

Об использовании некоторых статистических методов для прогнозирования долговременных изменений температуры воздуха (на примере города Тбилиси)

А. Амиранашвили¹, Л. Картвелишвили², Т. Хуродзе³

¹ТГУ, Институт геофизики им. М. Нодиа

²Институт Гидрометеорологии Грузинского технического университета

³Институт прикладной математики им. Н. Мухелишвили Грузинского технического университета

Резюме: Рассмотрены три метода статистического прогнозирования ожидаемых изменений среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси на ближайшие 50 лет до 2056 года (линейное прогнозирование, прогнозирования сглаженных функций с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений, линейное прогнозирование с учетом одной периодичности в ряде наблюдений). Апробирования указанных методов путем сравнения выполненных на базе временного ряда с 1907 по 1956 г. прогностических расчетов на период 1957-2006 гг. с реальными для этого периода данными показало их удовлетворительное согласие с верхним и нижним уровнями прогностических значений температуры воздуха. Расчетные по трем методам средние значения температуры воздуха в 2052-2056 гг. составляют 12,8-13,6 °С с доверительным интервалом в пределах 10,3-15,4 °С. По сравнению с 2007-2011 гг. в 2052-2056 гг. ожидается изменение температуры воздуха от 0 до +0,3 °С.

Ключевые слова: Температура воздуха, статистические методы прогноза изменения климата, тренд.

Введение

В последние годы в связи с ростом индустриального загрязнения внешней среды особую актуальность приобрели проблемы влияния этих загрязнений как на изменение глобального, регионального и локального климата в целом, так и на изменчивость отдельных климатообразующих факторов. Особое значение эта проблема приобрела в нашей стране. Для Грузии, имеющей небольшую территорию, на которой можно встретить почти все виды климатов – от влажных субтропиков с высоким температурным фоном при избыточной увлажненности до холодного климата зоны вечных снегов и ледников, весьма существенны не только региональные эффекты изменения климата, но и эффекты локального масштаба (города, окрестности крупных источников эмиссии загрязнений атмосферы и др.).

Учитывая сказанное, в 1996 году были начаты и продолжают по настоящее время широкомасштабные исследования современного изменения климата Грузии. В первую очередь была проведена инвентаризация парниковых газов в Грузии, изучены пространственно-временные вариации полей температуры, осадков, облачности, аэрозольного загрязнения воздуха, поверхностного покрова и других климатообразующих параметров [1-5]. В ряде исследований с использованием разных математических моделей были предприняты попытки оценки ожидаемых изменений температуры воздуха в различных районах Грузии, в том числе и городе Тбилиси [6-9].

В настоящей работе, являющейся продолжением предшествующих исследований, рассмотрены три метода статистического прогнозирования ожидаемых изменений среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси на ближайшие 50 лет (линейное прогнозирование, прогнозирования сглаженных функций с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений, линейное прогнозирование с учетом одной периодичности в ряде наблюдений). При этом приводятся результаты апробирования указанных методов путем сравнения выполненных на базе временного ряда с 1907 по 1956 г. прогностических расчетов на период 1957-2006 гг. с реальными для этого периода данными.

Методика и используемые данные

Рассмотрено три метода прогнозирования среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси. Первый метод - линейное прогнозирование изменения температуры воздуха и ее доверительных интервалов [10-12]. Второй метод – метод прогнозирования сглаженных функций и их доверительных интервалов с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений. Третий метод - метод линейного прогнозирования изменения температуры воздуха с учетом одной периодичности в ряде наблюдений [13-14].

В работе использованы следующие статистические параметры (с соответствующими обозначениями): Mean – среднее, Max – максимум, Min – минимум, Range – вариационный размах (Max- Min), Median – медиана, Mode – мода, St Dev – стандартное отклонение, σ_m – стандартная ошибка среднего, C_v – коэффициент вариации (%), A_s – коэффициент асимметрии, K – коэффициент эксцесса, Count – число случаев, R – коэффициент линейной корреляции, R_s – коэффициент ранговой корреляции Спирмэна, R_k – коэффициент ранговой корреляции Кендэла, R_a – коэффициент автокорреляции с лагом 1 год, K_{dw} – критерий Дарбина-Уотсона, α – уровень значимости, Real – реальные данные, Forecast – прогностические расчетные данные, Smoothed variable – сглаженная переменная, T – среднегодовая температура воздуха.

