

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**CLIMATIC RESOURCES****КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ**

УДК 551.58

В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: ecology@basnet.by***ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА**

Рассмотрены пространственно-временные особенности изменений температуры Земного шара за период с 1850 по 2017 г. Особое внимание уделено таким внешним и внутренним причинам формирования трендов, скачков и пауз в изменении температуры, как парниковые газы антропогенного происхождения, водяной пар, облачность, аэрозоли естественного и антропогенного происхождения. Показано, что если потепление климата второй половины прошлого столетия было зимнего типа, то в настоящее время оно сменилось потеплением летнего типа. Эти и другие пространственно-временные особенности в изменении климата нельзя объяснить, находясь только в рамках теории парникового глобального потепления.

Ключевые слова: изменение климата, пауза в глобальном потеплении, тренд температуры, водяной пар, аэрозоль

V. F. Loginov, S. A. Lysenko, Y. A. Brovka, V. S. Mikutsky*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: ecology@basnet.by***SPATIAL-TEMPORAL PARTICULARITY OF GLOBAL CLIMATE CHANGE**

Spatial-temporal particularity of the Earth's temperature change over period from 1850 to 2017 are considered. Special attention was paid to external and internal reasons of trends, jumps and hiatuses in temperature interannual variability, such as man-made greenhouse gases, water vapor, clouds, natural and man-made aerosols. We have elucidated why the climate warming in the second half of the last century occurred mainly in winter months, while nowadays it has been replaced by summer type warming. These and other spatial-temporal particularity of global climate change cannot be explained by greenhouse global warming theory.

Keywords: climate change, global warming hiatus, temperature trend, water vapor, aerosol

У. Ф. Логінаў, С. А. Лысенка, Ю. А. Броўка, У. С. Мікуцкі*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: ecology@basnet.by***ПРАСТОРАВА-ЧАСАВЫЯ АСАБЛІВАСЦІ ЗМЯНЕННЯЎ ГЛАБАЛЬНАГА КЛІМАТУ**

Разгледжаны прасторава-часавыя асаблівасці змяненняў тэмпературы Зямнога шара за перыяд з 1850 да 2017 г. Асаблівая ўвага нададзена такім знешнім і ўнутраным прычынам фарміравання трэндаў, скачкоў і паўзаў у змяненні тэмпературы, як парніковыя газы антрапагеннага паходжання, вадзяная пара, воблачнасць, аэразолі натуральнага і антрапагеннага паходжання. Паказана, што калі пацяпленне клімату другой паловы мінулага стагоддзя было зімовага тыпу, то ў цяперашні час яно змянілася пацяпленнем летняга тыпу. Гэтыя і іншыя прасторава-часавыя асаблівасці ў змяненні клімату нельга растлумачыць, знаходзячыся толькі ў рамках тэорыі парніковага глабальнага пацяплення.

Ключавыя словы: змяненне клімату, паўза ў глабальным пацяпленні, трэнд тэмпературы, вадзяная пара, аэразоль

Введение. Современные глобальные и региональные изменения температуры, наблюдавшиеся за период инструментальных наблюдений, имеют значительно более сложный характер, чем антропогенные изменения содержания парниковых газов в атмосфере. Изменение температуры Земного шара за последние 140 лет включают трендовую составляющую, на фоне которой заметны циклы, скачки и паузы. Под скачком температуры понимается быстрое изменение температуры по сравнению со средней величиной ее линейного тренда, а пауза или стабилизация в изменении температуры означает отсутствие или слабый рост температуры во времени. Продолжительность циклов, скачков и пауз изменяется в широких пределах от нескольких

лет до десятилетий. Природа такого рода непостоянства климата окончательно не выяснена, но, совершенно очевидно, что она не может быть связана только с антропогенным линейным или экспоненциальным увеличением содержания парниковых газов в атмосфере. В ее основе лежит влияние на климатическую систему различного рода внешних и внутренних факторов, а также автоколебаний в климатической системе, которые могут формироваться и без внешних воздействий [1].

Наиболее обоснованными и убедительными, на наш взгляд, представляются гипотезы о связи глобальной температуры с многолетними квазипериодическими изменениями термодинамических свойств океана, модулирующими испарение в атмосферу. Водяной пар, обладая мощными полосами поглощения в ближней, средней и длинноволновой ИК-областях спектра, является наиболее важным парниковым газом, на долю которого приходится почти 2/3 парникового эффекта атмосферы. Кроме того, он участвует практически во всех процессах превращения энергии в масштабах планеты, влияет на образование облаков и оптические свойства аэрозолей.

Принято считать, что с повышением глобальной температуры воздуха содержание водяного пара в атмосфере также увеличивается, усиливая суммарное длинноволновое нагревание атмосферы и подстилающей поверхности [2, 3]. Однако имеющиеся данные глобальных спутниковых и аэрологических наблюдений демонстрируют чуть ли не противоположную тенденцию в изменении содержания водяного пара зимой [4, 5].

В работе [6] обнаружено, что отношение смеси для водяного пара в стратосфере с 2000 по 2009 г. было примерно на 10 % ниже, чем в предыдущие годы. По расчетам климатических моделей это замедлило рост глобальной температуры примерно на 25 %. Анализ данных американского спутникового радиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) показывает, что с 2003 по 2012 г. происходило статистически значимое уменьшение содержания водяного пара во всем слое атмосферы, как над поверхностью суши, так и над океанами с величинами соответствующих трендов $-0,10$ и $-0,17$ мм/год [7].

