

УДК 551.582

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОЖИДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТБИЛИСИ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ДО 2056 ГОДА

Амиранашвили А.Г.* , Картвелишвили Л.Г.** , Трофименко Л.Т.*** , Хуродзе Т.В.****

*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им И. Джавахишвили

**Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета

***ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации—
Мировой центр данных»

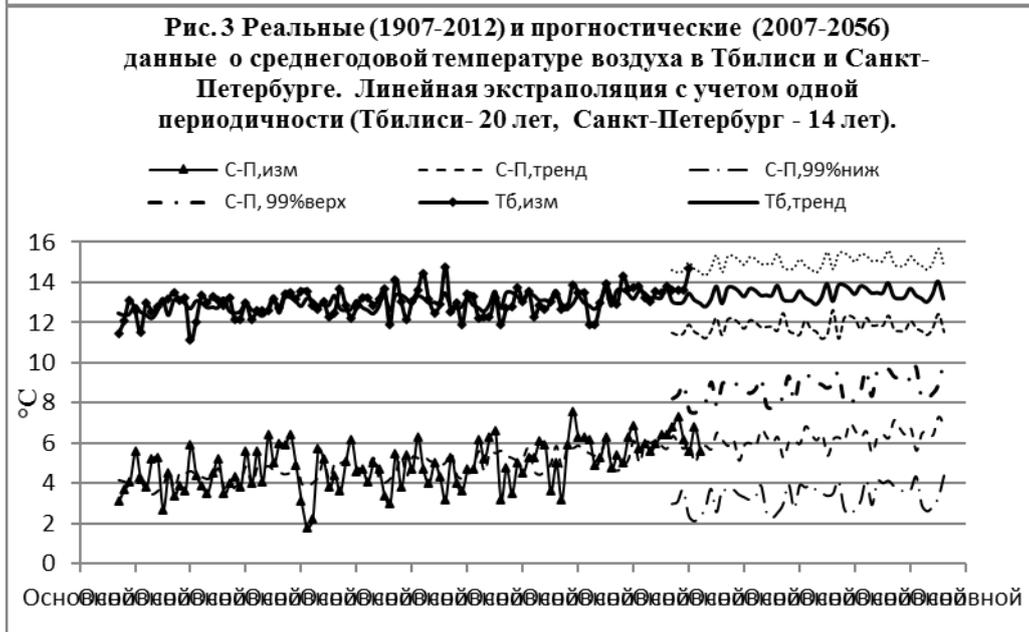
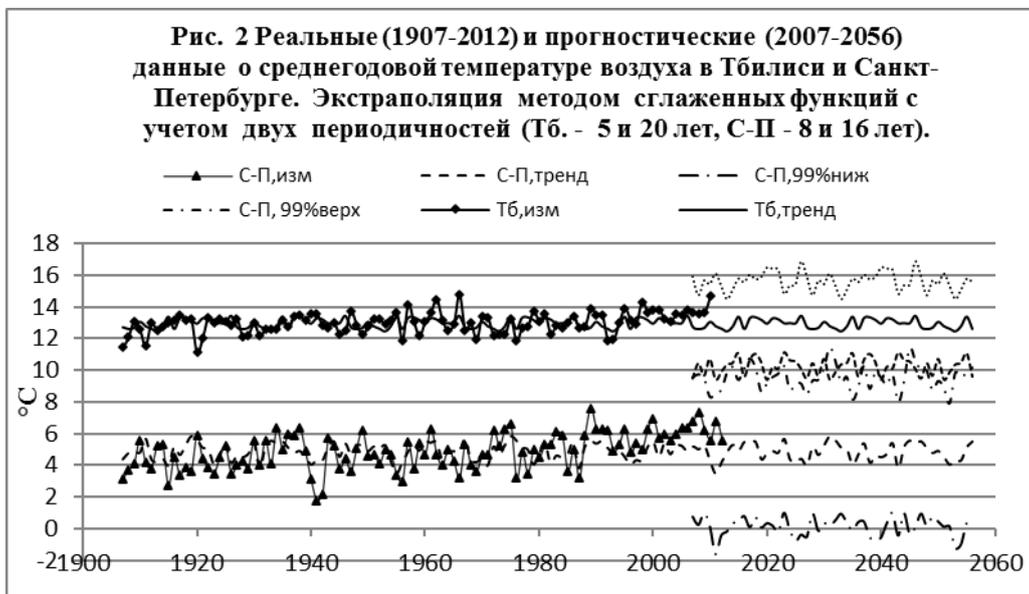
****Институт прикладной математики им. Н. Мухелишвили Грузинского технического университета

