

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ГРУЗИИ В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА, ТГУ

Пи́пия М.Г.

*Институте геофизики им. М. Нодиа, ТГУ, Тбилиси, Грузия
Институт гидрометеорологии, ГТУ, Тбилиси, Грузия
mishapipia@yahoo.com*

Исследования в области физики атмосферы и климатологии в Институте геофизики АН Груз. ССР начались в 1936 г. Изучались вопросы энергетики вертикального потока воздушных масс и термодинамических условий образования и развития феновых явлений в Грузии (И. Г. Курдиани). Исследовались: генезис климата Закавказья, перенос воздушных масс в Западной Грузии, облачные системы и грозовые явления в Тбилиси и его окрестностях, а также термический режим в верхних слоях тропосферы на территории Грузии. Большое внимание уделялось вопросам климатологии, в частности исследованиям климатических характеристик отдельных районов Грузии и Закавказья. В результате этого был разработан метод генетического анализа климатических и метеорологических условий для горной страны (А. Г. Балабуев) [1].

В последние четыре десятилетия исследования различных элементов климата (грозы, град, атмосферные аэрозоли, озон и др.) осталось одним из приоритетных направлений работы сектора физики атмосферы института геофизики. Однако, наиболее важные результаты были получены в результате широкомасштабных исследованиях современного изменения климата Грузии, которые были начаты в 1996 году совместно с институтом географии им. Вахушти Багратиони и институтом гидрометеорологии и продолжают по сей день. В первую очередь была проведена инвентаризация парниковых газов в Грузии, изучены пространственно-временные вариации полей температуры воздуха и почвы, вертикального распределения температуры и влагосодержания в свободной атмосфере, облачности, осадков, солнечной радиации, содержания в атмосфере аэрозолей и озона [2-10].

В частности, в работе [9] проведен подробный анализ особенностей изменения антропогенной эмиссии радиационно-активных малых примесей в атмосфере (РАМПА) в Грузии в течении последних двух десятилетий. Так, доля миссии различных составляющих АМПА в период с 1991 по 1996 гг. по сравнению с периодом с 1980 по 1990 гг. составила: для CO₂ - 35.1%, CH₄ - 51.7%, N₂O - 48.1%, NO_x - 36.0%, CO - 39.9%, SO₂ - 32.7%, аэрозолей (сульфаты, нитраты, сажа, твердые выбросы) - около 30%. Это связано с существенным падением в Грузии промышленного производства после распада Советского Союза. Соответственно в промышленных городах в приземном слое воздуха уменьшилось содержание пыли, CO, SO₂, NO_x. Так в Тбилиси в период с 1991 по 1996 гг. по сравнению с предыдущей шестилеткой содержание пыли и CO составляло 60%, NO_x - 44%, SO₂ - 9%. Содержание приземного озона, напротив, возросло на 42%. В тот же промежуток времени по

сравнению с 1985-1990 гг., количество образующихся вторичных сульфатных ядер конденсации уменьшилось в четыре раза.

В этой же работе предложена блок-схема взаимодействия атмосферных аэрозолей и конвективных облаков, а также образования в атмосфере и облаках ядер конденсации, кристаллизации и ледяных кристаллов с учетом протекающих в атмосфере процессов ионизации и электризации. Показано, что мощные конвективные и грозовые облака способны вносить существенный вклад в прямые и косвенные радиационные эффекты.

Исследованы вариации общего содержания озона в период с 1973 по 1995 гг. Показано, что в указанный период времени как в Грузии, так и в прилегающих регионах (Одесса, Самара, Ашхабад, Алма-Ата) наблюдаются отрицательные тренды общего содержания озона как для средне сезонных, так и среднегодовых значений [9].

Проведен подробный анализ пространственно-временных характеристик аэрозольной оптической толщи атмосферы (АОТ) над Грузией. В частности, было показано, что для всей территории Грузии в период с 1928 по 1990 гг. наблюдались существенные положительные тренды аэрозольной оптической толщи атмосферы, обусловленные ростом антропогенного аэрозольного загрязнения атмосферы. Приведены оценки динамики фоновой, случайной и антропогенной составляющей аэрозольной оптической толщи атмосферы. Так, если в период с 1928 по 1950 гг. в различных районах Грузии доля антропогенной составляющей АОТ составляла от ее общей величины 3-9%, то в период с 1971 по 1990 гг. эта доля составляла 44-63% (Цалка и Тбилиси соответственно) [3,4,9]. Позднее [11,12] был проведен сравнительный анализ изменчивости АОТ в Тбилиси, Цалке и Кисловодске для периода с 1941 по 1990 гг. Было показано, что динамика общего аэрозольного загрязнения в Грузии (Тбилиси, Цалка) и на Северном Кавказе (Кисловодск) имеет сходный характер

Проведены теоретические расчеты влияния некоторых РАМПА на режим прямой и рассеянной солнечной радиации в Грузии в ясные дни [9]. В частности, показано, что в результате роста аэрозольного загрязнения атмосферы в 1990 году по сравнению с 1928 годом в Тбилиси ослабление интенсивности прямой солнечной радиации увеличилось на 37%, в Телави на 35%, в Западной Грузии (Анасеули, Сенаки, Сухуми) - на 28%, в Цалке - на 6%. Приведены оценки влияния на потоки коротковолновой солнечной радиации изменчивости содержания в атмосфере водяного пара, озона, аэрозолей и величин коротковолнового альbedo подстилающей поверхности. В частности, получено, что к концу восьмидесятых годов в результате антропогенного роста АОТ в январе месяце интенсивность коротковолновой солнечной радиации уменьшилась в Тбилиси на 2.2 Вт/м², в Телави на 1.1 Вт/м², в Западной Грузии на 0.6 Вт/м², в Цалке на 0.5 Вт/м². В июле месяце это уменьшение соответственно составило: 12.5, 11.5, 7.5 и 5.5 Вт/м².

В монографии [10] были установлены особенности вертикального распределения температуры воздуха в тропосфере, региональная изменчивость этих особенностей, суточные вариации, устойчивость инверсий и влияние облачности на температурную стратификацию свободной атмосферы. Изучены закономерности вертикального распределения абсолютной влажности воздуха. Выявлены особенности изменения вертикального распределения абсолютной влажности в 1940-1900 гг. Изучено влияние продолжительности солнечного сияния и скорости ветра на АОТ. Составлены карты распределения аэрозольной оптической толщи атмосферы над территорией Грузии для различных периодов времени. Построены карты изменчивости поля температуры поверхности почвы на территории Грузии по сезонам года.

В работе [7] приведены результаты исследования нижней и общей облачности над территорией Грузии в период с 1936 по 1991 гг. Было показано, что характер изменчивости общей (ОО) и нижней (НО) облачности в Западной и Восточной Грузии мало отличаются друг от друга как в теплое, так и в холодное время года. Близки и характеры изменчивости среднегодовых значений ОО в Западной и Восточной Грузии. В холодное время года в обеих частях страны преобладают отрицательные тенденции ОО. В теплый период года в Западной Грузии на большинстве станций (46%) отмечаются положительные тренды ОО, а в Восточной Грузии на большинстве станций (56%) тренды ОО отсутствуют.

Тенденции изменчивости нижней облачности в Западной Грузии в среднем за год и в холодное время года в основном отрицательные, а в теплое – положительные. В Восточной Грузии для всех сезонов года наблюдаются четкие положительные тенденции в вариациях значений НО. Для всей территории Грузии в среднем за год и в теплое время года на большинстве станций трендов ОО не обнаружено.

В холодное время года на большинстве станций обнаруживаются отрицательные тренды ОО. Что касается нижней облачности, то для всей территории Грузии на большинстве станций во все сезоны в ее изменчивости наблюдаются положительные тенденции.

В продолжение этих исследований в работе [13] представлены результаты статистического анализа месячных, полугодовых и годовых значений общей облачности в Тбилиси за 1956-2015 гг. В частности, установлено, что в период с 1986 по 2015 г. по сравнению с периодом 1956-1985 гг. в г. Тбилиси за все месяцы и периоды года (за исключением августа и декабря - отсутствие изменения значений ОО, и октябрь - рост облачности), наблюдается снижение значений общей облачности. Наибольшее уменьшение значений ОО в 2015 г. по сравнению с 1956 г. относительно средней величины общей облачности за 1956-2015 гг. наблюдалось в июне: -20.3%, наименьшее - в апреле: -6.4%.

Важное значение уделялось и уделяется изучению изменчивости таких атмосферных явлений, как грозы, град, туманы [14-19], наносящих значительный ущерб народному хозяйству страны [20].

В таблице 1 представлены данные о трендах числа дней с грозами для теплых периодов года (1936-1962, 1963-1990 гг.) для различных климатических зон Грузии.

Таблица 1. Тренды числа дней с грозами для теплого периода года (1936-1962, 1963-1990 гг.) [14].