Несмотря на важную роль водяного пара в процессах формирования климата, исследованию его связи с глобальной температурой Земли и механизмам, обуславливающим эту связь, на наш взгляд, уделяется недостаточно внимания. Между тем водяной пар является важнейшим фактором, способным влиять на быстрые глобальные изменения климата Земли и определять его короткопериодные флуктуации.

Обзор работ, посвященных исследованию пространственно-временных изменений климата, представлен в монографии В. Ф. Логинова [8], а также других авторов [9–12, 14]. Ниже рассмотрены пространственно-временные особенности изменений температуры земной поверхности и их связи с содержанием водяного пара в атмосфере.

В работе использованы метеорологические данные HadCRUT4. Проанализировано изменение величины трендов для всего доступного ряда (1850–2017 гг.) и отдельных временных периодов, отражающих характерные особенности современного климата, связанные с естественными климатообразующими факторами и антропогенными изменениями содержания парниковых газов в атмосфере.

Следует отметить, что характер изменения температуры за период с 1850 по 1880 г. установлен с использованием данных наблюдений по ограниченному числу метеорологических станций: процент покрытия территории Земного шара данными наблюдений составлял менее 25% [13]. В период с 1881 по 1910 г. процент покрытия территории Земного шара данными наблюдений увеличился до 40. Принимая во внимание это обстоятельство, мы не стали разделять период с 1850 по 1908 г. на два подпериода: 1850–1879 гг. и 1879–1908 гг.

Для выделения трендовых компонент среднемесячных температур на фоне их естественной изменчивости использовалась нормировка этих температур на их среднеквадратические отклонения. Такой прием позволяет выровнять вклады каждого месяца в вычисляемые тренды сезонных и годовых температур.

Результаты исследований и их обсуждение. Аномалии температуры приземного воздуха в среднем за год, а также в наиболее теплые и холодные месяцы года в Северном и Южном полушариях приведены на рис. 1–3. На основании рассчитанных трендов этих аномалий выявлены характерные периоды (скачки и паузы) и генеральные особенности изменений температуры.

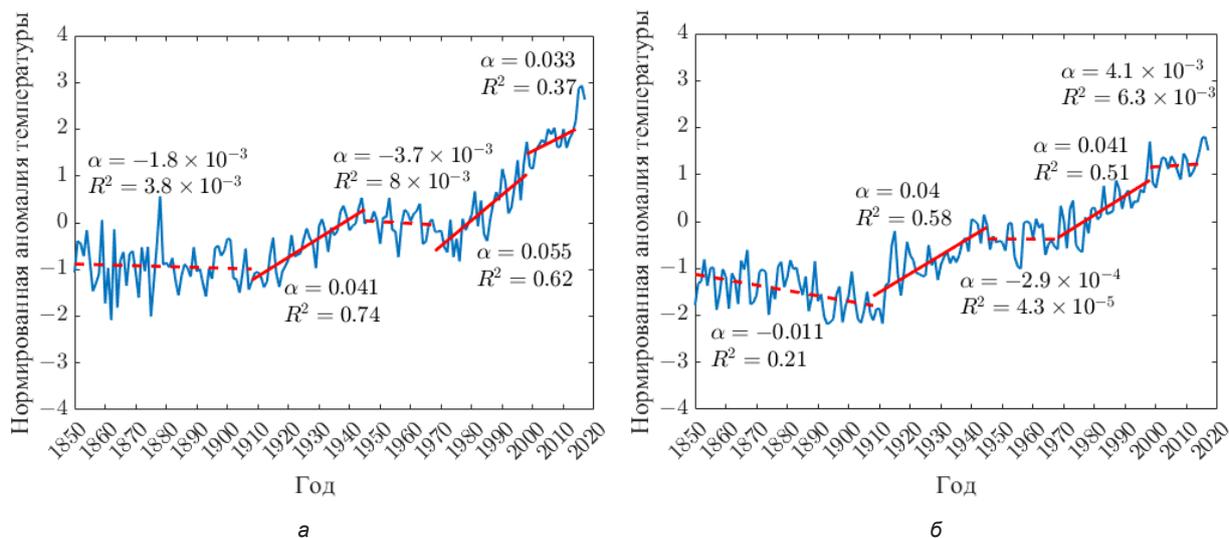


Рис. 1. Среднегодовые нормированные аномалии температуры Северного (а) и Южного (б) полушарий (суша и океан)