В последние годы особое внимание научного мира и общественности обращено на проблемы наблюдаемых и ожидаемых изменений климата на нашей планете. Эти проблемы весьма актуальны в том числе в Грузии, благодаря многообразию климатических зон на ее территории, и, естественно, в России, с ее обширной территорией, разнообразием природных и, соответственно, климатических условий [1-4]. При этом важно отметить, что на территории Грузии изменение температуры воздуха за последние десятилетия в различных ее частях имеет различные тенденции – потепление в Восточной части, похолодание – в Западной части [2]. Потепление климата на территории России оказалось заметно больше глобального. Размах аномалий (т. е. разность между максимумом и минимумом) среднегодовой температуры РФ достигает 3–4°C, в то время как для земного шара он лишь несколько превосходит 1°C [3].

Следует отметить, что несмотря на значительное количество исследований изменений глобального и регионального климата, все еще открытым остается вопрос о причинах этих изменений, связанных исключительно с искусственным эффектом (реакция на глобальное потепление из-за антропогенной эмиссии парниковых газов), или это результат естественной цикличности в климате Земли. В связи с указанным, наряду с использованием математических моделей ожидаемого изменения климата, основанных главным образом на эффектах парниковых газов, не лишено интереса также применение для этих целей и различных известных методов статистического прогнозирования временных рядов. Не останавливаясь на недостатках последних, отметим их преимущество – учет изменчивости параметров ряда в прошлом при их экстраполяции, позволяющий оценить границы этой изменчивости. В большинстве случаев используется линейная модель экстраполяции (зачастую без обоснования наличия линейности тренда). Наличие цикличности учитывается редко. Хотя этот учет может быть весьма важен, так как для различных регионов под влиянием местных факторов цикличность процессов может быть существенно различной (например, влияние моря и др.), и, соответственно, изменение климата имеет свою специфику. Следует обратить внимание на то, что при статистическом прогнозировании с использованием моделей, учитывающих цикличность процесса, необходимы достаточно длинные ряды наблюдений (длительность максимально выделяемого цикла обычно составляет четвертую-пятую часть ряда наблюдений). То есть, для большинства метеорологических станций подобные оценки возможны лишь с учетом максимальной периодичности не более 2-3 десятков лет.

В Грузии широкомасштабные исследования современного изменения климата были начаты 1996 году и продолжаются по настоящее время [1,2,5-9]. В ряде этих исследований с использованием различных статистических моделей были проведены оценки ожидаемых изменений температуры воздуха в некоторых районах Грузии, в том числе и городе Тбилиси [5-9]. В частности, в работе [9] было рассмотрено три метода долгосрочного прогнозирования среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси. 1- линейное прогнозирование изменения температуры воздуха и ее доверительных интервалов [10,11]. 2 – метод прогнозирования сглаженных функций и их доверительных интервалов с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений. 3 - метод линейного прогнозирования изменения температуры воздуха с учетом одной периодичности в ряде наблюдений [12].

В данной работе с применением методов, использованных в [9], проведен статистический анализ и экстраполяция до 2056 года ряда среднегодовой температуры воздуха в городе Санкт-Петербурге в сравнении с динамикой температуры воздуха в Тбилиси. Анализ данных проводился для столетнего температурного ряда наблюдений (1907-2006 гг.). Экстраполяция – для периода с 2007 по 2056 гг. Данные 2007-2012 гг. использовались для сравнения с их прогностическими значениями.



