

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 551.583

В.Ф. Логинов

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И ИХ ПРИЧИНЫ

В.Ф. Логинов**СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И ИХ ПРИЧИНЫ***Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск*

В статье рассмотрены вопросы интерпретации результатов исследований климата в различных пространственно-временных масштабах. Особое внимание уделено дискуссионным вопросам оценки роли парниковых газов и аэрозолей в формировании сезонных особенностей изменения температуры Северного и Южного полушарий, а также температуры воздуха на территории Беларуси. Показано, что соотношение вклада аэрозолей и парниковых газов в изменении современного климата существенно варьировало в разные периоды последних 130 лет. Потепление климата в 30-ые годы прошлого столетия было потеплением летнего типа (теплого времени года), оно отличалось от потепления климата, начавшегося в середине 70-ых годов, и было связано в значительной мере с ростом парниковых газов в атмосфере. Очищение атмосферы от аэрозоля совпало с периодами более крупных летних положительных аномалий температуры по сравнению с зимними. Периоды, когда аэрозольное загрязнение атмосферы было ниже нормы, наблюдались в 1881-1901, 1924-1945 и 1996-2012 гг. В последние 15 лет, хотя величины положительных аномалий температуры в оба сезона и оставались высокими, рост зимних аномалий температур замедлился, тогда как для летних аномалий температур такого существенного замедления положительных трендов температуры не произошло. Эти особенности изменений глобальной и региональной температуры, а также температуры воздуха на территории Беларуси не всегда согласуются с изменениями концентрации углекислого газа и аэрозолей в атмосфере.

Ключевые слова: климат; глобальный климат; региональный климат; климатообразующие факторы; изменения климата.

V. Loginov**SEASONAL FEATURES OF THE LONG-TERM CHANGES IN GLOBAL CLIMATE AND THEIR CAUSES***Institute of Environmental Sciences Belarus National Academy of Sciences, Minsk*

The article reviews some questions of the climate research results interpretation in different spatial and temporal scales. Particular attention has been paid to the argument on the evaluation of the greenhouse gases and aerosols role in forming the seasonal characteristics of temperature changes in northern and southern hemispheres, as well as temperatures on the territory of Belarus. It has been shown that the ratio of the aerosols and greenhouse gases contribution to the modern climate changes varied significantly in different periods of the past 130 years. The climate warming in the 30s of the last century, was the summer type warming (warm season) and it differed from the warming that began in the mid 70's, and was associated mainly with the increase of greenhouse gases in the atmosphere. Cleaning the atmosphere from aerosol coincided with the periods of more significant positive summer temperatures anomalies compared to winter ones. The Periods when aerosol pollution was lower than normal, were observed in 1881-1901, 1924-1945 and 1996-2012 yrs. In the last 15 years, although the value of positive temperature anomalies in both seasons remained strong, rising winter temperature anomalies slowed, while no such significant slowdown in summer temperature anomalies has occurred. Those features of global and regional changes in temperature as well as air temperature in Belarus are not always consistent with changes in carbon dioxide and aerosols concentration in the atmosphere.

Keywords: climate, global climate, regional climate, climate-forming factors, climate change.

Общие положения

Как показывают многочисленные работы [1–3, 5–16], возможными внешними и внутренними причинами современных изменений глобального и регионального климата являются изменения газового и аэрозольного состава атмосферы, солнечной активности, скорости вращения Земли, общей циркуляции атмосферы и океана, взаимодействия океана и атмосферы, а также прямые и обратные связи в климатической системе. Наиболее актуальные вопросы современных климатических изменений были рассмотрены в ходе работы Международной конференции «Глобальные и региональные изменения климата», состоявшейся в ноябре 2010 г. в

Киеве при участии более 150 известных ученых из 14 стран [4].

Характер и величина воздействия климатообразующих факторов определяется начальными условиями в атмосфере (сезоном года, районом, высотой над уровнем моря). Классическим примером влияния сезона на величину и знак проявления вулканических аэрозолей на климат [8, 9] является снижение температуры после крупных вулканических извержений в теплое время года и меньшее по величине падение или даже рост температуры после ряда крупных вулканических извержений в холодное время года.