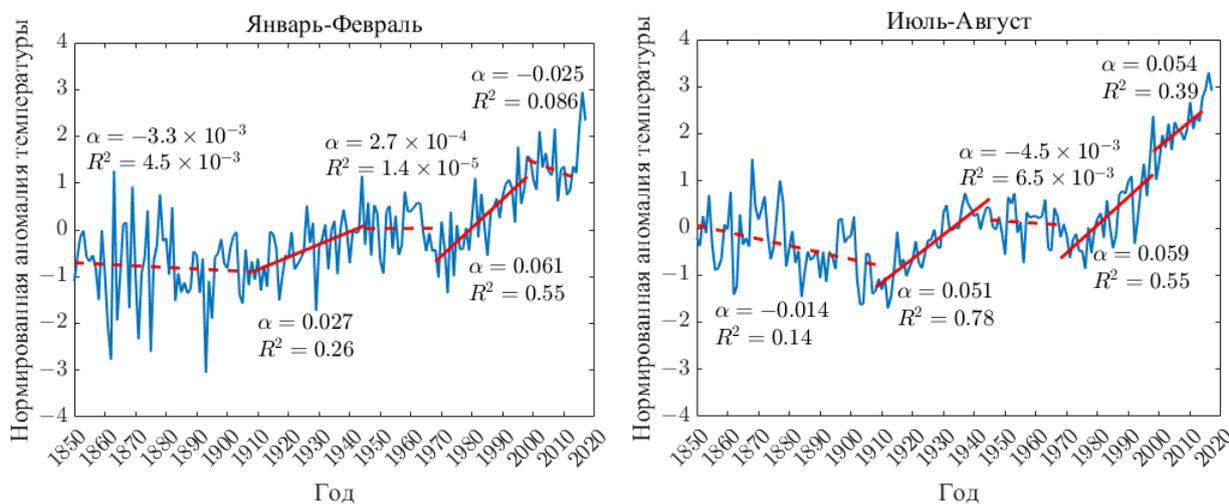


Рис. 2. Нормированные аномалии температуры Северного полушария (суша и океан) в самые холодные (январь–февраль) и самые теплые (июль–август) месяцы года

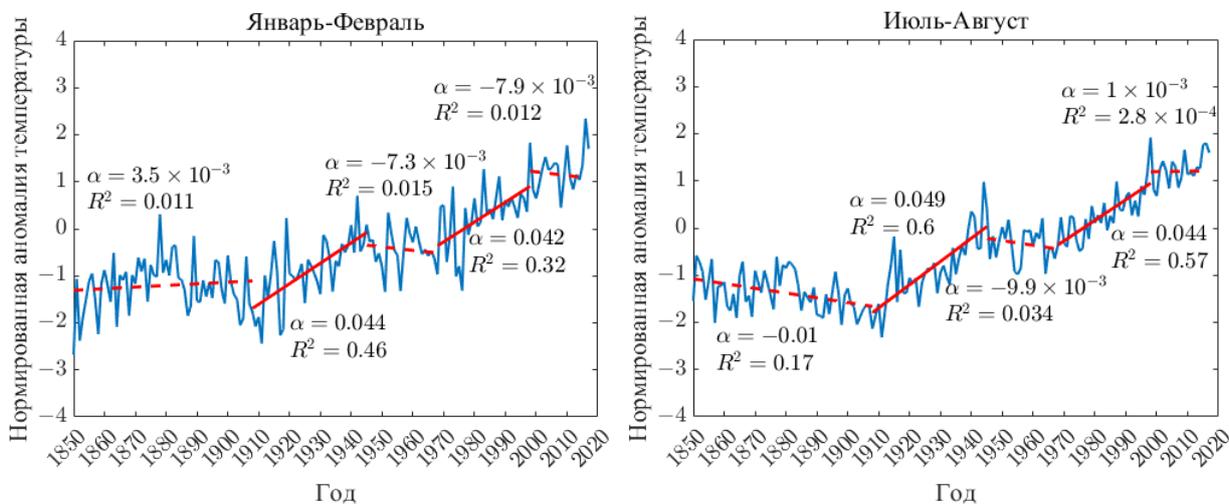


Рис. 3. Нормированные аномалии температуры Южного полушария (суша и океан) в самые холодные (январь–февраль) и самые теплые (июль–август) месяцы года

Для первой температурной паузы (1850–1908 гг.) в подавляющем числе месяцев теплого времени года наблюдается слабое падение температуры или слабый рост температуры в отдельные месяцы холодного времени года (XI–III месяц). В среднем уменьшение скорости падения аномалий температуры оказалось существенно большим в теплое время года, нежели в холодное. Эти различия оказались существенно большими на суше Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Во время второй паузы в изменении климата (1945–1968 гг.) отмечается более выраженное уменьшение скорости падения аномалий температуры по сравнению с первой паузой в подавляющем числе месяцев года. Причем, как и в первом случае, скорость падения аномалий температуры была существенно больше в теплое время года. Наибольшая скорость падения аномалий температуры опять же была больше на суше Земного шара, и особенно на суше Северного полушария. В силу небольшой площади суши в Южном полушарии ситуация здесь менее определенная: скорость изменения аномалий температуры меняется незначительно и в подавляющем числе месяцев года коэффициент линейного тренда составляет несколько тысячных.

Для последней паузы в изменении температуры (1998–2014 гг.) коэффициент линейного тренда сохранял положительный знак, т.е. аномалии температуры продолжали увеличиваться, но скорость их роста уменьшилась в два раза и даже несколько больше по сравнению с предыдущим периодом (1968–1998 гг.), когда скорость роста аномалий температуры была максимальной за период инструментальных наблюдений. В этот период наибольшая скорость роста температуры соответствовала теплоте времени года (май–ноябрь), тогда как в отдельные месяцы холодного времени года (январь, февраль) температура понижалась, что не согласуется с основными положениями теории парникового потепления климата.

Периоды 1908–1945 и 1968–1998 гг. характеризуются ускоренным ростом (скачком) температуры воздуха во все месяцы года, причем во второй период этот рост был наиболее выраженным. Для первого скачка в изменении температуры Земного шара и Северного полушария коэффициент линейного тренда в теплое время года был приблизительно в два раза больше, чем в холодное. В Южном (океаническом) полушарии коэффициенты линейного тренда для холодного и теплого полугодий были приблизительно одинаковыми. Для второго скачка в изменении температуры (1968–1998 гг.) различий в скорости роста температуры в холодное и теплое время года не обнаружено (различия в величинах коэффициентов линейного тренда находятся в интервале $\pm 0,003$).