Доверительный интервал для среднего – CONF, а также его нижний Low и верхний Upp уровни с заданной вероятностью определялись как без учета, так и с учетом автокорреляции в рядах наблюдений. В последнем случае для доверительного интервала вводилась поправка на значение коэффициента автокорреляции с лагом L = 1 год.

В работе использованы данные Гидрометеорологического департамента Грузии о температуре воздуха в Тбилиси для периода с 1907 по 2010 гг. Анализ данных проводился для столетнего ряда наблюдений (1907-2006 гг.) и для двух пятидесятилетних периодов (1907-1956 и 1957-2006 гг.). Данные 2007-2010 гг. использовались для сравнительного анализа с прогностическими значениями. Размерность температуры воздуха – °C, для простоты изложения в ряде случаев опущена.

Статистическая структура среднегодовой температуры воздуха в 1907-2006 гг.

В таблице 1 представлены статистические характеристики среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси в период с 1907 по 2006 гг.

Таблица 1.

Статистические характеристики температуры воздуха в Тбилиси в период с 1907 по 2006 гг.

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
Mean	13.0	σ_m	0.1	α для R_k	0.003
Min	11.1 (1920 год)	C_v (%)	5.1	R_s	0.29
Max	14.8 (1966 год)	A_s	-0.15	α для R_s	0.004
Range	3.6	K	0.34	R_a	0.18
Median	13.0	R	0.30	α для R_a	0.1
Mode	13.2	α для R	0.0005	99% (+/-) CONF	0.17
St Dev	0.7	R_k	0.2	99% (+/-) CONF с учетом R_a	0.20

Как следует из таблицы 1 температурный ряд в Тбилиси неслучайный (коэффициенты R, R_k и R_s значимо выше предельных значений) и автокоррелирован (коэффициент R_a также значимо выше предельных значений). Самым холодным годом был 1920-ый (11.1°C), самым теплым - 1966-ой (14.8°C).



На рис. 1 представлен график периодичности температуры воздуха. Из этого рисунка следует, что пики периодичности среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси приходятся на 20, 12.5, 9, 4.8, 4, 2.6 лет. При этом два ярко выраженных пика приходятся на 20 и примерно на 5 лет.

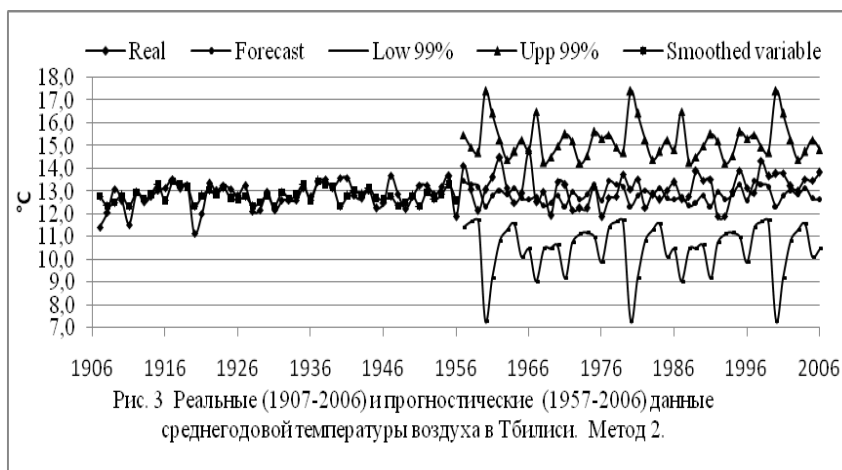
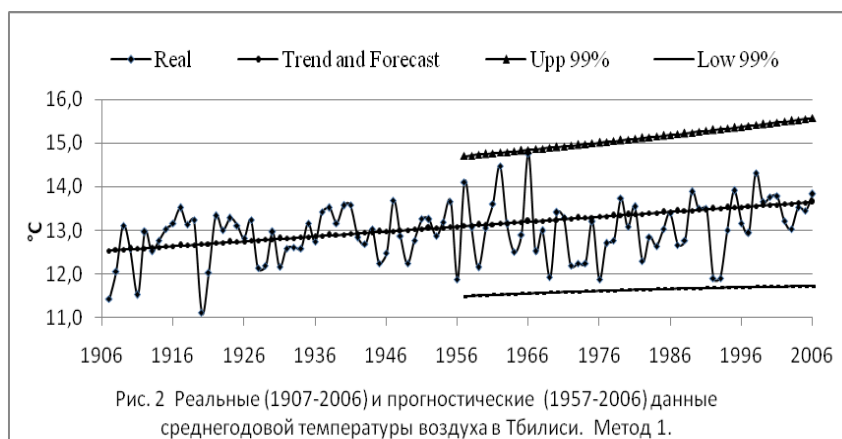
Апробирование трех методов прогнозирования среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси

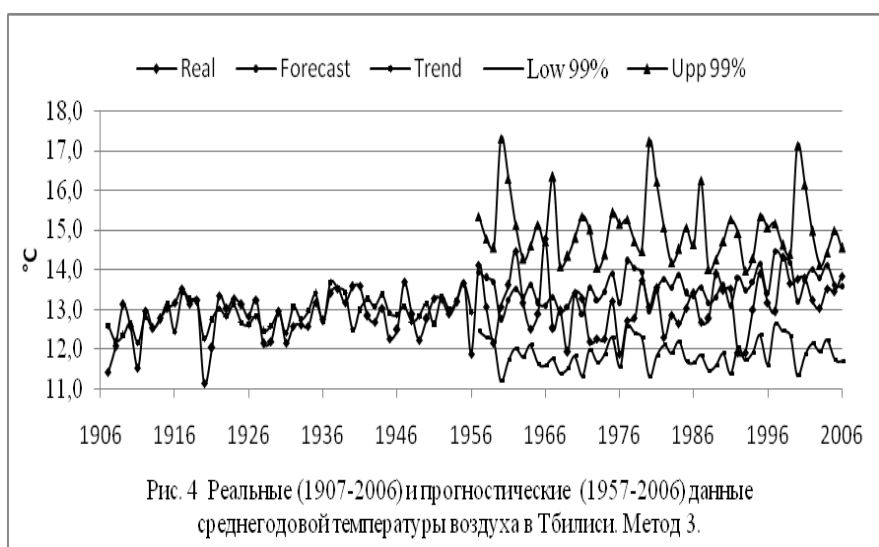
Прогнозирование долговременных изменений климатических параметров является достаточно сложной задачей. В последние годы для этих целей используются самые различные математические, в том числе и статистические методы. Каждый из этих методов имеет как положительные, так и отрицательные свойства. Так, например, при прогнозировании изменений температуры воздуха с использованием моделей, включающих в себя влияние на нее парниковых газов, зачастую получаются завышенные прогностические значения температуры. Эти модели не учитывают предшествующих вариаций температуры, вызванных кроме парниковых газов и другими факторами.

Указанных недостатков лишены статистические модели, учитывающие в неявном виде практически все факторы, влияющие на предшествующие изменения температуры. Недостатком статистических моделей является слабое совпадение прогностических и реальных значений для конкретных годов. Однако эти модели позволяют определить доверительный интервал прогноза, который достаточно удовлетворительно показывает диапазон изменений прогнозируемой температуры воздуха.

Одной из важных проблем статистического прогноза является выбор длины ряда реальных данных, на основании которых производится экстраполяция. По этому вопросу нет единого мнения. Так, различные авторы полагают, что длина прогностического ряда может меняться от 25% до 100% предшествующего реального ряда.