Проведенный нами анализ среднемесячных и

Таблица 1. Значения индексов радиационного воздействия аэрозолей и углекислого газа на климат

Показатели	Разность радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей для выбранных периодов низкой и высокой аэрозольной загрязненности атмосферы			
	1881–1901	1924–1945	1996–2012	1962–1995
Индексы радиационного воздействия аэрозолей A в $Вт/м^2$ (норма за 1881–2010 гг. составляет $-0,33 \text{ Вт/м}^2$)	-0,26	-0,14	-0,21	-0,59
Индекс радиационного воздействия углекислого газа в $Вт/м^2$	0,09	0,30	1,50	0,79
Разность радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей на климат	-0,17*	+0,16	+1,29	+0,20

* вклад радиационного воздействия аэрозолей был выше, чем вклад радиационного воздействия углекислого газа.

сезонных характеристик климата, а также амплитуд изменений суточного и годового хода температуры позволил выявить более «тонкие» свойства изменений глобального и регионального климата и приблизиться к пониманию возможных причин таких изменений [9, 10, 12].

Модели климата при учете удвоения концентрации углекислого газа в атмосфере показывают уменьшение глобальной годовой амплитуды температуры [17]. В то же самое время очищение атмосферы от аэрозолей должно приводить к росту летних температур и, как следствие, увеличению годовой амплитуды температуры.

В подавляющем числе работ современное потепление, по крайней мере его трендовая составляющая, связывается с изменением интенсивности источников и стоков парниковых газов в атмосфере в результате хозяйственной деятельности человека [17 и другие].

В ряде работ основная роль в изменении современного климата отводится солнечной активности и другим естественным климатообразующим факторам [1, 2, 11, 13–16].

Вопросы влияния аэрозолей на климат особенно широко обсуждались в последние 30–40 лет в работах К.Я. Кондратьева, М.И. Будыко, В.Ф. Логина и многих других [3, 6–10, 15, 16]. Известно, что аэрозоли естественного и антропогенного происхождения оказывают влияние на радиационный режим климатической системы в тёплое время года, особенно летом.

С использованием данных мировой актинометрической сети и опубликованных оценок мощности крупных извержений вулканов Кракатау (1883 г.), Агунг (1963 г.), Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1992 г.) нам удалось восстановить динамику содержания аэрозолей как естественного, так и антропогенного происхождения в атмосфере и грубо оценить радиационное воздействие аэрозолей на изменение климата за период с 1881 по

2010 гг. [10].

Основываясь на этих оценках, а также на известных представлениях о сезонных особенностях проявлений аэрозолей в изменениях климата нами за последний более чем 130-летний отрезок времени были выбраны периоды, когда аэрозольное загрязнение атмосферы было минимальным. Таких периодов оказалось три: 1881–1901, 1924–1945 и 1996–2012 гг. Период максимальной аэрозольной загрязненности атмосферы наблюдался в 1962–1995 гг. (табл. 1).

Изложение основного материала

Прежде чем рассмотреть изменения аномалий температуры для выделенных периодов (табл. 1), проанализируем характер изменений аномалий температуры Северного полушария летом и зимой за последовательные десятилетия с 1883 по 2012 гг. отдельно для суши Северного полушария и Северного полушария в целом¹ (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что отрицательные аномалии температуры зимой были максимальными в первые 40 и последние 30 лет указанного выше периода, однако в последнее десятилетие (2003–2012 гг.) величины аномалий температуры зимой и летом стали соизмеримыми, а на суше величина аномалий температуры летом оказалась даже больше, чем зимой. Отрицательные аномалии температуры летом в первое сорокалетие были существенно меньше, чем зимой, а в 30-е и 40-е годы положительные аномалии температуры летом, наоборот, были выше, чем зимой.

Временной отрезок с 1963 по 1982 гг. отличается незначительными отрицательными или положительными аномалиями температуры и только в следующем десятилетии (1983–1992 гг.) наблю-

¹ В работе использованы среднемесячные аномалии за 1881–2012 гг., подготовленные Национальным центром климатических данных США. Норма температуры была вычислена за период с 1901 по 2000 гг.