Как будет показано ниже, в течение второго скачка в изменении температуры какого-либо выраженного тренда в изменении содержания водяного пара в атмосфере не наблюдается, а, следовательно, радиационный форсинг водяного пара не изменялся во времени. Это создало условия для проявления радиационного форсинга других парниковых газов. Приблизительная оценка средней величины их суммарного радиационного форсинга в этот период составила около $1,2 \text{ Вт/м}^2$, а рост радиационного форсинга за период с 1968 по 1998 г. – около $0,5 \text{ Вт/м}^2$, что оказалось достаточным для увеличения температуры Земного шара на величину около $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ по сравнению с предыдущим 25-летним периодом.

В Южном полушарии генеральные особенности в изменении нормированных аномалий температуры в целом сохраняются, но в связи с большой океаничностью этого полушария продолжительность и величина температурных скачков и пауз в нем слабее зависят от сезона года, чем в Северном полушарии. Величины трендов нормированных аномалий температуры Южного полушария в теплые и холодные месяцы года отличаются на тысячные доли. Продолжительность пауз и скачков в изменении нормированных аномалий температур различных месяцев практически не отличаются.

Теперь рассмотрим изменения нормированных аномалий температуры воздуха только над поверхностью суши, для которой влияние парниковых газов должно быть более значимым, чем для океана.

Площадь суши Южного полушария Земли с учетом Антарктиды составляет около четверти всей его площади, причем сконцентрирована она в основном в низких широтах ($0\text{--}30^\circ$ ю.ш.) и вблизи Южного полюса. В связи с этим проведенный анализ аномалий температуры в Южном полушарии позволяет охарактеризовать изменение климата преимущественно в низких широтах. Здесь, в отличие от Северного полушария и всего Земного шара, не наблюдается ярко выраженных пауз и скачков в изменении нормированных значений аномалий температуры. В подавляющем большинстве месяцев года вариации скорости роста нормированных анома-

лий температуры едва заметны, и только в период с 1968–1998 гг. имел место их достаточно быстрый рост, который замедлился в конце 90-х годов прошлого столетия.

Характер температуры суши всего Земного шара в теплое время года приблизительно такой же, как для Северного полушария. Между тем, для длительного периода с 1905 по 1970 г. в холодное время года характерны небольшие изменения скорости роста температуры. И только с конца 60-х годов и до конца прошлого столетия стало отчетливо заметно увеличение скорости роста температуры. Причем такая неопределенность в изменении величины тренда аномалий температуры наиболее ярко выражена в холодные месяцы года (с ноября по март).

Особый интерес представляет анализ продолжительности и «глубины» температурных пауз за период инструментальных наблюдений. Анализ экспериментальных данных показывает, что продолжительность и «глубина» паузы обратно пропорциональны интенсивности радиационного воздействия парниковых газов, т.е. их радиационному форсингу, а интенсивность скачков в изменении температуры пропорциональна этому форсингу.

Установлено, что продолжительность и глубина пауз в изменении температуры уменьшается с ростом содержания парниковых газов в атмосфере. Продолжительность первой паузы (1850–1908 гг.) составляет около 60 лет, второй (1945–1968 гг.) – около 23 лет, а последней (1998–2014 гг.) – только 16 лет. Для последней паузы средний форсинг парниковых газов вырос более чем в 17 раз, по сравнению с его величиной в предыдущую паузу. Именно этим обстоятельством можно объяснить уменьшение продолжительности пауз от 53 до 16 лет и уменьшение их глубины. Во время первой паузы среднегодовая нормированная аномалия температуры была почти на 1 °С ниже нормы, во время второй паузы – примерно на 0,2 °С ниже нормы, а в во время последней слабовыраженной паузы (1998–2014 гг.) средние годовые нормированные аномалии температуры превысили норму на 1 °С.

В первый из периодов скачкообразных изменений температуры прошлого столетия (1908–1945 гг.) скорость роста температуры была лишь на 20 % меньше, чем во второй период (1968–1998 гг.), тогда как соответствующие им форсинги парниковых газов отличались, как минимум в 4 раза. Отсутствие пропорциональности между форсингом парниковых газов и скоростью изменения аномалий температуры, по-видимому, связано с различием содержаний водяного пара в атмосфере на протяжении двух рассматриваемых периодов [9].

Стоит отметить еще одну важную особенность современного климата. При потеплении в высоких широтах, которое оказалось самым значительным в последние два десятилетия, произошло уменьшение температурных контрастов между полярными и низкими широтами. Это привело к уменьшению интенсивности зонального потока и, как следствие, к меньшему переносу океанического водяного пара в глубь континентов. В результате радиационный форсинг водяного пара над континентами уменьшился, а вместе с ним понизилась температура подстилающей поверхности и нижних слоев атмосферы, что сформировало температурную паузу. Эти вопросы рассмотрены ниже.

Чтобы выявить широтные особенности в изменении температуры, был проведен ее анализ в различных широтных зонах Земного шара, позволившего сделать следующие выводы. Наибольшее увеличение температуры (чуть более 1 °С) во время второй паузы (1998–2014 гг.) происходило в теплое время года (V–X месяцы) в высоких широтах (60–90° с.ш.). Увеличение температуры в средних и низких широтах в теплое время года составило примерно 1/2 и 1/3 от величины ее изменения в высоких широтах, что объясняется снижением парникового эффекта с приближением к экватору. Однако в холодное время года, когда эта закономерность должна быть еще более выраженной, наблюдается совсем иная картина: величина роста температуры на 30% меньше, чем в теплое время года. Это трудно объяснить одним лишь парниковым эффектом.