Как показал анализ, динамика температурных рядов в Тбилиси и Санкт-Петербурге существенно различна. Автокорреляция в рядах наблюдений Санкт-Петербурга проявляется в первых двух лагах (лаг = 1 году), а также в 14-ом лаге. В Тбилиси автокорреляция в температурном ряде практически отсутствует. Пики периодичности для Тбилиси приходятся примерно на 20 и 5 лет, тогда как для Санкт-Петербурга – 14 и 8 лет. Результаты прогностических расчетов температуры воздуха для обоих городов приведены на рис. 1-3 и табл. 1-2.

Таблица 1. Прогностические значения среднегодовой температуры воздуха и 99% доверительные интервалы прогноза в Тбилиси и Санкт-Петербурге в 2012-2056 гг., рассчитанные тремя методами

Годы	Метод 1			Метод 2			Метод 3		
	Тбилиси								
Парам.	Ниж	Прогн	Верх	Ниж	Прогн	Верх	Ниж	Прогн	Верх
2012-2016	11.7	13.4	15.0	10.3	12.8	15.2	11.6	13.1	14.7
2022-2026	11.7	13.4	15.1	10.5	13.1	15.7	11.8	13.5	15.0
2032-2036	11.8	13.5	15.2	10.3	12.8	15.2	11.7	13.2	14.8
2042-2046	11.8	13.6	15.3	10.5	13.1	15.7	12.0	13.6	15.2
2052-2056	11.9	13.6	15.4	10.3	12.8	15.2	11.7	13.3	15.0
Мин	11.7	13.3	15.0	9.4	12.4	14.5	11.2	12.8	14.3
Макс	11.9	13.6	15.4	11.1	13.5	16.8	12.6	14.0	15.7
	Санкт-Петербург								
2012-2016	3.1	5.8	8.6	0.2	4.9	9.6	3.0	6.0	8.3
2022-2026	3.2	6.0	8.8	-0.1	4.7	9.4	2.9	6.2	8.3
2032-2036	3.4	6.2	9.0	0.4	4.9	9.3	3.6	6.1	9.0
2042-2046	3.5	6.3	9.2	0.3	5.0	9.8	3.8	6.2	9.3
2052-2056	3.7	6.5	9.4	-0.2	4.6	9.4	3.2	6.7	8.8
Мин	3.0	5.8	8.5	-1.2	3.8	7.9	2.3	5.1	7.7
Макс	3.7	6.5	9.4	1.0	5.8	11.4	4.4	7.3	9.9

Таблица 2. Ожидаемые изменения среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге в 2012-2056 гг. по отношению к 1951-1980 гг.

Годы	Тбилиси			Санкт-Петербург		
	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 1	Метод 2	Метод 3
2012-2016	0.4	-0.2	0.1	1.2	0.3	1.4
2022-2026	0.4	0.1	0.5	1.3	0.0	1.6
2032-2036	0.5	-0.2	0.2	1.5	0.2	1.5
2042-2046	0.6	0.1	0.6	1.7	0.4	1.6
2052-2056	0.6	-0.2	0.3	1.9	0.0	2.1

