведен предварительный статистический анализ данных. В табл. 1 приведены результаты такого анализа для среднегодовой температуры воздуха.

В таблице приведены данные среднегодовой температуры по Северному Кавказу по всем трем зонам: горной, предгорной и степной (равнинной) и данные по Крыму по станции Симферополь.

В четырех горных районах Северного Кавказа (Каменомост, Кисловодск, Теберда, Ахты с высотами над уровнем моря от 800 до более чем 1300 м средние годовые значения температуры за периоды наблюдений принимают от 6,71 до 9,39 градусов, минимальные и максимальные значения от 5,3 до 11,6, т.е. размах достигает 6,3 градуса. Максимальная асимметрия равна 0,68, а эксцесса, достигает – 1,47.

В двух предгорных районах Северного Кавказа (г. Нальчик (500 н.у.м., г. Ставрополь (540 н.у.м.) средние годовые значения температуры за периоды наблюдений принимают соответственно 9,52 до 9,51 градуса, минимальные и максимальные значения от 7,6 до 11,6, т.е. размах достигает 4 градусов, а Ставрополя соответственно от 7,4 до 11,7 – размах 4,3 градуса. Асимметрия отрицательна и равна – 0,022, а Ставрополя 0,007, а эксцесса (Нальчик) достигает – 0,733, а Ставрополя – 0,284.

Аналогично ведут себя и данные по степным зонам КБР и Ставрополя (по пунктам г. Прохладный (200 м н.у.м.) и Арзгир (200 м н.у.м.)) Средние значения (Прохладный) – 10,4, Арзгир – 10,6, минимальные – 8,52 и 8,4 – максимальные – 12 и 12,4 соответственно.

По данным Симферополя среднее значение выше остальных пунктов и равно 10,9, минимальное – 8,74, а максимальное равно 13,1, асимметрия отрицательна и равна – 0,32, эксцесс положителен и равен 0,26.

Во всех пунктах наблюдается некоторое повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия, по сравнению с климатическими нормами.

Из последнего столбца таблицы следует, что в пунктах Каменомост, Кисловодск и Арзгир наблюдаемая тенденция роста температуры может быть объяснена случайностью изменений рядов, так как значения критерия Крамера – Уэлча меньше критического, т.е. $|\text{sig}| < 1,96$, в остальных пунктах тенденция роста температуры значима на уровне $p = 0,05$.

Сравнение среднегодовых значений температуры Северо-Кавказских регионов с данными Крыма показывает, что наиболее близкие значения наблюдаются с данными Ставропольского края (г. Арзгир) и КБР (г. Прохладный). Наименьшие и наибольшие

вариации среднегодовой температуры на Северном Кавказе приходится на пункты наблюдений: г. Нальчик (1,92) и г. Кисловодск (4,4).

Во всех горных пунктах наблюдается некоторое повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами. Так, например, в пункте г. Теберда наблюдается повышение температуры на 0,57 градуса, а в пункте г. Ахты – на 0,45 градуса.

Аналогичные исследования проведены в предгорной и степной зонах. Из результатов, приведенных в таблице, видно, что в предгорной зоне наблюдается некоторое повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами. Так, например, в пункте г. Нальчик наблюдается повышение температуры на 0,89 градуса, а в пункте г. Ставрополь – на 0,55 градуса.

В степной зоне также наблюдается повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами. В частности, в пункте г. Прохладный наблюдается повышение на 0,7 градуса, а в пункте г. Арзгир – на 0,01 градуса.

Такие же исследования проведены по данным Крыма. Повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия по сравнению с климатическими нормами (г. Симферополь) наблюдается на 0,48 градуса.

Сравнивая приведенные в таблице значения в предгорной и степной зонах КБР (Нальчик, Прохладный) с данными Симферополя видим, что температура в указанных зонах меняется от 7,6 до 12 градусов, дисперсия изменяется от 0,577 до 0,946, асимметрия от – 0,022 до 0,68, эксцесс от – 0,733 до 1,47, в Симферополе от 8,74 до 13,1, дисперсия – 0,77, асимметрия – 0,32, эксцесс 0,26. Видно, что данные Симферополя по значениям температуры выше, чем в указанных зонах КБР.