Анализ изменений температуры, содержания водяного пара и облачности в высоких широтах Северного полушария, проведенный нами в работе [9], показал, что зимние температуры понижались в результате уменьшения парникового эффекта водяного пара, а летние, наоборот, повышались за счет уменьшения оптической толщины облаков и большего пропускания ими солнечного излучения. Эффект снижения оптической толщины облачного покрова в низких широтах был менее выражен, чем в высоких, что и привело к меньшему по величине росту температуры в теплое время года. В холодное время года снижение содержания водяного пара в средних и низких широтах обусловило падение температуры или ее слабый рост. Это было особенно заметно зимой (декабрь–февраль), когда температура в средних широтах уменьшилась почти на 0,7 °С, тогда как в низких широтах рост температуры составил менее 0,1 °С.

Во время первой паузы (1945–1968 гг.) в подавляющем числе месяцев года наблюдалось падение температуры (табл. 1), которое особенно ярко проявилось в низких и высоких широтах. Среднегодовые изменения температуры во время первой паузы имеют следующий характер: большая пауза наблюдается в изменении температуры низких широт (снижение температуры составило $-0,44$ °C); несколько меньше пауза в высоких широтах ($-0,36$ °C); минимальная пауза в средних широтах ($-0,09$ °C). Среднегодовые изменения температуры во время второй паузы характеризуются наибольшим ростом в высоких широтах ($+1,03$), почти в 4 раза меньшим в средних широтах ($+0,28$) и более чем в 4 раза меньшим вблизи экватора ($+0,24$).

Таблица 1. Величина изменений температуры в разных широтных зонах Северного полушария Земли в различные месяцы года во время первой паузы (1945–1968 гг.) и второй квазипаузы (1998–2014 гг.)

Месяц	Широта					
	60–90°		40–55°		35–0°	
	1-я пауза	2-я пауза	1-я пауза	2-я пауза	1-я пауза	2-я пауза
I	-0,98	+1,11	+0,02	-0,66	-0,84	-0,08
II	-0,03	+0,22	-0,12	-1,66	-0,31	+0,13
III	+0,29	-0,06	+0,41	+0,11	-0,24	+0,41
IV	-0,96	+1,07	-0,19	+0,15	-0,25	-0,07
V	-0,26	+1,36	-0,03	+0,38	-0,50	+0,28
VI	-0,05	+1,01	+0,06	+1,12	-0,50	+0,57
VII	+0,65	+0,87	-0,45	+0,66	-0,29	+0,44
VIII	-0,35	+1,04	-1,09	+0,42	-0,30	+0,29
IX	-0,58	+1,67	-0,99	+0,58	-0,37	+0,27
X	-1,31	+1,50	-0,61	+0,71	-0,32	+0,27
XI	-0,87	+0,97	+0,74	+1,31	-0,57	+0,26
XII	+0,24	+0,63	+0,52	-0,34	-0,82	+0,16
Год	-0,36	+1,03	-0,09	+0,28	-0,44	+0,24

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения трендов, соответствующие максимальному росту температуры в период с 1998 по 2017 г.

Вторую квазипаузу можно также отнести к разряду «пауз» в изменении температур, поскольку по теории климата должно наблюдаться прогрессивное увеличение скорости роста температуры с ростом форсинга парниковых газов, но в период с 1998 по 2014 г. этого не происходило. Более того, в этот период скорость роста температуры замедлилась особенно зимой по сравнению с предыдущим 20-летним периодом. Если рассмотреть пространственные особенности изменения температуры, то теория парникового потепления в основном подтверждается данными наблюдений в высоких широтах (60–90° с.ш.), где скорость роста температуры действительно увеличивалась, но даже здесь проявлялась одна особенность, которую трудно объяснить, находясь в рамках теории парникового потепления климата: наибольший рост температуры наблюдался не зимой, а летом. В других широтных зонах 40–55° и 0–35° с.ш. рост температуры во время второй паузы тоже был больше летом, чем зимой.

В высоких широтах (60–90° с.ш.) второй паузы в изменении температуры фактически не было: здесь наблюдался рост температуры как в холодное, так и теплое время года. Однако рост температуры во время второй паузы здесь также был большим в теплое время года, чем в холодное.

Первая пауза в изменении температуры была наиболее ярко выражена, поскольку в десяти из двенадцати месяцев года наблюдалось снижение температуры. Падение температуры было большим в холодное время года (X–II). Однако падение температуры совпало с увеличивающимся форсингом парниковых газов. В этот период (с 1948 по 1968 г.) в Северном полушарии как зимой, так и летом наблюдалось снижение оптической толщины облаков, что согласуется со снижением содержания водяного пара в атмосфере [5]. Таким образом, происхождение этой паузы носит, скорее, естественный характер.

На широте 40–55° с.ш. во время первой паузы температура снижалась в большинстве месяцев (за исключением марта, ноября, декабря). Вторая «пауза», напротив, отличалась ростом температуры в большинстве месяцев года за исключением зимних, когда наблюдалось падение температуры. Более отчетливый рост температуры отмечался в теплые месяцы (с марта по ноябрь).

На широте 0–35° с.ш. первая температурная пауза была хорошо выражена, поскольку падение температуры наблюдалось во все месяцы года. Во время второй паузы рост температуры зимой оказался минимальным, а в теплое время года – максимальным. Отметим, что во время

первой паузы снижение содержания водяного пара было в пять раз большим, чем во время второй паузы, что и могло обеспечить более выраженную паузу в изменении температуры. В связи с этим рассмотрим характер пространственно-временных изменений водяного пара.