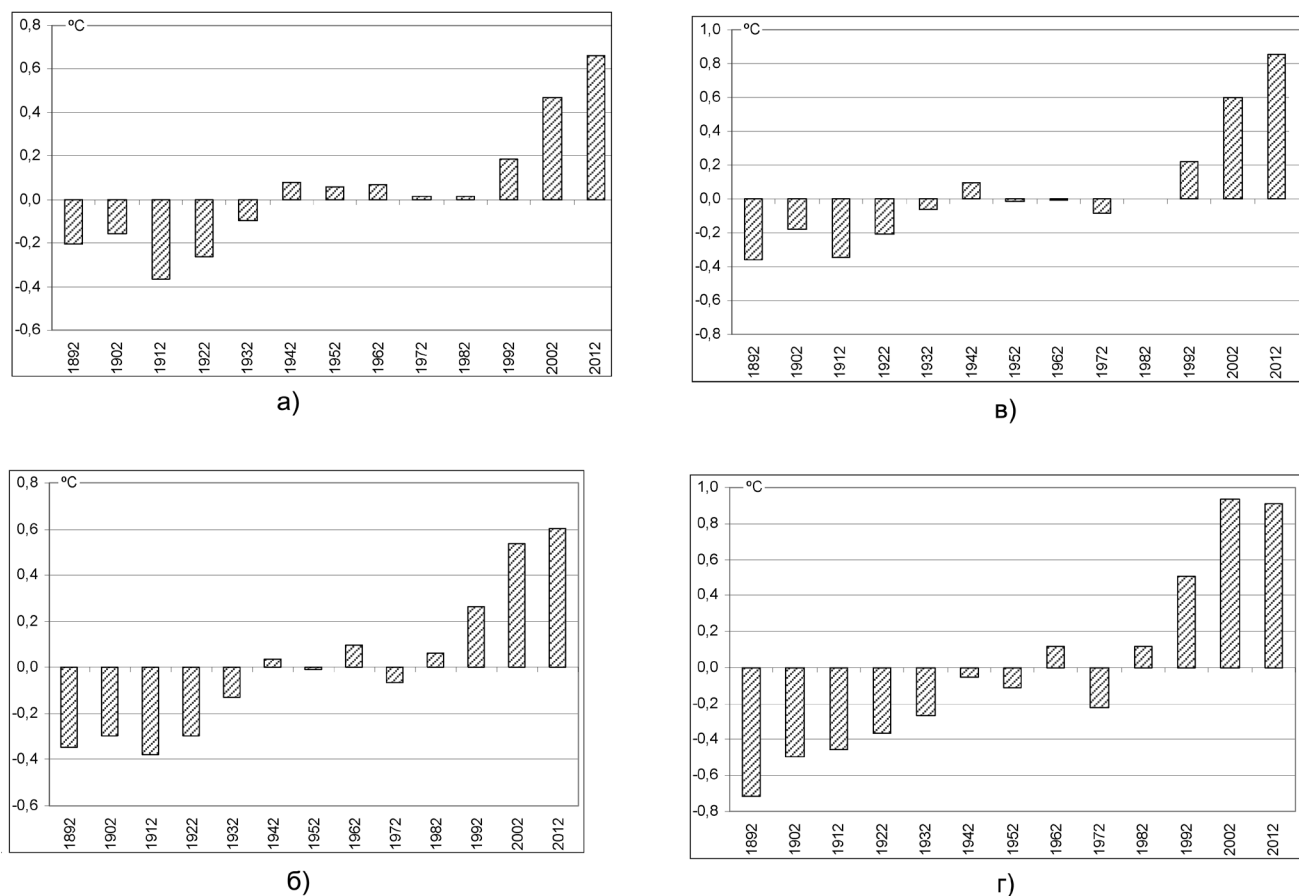


Рисунок 1. Аномалии температуры летом (а–в) и зимой (б–г) по десятилетиям для Северного полушария в целом (слева) и суши Северного полушария (справа)

дались средние по величине положительные аномалии температуры летом и зимой. Ранее нами было показано [10], что в период с 1963 по 1992 гг. среднее радиационное воздействие углекислого газа и аэрозолей на климат было сопоставимым по величине (около $0,65 \text{ Вт/м}^2$), но противоположным по знаку.

Для сравнительной оценки изменения суммарного вклада углекислого газа и аэрозолей в радиационное воздействие на климат за весь рассматриваемый период были использованы соответствующие индексы радиационного воздействия [10]. На рис. 2 представлены диаграммы суммарного радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей по десятилетиям (а) и по выбранным ранее периодам (б). В целом ход суммарного радиационного воздействия в последние 40 лет характеризуется ростом – в соответствии с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере (рис. 2, а), но в отдельные периоды (1924–1945 гг.) отмечаются особенности, связанные с малым аэрозольным загрязнением атмосферы.