Таблица 1

Описательная статистика среднегодовой температуры воздуха

Пункты	N	Ср.	Мин	Макс	Дисп	Вар	Асим	Эксц	Кр-У
Каменомост	55	7,55	6,100	9,300	0,577	3,2	0,256	– 0,374	– 1,5
Нальчик	68	9,52	7,600	11,60	0,946	1,92	– 0,022	– 0,733	– 4,2
Прохладный	55	10,4	8,516	12,00	0,797	3,48	– 0,167	– 0,860	– 3,5
Кисловодск	51	7,97	6,200	10,60	0,703	4,4	0,534	1,163	– 1,3
Ставрополь	51	9,51	7,40	11,70	0,93	4,3	0,007	– 0,284	– 2,1
Арзгир	45	10,6	8,400	12,40	0,918	4,0	– 0,177	– 0,93	– 0,2
Ахты	51	9,39	7,700	11,60	0,611	3,9	0,267	0,58	– 2,6
Теберда	51	6,71	5,30	9,30	0,59	4,0	0,68	1,47	– 3,3
Симферополь	67	10,9	8,74	13,1	0,77	4,36	– 0,32	0,26	– 2,9

Сравнение значений в предгорной и степной зонах Ставропольского края (Ставрополь, Арзгир) с данными Симферополя показывает, что температура в указанных зонах Ставропольского края меняется от 7,4 до 12,4 градуса, дисперсия изменяется от 0,918 до 0,93, асимметрия от $-0,177$ до $-0,007$, эксцесс от $-0,284$ до $-0,93$. Отсюда следует, что данные Симферополя по температуре выше, чем в указанных зонах Ставропольского края. Асимметрии отрицательны и практически одинаковы, эксцесс отрицательный и по абсолютной величине значительно больше в Арзгире.

Сравнение значений в горной зоне Дагестана (Ахты, Прикаспийская зона) с данными Симферополя (Причерноморская зона) показывает, что температура в указанной зоне Дагестана меняется от 7,7 до 11,6 градуса, дисперсия 0,611, асимметрия 0,267, эксцесс 0,58. Отсюда видно, что данные Симферополя выше по сравнению с данными Ахты, асимметрия положительна, эксцесс положительный и более чем в два раза превышает значение в Симферополе.

Сравнение значений в горной зоне КЧР (Теберда) с данными Симферополя показывает, что температура в Теберда меняется от 5,3 до 9,3 градуса, дисперсия 0,59, асимметрия положительна и равна 0,68, эксцесс 1,47. Таким образом, данные Симферополя по температуре выше, чем значения в г. Теберда, асимметрия и эксцесс положительные и значительно превышают соответствующие значения в Симферополе.

Таким образом, по данным наблюдений рассмотренных в работе по Северному Кавказу среднегодовая температура максимальна в Ставропольском крае

(г. Арзгир – 10,6) и минимальна в Теберда (КЧР – 6,71), а в Крыму – 10,9.

Для сравнения данных наблюдений также приведены графики рассмотренных временных рядов значений температуры. На рис. 1 приведены сравнительные графики данных среднегодовой температуры отдельно по всем зонам и по Крыму.

Из графиков видно, что кривые хорошо коррелируют с высоким коэффициентом корреляции, достигая значения, равного 0,87.

На рис. 1 приведены фактические значения температуры в этих пунктах, из которых видно, что они хорошо коррелируют.

Нетрудно заметить, что кривые, изменяются синхронно, повторяя минимальные и максимальные значения в определенные периоды.

Также можно заметить, что начиная с 1990-х гг. наблюдается заметное повышение в среднем температуры воздуха. Более детальный анализ этого явления проведен с использованием критерия Крамера – Уэлча.

Проведенный выше анализ носит предварительный статистический характер и дает осредненные грубые характеристики. Поэтому, наряду с описательным, проведено более подробное сравнение особенностей изменения температуры, в этих пунктах, предварительно исключив влияние неконтролируемых случайных факторов.

Представляя ряд в виде суммы состоящей из регулярной и случайной части, по предложенной в работе [5] методике, построены модели временных рядов температуры в исследованных пунктах. Проведено разложение рядов на регулярную и случайную части, выделены скрытые периоды и построены модели.