Ниже приведены расчеты прогностических значений среднегодовой температуры воздуха и доверительных интервалов прогноза в Тбилиси в 1957-2006 гг. по базовому реальному ряду данных для 1907-1956 гг. (рис. 2-4, табл. 2).





Прогностические значения температуры воздуха в 1957-2006 гг. сопоставлены с ее реальными значениями за этот же период. Проведено также сравнение средних по пятилеткам прогностических и реальных значений температуры воздуха и их доверительных интервалов, рассчитанных по трем методам.

Метод 1 - линейное прогнозирование изменения температуры воздуха и ее доверительных интервалов – $T = a \cdot t + b$, где t - время.

Метод 2 – прогнозирования сглаженных функций и их доверительных интервалов с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений – 5 и 20 лет.

Метод 3 - линейного прогнозирования изменения температуры воздуха с учетом одной периодичности в ряде наблюдений – 20 лет, $T = a \cdot t + b + \text{err}$.

Таблица 2

Прогностические и реальные значения среднегодовой температуры воздуха и доверительные интервалы прогноза в Тбилиси в 1957-2006 гг., рассчитанные тремя методами

Парам.	Метод 1			Метод 2			Метод 3			Real
Годы	1957-2006									
Парам.	Low 99%	Прогноз	Upp 99%	Low 99%	Прогноз	Upp 99%	Low 99%	Прогноз	Upp 99%	Real
Min	11.5	13.1	14.7	7.3	12.3	14.2	11.2	12.7	14.0	11.9
Max	11.7	13.6	15.6	11.7	13.5	17.4	12.6	14.5	17.3	14.8
Парам.	Low 99%	Прогноз Mean	Upp 99%	Low 99%	Прогноз Mean	Upp 99%	Low 99%	Прогноз Mean	Upp 99%	Real Mean
1957-1961	11.5	13.1	14.7	10.3	13.0	15.8	12.0	13.5	15.6	13.2
1962-1966	11.5	13.2	14.8	10.8	12.9	14.9	11.8	13.3	14.8	13.6
1967-1971	11.6	13.2	14.9	10.0	12.6	15.2	11.6	13.1	15.0	12.8
1972-1976	11.6	13.3	15.0	10.8	12.9	15.0	11.9	13.5	14.8	12.4
1977-1981	11.6	13.3	15.1	10.3	13.0	15.8	12.1	13.7	15.6	13.2
1982-1986	11.7	13.4	15.1	10.8	12.9	14.9	11.9	13.6	14.7	12.8
1987-1991	11.7	13.5	15.2	10.0	12.6	15.2	11.6	13.4	14.9	13.3
1992-1996	11.7	13.5	15.3	10.8	12.9	15.0	11.9	13.7	14.7	12.8
1997-2001	11.7	13.6	15.4	10.3	13.0	15.8	12.1	14.0	15.5	13.7
2002-2006	11.7	13.6	15.5	10.8	12.9	14.9	11.9	13.8	14.6	13.4

Анализ рис. 2-4 и таблицы 2 в частности показывает, что все реальные данные среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси в период 1957-2006 гг. попадают в доверительный интервал значений T , рассчитанных по ряду 1907-2006 гг. с использованием указанных трех методов прогнозирования (включая и 1966 год с самой высокой температурой воздуха – 14.8 °C). То есть, интервальный прогноз всех трех методов имеет оправдываемость 100%. Разность между реальными и расчетными значениями T (или иными словами остатками) по пятилеткам в среднем в период с 1957 по 2006 гг. (10 пятилетних периодов) составляет: для первого метода - -0.3°C (Max = 0.4 °C, Min = -0.9 °C, Range = 1.3 °C), для второго метода - + 0.3 °C (Max = 0.7 °C, Min = -0.5 °C, Range = 1.2 °C), для третьего метода - -0.4 °C (Max = 0.2 °C, Min = -1.1 °C, Range = 1.3 °C). Таким образом, все три метода по вариационному размаху дают сходную картину совпадения расчетных и реальных данных. Однако имеются и существенные нюансы: первый и третий методы дают несколько завышенные, а второй метод - заниженные результаты расчета температуры воздуха по сравнению с реальными данными. Кроме этого, диапазон доверительного интервала прогноза для второго и третьего методов (7.3 °C - 17.4 °C и 11.2 °C - 17.3 °C соответственно) значительно шире, чем первого (11.5 °C - 15.6 °C).