Рассмотрим особенности многолетних изменений температуры, содержание углекислого газа и аэрозолей в атмосфере в отдельные эпохи более

чем 130-летнего периода.

1) Эпоха низких температур (1881 – 1922 гг.). В эту эпоху величины отрицательных аномалий температуры зимой были примерно в 1,5 раза больше, чем летних температур. Последняя часть этой эпохи отвечает сравнительно большой аэрозольной загрязнённости атмосферы и низкой концентрации CO_2 . Периоду низкой концентрации углекислого газа должны отвечать низкие зимние температуры.

2) Эпоха высоких летних температур (1924–1945 гг.). Аномалии летних температур были выше, чем аномалии зимних температур. Это была эпоха самой «чистой» атмосферы – содержание аэрозолей было минимальным (индекс $A = -0,14 \text{ Вт/м}^2$). Вклад радиационного воздействия углекислого газа в изменение температуры был небольшим и соизмерим с вкладом аэрозолей.

3) Эпоха небольших аномалий летних и зимних температур (1960–1980-е гг.). Вклады радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей в изменение температуры были соизмеримыми.

4) Эпоха больших аномалий летних и, особен-

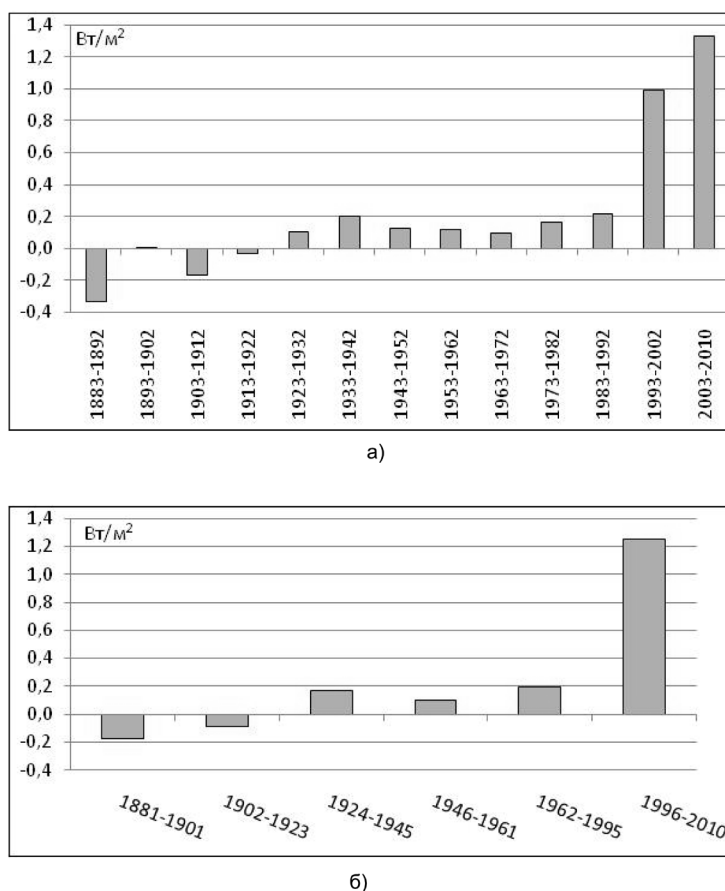


Рисунок 2. Значения суммарного радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей в различные периоды 1881–2010 гг.

но, зимних температур (1983–2012 гг.). Это эпоха, когда вклад углекислого газа существенно превышал вклад аэрозолей (более, чем на 1 Вт/м^2). В это время особенно сильно должны были увеличиваться зимние температуры.

Известно, что рост температуры, если исходить из теории парникового потепления климата, должен быть наибольшим в высоких широтах. Это обусловлено вкладом альбедной обратной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием вблизи земной поверхности. Последнее подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к концентрации обусловленного ростом содержания углекислого газа нагревания в тонком приповерхностном слое.

В тропиках потепление «размазывается» по большой высоте в силу влияния влажной конвекции. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой.

В этой связи потепление сильнее выражено в центре материка, особенно ночью.

Поглощение коротковолновой солнечной радиации днем происходит в слое океана, а длинноволновой радиации - в поверхностной пленке, что

стимулирует рост испарения и снижение температуры поверхности океана.