Результаты анализа пространственно-временных изменений удельной влажности в Северном полушарии за период с 1949 по 2014 г. сведены в табл. 2. Величины линейных трендов удельной влажности рассчитаны для трех периодов: 1949–1968, 1968–1992, 1992–2014 гг. отдельно для зимы, лета и года в целом.

Таблица 2. Коэффициенты линейного тренда (α) удельной влажности в Северном полушарии в разные периоды времени

Средние значения α для Северного полушария	Период времени, гг.	Сезонные и среднегодовые значения α		
		зима	лето	год
	1949–1968	–0,0017	–0,0071	–0,00395
	1968–1992	–0,00006	–0,00038	–0,00029
	1992–2014	–0,00056	–0,00026	–0,00047

Из таблицы следует, что наибольшая скорость падения удельной влажности в Северном полушарии отмечается в 1949–1968 гг., а наименьшая – в 1968–1992 гг. В последний период скорость падения удельной влажности в Северном полушарии отличалась от скорости ее падения в другие периоды времени (1949–1968 и 1992–2014 гг.) как для сезонов года, так и года в целом в 3–28 раз. Это говорит о существенном замедлении скорости падения удельной влажности (паузе) в период с 1968 по 1992 г. и несколько меньшем замедлении скорости в 1992–2014 гг.

Сравнительный анализ связи изменений температуры и удельной влажности в Северном полушарии позволяет сделать следующие выводы.

1. Интенсивная скорость падения удельной влажности в Северном полушарии с 1948 по 1968 г. согласуется со значительным падением температуры, составившим около 0,2 °C по сравнению с предыдущим 20-летним периодом.

2. В период с 1992 по 2014 г. произошло более слабое по сравнению с первым периодом падение удельной влажности в Северном полушарии, а также замедление скорости роста температуры по сравнению с предыдущим 20-летием.

3. Максимальный рост температуры Северного полушария за всю историю инструментальных наблюдений отмечался с конца 60-х до 1998 г. В большую часть этого периода не отмечалось сколько-нибудь заметной трендовой составляющей в изменении удельной влажности, что позволяет говорить о наступившей паузе в ее изменении для Северного полушария. Радиационный форсинг главного парникового газа – водяного пара – в этот период не претерпел существенных изменений (кроме короткопериодных), а форсинг других парниковых газов антропогенного происхождения возрос как минимум на 0,5 Вт/м² по сравнению с периодом с 1908 по 1945 г., обеспечив тем самым рост температуры на несколько десятых градуса.

В изменении удельной влажности атмосферы зимой и летом обнаружены некоторые различия. Скорость падения удельной влажности в Северном полушарии с 1968 по 1992 г. летом оказалась в 6,3 раза больше, чем зимой, что могло замедлить рост температуры за счет общего форсинга парниковых газов зимой по сравнению с летом. Действительно, скорость роста температуры в Северном полушарии зимой в это время была больше, чем летом, и неслучайно потепление 70–90-х годов прошлого столетия называют «зимним потеплением». В период с 1998 по 2014 г., наоборот, удельная влажность атмосферы летом понижалась медленнее, чем зимой, что должно было привести к более быстрому потеплению летом по сравнению с зимой. Анализ изменений нормированных аномалий температуры в Северном полушарии показал, что скорость роста летней температуры в текущем столетии действительно стала выше, чем зимней: зимняя температура в Северном полушарии за 1998–2014 гг. даже понизилась на величину около 0,1°C.

Не исключено, что большее увеличение летних температур по сравнению с зимними частично связано с очищением атмосферы от вулканического аэрозоля, которое началось через три года после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. Вторым обстоятельством, способствующим очищению атмосферы от аэрозоля, могло быть проведение природоохранных мероприятий в ряде стран Европы и Северной Америке в последние десятилетия. Это способствовало увеличению притока коротковолновой солнечной радиации к подстилающей поверхности и, как следствие, росту ее температуры в теплое время года.

Проведенный анализ пространственно-временной изменчивости температуры Земного шара показал, что оставаясь в рамках теории парникового потепления климата трудно объяснить ряд особенностей его изменений за период инструментальных наблюдений. Эти особенности в изменении климата отражены на рис. 4, 5.

Для периода с 1948 по 1968 г. на большей части территории Земного шара линейные тренды температуры отрицательные как летом, так и зимой. Только на небольших участках Земного шара значения коэффициентов линейных трендов были положительными. Ситуация резко изменилась с 1968 по 1998 г., когда для изменений температуры на большей части территории Земного шара как зимой, так и летом был характерен положительный линейный тренд. Он был особенно заметен в континентальных районах Земного шара зимой: в Сибири и на северо-западе Северной Америки коэффициенты линейного тренда температуры были выше $+0,1$ K/год. Однако одна из особенностей в изменении температур Северного полушария также не укладывается в рамки теории парникового потепления климата: в большинстве высокоширотных районов отмечалось падение, а не рост температуры. В течение последнего рассмотренного периода времени (1998–2014 гг.) зимой на континентах и частично океанах Северного полушария, а также на значительной части Южного полушария линейные тренды температуры были отрицательными. Причем на Евразийском и Северо-Американском континентах отрицательные коэффициенты линейного тренда температуры были меньше $-0,1$ K/год. Важно также отметить, что в высоких широтах Северного полушария отмечался значительный рост температуры, согласующийся с теорией парникового потепления климата. Поля линейных трендов температуры для двух сопоставляемых периодов (1968–1998 и 1998–2014 гг.) противоположны по знаку и имеют статистически значимый коэффициент корреляции, равный $-0,58$.