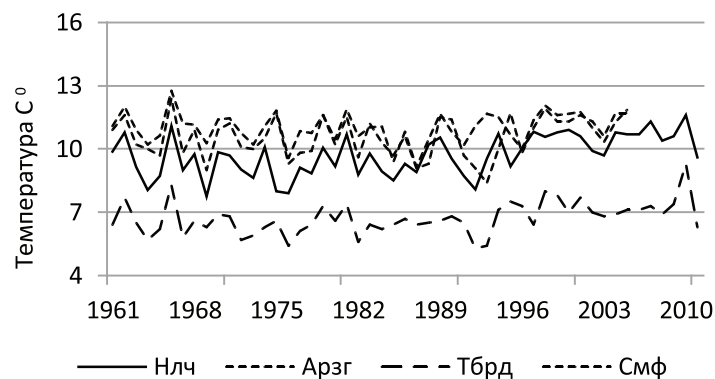


Рис. 1. Графики температур

Следуя этой методике, для построения модели динамики температуры, детерминированную часть можно разложить на периодическую часть и полином невысокой степени, т.е. ряд можно описать полигармоническим процессом вида

$$Y(t) = m + k * t + \sum_i^q a_i \cos(\omega_i t) + b_i \sin(\omega_i t) + \varepsilon(t),$$

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

Используя преобразование Фурье, проводится анализ и выделение периодической составляющей.

Важнейшим этапом такого анализа-исследования является выделение скрытых периодичностей с использованием спектрального анализа, результаты которых приведены на следующих рисунках. Сравнение периодограмм в различных пунктах показывает, что по ним сложно провести сравнительный анализ. Поэтому приведены спектры, построенные сглаживанием периодограмм с помощью спектрального окна Хемминга.

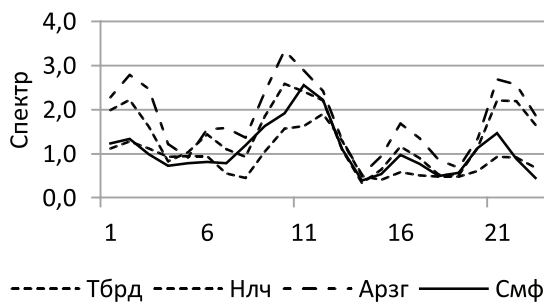


Рис. 2. Спектры температуры

Из рис. 2 видно, что спектры среднегодовой температуры в различных зонах Се-

верного Кавказа (горной (Теберда, сплошная), предгорной (Нальчик, пунктирная), степной (Арзгир, точечная) и Симферополя (штрих-пунктирная) практически идентичны. В них содержатся пять наиболее ярко выраженных областей максимума, которые практически совпадают. В этих областях проводится поиск наиболее значимых (основных) гармоник, с использованием различных критериев случайностей ряда.

При построении моделей поиск основных гармоник проводится в областях максимумов спектров, используя известные критерии случайностей остатка ряда, в частности критерий Дарбина – Уотсона, АКФ, числа поворотных точек (чпт) и другие.

На рис. 3 приведены некоторые результаты такого анализа. В частности одним из основных требований к остатку ряда является отсутствие регулярной части (тренда) в остатке, которое определяется по АКФ остатка ряда. В качестве примера на рис. 3 приведены АКФ остатков рядов для данных г. Теберда и г. Симферополя.

Из графиков АКФ видно, что они удовлетворяют условию случайности на уровне значимости $p = 0,05$. Аналогично проверяется случайность остатка ряда по вышеперечисленным критериям.

Кроме того регулярная часть сравнивается с известными хорошо зарекомендовавшими себя методами классической декомпозиции и сглаживания ряда с использованием фильтра 4253Н. Исследование многочисленных рядов предлагаемым методом показывает, что такой комплексный анализ случайной и регулярной частей ряда дает более надежные результаты, больше того, неучет анализа регулярной части может привести, и приводит, к ошибочным результатам.