Вышеизложенное позволяет считать, что если современное потепление климата имеет парниковую природу, то оно должно быть наиболее выражено в высоких широтах в холодное время года, когда более часто наблюдается инверсионное распределение температуры с высотой, а также в центре континентов.

В последние 10–15 лет, когда атмосфера существенно очистилась от вулканических аэрозолей, летние аномалии начали расти более быстрыми темпами, чем зимние (величины аномалий летних температур в период с 2003 по 2012 гг. стали выше зимних).

Период с 1962 по 1995 гг. характеризовался самым сильным аэрозольным загрязнением атмосферы. В последнюю часть этого периода наблюдался существенный рост аномалий зимних температур по сравнению с летними, а в большую часть этого периода отмечались небольшие по величине положительные и отрицательные аномалии температуры как зимой, так и летом. Следует отметить, что в этот период радиационное воздействие углекислого газа мало отличалось по величине от противоположного по знаку радиационного воздействия аэрозолей (табл. 1). Вероятно, это и привело к формированию небольших по величине аномалий как зимой, так и летом, и, как следствие, небольших разностей аномалий температуры «лето – зима».

Концентрация наиболее важного антропогенного парникового газа (CO_2) в последний период (1996–2012 гг.) и, как следствие, его радиационное воздействие на климат существенно увеличились (табл. 1). Это должно приводить к наибольшему росту температуры зимой по сравнению с ростом температуры в летнее время года.

В последний выделенный период очищения атмосферы от вулканического аэрозоля после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. разности аномалий температуры «лето – зима» в Северном полушарии должны были увеличиться, но их увеличение оказалось несколько меньшим, чем для ярко выраженного периода «чистой атмосферы» с 1924 по 1945 гг.

Таким образом, если исходить из вышеизложенного, то роль аэрозольного загрязнения атмосферы в изменении климата оказалась заметной в первый (1881–1901 гг.) и особенно во второй (1924–1945 гг.) периоды очищения атмосферы, нежели в последний период (1996–2012 гг.).

Уменьшение разностей аномалий температуры «лето – зима» за счет более быстрого роста зимних температур по сравнению с летними связано с наиболее интенсивным увеличением концентраций