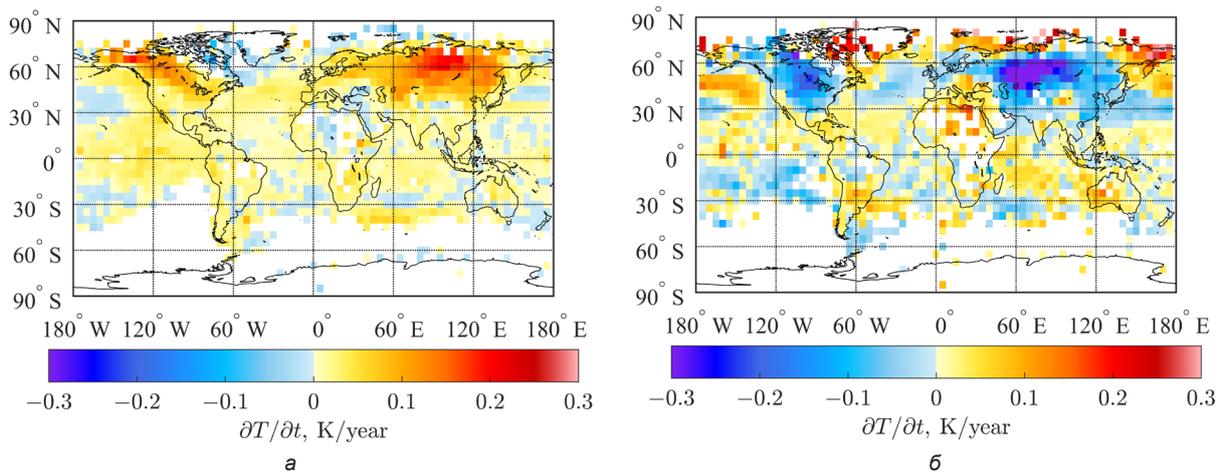


Рис. 4. Тренды температуры земной поверхности зимой в периоды с 1968 по 1998 г. (а) и с 1998 по 2014 г. (б)

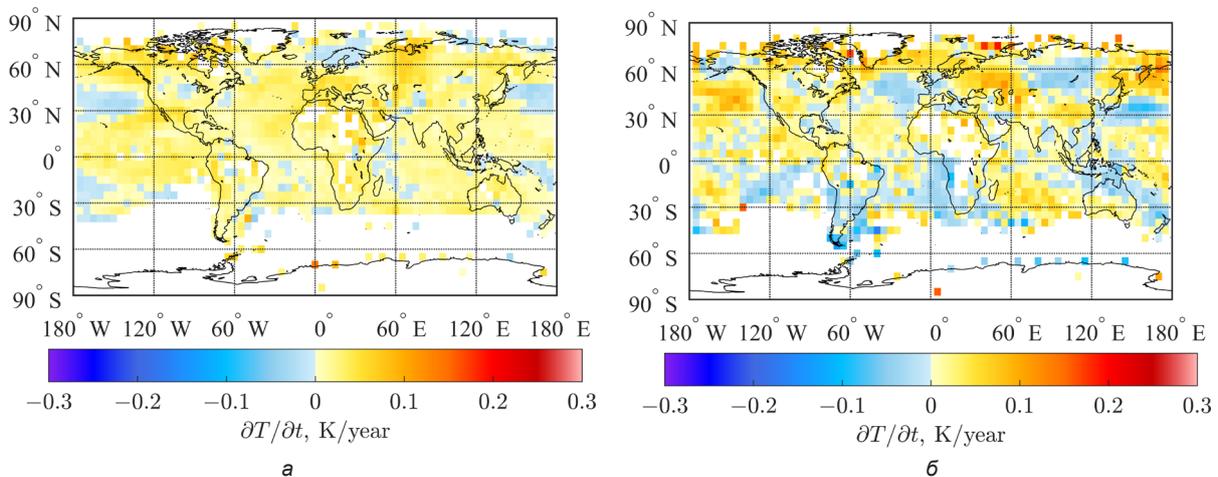


Рис. 5. Тренды температуры земной поверхности летом в периоды с 1968 по 1998 г. (а) и с 1998 по 2014 г. (б)

Высокий отрицательный коэффициент корреляции свидетельствует о зеркальном отражении полей линейных трендов температуры зимой в указанные периоды. Для последнего периода, когда среднегодовые выбросы углекислого газа в атмосферу составляли около 40 млрд т (по данным на 2014 г.), характерны большие скорости роста содержания парниковых газов в атмосфере. В начале первого периода (1968 г.) они составляли только около 14 млрд т, т.е. почти в 3 раза меньше. Если исходить из теории парникового потепления климата, то скорость роста температуры (особенно зимой) в последний период (1998–2014 гг.) должна быть больше по сравнению с предыдущим. Однако этого не наблюдалось.

Совершенно иной характер изменения коэффициентов линейных трендов температуры в указанные периоды наблюдался в летнее время года, когда роль парниковых газов в изменении температуры должна быть выражена слабее, поскольку воздействие важнейшей положительной обратной связи между альбедо и температурой не проявляется, но скорость роста температуры летом оказалось выше, чем зимой. Сохранился и знак коэффициентов линейных трендов температуры в период с 1968 по 2014 г. Причем скорость роста летней температуры даже усилилась, начиная с середины 90-х годов прошлого столетия по сравнению с предыдущим периодом. Зеркальность полей линейных трендов летней температуры в указанные периоды хотя и сохранилась, но была менее выраженной ($r = -0,16$).