Исходя из сказанного выше по нашему мнению при анализе климатических изменений, и особенно при долгосрочном прогнозировании этих изменений, не следует пренебрегать ни одним из указанных методов, каждый из которых учитывает различные особенности временного ряда (автокорреляцию, характер тренда, периодичность и др.). Более глубокий физический анализ этих рядов, наряду со статистическим, позволит объяснить происходящие в природе аномальные климатические процессы (аномальные температуры, обильные осадки и др.). Ценность методов статистического прогнозирования заключается в том, что хотя они и не позволяют точно определить величину какого либо климатического элемента в заранее заданное время, эти методы дают информацию о возможном диапазоне значений параметров климата в будущем. То есть, например, нельзя априори готовиться лишь к потеплению климата. Учитывая прошлые события (циклы и др.) указанные методы предупреждают о возможном изменении положительного тренда температуры на нейтральный или отрицательный. В качестве примера в следующем разделе данной работы представлены результаты расчетов ожидаемых значений температуры воздуха в Тбилиси до 2056 года с использованием 100-летней базы наблюдений за этим важнейшим параметром климата.

Прогноз среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси до 2056 года

Ниже приведены расчеты прогностических значений среднегодовой температуры воздуха и доверительных интервалов прогноза в Тбилиси в 2007-2056 гг. по базовому реальному ряду данных для 1907-2006 гг. Проведено также сравнение средних по пятилеткам прогностических значений температуры воздуха и их доверительных интервалов, рассчитанных по трем методам (рис. 5-7, табл. 3).

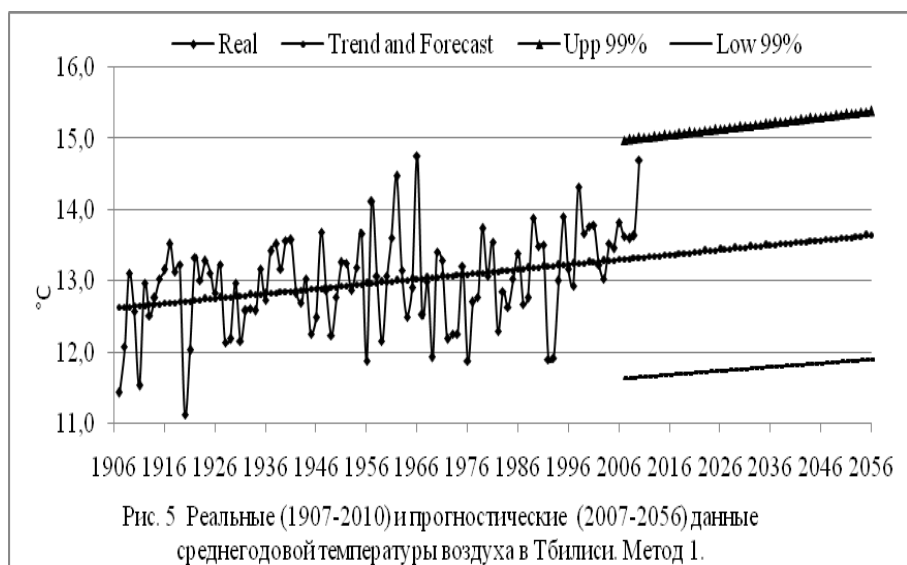


Рис. 5 Реальные (1907-2010) и прогностические (2007-2056) данные среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси. Метод 1.