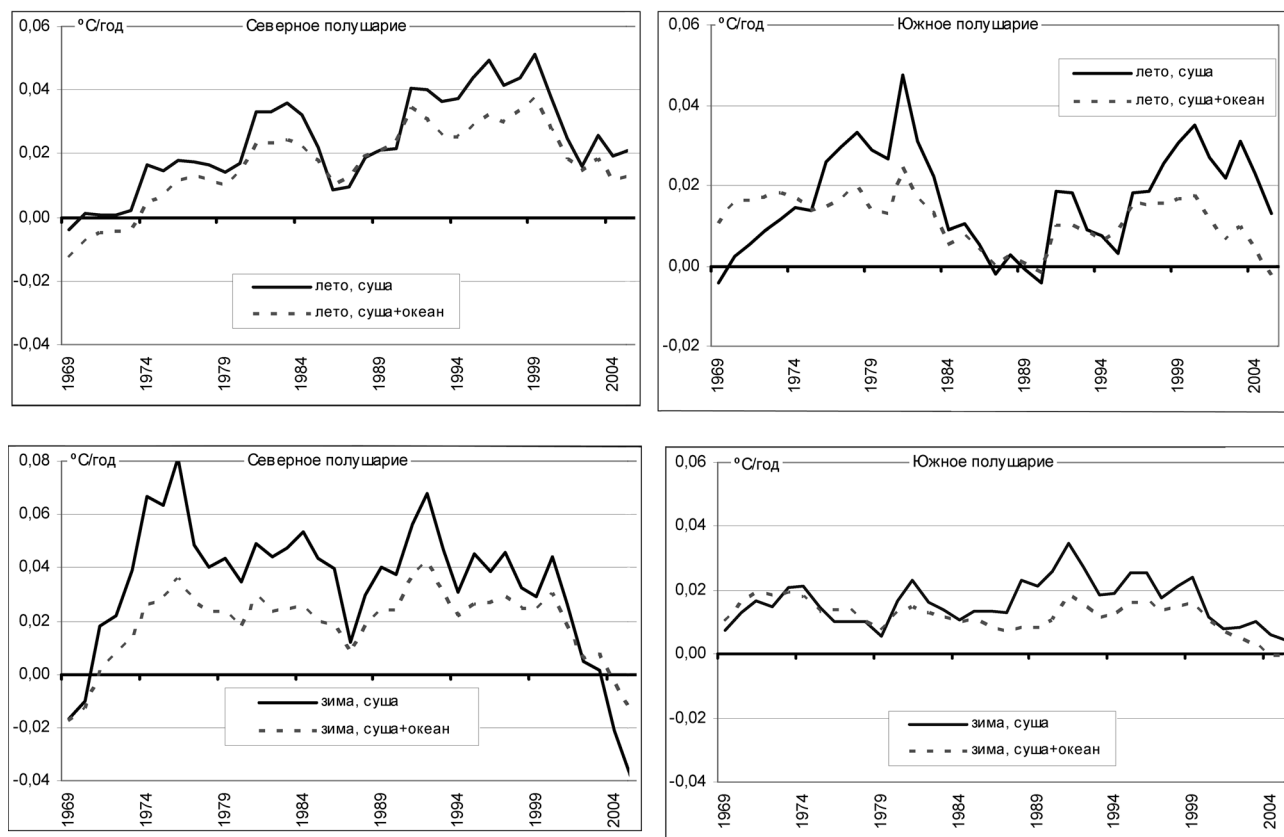


Рисунок 3. Изменение величин трендов аномалий температуры воздуха

углекислого и других парниковых газов в период с 1996 по 2012 гг, когда его средний радиационный эффект превысил радиационный эффект аэрозолей на $1,3 \text{ Вт/м}^2$ (табл. 1).

В Южном, океаническом, полушарии, где климатическая система более инерционна, чем в Северном, особенности проявления аэрозольного загрязнения в изменении климата выражены слабо в период с конца XIX столетия до 70-х годов XX столетия; потепление климата в 20-40-е годы прошлого столетия здесь практически незаметно. Различия величин аномалий температуры «лето – зима» в Южном полушарии меньше, чем в Северном в среднем в 1,5 раза. Величина аномалий температуры в последовательные десятилетние периоды также в среднем здесь меньше в 1,5 раза, чем в Северном полушарии. Наибольшие положительные и соизмеримые по величине аномалии температуры характерны для последнего 40-летия как зимой, так и летом.

Следует отметить, что, как и в Северном полушарии в последнем десятилетии (2003 – 2012 гг.), величины положительных аномалий температуры на суше Южного полушария летом были больше, чем зимой. Это свидетельствует о начале новой сезонной тенденции (или появлении очередной флуктуации) в изменении климата в глобальном масштабе.

С целью выявления изменений скорости роста летних и зимних температур за период самого интенсивного их роста в последний 50-летний период было произведено вычисление скользящих трендов аномалий температуры с использованием 15-летнего интервала осреднения.

Анализ линейных трендов аномалий зимней и летней температуры для Северного и Южного полушарий, а также отдельно для суши Северного и Южного полушарий показал значительные временные их вариации. Величина тренда характеризовалась значениями коэффициента α в известном уравнении линейного тренда: $y = \alpha x + b$.

На рис. 3 приведены сглаженные за 15-летние интервалы осреднения значения коэффициентов α линейных трендов, приходящихся на середину интервалов. Установлено, что в подавляющем большинстве 15-летних интервалов тренды аномалий температуры оказались положительными, но характер их изменений различается для летнего и зимнего сезонов, а также для Северного и Южного полушарий. Для летних аномалий температур отмечается рост величины трендов с середины 70-х годов до начала текущего столетия со значительными непродолжительными скачками величин линейных трендов.

В последнее десятилетие наметилось некоторое снижение величин линейных трендов аномалий