Регион, климатическая зона	Число метеостанций	Тренд		
		Полож.	Отриц.	Нулевой
Грузия	115	37	16	47
Западная Грузия	62	36	19	45
Восточная Грузия	53	40	11	49
І. Южная часть Черноморского побережья.	5	60	-	40
ІІ. Северная часть Черноморского побережья.	8	38	25	37

III. Внутренняя равнинная часть Западной Грузии с предгорьями.	21	24	10	66
IV. Имеретинская возвышенность.	10	40	30	30
V. Верхнекартлийская и Нижнекартлийская равнины с предгорьями.	17	41	18	41
VI. Алазанская долина с предгорьями.	7	43	-	57
VII. Иорское плоскогорье с прилегающими степями.	4	25	-	75
VIII. Периферийная часть Западного Кавказиони.	2	50	-	50
IX. Внутренняя часть Внутреннего Кавказиони.	12	75	-	25
X. Предгорье и среднегорье Восточного Кавказиони.	2	50	-	50
XI. Высокогорье Восточной Грузии.	4	25	-	75
XII. Северные склоны Кавказиони.	3	-	33	67
XIII. Западная часть Южно-Грузинского нагорья.	4	-	50	50
XIV. Южные склоны Месхетского и Триалетского хребтов.	8	37	13	50
XV. Южная часть Южно-Грузинского нагорья.	8	62	13	25

Из таблицы 1 следует, что тренд числа дней с грозами в теплое полугодие (апрель-октябрь) отмечается на 53% метеостанций Грузии. В основном выявлено увеличение числа дней с грозой. В Восточной Грузии (53 метеостанции) на 51% станций тренд числа дней с грозами существует, из них на 40% - положительный. В Западной Грузии (62 метеостанции) на 55% станций отмечена в основном положительная тенденция изменения числа грозовых дней.

По климатическим зонам выявлено следующее:

по Черноморскому побережью на 60% станций отмечен тренд числа дней с грозами;

в IV и V климатических зонах на 60-70 % станций зафиксировано существование трендов, причем положительных;

в VI, XIII, IX, X и XV зонах положительные тренды отмечены на 50-75% станций;

в XIV зоне на 50% станций существует тренд, в основном положительный;

в XIII зоне отмечено уменьшение числа дней с грозами на 50% станций;

в III, VII, XI, XII климатических зонах на 60-75% станций тенденция изменения числа дней с грозами не отмечена.

По мнению авторов, изменение грозовой деятельности может быть вызвано изменениями общей атмосферной циркуляции, термодинамического режима, а также влиянием различных антропогенных факторов.

Информация о статистических характеристиках числа дней с градом в теплое полугодие (апрель-октябрь) для 122 метеостанций Грузии в три периода времени представлена в таблице 2 [16].

Таблица 2. Статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие для 122 метеостанций Грузии в три периода времени

Период/параметр	1941-1990	1941-1965	1966-1990
Среднее	1.27	1.54	0.99
Мин.	0.04	0.04	0
Макс.	5.6	7.24	6.08
Ст. откл.	1.31	1.6	1.2

Таблица 3. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1966-1990 гг. по сравнению с 1941-1965 гг.

Тренд/регион	Отрицательный (%)	Положительный (%)	Нет тренда (%)
Западная Грузия	50.6	14.8	34.6
Восточная Грузия	58.5	4.9	36.6
Вся территория	53.3	11.5	35.2

Как следует из этой таблицы, в период с 1941 по 1990 гг. среднее по всем станциям число дней с градом было 1.27. В первый период времени число дней с градом для этих станций в среднем было 1.54, а во втором периоде - уменьшилось до 1.0.

Тенденции в изменчивости числа дней с градом в Грузии в 1966-1990 гг. по сравнению с 1941-1965 гг.) представлены в таблице 3. Так, на территории Грузии во второй период времени по сравнению с первым периодом как целом, так в ее западной и восточной частях преимущественно наблюдалась отрицательная динамика в изменчивости числа дней с градом (таблицы 2 и 3).

С учетом новых данных было проведено сравнение числа дней с градом по 30 метеостанциям Грузии в 2006-2021 и 1941-1990 гг. [17]. Выявилось, что во второй период времени по сравнению с первым периодом количество дней с градом на 18 станциях уменьшилось, на 10 станции - не изменились, а увеличились только на одной станции (Кеда).

В работах [18, 19] проведено исследование годового числа дней с туманом в Грузии. В частности, показано, что тренды среднего числа дней с туманом в год на одну метеорологическую станцию в Грузии и ее восточной и западной частях в 1936-1990 гг. отрицательные и удовлетворительно описываются нелинейными уравнениями третьего порядка. В Восточной Грузии по сравнению с Западной Грузией уменьшение количества дней с туманом в году в 1936-1990 гг. происходило менее интенсивно.

В работах [21-26] представлены результаты исследования вариаций концентрации приземного озона и других составляющих атмосферы в Тбилиси в последние 40 лет. Так, в монографии [23] изучена изменчивость концентрации приземного озона, солнечной радиации, дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы. В частности, изменчивость концентрация приземного озона в 1984-2011 гг. происходила в соответствие с полиномом четвертой степени. В общем, с 1984 по 1997-1998 гг. происходил рост концентрации озона, затем – до 2006-2007 гг., уменьшение и в 2008-2011 гг. – вновь рост. Интенсивность прямой и суммарной солнечной радиации в 2010-2011 гг. практически не отличается от тех же данных для 1980-1992 гг. Значения дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы указывают на то, что в 2010-2011 годы аэрозольное загрязнение атмосферы было несколько меньше, чем в 1980-1992 гг.

Выявлены эффекты воздействия концентрации приземного озона, а также других определяющих и сопутствующих фотохимический смог параметров атмосферы на здоровье людей. В частности, установлено, что в условиях г. Тбилиси в максимальная дневная концентрация озона 50 мкг/м^3 и выше крайне неблагоприятно влияет на здоровье людей. Эта концентрация значительно ниже (в 3-5 раз) принятых в Европе и США предельно допустимых концентраций озона.

По данным 1984-2010 гг. выявилось, что повышенные концентрации приземного озона (а также сопутствующих ему вредных для здоровья людей компонентов смога) в среднем увеличивают среднегодовую смертность населения г. Тбилиси на 1680 человек. Это составляет 14.1 % от среднегодовой смертности населения города, что в 3 раза выше, чем для тех же параметров в развитых странах.

Установлено, что в последние годы по сравнению с восьмидесятыми годами прошлого столетия, население г. Тбилиси стало более чувствительным к загрязнению воздуха (негативные эффекты для здоровья людей и случаи летального исхода происходят при более низких концентрациях приземного озона). Обсуждаются возможные причины этого эффекта.

Более подробные исследования многолетней изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси показали, что она имеет сложный характер [24,25]. Так, в работе [25] было показано, что диапазон изменчивости средних значений концентрации приземного озона (КПО) в разные месяцы, сезоны и периоды года достаточно велик. Наибольшие значения КПО наблюдались в 1994-2003 гг., наименьшие - в 2004-2013 гг., и промежуточные - в 1984-1993 гг.

Тренды полугодовых и годовых значений концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2013 гг. имеют нелинейный характер и описываются полиномами пятого и шестого порядка (среднегодовой, холодный и теплый периоды соответственно). В трендовой составляющей КПО в период с 1984 по 1995-1997 гг. наблюдался ее рост, затем – снижение до 2007 г. и в период 2008-2010 гг. – вновь небольшой рост.

В работе [26] проведен сравнительный анализ среднемесячных данных о КПО в Тбилиси и на Кисловодской высокогорной станции (КВС) с 1989 по 2013 гг.

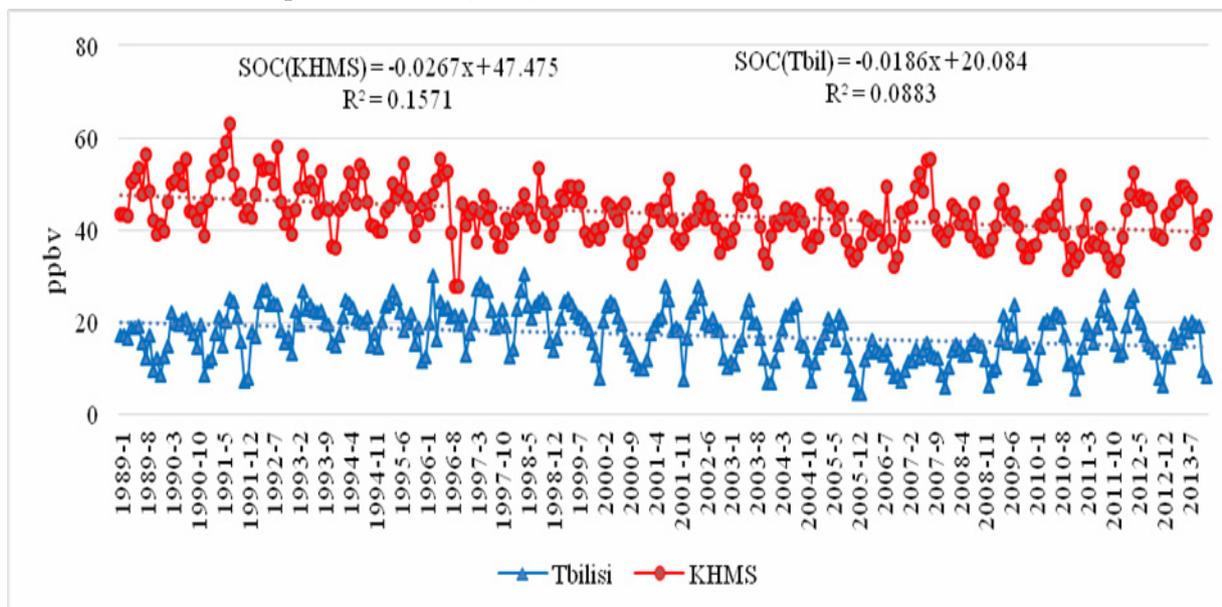


Рис. 1. Изменчивость среднемесячных значений КПО в Тбилиси и на КВС в 1989-2013 гг.

В частности, установлено, что содержание озона на КВС в среднем в 2.6 раза выше, чем в Тбилиси (в марте и апреле выше в 2.2 раза, в декабре в 4.1 раза). Изменчивость концентрации озона в разные месяцы в Тбилиси выше, чем на КВС (коэффициент вариации в Тбилиси колеблется от 16.5 до 32.2% в июне и ноябре соответственно, а в Кисловодске - от 7.0 до 12.7% в феврале и июле соответственно).