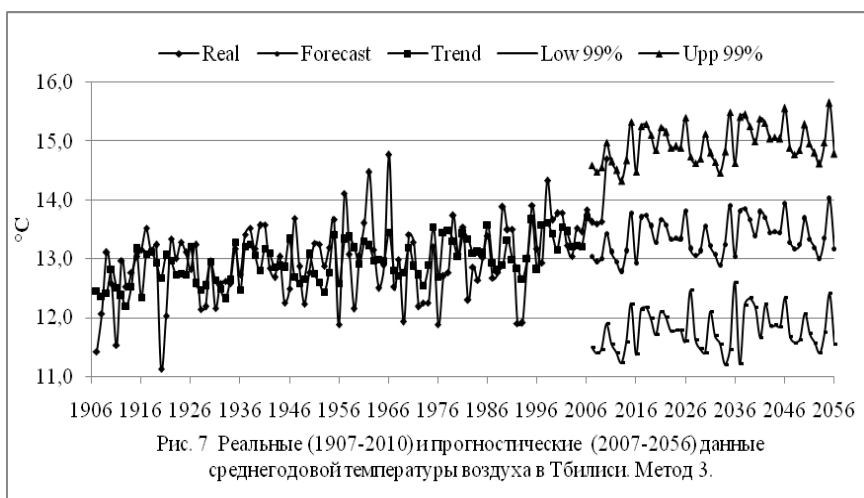
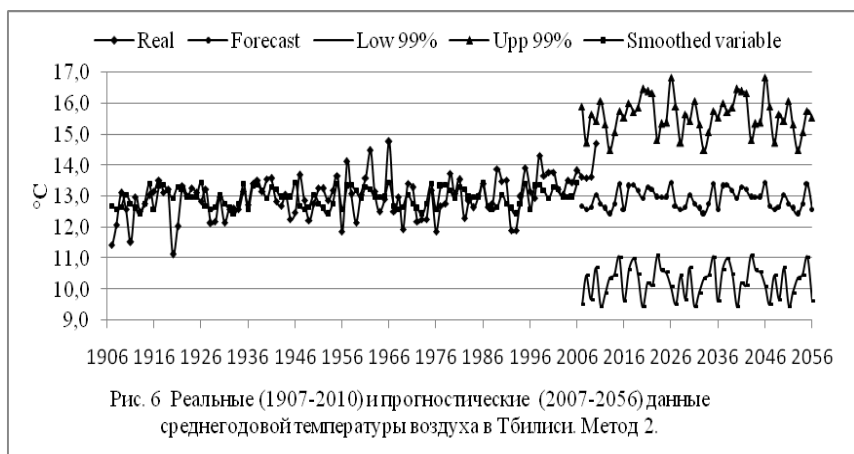


Таблица 3
Прогностические значения среднегодовой температуры воздуха и доверительные интервалы прогноза в Тбилиси в 2007-2056 гг., рассчитанные тремя методами

Парам.	Метод 1			Метод 2			Метод 3		
Годы	2007-2056								
Парам.	Low 99%	Прогноз	Upp 99%	Low 99%	Прогноз	Upp 99%	Low 99%	Прогноз	Upp 99%
Min	11.6	13.3	15.0	9.4	12.4	14.5	11.2	12.8	14.3
Max	11.9	13.6	15.4	11.1	13.5	16.8	12.6	14.0	15.7
Парам.	Low 99%	Прогноз Mean	Upp 99%	Low 99%	Прогноз Mean	Upp 99%	Low 99%	Прогноз Mean	Upp 99%
2007-2011	11.6	13.3	15.0	10.0	12.8	15.5	11.6	13.1	14.7
2012-2016	11.7	13.4	15.0	10.3	12.8	15.2	11.6	13.1	14.7
2017-2021	11.7	13.4	15.1	10.4	13.2	16.1	12.0	13.6	15.1
2022-2026	11.7	13.4	15.1	10.5	13.1	15.7	11.8	13.5	15.0
2027-2031	11.8	13.5	15.2	10.0	12.8	15.5	11.8	13.2	14.8
2032-2036	11.8	13.5	15.2	10.3	12.8	15.2	11.7	13.2	14.8
2037-2041	11.8	13.5	15.2	10.4	13.2	16.1	11.9	13.7	15.3
2042-2046	11.8	13.6	15.3	10.5	13.1	15.7	12.0	13.6	15.2
2047-2051	11.9	13.6	15.3	10.0	12.8	15.5	11.7	13.3	14.9
2052-2056	11.9	13.6	15.4	10.3	12.8	15.2	11.7	13.3	15.0