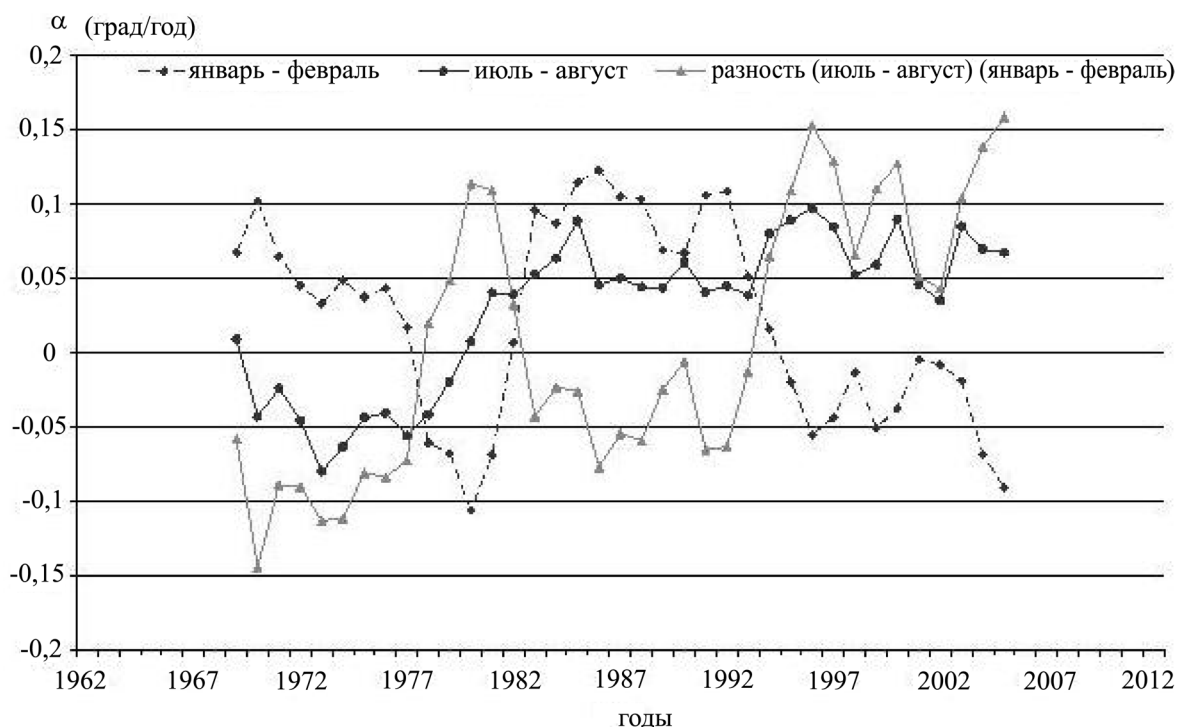


Рисунок 4. Изменение величины трендов нормированных аномалий температуры в Беларуси за период с 1962 по 2012 гг.

температуры воздуха.

В зимнее время характер изменения величин аномалий температуры в Северном полушарии оказался несколько иным: резкий скачок почти десятилетней продолжительности, затем величина линейных трендов слабо флуктуировала, а в последние 10–15 лет наметилось интенсивное уменьшение величины линейных трендов аномалий температуры, а в самые последние годы тренд аномалий температуры оказался даже отрицательным.

Это свидетельствует о том, что наступает новая фаза в сезонных особенностях изменения климата. Следует также отметить, что падение величины трендов аномалий температуры в Северном полушарии наступило в эпоху самого интенсивного роста содержания парниковых газов в атмосфере.

Несколько иной характер изменения температуры наблюдается в высоких широтах: там величины аномалий температуры с 2002 года были самыми высокими и величина аномалий температуры превысила норму в отдельные годы на $2,5^{\circ}\text{C}$, температура же арктических широт ($60\text{--}90^{\circ}$) впервые стала выше температуры начала 40-х годов прошлого столетия (максимум потепления Арктики) [5].

На суше Северного полушария величина линейного тренда аномалий температуры оказалась в среднем почти в 2,0 раза выше зимой и несколько меньше летом, чем в Северном полушарии в целом.

Временная структура изменения величины

трендов аномалий температуры в Южном полушарии носит более выраженный циклический характер с очень слабой трендовой составляющей в период с 70-х до конца 90-х годов прошлого столетия. Величина линейного тренда аномалий температуры в Южном полушарии оказалась в среднем в 1,5 раза меньше, чем в Северном, что связано с его большей океаничностью. На суше Южного полушария она больше, чем в Южном полушарии в целом.

Анализ многолетних **изменений температуры в Беларуси** за последний 50-летний период показывает наличие ряда особенностей в изменении температуры в самые теплые и самые холодные периоды года. На рис. 4 приведены сглаженные за 15-летний интервал осреднения значения коэффициентов α , приходящихся на середину скользящих 15-летних интервалов и характеризующих величину линейных трендов ($y=\alpha x+\beta$).