На рис. 1 для примера представлены графики изменчивости среднемесячных значений КПО в Тбилиси и на КВС с 1989 по 2013 гг.

Как в Тбилиси, так и на КВС наблюдается тенденция к снижению уровня приземного озона во все месяцы года. Однако в Тбилиси эта тенденция выше, чем на КВС. Так, в 2002-2013 гг. по сравнению с 1989-2000 гг. в г. Тбилиси содержание озона снизилось с 10.3 до 46.8% в июле и ноябре соответственно, а на КВС - с 6.5 до 13.7% в августе и ноябре соответственно.

Принимая во внимание значительное влияние приземного озона на биосферу, климат и здоровье человека (особенно в крупных городах), в последующем предусматривается интенсификация вышеуказанных исследований.

В последние почти сто лет в мире проведено большое количество исследований в области биоклиматологии, биометеорологии и медицинской метеорологии [27-32]. Известно более 200 биометеорологических и биоклиматических индексов, которые определяют влияние метеорологических и климатических факторов на состояние здоровья человека. Некоторые из этих индексов используются в курортно-туристической индустрии. Указанные представляют собой комбинацию метеорологических параметров в виде формул, или номограмм и таблиц. Одновременно с физическими величинами значения биоклиматических индексов описываются и терминами (например, “холодно”, “комфортно”, “тепло”, “тепловой или солнечный удар”, “повышенная утомляемость”, “опасность обморожения” и т.д.). Подобная терминология более понятна для широкого круга населения, чем физические величины [27-31]. Кроме биоклиматических индексов существуют и другие индексы, описывающие комплексное воздействие метеорологических элементов на окружающую среду. В частности, одним из многих таких индексов является пожарный индекс Ангстрема, характеризующим степень пожароопасности местности при тех или иных комбинациях значений температуры и относительной влажности воздуха [32]. Таким образом, исследование долгосрочных вариаций указанных индексов в связи с изменением климата, а также прогнозирование их изменчивости на ближайшие десятилетия, имеет как важное научное, так и практическое значение с точки зрения настоящих и будущих оценок их влияния на окружающую среду и здоровье людей.

В частности, в институте геофизики были проведены исследования изменчивости во времени таких биоклиматических индексов, как эффективная температура воздуха (эквивалентно-эффективная температура - ЭЭТ, а также эффективная температура по Миссенарду – ЕТ: комбинация температуры воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра) [27, 28, 33-35]; климатического индекса туризма (КИТ: комбинации семи метеорологических параметров - средняя месячная и максимальная температура воздуха, средняя месячная и минимальная относительная влажность воздуха, месячная сумма осадков, месячная продолжительность солнечного сияния, среднемесячная скорость ветра) [29, 36-39]; климатического индекса отдыха (КИО: комбинации пяти метеорологических параметров - средняя месячная максимальная температура воздуха, средняя месячная относительная влажность воздуха, средняя месячная облачность, месячная сумма осадков, среднемесячная скорость ветра) [30, 40,41]. Значения эффективной температуры воздуха определяются по формулам. Значения КИТ и КИО - по специальным номограммам и таблицам [27-31]. Изменчивость

пожарного индекса туризма, который вычисляется по специальной формуле [32], была изучена для условий Кахетии [42].

Рейтинги «климатической привлекательности» в зависимости от значений КИТ и КИО (категории КИТ и КИО) представлены в таблице 4 [29-31].

Таблица 4. Категории КИТ и КИО.

Рейтинг КИТ	Рейтинг КИО	Категория	Категория, сокр.
90÷100	90÷100	Идеальная	Идеал.
80÷89	80÷89	Превосходная	Превосх.
70÷79	70÷79	Очень хорошая	Оч. хор.
60÷69	60÷69	Хорошая	Хор.
50÷59	50÷59	Приемлемая	Приемл.
40÷49	40÷49	Маргинальная	Марг.
30÷39	30÷39	Неблагоприятная	Неблаг.
20÷29	20÷29	Очень неблагоприятная	Оч. неблаг.
10÷19	10÷19	Экстремально неблагоприятная	Экстр. неблаг.
- 30÷9	9÷-9	Неприемлемая	Неприемл.
	-10÷-20	Неприемлемая	Неприемл.

В работе [33] изучались долговременные вариации эквивалентно-эффективной температуры воздуха в Тбилиси в период с 1957 по 2006 гг. Выявилось, что в последние два десятилетия в 0.4 % случаев среднемесячное значение ЭЭТ соответствовало градации “Тепло” (в 1957 – 1976 гг. в эту градацию значение ЭЭТ не попадало). Кроме этого, в 1987 – 2006 гг. по сравнению с 1957 – 1976 гг. увеличилось количество комфортных месяцев (24.6 % против 22.5 %); уменьшилось количество месяцев, соответствующих градации “Холодно” (48.3 % против 52.5 %); увеличилось количество месяцев, соответствующих градации “Умеренно холодно” (26.7 % против 25.0 %).

В другой работе [34] изучались долговременные вариации эквивалентно-эффективной температуры воздуха в Кутаиси для того же периода времени. Как и в Тбилиси, в последние два десятилетия в 0.4 % случаев среднемесячное значение ЭЭТ соответствовало градации “Тепло” (в 1957 – 1976 гг. в эту градацию значение ЭЭТ также не попадало). В отличие от Тбилиси, в Кутаиси в 1987 – 2006 гг. по сравнению с 1957 – 1976 гг. уменьшилось количество комфортных месяцев (20.4 % против 21.3 %); как и в Тбилиси, уменьшилось количество месяцев, соответствующих градации “Холодно” (50.0 % против 53.8 %) и увеличилось количество месяцев, соответствующих градации “Умеренно холодно” (29.2 % против 25.0 %).

Авторы отмечают, что изменчивость ЭЭТ и ее составляющих в Кутаиси совершенно иная, чем в Тбилиси [33,34]. Так, в отличие от Кутаиси, в Тбилиси временные ряды всех составляющих ЭЭТ являются зависящими от времени. ЭЭТ в Тбилиси вначале имела рост (с уменьшением скорости ветра), а в последние годы – уменьшение (с ростом скорости ветра), что противоположно ходу ЭЭТ в Кутаиси. В целом же за последние двадцать лет (1987-2006 гг.) по сравнению с предыдущим двадцатилетием (1957-1976 гг.) значение ЭЭТ в Тбилиси, так же, как и в Кутаиси, возросло.

В работе [35] представлены результаты статистического анализа среднемесячных дневных данных о значениях эффективной температуры воздуха по Миссенарду ЕТ в Батуми с 1956 по 2015 гг. Изучено внутригодовое распределение значений ЕТ в три периода времени: 1956-1985, 1956-2015,

1986-2015 гг.; получена их повторяемость по категориям ЕТ в указанные периоды времени и др. Выявлено влияние изменения климата на значения ЕТ.

В частности, показано, что в 1986-2015 гг. во сравнению с 1956-1985 гг. повторяемость значений ЕТ для категории “Очень холодно” уменьшилась с 1.7% до 1.1%, “Холодно”, уменьшилась с 23.9% до 22.8%, “Прохладно” увеличилась с 35.0% до 35.8%, “Свежо” уменьшилась с 22.2 % до 17.8%, “Комфортно” увеличилась с 12.5% до 13.9%, “Тепло” увеличилась с 4.7% до 8.6%. Указанные изменения главным образом обусловлены ростом температуры воздуха и уменьшение скорости ветра. Результаты исследования могут найти практическое применение для планирования развития курортно-туристической индустрии в Аджарии с учетом изменения климата.

В Грузии изменчивость КИТ в период с 1961 по 2010 г. изучалась для четырех пунктов Аджарской Автономной Республики (ААР) [36, 37], четырех пунктов Кахетии [38] и Местиа [39]. Для указанных населенных пунктов рассчитаны среднемесячные значения КИТ с использованием данных Национального агентства окружающей среды Грузии.

В частности, в 1986-2010 гг. по сравнению с 1961-1985 гг. среднее количество дней в году с категориями КИТ «Маргинальная» и выше, обуславливающими благоприятную биоклиматическую обстановку для так называемого «среднего туриста», в отдельных пунктах ААР изменилось следующим образом: Батуми - незначительное снижение - 293 и 286 дней соответственно; Кобулет - неизменность (по 278 дней за оба периода времени); Хуло - значительное снижение (281 и 264 дня соответственно); Годерзи - значительное увеличение (178 и 200 дней соответственно) [36, 37]. В Кахетии эти изменения следующие: Телави - практически неизменность (357 и 359 дней соответственно); Дедоплискар - незначительное снижение (348 и 341 день соответственно); Кварели – практически неизменность (341 и 345 дней соответственно); Сагареджо - небольшой прирост (346 и 353 дня соответственно) [38]. В Местиа количество этих дней уменьшилось на 13 (264 и 251 день соответственно) [39].

В работе [40] приведена подробная информация об изменчивости месячных значений климатического индекса отдыха (КИО) в Тбилиси в 1956-2015 гг. Также представлены данные по интервальному прогнозу изменчивости значений КИО в Тбилиси на ближайшие несколько десятилетий.

В период с 1956 по 2015 гг. месячные значения КИО и их категории варьировали от 53.0 (“Приемлемая”, февраль) до 94.0 (“Идеальная”, октябрь). Среднемесячные значения КИО за весь период наблюдения варьировали от 62.0 (“Хорошая”, январь) до 83.8 (“Превосходная”, май). Максимальное значение диапазона изменчивости для месячных значений КИО составляет 27.0 (октябрь), минимальное – 10.0 (июль).