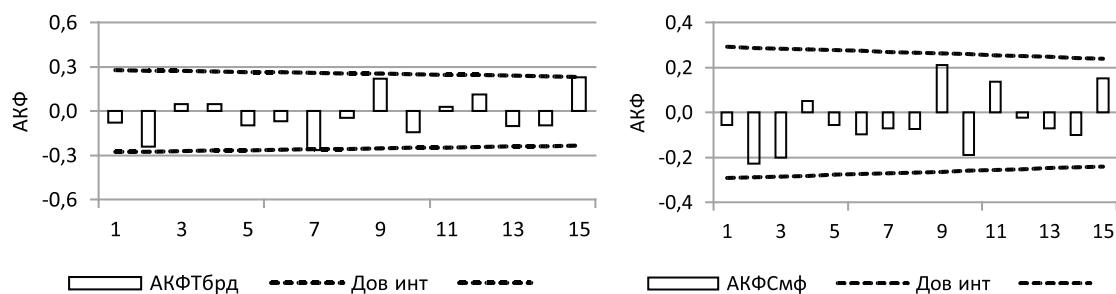


Рис. 3. АКФ остатков рядов температуры

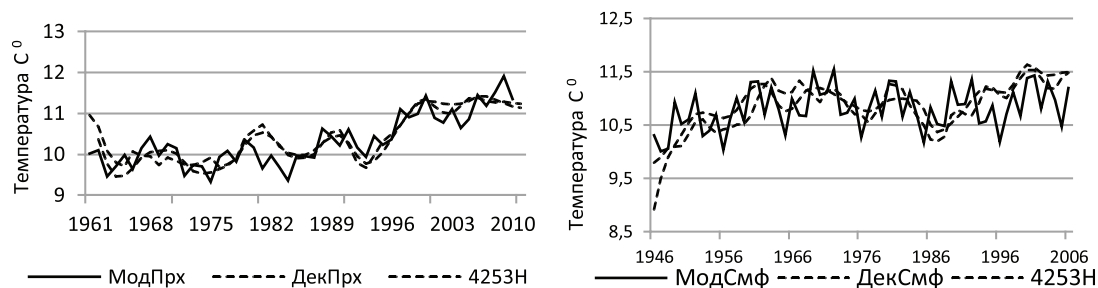


Рис. 4. Модельные, классической декомпозиции и фильтра 4253H, значения температуры

Таблица 2

Основные параметры моделей

Пункты	Периоды	Св.чл.	Угол нак	Крам-У	Стьюд
Каменомост	8,5, 4,6	7,18	0,012	15,67	0,000000
Нальчик	50, 10, 3	8,86	0,027	26,64	0,000000
Прохладный	50, 10, 3	9,6	0,026	34,30	0,000000
Кисловодск	9, 4,1	7,87	0,0038	13,84	0,000047
Ставрополь	50, 10, 3,8	8,84	0,016	19,23	0,000000
Арзгир	44, 4, 3	10,08	0,012	10,51	0,000003
Ахты	10, 5, 3	9,031	0,014	18,67	0,000000
Теберда	10, 5, 3	6,2	0,019	17,12	0,000000
Симферополь	44, 4,4, 2,9	10,35	0,015	6,501	0,007000

На рис. 4 приведены результаты такого анализа.

Из данных рисунка видно, что результаты, полученные по моделям, хорошо согласуются с фактическими. Это дает основание утверждать, что построенные модели адекватно отражают реальные данные и могут быть использованы для сравнительного анализа данных исследуемых территорий. Видно, что методы декомпозиции и фильтра слишком сглаживают, а модельные более точно описывают реальные значения ряда.

В табл. 2 приведены в сравнении параметры моделей среднегодовой температуры и их основные характеристики по данным Северного Кавказа и Крыма.

Из данных таблицы следует, что основными гармониками являются: низкие (1–2), средние (5–6) и высокие (15–17). Более стабильно встречаются периоды 9–10, 5 лет и 3 года, видимо они ближе к какому-то общему механизму, например к циклам солнечной активности. Незначительные колебания из-за небольших различий длин рядов, которые с их увеличением будут уточняться. Следует также отметить, что низкие

гармоники более чувствительны к длине ряда.