Из рис. 4 следует, что величина и знак линейных трендов температуры в самые холодные месяцы года (январь – февраль) испытывают следующие циклические изменения: значительное падение температуры в конце 60-х – начале 70-х годов и последующий быстрый рост с конца 70-х годов прошлого столетия.

В последние 10–15 лет скорость роста зимних температур замедлилась (тренд температуры даже стал отрицательным), тогда как скорость роста

концентрации углекислого газа в атмосфере была максимальной, что трудно объяснить, исходя из теории парникового потепления климата.

В самые теплые месяцы года (июль–август), начиная с конца 70-х годов, скорость роста температуры быстро увеличивалась до середины 80-х годов прошлого столетия, а затем незначительно флуктуировала, оставаясь очень высокой в последние 20–25 лет (0,07°C в год).

В изменении разностей линейных трендов температуры (июль – август – январь – февраль) наблюдались две положительные флуктуации, последняя оказалась самой мощной и продолжительной. Положительные линейные тренды разностей температуры были самыми значительными в период с 1998 по 2012 гг.

Данные, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о том, что линейные положительные тренды температур в самые теплые месяцы года последних лет оказались выше, чем в самые холодные месяцы года. Эта особенность в изменении климата имеет принципиальное значение и не может быть интерпретирована, исходя из доминирующей роли

парниковых газов в изменении современного климата.

Интенсивная скорость роста содержания парниковых газов в атмосфере должна сопровождаться в первую очередь более интенсивным ростом зимних температур. Связать более быстрый рост летних температур, по сравнению с зимними, с очищением атмосферы от вулканического аэрозоля в последние двадцать лет также нет достаточных оснований, поскольку прозрачность атмосферы в этот период была в 1,5 раза ниже, чем в период существенного роста температуры в теплое время года во время потепления Арктики в 30-ые годы прошлого столетия.

Таким образом, можно сделать вывод, что без учета влияния на климат других внутренних и внешних климатообразующих факторов (общая циркуляция атмосферы и океана, прямые и обратные связи в климатической системе, солнечная активность и др.) нельзя объяснить пространственно-временные особенности современных изменений глобального и регионального климата.

Литература

1. Абдусаматов Х.И. Солнце определяет климат // Наука и жизнь. – 2009. – № 1. – С. 34-42.
2. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – С. 351.
3. Будыко М.И. Извержение вулканов и климат // Метеорология и гидрология. – 1983. – № 1. – С. 98-99.
4. Глобальные и региональные изменения климата / В.М.Шестопалов, В.Ф. Логинов, В.И.Осадчий и др. – К.: Ника-Центр, 2011. – 448 с.
5. Гройсман П.Я., Иванов С.В., Паламарчук Ю.О. Региональные климатические изменения в Восточной Европе: документальные подтверждения и их связь с глобальными изменениями / В кн. «Глобальные и региональные изменения климата». – К.: Ника-Центр, 2011. – С. 38-56.
6. Кондратьев К.Я. Современные изменения климата и определяющие их факторы. (Изменения солнечной постоянной газового и аэрозольного состава атмосферы) // Итоги науки и техники. Метеорология и климатология. – М., ВИНТИ, 1977. – С. 202.
7. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы изменения климата. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 279 с.
8. Логинов В. Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск: «Навука і тэхніка», 1992. – 320 с.
9. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
10. Логинов В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата. – Минск: «Беларуская навука», 2012. – 266 с.
11. Максимов И. В. Географические силы и воды океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 477 с.
12. Молодых В. А., Логинов В.Ф. Возможные причины полугодовых колебаний температуры воздуха // Тр. ГГО им. А. И. Воейкова. – 1984. – Вып. 471. – С. 86–93.
13. Морской лед / И.Е. Фролов, З.М. Гудкович, В.П. Карлин и др. // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под реда. С.М.Семенова. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М., 2012. – С. 400 – 429.
14. Покровский О. М. Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных измерений // Исследования Земли из космоса. – 2010. – № 5. – С. 11–24.
15. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата // ГУ «ВНИИГМИ – МЦД». – Обнинск, 2008.
16. Climate Change 2001, IPCC, WMO/UNEP Cambridge Univ. press 2001.
17. Climate Change 2007. The Physical science basis. WMO, UNEP, 2007, – 142 p.