Тренд месячных значений КИО по всем данным наблюдений в целом положительный, мало значимый. Значимый линейный положительный тренд значений КИО в отдельные месяцы года наблюдался в январе, марте, холодном полугодии; отрицательный - с июля по сентябрь и в теплую половину года. Значимое увеличение среднемесячных и сезонных значений КИО в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. наблюдалось с января по март и в холодное полугодие, снижение - с июля по сентябрь и в теплое полугодие. Таким образом, изменчивость значений КИО в Тбилиси за исследуемый период в целом незначительна. Благоприятные биоклиматические условия для отдыха и туризма в Тбилиси наблюдаются в течение всех месяцев года.

Учитывая, что изменчивость значений КИО в Тбилиси не очень значительна, интервальный прогноз изменчивости ее значений на ближайшие десятилетия был выполнен с использованием

программы “MULTIPLE SEASONAL MODEL” (Program “MESOSAUR” [40]) с учетом двух значений периодичности (12 и 6 месяцев). Как показали расчеты, благоприятные биоклиматические условия для отдыха и туризма сохранятся в Тбилиси практически круглый год и в ближайшие десятилетия.

В работе [41] представлены результаты масштабных исследований изменчивости значений КИО для 13 высокогорных пунктов Грузии в период с 1956 по 2015 гг. В этой же работе на примере Местиа проведены оценки изменчивости значений КИО и их категорий на два периода времени, с 2041 по 2070 и с 2071 по 2100 гг.

В 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. на исследуемых 13 высокогорных пунктах Грузии произошло следующее изменение категорий КИО.

Бахмаро

В сентябре произошло повышение категории КИО на одну ступень (“Хорошая ” → “Очень хорошая”).

Бакуриани

Изменение климата привело к увеличению категорий КИО на один уровень в марте (“Приемлемая” → “Хорошая”), □ мае и в среднем за год (“Хорошая” → “Очень хорошая”), □ июн□ и сентябр□ (“Очень хорошая” → “Превосходная”), уменьшаясь на одну ступень – в октябре (“Очень хорошая” → “Хорошая”).

Боржоми

Изменение климата привело к повышению категории КИО на один уровень только в теплое полугодие (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

Годердзи

Произошло снижение категории КИО на один уровень только в декабре (“Приемлемая” → “Маргинальная”).

Гудаури

Изменение климата привело к повышению категорий КИО на одну ступень только в сентябре (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

Хаиши

Произошло снижение категории КИО на одну ступень в летние месяцы, с июня по август (“Превосходная” → “Очень хорошая”).

Хуло

Изменение климата привело к снижению категории КИО на одну ступень в августе (“Превосходная ” → “Очень хорошая”) и □ ноябре (“Хорошая” → “Приемлемая”).

Лентехи

Произошло снижение категории КИО на один уровень в апреле и в среднем за год (“Очень хорошая” → “Хорошая”), в июне (“Превосходная” → “Очень хорошая”), в ноябрь и в холодное полугодие (“Хорошая” → “Приемлемая”).

Местиа

Изменение климата привело к снижению категории КИО на один уровень в марте (“Хорошая ” → “Приемлемая”), в среднем за год (“Очень хорошая” → “Хорошая”) и в теплое полугодие (“Превосходная” → “Очень хорошая”).

Пасанаури

Произошло повышение категории КИО на одну ступень только в апреле (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

Шови

Изменение климата привело к повышению категории КИО на одну ступень лишь в сентябре (“Очень хорошая” → “Превосходная”).

Степанцминда

Изменение климата привело к повышению категории КИО на одну ступень в сентябре (“Очень хорошая” → “Превосходная”) и в целом за год “Хорошая” → “Очень хорошая”).

Тианети

Произошло увеличение категории КИО на одну ступень в апреле (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

В 1986-2015 и 1956-1985 годах количество дней в диапазоне категорий КИО “Маргинальная” - “Идеальная” для исследуемых **пунктов** соответственно следующее: Бахмаро (346 и 352), Годердзи (348 и 354), Гудаури (361 и 357), Хайши (362 и 361, Хуло (355 и 359), Лентехи (361 и 358), Местиа (364 и 365), Шови (363 и 365); Бакуриани, Боржоми, Пасанаури, Степанцминда и Тианети (за оба временных периода - по 365 дней).

Соответствующие расчеты показали, что в Местиа в 2041-2070 и 2071-2100 гг. по сравнению с 99% доверительным интервалом средних значений КИО в 1956-2015 гг., в мае и октябре ожидается значимый рост значений КИО и их категорий на одну ступень “Очень хорошая” → “Превосходная”); в июле и августе - снижение значений КИО и соответствующее ухудшение его категории на одну ступень, “Превосходная” → “Очень хорошая”). В июне 2071-2100 гг. категория КИО ухудшится на одну ступень: “Превосходная” → “Очень хорошая”.

Таким образом, в Местиа, как минимум до 2100 года, ожидается сохранение благоприятных для туризма биоклиматических условий [41].

В работе [42] проведено исследование влияния изменение климата на пожарный индекс Ангстрема (AFI) в условиях Кахетии (на примере Телави) в 1973-2016 гг.

В частности, повторяемость дневных значений AFI в различных диапазонах его значений в 2012-2016 гг. по сравнению с 1973-1977 гг. изменилась следующим образом:

- $AFI \geq 4.1$ (“Низкий уровень пожароопасности”), уменьшение с 40.3 % до 32.0 % (соответственно – 147 и 117 дней в год);
- $3.0 \leq AFI \leq 4.0$ (“Умеренный уровень пожароопасности”), увеличение с 25.5 % до 27.0 % (соответственно – 93 и 99 дней в год);
- $2.5 \leq AFI \leq 2.9$ (“Высокий уровень пожароопасности”), уменьшение с 14.0 % до 13.1 % (соответственно – 51 и 48 дней в год);
- $2.2 \leq AFI \leq 2.4$ (“Очень высокий уровень пожароопасности”), увеличение с 9.9 % до 12.0 % (соответственно – 36 и 44 дней в год);
- $AFI < 2.0$ (“Экстремальный уровень пожароопасности”), увеличение с 10.4 % до 15.8 % (соответственно – 38 и 58 дней в год).

В целом, во второй период времени по сравнению с первым число дней с уровнем пожарной в диапазоне “Высокий уровень пожароопасности” - “Экстремальный уровень пожароопасности” выросло с 125 до 150 дней в год (рост на почти на 20 %), а в диапазоне “Очень высокий уровень

пожароопасности” - “Экстремальный уровень пожароопасности” выросло с 74 до 102 дней в год (рост на почти на 38 %).

Такой рост пожароопасности в исследуемой местности вызван, в основном, ростом температуры воздуха в указанный период времени. Значимый рост среднемесячной максимальной температуры воздуха T в 2012-2016 гг. по сравнению с 1973-1977 гг. наблюдался с января по сентябрь. При этом наибольший рост значений T наблюдался в январе и августе (3.5 °С), наименьший – в апреле (1.0 °С). Значимый рост среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха F в 2012-2016 гг. по сравнению с 1973-1977 гг. наблюдается лишь в мае (2.5 %). С января по март и с июня по сентябрь наблюдалось уменьшение значений F во второй период времени по сравнению с первым (максимальное уменьшение в сентябре – на 6.7 %, минимальное – в феврале - на 2.0 %) [42].

В работах [43, 44] представлены результаты исследования изменчивости метеорологических параметров, связанных с климатическим индексом туризма в Аджарии и Кахетии в 1961-2010 гг., и климатическим индексом выходных в 13 горных районах Грузии в 1956-2015 гг.

Изменчивость (разность значений) метеорологических параметров, связанных с КИТ, в Аджарии (Батуми, Кобулет, Хуло, Годердзи) и Кахетии (Телави, Сагареджо, Кварели, Дедоплискар) в 1986-2010 гг. по сравнению с 1961-1985 гг. следующая [43].

Разность средней температуры воздуха ΔT_{mean}

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной температуры воздуха для исследуемых пунктов Аджарии наблюдается в 16 случаях (для всех случаев - рост значений ΔT_{mean}), а для Кахетии – в 22 случаях (в том числе для 20 случаев - рост значений ΔT_{mean}).

Таким образом, в обоих исследуемых регионах отмечается явный процесс потепления климата. В Аджарии значения ΔT_{mean} варьируют от 0.5 до 1.6 °С, амплитуда – 1.1 °С, а в Кахетии – от –0.6 до 1.7 °С, амплитуда – 2.3 °С. В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной температуры воздуха в Аджарии значение ΔT_{mean} растет на 1.0 °С, а в Кахетии – на 0.8 °С.

Разность среднемесячной максимальной температуры воздуха ΔT_{max}

Изменчивость среднемесячной максимальной температуры воздуха для пунктов Аджарии наблюдается в 11 случаях (в том числе для 10 случаев - рост значений ΔT_{max}), а для Кахетии – в 18 случаях (в том числе для 17 случаев - рост значений ΔT_{max}).

В целом, в Аджарии значения ΔT_{max} меняются от -0.9 до 1.9 °С, амплитуда – 2.8 °С, а в Кахетии – от –0.7 до 2.1 °С, амплитуда – также 2.8 °С. В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной максимальной температуры воздуха в Аджарии значение ΔT_{max} растет на 1.0 °С, а в Кахетии – на 1.1 °С.