Как следует из рис. 5-7 и таблицы 3 диапазон доверительного интервала прогноза с 2007 по 2056 гг. составляет - для первого метода: 11.6 °С - 15.4 °С, второго метода: 9.4 °С - 16.8 °С и третьего метода: 11.2 °С - 15.7 °С. Интересно отметить, что в 2010 году была высокая температура воздуха, всего на 0.1°С меньше, чем в 1966 году. И хотя эта температура (14.7 °С) не совпадает ни с одним из ее расчетных прогностических значений для всех трех методов (первый метод: 13.3 °С, второй метод: 13.1 °С, третий метод: 13.4 °С), ее значение попадает в диапазон доверительного интервала прогноза температуры для указанных методов (первый метод: 11.6 °С – 15.0 °С, второй метод: 10.7 °С – 15.4 °С, третий метод: 11.9 °С – 15.0 °С).

Расчетные по трем методам средние значения температуры воздуха в 2052-2056 гг. составляют 12.8-13.6 °С с доверительным интервалом в пределах 10.3-15.4 °С. По сравнению с 2007-2011 гг. в 2052-2056 гг. ожидается изменение температуры воздуха от 0 до +0.3 °С. То есть не исключено изменение направления тренда с положительного на нейтральный. Кроме этого в отдельные годы не исключены аномальные скачки температуры воздуха в диапазоне доверительного интервала от 9.4 °С до 16.8 °С.

Заключение

Для оценки ожидаемых изменений температуры воздуха в Тбилиси до 2056 года было использовано три статистических прогностических метода. 1 – метод прогнозирования линейного роста температуры воздуха и ее доверительных интервалов. 2 – метод прогнозирования сглаженных функций с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений. 3- линейное прогнозирование с учетом одной периодичности в ряде наблюдений.

Апробирования указанных методов путем сравнения выполненных на базе временного ряда с 1907 по 1956 г. прогностических расчетов на период 1957-2006 гг. с реальными для этого периода данными показало их удовлетворительное согласие с верхним и нижним уровнями прогностических значений температуры воздуха. Расчетные по трем методам средние значения температуры воздуха в 2052-2056 гг. составляют 12.8-13.6 °С с доверительным интервалом в пределах 10.3-15.4 °С. По сравнению с 2007-2011 гг. в 2052-2056 гг. ожидается изменение температуры воздуха от 0 до +0.3 °С.

При анализе климатических изменений, и особенно при долгосрочном прогнозировании этих изменений, следует использовать все эти методы, каждый из которых учитывает различные особенности временного ряда (автокорреляцию, характер тренда, периодичность и др.).

Вместе с этим в будущем для прогноза изменения климата наряду с математическими моделями, включающими в себя влияние на эти изменения парниковых газов, следует использовать как указанные, так и другие статистические методы. Ценность методов статистического прогнозирования заключается в том, что хотя они и не позволяют точно определить величину какого либо климатического элемента в заранее заданное время, эти методы дают информацию о возможном диапазоне значений параметров климата в будущем, что несомненно важно для многих сфер жизнедеятельности человека.