Как следует из рис. 1-3 и табл. 1 реальные значения температуры воздуха в обоих городах в 2007-2012 гг. попадают в доверительных интервал прогностических значений температуры для указанных трех методов. Диапазоны доверительного интервала прогноза с 2012 по 2056 гг. имеют следующие значения. Тбилиси, первый метод: от 11.7 °C до 15.4 °C (разность - 3.7 °C), второй метод: от 9.4 °C до 16.8 °C (разность - 7.4 °C), третий метод: от 11.2 °C до 15.7 °C (разность - 4.5 °C). Санкт-Петербург, первый метод: от 3.0 °C до 9.4 °C (разность - 6.4 °C), второй метод: от -1.2 °C до 11.4 °C (разность - 12.6 °C), третий метод: от 2.3 °C до 9.9 °C (разность - 7.6 °C). Таким образом, учет периодичности при экстраполяции рядов температуры воздуха, значительно расширяет диапазон изменчивости ее прогностических значений. Иными словами в будущем не исключено изменение направления тренда с положительного на нейтральный, или отрицательный. Кроме этого в отдельные годы возможны аномальные скачки температуры воздуха в диапазоне доверительного интервала от 9.4 °C до 16.8 °C в Тбилиси и от -1.2 °C до 11.4 °C в Санкт-Петербурге.

В табл. 1 также приведены данные о средних за пятилетку прогностических значениях температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге с пятилетним интервалом времени. Как следует из этой таблицы, в отличие от линейной экстраполяции, прогностические значения температуры воздуха с учетом цикличности в рядах наблюдений в различные периоды времени подвержены колебаниям.

В целом, процесс потепления в Санкт-Петербурге более интенсивный, чем в Тбилиси. Это наглядно демонстрируется в табл. 2. Так, например, в 2012-2056 гг. диапазон изменчивости средней за пятилетку температуры воздуха по сравнению со средними ее значениями в 1951-1980 гг. ожидается: в соответствии с линейной экстраполяцией - в Тбилиси от 0.4 до 0.6 °С, в Санкт-Петербурге – от 1.2 °С до 1.9 °С; в соответствии с расчетами по методу 2 - в Тбилиси от -0.2 °С до 0.1 °С, в Санкт-Петербурге – от 0 °С до 0.4 °С; в соответствии с расчетами по методу 3 - в Тбилиси от 0.1 °С до 0.6 °С, в Санкт-Петербурге – от 1.4 °С до 2.1 °С. В 2052-2056 гг. рост температуры воздуха по сравнению со средними ее значениями в 1951-1980 гг. ожидается: в соответствии с линейной экстраполяцией - в Тбилиси на 0.6 °С, в Санкт-Петербурге – на 1.9 °С; в соответствии с расчетами по методу 2 - в Тбилиси на -0.2 °С (похолодание), в Санкт-Петербурге – на 0 °С (неизменность); в соответствии с расчетами по методу 3 - в Тбилиси на 0.3 °С, в Санкт-Петербурге – на 2.1 °С. В дальнейшем предусмотрено продолжение вышеуказанных исследований с использованием более длинных рядов наблюдений.

ლიტერატურა-REFERENCES- ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Tbilisi, 2006, 177 p. (in Georgian).
2. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. - Climate change in Georgia: Statistical and nonlinear dynamics predictions. Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, 2011-2012, pp.67-87.
3. Груза Г. В., Мещерская А. В. (ведущие авторы) – Изменения климата России за период инструментальных наблюдений. <http://climate2008.igce.ru/v2008/v1/vI-3.pdf>.
4. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. - Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия. Труды ВНИИГМИ -МЦД, вып.167, 2000, с. 3-15.
5. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Kharchilava J., Tavartkiladze K. - Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures. Transactions of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Academy of Sciences, Monograph, ISSN 1512-1135, vol. LIX, Tbilisi, 2005, 128 p .
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. 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, Issue (B), Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.
8. 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.
9. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Khurodze T. – Application of Some Statistic Methods for the Prognostication of Long-Term Air Temperature Changes (Tbilisi Case). Transactions of the International Scientific Conference Dedicated to the 90th Anniversary of Georgian Technical University “Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21st Century”, Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012, Part 2, ISBN 978-9941-20-098-4, Publishing House “Technical University”, Tbilisi, 2012, pp. 331-338, (in Russian).
10. Ферстер Э., Ренц Б. - Методы корреляционного и регрессионного анализа. Москва, Финансы и статистика, 1983, 303 с.
11. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования в экономике – Москва, Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2003, 50 с.
12. Мхитарян В.С., Бамбаева Н.Я., Балинтова Д. - Компьютерные исследования временных рядов и взаимосвязи показателей с использованием пакета Mesosaur. Москва, МЭСИ, 1996, 80 с.