Разность среднемесячной относительной влажности воздуха ΔRH_{mean}

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной относительной влажности воздуха для указанных пунктов Аджарии наблюдаются в 16 случаях (в том числе для 8 случаев - рост значений ΔRH_{mean}), а для Кахетии – в 24 случаях (в том числе для 14 случаев - рост значений ΔRH_{mean}).

В Аджарии значения ΔRH_{mean} варьируют от -3.6 до 3.1 %, амплитуда – 6.7 %, а в Кахетии – от –5.8 до 5.4 %, амплитуда – 11.2%. В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной относительной влажности воздуха в Аджарии значение ΔRH_{mean} растет на 0.1 %, а в Кахетии – на 0.7 %.

Разность среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха ΔRH_{\min}

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха для четырех пунктов Аджарии наблюдается в 17 случаях (в том числе для 8 случаев - рост значений ΔRH_{\min}), а для Кахетии – в 21 случае (в том числе для 13 случаев - рост значений ΔRH_{\min}).

В Аджарии диапазон значения ΔRH_{\min} меняется от -3.6 до 4.7 % (амплитуда – 8.3 %), а в Кахетии – от -4.7 до 6.4 % (амплитуда – 11.1 %). В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха в Аджарии значение ΔRH_{\min} растет на 0.4 %, а в Кахетии – на 1.7 %.

Разность средней суммы атмосферных осадков ΔP

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной суммы осадков для пунктов Аджарии наблюдается в 10 случаях (в том числе лишь для 3 случаев - рост значений ΔP), а для Кахетии – всего в 6 случаях (в том числе только для 2 случаев - рост значений ΔP).

В Аджарии диапазон значения ΔP варьирует от -34 до 61 мм (амплитуда – 95 мм), а в Кахетии – от -36 до 17 мм (амплитуда – 53 мм). В среднем на станцию со значимой изменчивостью месячной суммы осадков в Аджарии значение ΔP убывает на 8 мм, а в Кахетии – на 12 мм.

Разность средней дневной продолжительности солнечного сияния ΔS_d

В различные месяцы года значимая изменчивость значений ΔS_d для пунктов Аджарии наблюдается в 16 случаях (в том числе для 12 случаев - рост значений ΔS_d), а для Кахетии – в 11 случаях (в том числе только для 4 случаев - рост значений ΔS_d для всех пунктов в марте).

В Аджарии значения ΔS_d меняются от -0.4 до 0.6 час. (амплитуда – 1.0 час), а в Кахетии – от -0.7 до 1.1 час (амплитуда – 1.8 час). В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной дневной продолжительности солнечного сияния в Аджарии значение ΔS_d растет на 0.3 час, а в Кахетии – убывает на 0.1 час.

Разность средней скорости ветра ΔV

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной скорости ветра для исследуемых пунктов Аджарии наблюдаются в 30 случаях (в том числе для 27 случаев - убывание значений ΔV), а для Кахетии – в 44 случаях (убывание значений ΔV для всех пунктов).

В Аджарии значения ΔV варьирует от -1.2 до 0.2 м/сек (амплитуда – 1.4 м/сек), а в Кахетии – от -0.9 до -0.3 м/сек (амплитуда – 0.6 м/сек). В среднем на станцию со значимой изменчивостью скорости ветра как в Аджарии, так и в Кахетии значения ΔV уменьшаются на 0.5 м/сек.

Изменчивость (разность значений) метеорологических параметров, связанных с КИО в 13 высокогорных пунктах Грузии Бахмаро, Бакуриани, Боржоми, Годердзи, Гудаури, Хаиши, Хуло, Лентехи, Местиа, Пасанаури, Шови, Степанцминда, Тианети) в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. следующая [44].

Разность среднемесячной максимальной температуры воздуха ΔT_{\max}

Изменчивость среднемесячной максимальной температуры воздуха наблюдается в 69 случаях (в том числе в 66 случаях - повышение и только в 3 случаях - понижение значений ΔT_{\max}).

Разность среднемесячной относительной влажности воздуха ΔRH_{mean}

Изменчивость среднемесячной относительной влажности воздуха выявлена для всех исследованных пунктов в 86 случаях (в том числе в 79 случаях - увеличение и только в 7 случаях - уменьшение значений ΔRH_{mean}).

Разность среднемесячной общей облачности ΔC

Изменчивость среднемесячной общей облачности выявлена для 12 исследованных пунктов (кроме Местиа) в 60 случаях (в том числе в 48 случаях - уменьшение и в 12 случаях - увеличение значений ΔC).

Разность средней суммы атмосферных осадков ΔP

Изменчивость среднемесячной суммы атмосферных осадков наблюдается для 11 исследованных пунктов (кроме Бахмаро и Бакуриани) в 25 случаях (в том числе в 12 случаях - увеличение и в 13 случаях - уменьшение значений ΔP).

Разность средней скорости ветра ΔV

Изменчивость среднемесячных значений скорости ветра выявлена для всех 13 исследованных пунктов в 145 случаях (в том числе в 141 случае - уменьшение и только в 4 случаях Бахмаро - увеличение значений ΔV).

Наибольшие изменения из всех исследованных климатических параметров в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. претерпела скорость ветра, наименьшие - атмосферные осадки. Причины таких изменений являются предметом дальнейших исследований для изучаемых горных районов Грузии.

Проведенный анализ еще раз свидетельствует о разнообразии климатических условий Грузии и их уникальности. Даже в пределах одной и той же местности на близлежащих пунктах имеются существенные различия в значениях различных метеорологических параметров и их изменчивости. Соответственно, это обуславливает необходимость детального исследования климатических и, связанных с ними биоклиматических условий и их изменчивости в различных географических регионах Грузии как с точки зрения воздействия на здоровье населения, так и в аспекте развития различных отраслей национальной экономики государства, в том числе и курортно-туристической индустрии [43, 44].

Отметим, что исследования изменчивости различных элементов климата, в том числе и режима осадков, постоянно обновляются по мере накопления новых данных. Так, работе [45], которая представляет продолжение предыдущих исследований, представлены некоторые результаты стандартного статистического анализа данных наблюдений гидрометеорологического департамента Грузии за суточной суммой осадков (ССО) в Тбилиси в 1957-2006. В частности, изучена статистическая структура атмосферных осадков с суточной интенсивностью 0.1-2, 2.1-5, 5.1-15, 15.1-30 и >30 мм и годового количества дней с осадками и без осадков для десяти пятилетних временных интервалов с 1957 -1961, 1962-1966, ..., до 2002-2006 гг. Слабый рост и положительный тренд ССО наблюдались для диапазонов 5.1-15 и 15.1-30 мм соответственно. Слабое уменьшение отрицательный тренд ССО наблюдались, соответственно, для диапазонов 0.1-2 и 2.1-5 мм. Изменчивости во времени ССО с интенсивностью >30 мм не наблюдалось.

В работах [46, 47] проведен более детальный анализ изменчивости осадков в 1956-2015 гг. в Тианети и Кахетии, чем в работах [43, 44]. В частности, в работе [46] обращается внимание на неоднородность изменчивости режима осадков для отдельных пунктов Грузии. Так, расстояние от Тианети до пяти пунктов Кахетии следующее: Телави – 59 км, Кварели – 96 км, Гурджаани – 97 км, Дедоплискар – 135 км, Лагодехи – 150 км. Если в Кахетии в отдельные месяцы наряду с неизменностью и убыванием осадков за исследуемый период времени отмечался и их рост [47], то в Тианети наряду с неизменностью режима осадков в течение шести месяцев наблюдается лишь их уменьшение.

В работе [48] проведен анализ изменчивости атмосферных осадков для 21 пункта Грузии в период с 1936 по 2020 гг. На рис. 2 представлены данные об изменении среднегодового количества осадков в 1981-2020 гг. по сравнению с 1936-1975 гг. Разность нормирована на среднегодовое количество осадков за 1936-2020 гг., %.

Как следует из рис. 2, в результате изменения климата изменчивость средней суммы осадков во второй период времени по сравнению с первым для разных пунктов измерения различна. Так, для 6 пунктов измерения наблюдается увеличение количества осадков, для 4 пунктов - уменьшение, для 11 пунктов - значимого изменения нет.

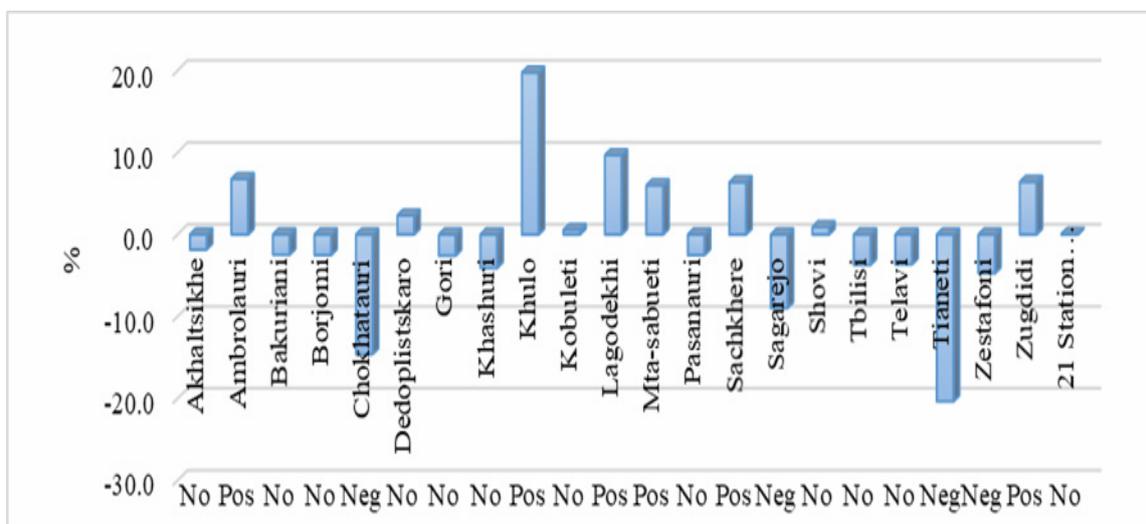


Рис. 2. Изменчивость среднегодовой суммы осадков на 21 метеостанции Грузии в 1981-2020 гг. по сравнению с 1936-1975 гг. по отношению к среднему значению суммы осадков за 1936-2020 гг. на этих станциях, %, уровень значимости $\alpha \leq 0.2$.