UDC 551.582

APPLICATION OF SOME STATISTIC METHODS FOR THE PROGNOSTICATION OF LONG-TERM AIR TEMPERATURE CHANGES (TBILISI CASE)

A.Amiranashvili¹, L.Kartvelisjvili², T.Khurodze³

¹*M.Nodia Institute of Geophysics*

²*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University,*

³*Niko Muskhelishvili Institute of Computational Mathematics of the Georgian Technical University*

Resume: Three methods of the statistical prognostication of the expected changes in the average annual temperature of air in Tbilisi to the next 50 years up to 2056 years are examined (linear prognostication, the prognostication of the smoothed functions taking into account two periodicities in the time series of observations, linear prognostication taking into account one periodicity in the time series of observations). The approvals of the indicated methods via the comparison of executed on the base of time series from 1907 through 1956 prognostic calculations for the period of 1957-2006 with real for this period data showed their satisfactory agreement with the upper and lower levels of the forecasting values of the air temperature. The mean values of the air temperature in 2052-2056 calculated according to three methods are 12.8-13.6 °С with the confidence interval in the limits of 10.3-15.4 °С. In comparison with 2007-2011 in 2052-2056 is expected a change in the air temperature from 0 to +0.3 °С.

Key words: air temperature; statistical methods of forecast; climate change; trend.

Литература

1. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Intskirveli L., Kuchava T., Gurgendze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. 1999, Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, Georgia's Initial National Communication on Under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Project GEO/96/G31, Tbilisi, 137 p.
2. Tavartkiladze K., Elizbarashvili E., Mumladze D., Vachnadze J. Empirical model of ground air temperature field change in Georgia. Tbilisi: 1999, Monograph. - 128 p. (in Georgian).
3. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Kharchilava J., Tavartkiladze K. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures. Tbilisi: Institute of Geophysics, Transactions of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Academy of Sciences, ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, Monograph. - 128 p.
4. Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. Contemporary climate change in Georgia. Regime of some climate parameters and their variability. Tbilisi: ISBN 99928-885-4-7, 2006, Monograph. - 177 p., (in Georgian).
5. Begalishvili N., Tavartkiladze K., Vachnadze J. Modern Climate Change in Georgia. Century change of moisture content of atmosphere and its influence on moisture turn. Tbilisi: Institute of Hydrometeorology of Georgia, ISBN 9928-885-9-8, 2007, Monograph. - 123 p., (in Russian).
6. Tavartkiladze K., Amiranashvili A. Expected changes of air temperature in Tbilisi city, Papers of the Int. Conference International Year of the Planet Earth "Climate. Natural Resources. Disasters in the South Caucasus", Trans. of the Institute of Hydrometeorology, vol. No 115, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 18 – 19 November, 2008, pp. 57 – 65 (in Russian).
7. Shvangiradze M., Beritashvili B., Kutaladze N. Revealed and predicted climate change in Georgia and its impact on economy and natural ecosystems. Papers of the Int. Conference International Year of the Planet Earth "Climate, Natural Resources, Disasters in the South Caucasus", Trans. of the Institute of Hydrometeorology, vol. No 115, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 18 – 19 November, 2008, pp. 76 – 80 (in Russian).
8. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L. Expected Change of Average Semi-Annual and Annual Values of Air Temperature and Precipitation in Tbilisi. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2009, Issue B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, pp. 50 – 54.
9. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Melikadze G., Chelidze T. On the Climate Change in Georgia in the Past, at Present and in the Future: What Should be Done for Filling the Gaps. Abstract of 7th Ann. Int. Conf. of REC Caucasus "Climate Change Adaptation – Challenge and Opportunity for Caucasus", November 10-11, Tbilisi, 2011, pp. 29-30.
10. Кендэл М. Временные ряды. Москва: Финансы и статистика, 1981.- 200 с.
11. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Москва: Финансы и статистика, 1983. - 303 с.
12. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования в экономике, Москва: Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2003. - 50 с.
13. Мхитарян В.С., Бамбаева Н.Я., Балинтова Д. Компьютерные исследования временных рядов и взаимосвязи показателей с использованием пакета Mesosaug. - Москва: МЭСИ, 1996. - 80 с.
14. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Учебник для вузов. Москва: ЮНИТИ, 1998. - 1022 с.