ჰაერის ტემპერატურის მოსალოდნელი ცვლილების სტატისტიკური შეფასება თბილისში და სანკტ-პეტერბურგში 2056 წლამდე / ამირანაშვილი ა., ქართველიშვილი ლ., ტროფიმენკო ლ., ხუროძე თ./ სა-ქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული-2013. -ტ. 119. - გვ.64-68- რუს.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

გამოკვლეულია ჰაერის ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობების სტატისტიკური სტრუქტურა თბილისში და სანკტ-პეტერბურგში 1907-2006 წწ. კერძოდ მიღებულია, რომ ავტოკორელაცია დაკვირვებათა რიგებში სანკტ-პეტერბურგისათვის უფრო მაღალია, ვიდრე თბილისისათვის. პერიოდულობის პიკები თბილისისათვის ყოველ მე-20 და მე-5 წელზე მოდის, სანკტ-პეტერბურგისათვის – მე-14 და მე-8 წელზე. დათბობის პროცესი სანკტ-პეტერბურგში უფრო ინტენსიურია, ვიდრე თბილისში. ჩატარებულია ჰაერის ტემპერატურის მოსალოდნელი ცვლილებების სტატისტიკური პროგნოზირება ამავე ქალაქებისათვის 2056 წლამდე სამი მეთოდის გამოყენებით (წრფივი პროგნოზირება, პროგნოზირება გლუვი ფუნქციებით დაკვირვებათა რიგში ორი პერიოდულობის გათვალისწინებით, წრფივი პროგნოზირება ერთი პერიოდულობის გათვალისწინებით).

UDC 551.582

THE STATISTICAL EVALUATION OF THE EXPECTED CHANGES OF AIR TEMPERATURE IN TBILISI AND ST.-PETERSBURG UP TO 2056 YEARS / Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Trofimenko L., Khurodze T./ Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University. -2013. - т.119. – pp. 64-68 - Russ.; Summ. Georg.; Eng.; Russ. The statistical structure of time series of the mean annual values of the temperature of air in Tbilisi and St.-Petersburg in 1907-2006 is investigated. It is in particular obtained that the autocorrelation in the time series of observations of St.-Petersburg is higher than in Tbilisi. The peaks of periodicity for Tbilisi feel approximately to 20 and 5 years, whereas for St.-Petersburg - 14 and 8 years. The process of warming-up in St.-Petersburg is more intensive than in Tbilisi. The statistical prognostication of the expected changes of the temperature of air in these cities up to 2056 years with the use of three methods is carried out (linear prognostication, the prognostication of the smoothed functions taking into account two periodicities in the series of observations, linear prognostication taking into account one periodicity in the series of observations).

УДК 551.582

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОЖИДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТБИЛИСИ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ДО 2056 ГОДА / Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л.Г., Трофименко Л.Т., Хуродзе Т.В./ Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии. –2013. – т.119. – с. 64-68 – Рус.; Рез. Груз., Англ., Рус.

Исследована статистическая структура временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге в 1907-2006 гг. В частности получено, что автокорреляция в рядах наблюдений Санкт-Петербурга выше, чем в Тбилиси. Пики периодичности для Тбилиси приходятся примерно на 20 и 5 лет, тогда как для Санкт-Петербурга – 14 и 8 лет. Процесс потепления в Санкт-Петербурге более интенсивный, чем в Тбилиси. Проведено статистическое прогнозирование ожидаемых изменений температуры воздуха в этих городах до 2056 года с использованием трех методов (линейное прогнозирование, прогнозирования сглаженных функций с учетом двух периодичностей в ряде наблюдений, линейное прогнозирование с учетом одной периодичности в ряде наблюдений).