Для осредненных по всем станциям изменчивость годовой суммы осадков во второй период времени по сравнению с первым незначима.

В работе [49] изучены особенности временных изменений температуры воздуха по месячным данным г. Тбилиси (Грузия) за период 1881-2008 гг. Показано, что глобальное столетнее потепление в Тбилиси (северное полушарие) имеет следующие особенности: а) температура воздуха в Тбилиси повышается на ~ 1.0 °C по среднегодовым данным за период 1881-2008 гг., б) для холодного и умеренно теплого температуры составляет ~ 1.2 °C, что вдвое больше, чем для теплого и жаркого периода ~ 0.65 °C. Делается вывод, что в целом в Тбилиси зима становится теплее, а лето в два раза менее склонно к жаре. Обнаружено, что столетнее потепление в основном связано с увеличением солнечной активности (оцениваемой по числам солнечных пятен (SSN) для 11-летних циклов), особенно в период 1885-1975 гг. (\sim во время солнечных циклов 13-21), а не с деятельностью человека, как это часто предполагают. Отмечается, что существуют различные относительно короткие промежутки времени (даже в течение одного 11-летнего цикла), когда корреляция между изменениями температурой воздуха и SSN гораздо меньше, даже знакоизменчива, но эти короткие периоды не могли способствовать оценке эффекта глобального столетнего потепления.

В работе [50] представлены результаты исследования влияния изменения климата на уровень нулевой изотермы в Кахетии. Для этого был проведен статистический анализ данных о средне-месячных максимальных температурах воздуха для шести пунктов Кахетии (Телави, Сагареджо,

Кварели, Гурджаани, Дедоплискарго и Лагодехи) с 1956 по 2015 годы, а также данных о высоте нулевой изотермы над изучаемым регионом с 1958 по 1961 и с 2012 по 2016 гг. В частности, получено, что с 1956 по 2015 г. в Кахетии практически во всех шести точках в июне и августе имело место потепление климата. В июле, сентябре и октябре в большинстве пунктов отмечается повышение максимальной температуры воздуха. Соответственно, с июня по октябрь над исследуемой территорией в 2012-2016 гг., по сравнению с 1958-1961 гг., произошло увеличение высоты нулевой изотермы в пределах 71-442 м. В течение мая изменений значений максимальной температуры воздуха в 1958-2015 гг. не наблюдается, высота нулевой изотермы в этом месяце во втором периоде уменьшилась на 260 м. Во все месяцы, кроме июня, в 2012-2016 гг. по сравнению с 1958-1961 гг. отмечается увеличение значений вертикального градиента температуры воздуха.

В работе [51] проведен статистический анализ данных о месячных и сезонных значениях температуры воздуха в Тбилиси и Кисловодске с 1931 по 2020 годы. Проведено сравнение среднемесячных и сезонных значений температуры воздуха за три тридцатилетний период времени (I-1931÷1960, II÷1961-1990 и III-1991÷2020 гг.). Сравнение средних значений температуры воздуха ΔT за три указанных периода времени производилось с использованием критерия Стьюдента с уровнем значимости α не хуже 0.15.

В указанные периоды времени значимые изменения температуры воздуха для указанных городов таковы.

ΔT (III-I): Тбилиси - повышение температуры воздуха в третьем тридцатилетнем периоде времени по сравнению с первым периодом наблюдается во все месяцы и сезоны, кроме мая, сентября и ноября. Наибольшее увеличение ΔT наблюдается в марте (+1.9 °C). Кисловодск - наблюдается повышение ΔT только в марте (+1.8 °C), в год и в холодный период.

ΔT (III-II): Тбилиси - повышение температуры воздуха в третьем тридцатилетнем периоде времени по сравнению со вторым периодом наблюдается во все месяцы и сезоны, кроме апреля, ноября и декабря. Наибольшее увеличение ΔT наблюдается в августе (+1.8 °C). Кисловодск - наблюдается увеличение ΔT в марте, с июня по октябрь и во все сезоны года. Наибольшее увеличение ΔT в Кисловодске наблюдается в августе и октябре (+1.3 °C).

ΔT (II-I): Тбилиси – повышение температуры воздуха во втором тридцатилетнем периоде времени по сравнению с первым периодом наблюдается только в марте (Max ΔT = +0.9 °C), апреле, декабре и холодном сезоне. В августе наблюдается снижение ΔT (-0.7 °C). Кисловодск – повышение ΔT наблюдается только в ноябре (+1.0 °C). С мая по август и теплое время года наблюдается снижение ΔT . Наибольшее снижение ΔT в Кисловодске наблюдается в августе (-1.1 °C).

Таким образом было установлено, что в Тбилиси эффект потепления климата более выражен, чем в Кисловодске.

В работе [52] проведен статистический анализ данных о месячных и сезонных значениях температуры воздуха и осадков в Тбилиси с 1844 по 2018 годы.

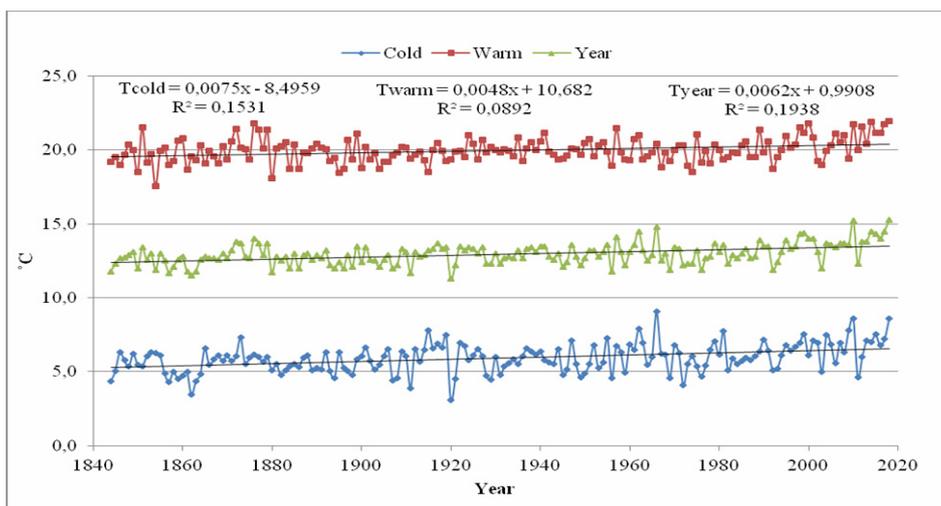


Рис. 3. Тренд температуры воздуха в Тбилиси в три периода года в 1844-2018 гг.

Изучены тренды температуры воздуха в три периода года (год, холодный и теплый сезоны) за 175 лет наблюдений (рис. 3). Проведено сравнение среднемесячных и сезонных значений температуры воздуха за два тридцатилетнего периода времени (1844-1873 и 1989-2018 гг.).

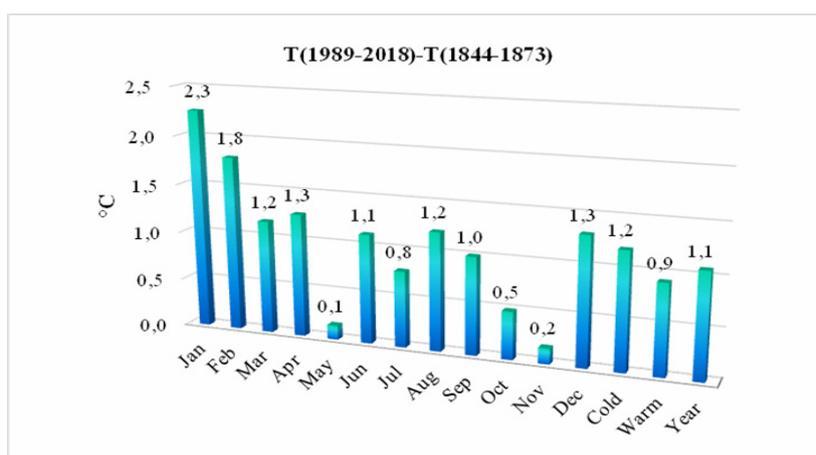


Рис. 4. Разница между температурой воздуха в Тбилиси в 1989-2018 и 1844-1873 гг.

В частности, установлено, что в указанные периоды времени наблюдается значимое повышение температуры воздуха для всех месяцев года, кроме мая и ноября (рис. 4).

В другой работе [53] представлены некоторые результаты исследования изменчивости среднегодовой температуры воздуха в г. Тбилиси в 1880-2021 гг. на фоне глобального потепления.