Обнаруженные пространственно-временные изменения линейных трендов температуры в летнее время года можно объяснить, лишь предположив, что основным фактором, определяющим изменения температуры в это время, являлись аэрозоли естественного и антропогенного происхождения. Проведенный нами анализ значений потока солнечной радиации, измеряемого с 1883 по 2015 гг. на мировой сети актинометрических станций, показывает, что этот поток превышал норму на протяжении двух длительных периодов: 1926–1945 и 1995–2015 гг. На первый период пришлось летнее потепление (а точнее потепление в теплое время года с июля по октябрь) в Северном полушарии, которое вошло в историю как потепление Арктики. Второй период времени совпал с самым быстрым ростом летних температур в Северном полушарии за период инструментальных наблюдений (1995–2017 гг.).

Выводы. В изменении температуры Земного шара и отдельно Северного и Южного полушарий содержится трендовая составляющая, на фоне которой обнаружены периоды быстрого роста температуры (скачки) и периоды, когда скорость роста температуры снижалась (паузы). В течение рассмотренного интервала времени выявлены два периода с наибольшим ростом температуры: 1908–1945 и 1968–1998 гг. В последнем периоде скорость роста температуры была в 1,2 раза больше, чем в предыдущем. Наибольшее замедление роста температуры (отрицательный линейный тренд) пришлось на период с 1945 по 1968 г.; меньшее замедление роста температуры наблюдалось с 1968 по 1998 г. Изменения глобальной температуры согласуются с изменениями удельной влажности атмосферы: уменьшение скорости роста температуры примерно совпадает по времени с уменьшением содержания водяного пара в атмосфере (1948–1968 и 1992–2014 гг.).

В период с 1968 по 1998 г., когда трендовая составляющая удельной влажности атмосферы была минимальной, форсинг парниковых газов обеспечил самый интенсивный рост глобальной температуры (около 0,5 °C за тридцатилетний период).

Пространственные особенности в изменении удельной влажности атмосферы в Северном полушарии проявились и в пространственных изменениях температуры. Скорость роста летней температуры Земного шара, и особенно Северного полушария, в последние десятилетия оказалась больше зимней, что невозможно интерпретировать, оставаясь в рамках теории парникового потепления климата. В качестве основных факторов, способных обеспечить более быстрый рост летних температур по сравнению с зимними, можно выделить снижение аэрозольного загрязнения атмосферы и уменьшение оптической толщины облаков. Данные наблюдений подтверждают это предположение, по крайней мере для последнего двадцатилетия.

Зимнее потепление климата, преобладающее во второй половине прошлого столетия, в последние два десятилетия сменилось летним потеплением, что трудно объяснить, если считать, что парниковые газы являются основным фактором современного потепления климата. Однако, не отрицая их важной роли в изменении современного климата, нельзя не отметить, что убедительные доказательства причин и следствий современных изменений климата все еще не найдены. С этим и связан значительный разброс оценок климата будущего.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Iwashima, T.* Time-spaced spectral general circulation model, I-time-space spectral model of low-order barotropic system with periodic forcing / T. Iwashima, R. Yamamoto // *J. Met. Soc. Japan.* – 1986. – Vol. 64. – P. 183–196.
2. Variations of stratospheric water vapor over the past three decades / A. E. Dessler [et al.] // *J. Geophys. Res. Atmos.* – 2014. – Vol. 119. – P. 12588–12598, doi:10.1002/2014JD021712.
3. *Dessler, A. E.* Water-vapor climate feedback inferred from climate fluctuations, 2003–2008 / A. E. Dessler, Z. Zhang, P. Yang // *Geophys. Res. Lett.* – 2008. – Vol. 35. – L20705.
4. Water vapor trends and variability from the global NVAP dataset / T. H. Vonder Haar [et al.] // 16th Symposium on Global Change and Climate Variations; <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/84927.pdf>.
5. *Gregory, B. K.* Water Vapor Decline Cools the Earth: NASA Satellite Data / B. K. Gregory // *Friends of Science.* March 4, 2013.
6. *Solomon, S.* Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming / S. Solomon // *Science.* – 2010. – Vol. 327. – P. 1219–1223.
7. Global Water Vapor Content Decreases from 2003 to 2012: An Analysis Based on MODIS Data / M. Keibao [et al.] // *Chin. Geogra. Sci.* – 2017. – Vol. 27, N. 1. – P. 1–7.
8. *Логинов, В. Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: доказательная база и международные соглашения по защите климата / В. Ф. Логинов; Ин-т природопольз. НАН Беларуси. – Минск, 2018. – 101 с.
9. *Лысенко, С. А.* Роль океана в изменениях глобального и регионального климата / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Доклады БГУИР. – 2018. – № 8 (118). – С. 58–63.
10. *Yao, S.-L.* The global warming hiatus – a natural product of interactions of a secular warming trend and a multi-decadal oscillation / S.-L. Yao, G. Huang, R.-G. Wu, and X. Qu // *Theoretical and Applied Climatology.* – 2016. – Vol. 123, N. 1–2. – P. 349–360.
11. *Kosaka, Yu.* Recent globale-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling / Yu. Kosaka, Shang Ping Xie. Doi: 10.1038 / *Nature* 12534.
12. *Tollefson, J.* The case of the missing heat / J. Tollefson // *Nature.* – 2014. – Vol. 505. – P. 276–278.
13. *Folland, C.* Global climate monitoring and assessing climate change / Chris Folland, David Parker // World climate conference. Moscow, Sept. 29 – Oktober 3, 2003. – Moscow, 2004. – P. 68–80.
14. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stoker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.] (eds.). Cambridge / N.Y.: Cambridge Univ. Press. – 2013. – 1535 p.

Поступила 05.02.2019