Из угловых коэффициентов линейного тренда следует, что наблюдается тенденция роста соответствующая росту температуры около 1–2 градуса на сто лет. Немного выше угловой коэффициент в пунктах (г. Нальчик и г. Прохладный), и наименьшее значение наблюдается в г. Арзгире. Далее проведено исследование статистической значимости наблюдаемых тенденций роста температуры в современный период по сравнению с климатической нормой (1961–1990 гг.).

Из табл. 2 видно, что с большой вероятностью, и по критерию Крамера – Уэлча ($\text{sig} = I \gg 1,96$), и по Т-тесту Стьюдента ($\text{sig} = I \ll 0,05$), тенденция роста температуры в современный и прогнозируемый период, значима на уровне $p = 0,05$ для всех приведенных пунктов наблюдения Северного Кавказа и Крыма.

На рис. 5 в качестве примера, приведены в сравнении прогнозные значения до 2040 г. по данным Симферополя (справа) и пункта Северного Кавказа (г. Теберда) (слева).

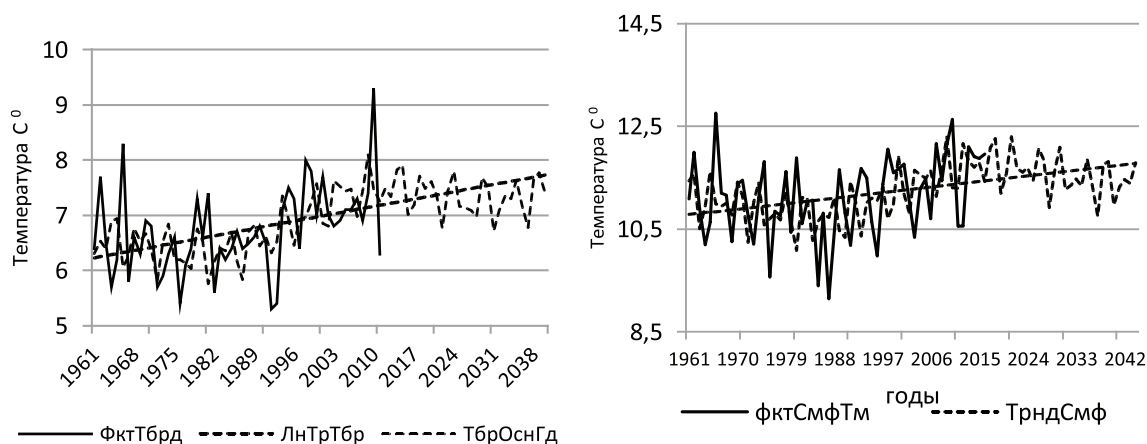


Рис. 5. Фактические и прогнозные значения температур воздуха

Из графиков рисунка видно, что модельные и фактические значения достаточно хорошо согласуются в годы наблюдений, что свидетельствует об адекватности построенных моделей.

Прогнозные значения изменяются в соответствии с построенными моделями, которые свидетельствуют о тенденции роста температуры, совершая циклические колебания. Ожидаемые значения температуры выше тренда в первые 20 лет прогноза, затем наступает некоторое похолодание, и температура идет ниже тренда.

Заклучение

Таким образом, проведенный анализ среднегодовой температуры по данным пунктов наблюдения Северного Кавказа и Крыма показал, что динамика температуры носит достаточно сложный колебательный характер. В связи с этим были использованы современные методы анализа временных рядов, которые позволили провести достаточно полный их анализ. Построенные модели подтверждают фактически наблю-

даемую тенденцию роста среднегодовой температуры в годы прогноза, на уровне значимости $p = 0,05$, по критериям Крамера – Уэлча и Стьюдента.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием основных критериев случайностей ряда, а также согласованием полученных результатов с широко используемыми методами сглаживания рядов.

Список литературы

1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М., Финансы и статистика, Инфра-М, 2010. – 320 с.
2. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 382 с.
3. Курышева С.В., Парик И.Ю., Боченина М.В. Анализ временных рядов и прогнозирование. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 98 с.
4. Чураков Е.П. Прогнозирование эконометрических временных рядов. Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 208 с.
5. Шугунов Т.Л., Шугунов Л.Ж., Калов Х.М. Результаты прогнозирования временных рядов значений метеорологических параметров // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. – 2010. – Т. 12, № 2. – С. 123–127.