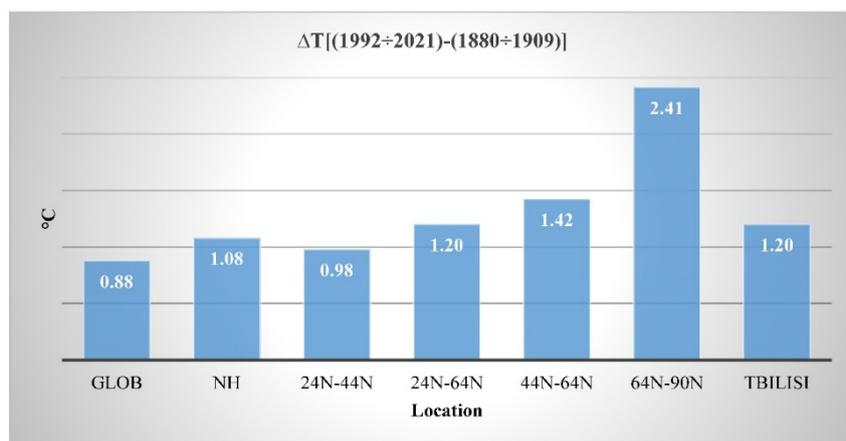


Рис. 5. Разница между среднегодовой температурой воздуха в разных локациях мира и в Тбилиси в 1992-2021 и 1880-1909 гг.

В частности, получено, что разница между средними значениями годовой температуры воздуха в Тбилиси в 1992÷2021 и 1880÷1909 годах составляет 1.2 °C и точно совпадает с аналогичной разницей для среднегодовой глобальной температурой воздуха в северном полушарии для широт 24°N-64°N (рис. 5).

В последних исследованиях с использованием различных статистических моделей были проведены оценки ожидаемых изменений температуры воздуха на ближайшие десятилетия в некоторых регионах Грузии, в том числе в г. Тбилиси [54-58]. На основе 100-летнего (1907-2006 гг.) и 163-летнего (1850-2012 гг.) временных рядов наблюдений проведен анализ динамики изменчивости среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге [57, 59-61]. С использованием 100-летнего ряда наблюдений оценивается ожидаемое изменение температуры воздуха в этих городах к 2056 г. [57, 59].

В работе [59] исследуется статистическая структура временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге за 1907-2006 гг. Автокорреляция во временном ряду наблюдений в Санкт-Петербурге проявляется в первых двух лагах (лаг = 1 год), а также в 14-м лаге. В Тбилиси автокорреляция во временном ряду температуры практически отсутствует. 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 идет интенсивнее, чем в Тбилиси. Проведен статистический прогноз ожидаемых изменений температуры воздуха в этих городах до 2056 года с использованием трех методов (1 - линейная экстраполяция, 2 - прогноз сглаженных функций с учетом двух периодичностей в ряду наблюдений, 3 - линейный прогноз с учетом одной периодичности в ряду наблюдений).

Получено, что ожидается следующее изменение температуры воздуха в 2052-2056 гг. по сравнению со средними ее значениями в 1951-1980 гг.: метод 1) повышение температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге на 0.6 °C и 1.9 °C соответственно; метод 2) снижение температуры воздуха в Тбилиси на 0.2°C и неизменность (0°C) в Санкт-Петербурге; метод 3) - повышение температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге на 0.3 °C и 2.1 °C соответственно [59].

Как показал дальнейший анализ, статистическая структура среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге существенно зависит от длины временного ряда. Таким образом, в отличие от указанных выше 100-летних измерений [59], автокорреляция в 163-летних рядах наблюдений для Санкт-Петербурга проявляется в первые 11 лагах и в 14 лагах; в Тбилиси - в

первых 6 лагах, а также в 8 и 9 лагах. Пики периодичности для Тбилиси приходятся примерно на 40, 23, 12, 5 и 4 года, а для Санкт-Петербурга - 12, 8, 5, 2 года. Тренды температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге за 163-летний период наблюдений удовлетворительно описываются полиномом четвертой степени [60].

В работе [61] проведен сравнительный анализ вековых ходов температуры воздуха в Тбилиси, Санкт-Петербурге и ее среднемировых значений. В частности, получено, что усреднение данных многолетних наблюдений разных метеостанций необходимо проводить с учетом анализа автокорреляции и периодичности во временных рядах каждой из них.

В работе [61], которая является продолжением указанных выше исследований [57, 59-61], изучена статистическая структура тридцатилетних скользящих средних значений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге с 1851 по 2010 гг. (1851-1880, 1861-1890, ... , 1981-2010) и с использованием двух моделей (ARIMA, EXPERTMODELER) проведена их экстраполяция до 2051-2080 гг.

В пределах каждого тридцатилетнего периода наблюдений изучена автокорреляция в рядах температуры воздуха, их устойчивость во времени, тренды, скорость изменения температуры и др. Прогностические расчеты показали, что в 2051-2080 гг. среднегодовая температура воздуха в Тбилиси ожидается 14.0 ± 0.4 °C (ARIMA) и 14.8 ± 1.4 °C (EXPERTMODELER) против 13.7 °C в 1991-2010 гг., а в Санкт-Петербурге – 6.4 ± 0.4 °C (ARIMA) и 8.6 ± 4.0 °C (EXPERTMODELER) против 5.8 °C в 1991-2010 гг.

Заклучение

В дальнейшем, с учетом получения новой информации, будут продолжены исследования изменения климата в Грузии. Особое внимание будет уделено прогнозированию изменений отдельных элементов климата на десятилетия вперед и, соответственно, оценкам последствий этих изменения на среду обитания человека и вопросам адаптации к ним.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Институт геофизики, 50. “Мецნიერება”, Тбилиси, 1983, 144 с.
2. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Inyskirveli L., Kuchava T., Gurgenidze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, Georgia's Initial National Communication on Under the United Nations Framework Conventions on Climate Change, Project GEO/96/G31, Tbilisi, 1999, 33-45.
3. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Dynamics of the aerosol pollution of the atmosphere in Georgia in 1956-1990, J.Aerosol Sci, Pergamon, vol.30, Suppl.1, 1999, S667-S668.
4. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Khurodze T., Tavartkiladze K., Tsitskishvili M. Some Characteristics of the Aerosol Pollution of the Atmosphere Over the Territory of Kakheti in the Warm Season, Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, 128-129.
5. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kirkitadze D.D., Tavartkiladze K.A. Some Results of Investigation of Variations of the Atmospheric Aerosol Optical Depth in Tbilisi, Proc. 16th Int. Conf. on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, 416-419.
6. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Aerosol Pollution of the Atmosphere and Its Influence on Direct Solar Radiation in Some Regions of Georgia, Proc.15th Int. Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Rolla, Missouri, USA, 2000, August, 6-11, AIP, Conference Proc., vol.535, Melville, New York, 2000, pp. 605-607.
7. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Kolesnikov Yu., Tavartkiladze K. Spatial-Temporary Variations of Total and Lower Layer Cloudiness Over the Georgian Territory. Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August, 14-18, vol. 2, 2000, 1159-1162.

8. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Influence of Cloudiness Trends on the Total Solar Radiation in Tbilisi, Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, vol. 2, 2000, pp. 876-877.
9. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Institute of Geophysics, Monograph, Trans. of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sci., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.
10. 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).
11. Амиранашвили А.Г., Таварткиладзе К.А., Кириленко А.А., Картунова З.В., Поволоцкая Н.П., Сенник И.А. Динамика аэрозольного загрязнения атмосферы в Тбилиси и Кисловодске, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 212 - 215.
12. Амиранашвили А., Кириленко А., Картунова З., Поволоцкая Н., Сенник И., Таварткиладзе К. Изменчивость аэрозольного загрязнения атмосферы в Цалке и Кисловодске в 1941-1990 гг., Proc. of Int. Conf. “Modern Problems of Geography”, Dedicated to the 80th Anniversary Since the Foundation of Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Collected Papers New Series, N 5(84), ISSN 2233-3347, Tbilisi, 2013, pp. 178-181.
13. Bliadze T., Kartvelishvili L. Kirkitadze D. Changeability of the Total Cloudiness in Tbilisi in 1956-2015. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 31 – 34.
14. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии, Сб. статей, Вопросы физики облаков, Облака, осадки и грозовое электричество, ГГО им. А.И.Воейкова, Гидрометеоиздат, Санкт-Петербург, 2004, 155-168
15. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг, Труды Института геофизики АН Грузии, ISSN 1512-1135, том 58, 2004, 127-132.
16. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-Temporary Characteristics of Number of Days with a Hails in the Warm Period of Year in Georgia, Proc. 14thInternational Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy,18-23 July 2004, 2_2_215.1-2_2_215.2.
17. Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 164-168.
18. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili V.A., Tavartkiladze K.A. Spatial-Temporary Variations of the Number of Fog Days per Year in Georgia. Proc. 1-st Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, 1998, pp. 357-360.
19. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili, V.A., Tavartkiladze, K.A. Statistical characteristics of number of fog days per year in Georgia. Proc. 3rd International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 11-15 October 2004, Cape Town, South Africa, 2004.
20. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf. 2013.
21. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Chikhladze V., Kharchilava J., Kartvelishvili L. The statistical analysis of average seasonal, semi-annual and annual values of surface ozone concentration in Tbilisi in 1984-2003, Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 12B, Tbilisi, 2008, pp. 45–48.
22. Kharchilava J., Chikhladze V., Chochishvili K., Chkhaidze G. Changeability of Surface Ozone Concentration in Tbilisi in 1984-2010, Proc. of Int. Conf. “Environment and Global Warming”, Dedicated to the 100th Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, pp. 111-116.
23. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tb., 2012, 160 p., (in Georgian).

24. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхаидзе Г.П. Особенности изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2012 гг., Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 100-103.
25. Kharchilava J., Chikhladze V., Chargazia Kh. Changeability of surface ozone concentration in Tbilisi in last 30 year. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 23-
26. Kekenadze E., Kharchilava J., Chkhaidze G., Senik I. Comparative Analysis of the Surface Ozone Concentration in Tbilisi and at Kislovodsk High Mountain Station. Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, 2019, pp. 150-154.
27. Шелеховский Г.В. Микроклимат южных городов, М., 1948, 118 с.
28. Missenard A. L’ Homme et le Climat, Paris, 1937, 186 p.
29. Mieczkowski Z. The Tourism Climate Index: A Method for Evaluating World Climates for Tourism. The Canadian Geographer 1985, N 29, pp. 220-233.
30. Scott D., Ruttly M., Amelung B., Tang M. An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. Atmosphere 7, 80, 2016, 17 p., doi:10.3390/atmos7060080www.
31. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Tourism Climate Index and the Holiday Climate Index in the North Caucasus. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXIII, 2021, pp. 96-113, (in Russian).
32. Lukić T., Marić P., Hrnjak I., Gavrilov M. B., Mladjan D., Zorn M., ... & Stojavljević R. Forest fire analysis and classification based on a Serbian case study. Acta geographica Slovenica, 57 (1), 2017, pp. 51-63.
33. Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л. Г. Долговременные вариации эффективной температуры воздуха в Тбилиси, Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008, с. 214–219.
34. Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л. Г., Саакашвили Н.М., Чихладзе В.А. Долговременные вариации эффективной температуры воздуха в Кутаиси, «Современные проблемы использования курортных ресурсов», Сборник научных трудов международной конференции, Саирме, Грузия, 10-13 июня 2010 г., ISBN 978-9941-0-2529-7, Тбилиси, 2010, с. 152-157.
35. Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Changeability the Monthly Mean Values of Air Effective Temperature on Missenard in Batumi in 1956-2015. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. -.
36. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Matzarakis A., Kartvelishvili L. Tourism Climate Index in the Coastal and Mountain Locality of Adjara, Georgia. International Scientific Conference “Sustainable Mountain Regions: Make Them Work”. Proceedings, Borovets, Bulgaria, ISBN 978-954-411-220-2, 14-16 May, 2015, pp.238-244, http://geography.bg/MountainRegions_Sofia2015
37. ქართველიშვილი ლ., ამირანაშვილი ა., მეგრელიძე ლ., ქურდაშვილი ლ. ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შეფასება კლიმატის ცვლილების ფონზე. გამომცემლობა "მწიგნობარი", ISBN 978-9941-485-01-5, თბილისი, 2019, 161 გვ., <http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/293074/1/turistulRekreaciuliResursebisShefasebaKlimatisCvlilebebisFonze.pdf>
38. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Matzarakis A., Megrelidze L.D. The Statistical Characteristics of Tourism Climate Index in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 95-112.
39. Amiranashvili A., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of the Monthly Mean Values of Tourism Climate Index in Mestia (Georgia) in 1961-2010. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 22(2), 2019, pp. 68 – 79, <http://openjournals.gela.org.ge/index.php/GGS/>
40. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Changeability of the Holiday Climate Index (HCI) in Tbilisi. Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 129-137. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8935/1/16_Tr_72_2020.pdf
41. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Holiday Climate Index in Some Mountainous Regions of Georgia. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-

ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(2), 2021, pp. 92 – 117.
DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213327>

42. ამირანაშვილი ა., ზლიაძე თ., დავითაშვილი მ., ხახიაშვილი მ. ანგუსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვა-
ლებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილებების ფონზე. მიხეილ ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის
შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXXV, 2022, გვ. 116-134.
43. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Megrelidze L.D. Changeability of the Meteorological Parameters
Associated with Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index in Adjara and Kakheti (Georgia).
Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and
Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 77-94. <http://www.adry.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2529>
44. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Changeability of the
Meteorological Parameters Associated with Holiday Climate Index in Different Mountainous Regions of Georgia
in 1956-2015. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of
Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(2), 2021, pp. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>
45. Amiranashvili A.G. Special Features of Changeability of Daily Sum of Precipitation in Tbilisi in 1957-2006.
Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B,
Tbilisi, 2015, pp.81-91.
46. Amiranashvili A., Bliadze T., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric
Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015. Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-
1135, vol. 70, Tb., 2019, pp. 112-118, (in Russian), <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>
47. Bliadze T., Gvasalia G., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Changeability of the Atmospheric Precipitations Regime
in Kakheti in 1956-2015. Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”.
Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-
14, 2019, pp. 74-77.
48. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Some Results of a Study of the
Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Landslide
Cases in Georgia Taking into Account of Climate Change. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN:
2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp.
38-48.
49. Alania M.V., Salukvadze T.G., Khelaia E.I., Kapanadze N.I., Djaparidze D.R. Features of Long-Term Changes of
the Air Temperature in Tbilisi, Georgia. Proc. of Int. Conf. “Environment and Global Warming”, Dedicated to the
100th Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347,
Tbilisi, 2011, pp. 147-153.
50. Jamrishvili N., Tavidashvili Kh. Effect of Climate Change on the Freezing Level in Kakheti. Int. Sc. Conf. “Natural
Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House
of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, 2019, pp. 91-95.
51. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Variability of Monthly and Seasonal Air
Temperature in Tbilisi and Kislovodsk in 1931-2020. International Scientific Conference „Natural Disasters in the
21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia,
December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 27 - 30.
52. Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years.
International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”.
Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-
14, Tbilisi, 2019, pp. 86-90, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
53. Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global
Warming in 1880-2021. II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable
Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor
Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi
State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 265-269. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10118>
54. Таварткиладзе К.А., Амиранашвили А.Г. Ожидаемые изменения температуры воздуха в г. Тбилиси,
Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», Тр. Ин-
та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008, с. 57–65.
55. 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.

56. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L., Khazaradze K. Expected Change of the Extremal Air Temperature and its Influence on the Mortality (Based on the Example to Tbilisi City), International Cooperation Network for East European and Central Asian Countries: EECA Conference - October 7-8, 2010, Yerevan, Armenia, <http://be.sci.am/>.
57. Амиранашвили А., Картвелишвили Л., Хуродзе Т. Об использовании некоторые статистических методов для прогнозирования долговременных изменений температуры воздуха (на примере города Тбилиси), Trans. 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", 2012, pp. 331-338.
58. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate Change in Georgia: Statistical and Nonlinear Dynamics Predictions, Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, Tbilisi, 2011-2012, pp. 67-87.
59. Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л.Г., Трофименко Л.Т., Хуродзе Т.В. Статистическая оценка ожидаемых изменений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге до 2056 года, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 58 - 62.
60. Амиранашвили А., Картвелишвили Л., Трофименко Л., Хуродзе Т. Статистическая структура среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге в 1850-2012 гг., Proc. of Int. Conf. "Modern Problems of Geography", Dedicated to the 80th Anniversary Since the Fondation of Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Collected Papers New Series, N 5(84), ISSN 2233-3347, Tbilisi, 2013, pp. 160-163.
61. Амиранашвили А., Картвелишвили Л., Трофименко Л., Хуродзе Т. Сравнительный анализ вековых вариаций температуры воздуха в Тбилиси, Санкт-Петербурге и ее среднеглобальных значений. Международная конференция "Актуальные проблемы геофизики". Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 198-202.
62. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Trofimenko L. Dynamics of the thirty-year moving average values of the air temperature in Tbilisi and St.-Petersburg with 1851 to 2010 and their extrapolation to 2051-2080. International Conference "Applied Ecology: Problems, Innovations", ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 12-16, <http://icae-2015.tsu.ge/>

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ГРУЗИИ В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА, ТГУ

Пипия М.Г.

Реферат

Представлен обзор исследований современного изменения климата Грузии, проводимыми институтом геофизики им. М. Нодиа, ТГУ за последние 25 лет. Представлены данные об изменчивости таких элементов климата и биоклимата, как температура воздуха, осадки, влажность воздуха, облачный покров, ветер, грозы, град, эффективная температура воздуха, климатический индекс туризма, климатический индекс отдыха и др. Рассмотрены вопросы прогнозирования температуры воздуха на несколько десятилетий вперед с использованием различных статистических методов.

Ключевые слова: Изменение климата, элементы климата, температура воздуха, град, гроза

თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში საქართველოში
თანამედროვე კლიმატის ცვლილების კვლევების შესახებ

ფიფია მ.

რეზიუმე

წარმოდგენილია თსუ, მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ ბოლო 25 წლის განმავლობაში ჩატარებული საქართველოში კლიმატის თანამედროვე ცვლილების კვლევების მიმოხილვა. წარმოდგენილია მონაცემები ისეთი კლიმატისა და ბიოკლიმატის ელემენტების ცვალებადობის შესახებ, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურა, ნალექი, ჰაერის ტენიანობა, ღრუბლის საფარი, ქარი, ჭექა-ქუხილი, სეტყვა, ჰაერის ეფექტური ტემპერატურა, ტურიზმის კლიმატური ინდექსი, დასვენების კლიმატური ინდექსი და ა.შ. განხილულია სხვადასხვა სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში ჰაერის ტემპერატურის პროგნოზირების საკითხები.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, კლიმატის ელემენტები, ჰაერის ტემპერატურა, სეტყვა, ელჭექი

**ABOUT STUDIES OF MODERN CLIMATE CHANGE IN GEORGIA AT
THE M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS, TSU**

Pipia M.

Abstract

An overview of the studies of modern climate change in Georgia, conducted by the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU for the last 25 years are presented. Data on the variability of such climate and bioclimate elements as air temperature, precipitation, air humidity, cloud cover, wind, thunderstorms, hail, air effective temperature, tourism climate index, holiday climate index, etc. are presented. The issues of forecasting air temperature for several decades ahead using various statistical methods are considered.

Key words: Climate change, climate elements, air temperature, hail, thunderstorm.