

НАУЧНЫЕ ДИСКУССИИ
SCIENTIFIC DISCUSSIONS

УДК 551.583

DOI: 10.34753/HS.2021.3.2.166

ПАУЗЫ В ИЗМЕНЕНИИ
СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ В СЕВЕРНОМ И
ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ И ИХ
ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ

В.Ф. Логинов, В.С. Микуцкий, Ю.А. Бровка

*Институт природопользования Национальной
академии наук Беларуси, г. Минск, Республика
Беларусь*

brovka.yuliya@mail.ru

Аннотация. Дискуссионный вопрос о наличии или отсутствии и продолжительности паузы в изменении температуры Земного шара в период с 1998 по 2013 год является предметом многочисленных исследований. Авторами рассмотрены характер и причины пространственно-временных изменений линейных трендов нормированной среднемесячной температуры в Северном и Южном полушариях за период с 1911 по 2020 год. Цель работы – показать особенности изменений величины коэффициентов линейных трендов температуры для разных периодов времени, сезонов и месяцев года в разных полушариях. Используются данные Национальных центров экологической информации Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA's NCEI) США.

Сравнительный анализ величин линейных трендов среднемесячных значений температуры за различные периоды времени позволил выявить наличие паузы в изменении температуры зимой в Северном полушарии, осенью и в меньшей степени летом и зимой – в Южном полушарии (с 1998 по 2013 год). Скорость роста температуры в Северном полушарии в период современного потепления климата оказалась приблизительно в 1,9 раза больше, чем для предыдущего

PAUSES IN MEAN MONTHLY
TEMPERATURE CHANGES IN THE
NORTHERN AND SOUTHERN
HEMISPHERES AND THEIR
POSSIBLE CAUSESVladimir F. Loginov, Vladimir S. Mikutsky,
Yuliya A. Brovka*Institute for Nature Management of the National
Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of
Belarus*

brovka.yuliya@mail.ru

Abstract. The controversial issue of presence or absence and duration of the pause in global temperature change in 1998–2013 is a subject of numerous researches. We considered character and reasons of spatiotemporal changes in linear trends of normalized average monthly temperature in Northern and Southern hemispheres over the period from 1911 to 2020. The objective of the work is to show features of changes in linear temperature trend coefficients for different periods of time, seasons of the year and months in different hemispheres. NOAA's NCEI (National Centers for Environmental Information of National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America) data were used for the research.

Comparative analysis of the linear trends in mean monthly temperature values for different time periods revealed the pause presence in winter temperature changes in the Northern Hemisphere, in autumn and, to a lesser extent, in summer and winter in the Southern Hemisphere (1998–2013). The temperature rising rate in the Northern Hemisphere during the current climate warming period was approximately 1.9 times higher than for the previous warming (1911–1944). It was found that in May – October intense climate warming began in the mid 1940-s in the Southern Hemisphere, i.e. thirty years earlier than in the Northern Hemisphere. This fact contradicts the theory of modern greenhouse climate

потепления (с 1911 по 1944 год). Установлено, что в Южном полушарии в мае – октябре интенсивное потепление климата началось в середине 40-х годов прошлого столетия, то есть на тридцать лет раньше, чем в Северном. Этот факт вступает в противоречие с теорией современного парникового потепления климата. Однако большая скорость потепления климата в последние десятилетия в Северном полушарии согласуется с этой теорией. Проведен критический анализ возможных причин формирования пауз в изменении глобальной температуры. Общей причиной формирования паузы (с 1998 по 2013 год) в изменении температуры Северного и Южного полушарий является уменьшение содержания водяного пара с 2003 по 2012 год. Особенно быстро этот процесс происходит в широтном поясе 36° с. ш. – 36° ю.ш.

Ключевые слова: Северное и Южное полушария; паузы; изменение температуры; линейный тренд; парниковые газы; водяной пар.

Введение

В последние годы появились десятки работ, указывающие на появление паузы в изменении температуры Земного шара в период с 1998 по 2013 год. Начальные и конечные годы этой паузы несколько различались у разных авторов. Причины данной паузы были рассмотрены в многочисленных работах [Solomon et al., 2010; Trenberth, Fasullo, 2010; Held, 2013; Kosaka, Xie, 2013; Drijfhout et al., 2014; England et al., 2014; Seneviratne et al., 2014; Tollefson, 2014; Chen, Liu, 2016; Yao et al., 2016; Chen, Tung, 2018; Dai, Wang, 2018; Lewandowsky et al., 2018; Zhao, Zhan, Wang, 2018; Логинов, Лысенко, 2019]. Перечислим некоторые из этих причин:

– уменьшение притока солнечной энергии в 24 цикле солнечной активности по цюрихской нумерации, который был одним из наиболее слабых циклов в истории астрономических наблюдений;

– уменьшение содержания водяного пара в стратосфере;

warming. However, the high climate warming rate in recent decades in the Northern Hemisphere is consistent with theory. A critical analysis of the possible causes for the formation of rises and pauses in the global temperature change is carried out. The general reason of formation of the pause (1998–2013) in changes of temperature of Northern and Southern hemispheres is decrease in amount of water vapor in 2003–2012. The highest intensity of this process is observed in 36° N–36° S latitudinal belt.

Keywords: Northern and Southern Hemispheres; pauses; temperature change; linear trend; greenhouse gases; water vapor.

– наступление холодной фазы Ла-Нинья в экваториальной части Тихого океана начиная с 1999 года после одного из самых мощных Эль-Ниньо в 1997–1998 годах. Охлаждение океана являлось естественной флюктуацией, за которой последовал рост температуры;

– увеличение аэрозольного загрязнения в ряде крупных районов Земного шара, например в Китае.

Обширный обзор исследований по этому вопросу приведен в монографии [Логинов, Лысенко, 2019].

В последние годы однако появились работы, где сам факт наличия паузы в изменении температуры Земного шара в период с 1998 по 2013 год вообще поставлен под сомнение [Seneviratne et al., 2014; Huang et al., 2017; Lewandowsky et al., 2018]. Наиболее остро этот вопрос поставлен в работе большой группы китайских и американских авторов [Huang et al., 2017]. Последние работы свидетельствуют о том, что если раньше среди климатологов не было полного согласия относительно причин ее

проявления, то в последние годы опубликованы работы, где вообще отрицается существование самой паузы. Анализ результатов названных выше работ позволяет сделать заключение о некоторой противоречивости аргументов, на основании которых ранее сделан вывод о наличии или отсутствии паузы в изменении температуры. Это потребовало привлечения дополнительных данных и проведения более тщательных исследований, чтобы продвинуться в решении этого дискуссионного вопроса.

Появление новых наблюдательных платформ, например, метеорологических буев, которые собирали информацию по Арктическому региону в рамках проекта International Arctic Buoy Program, позволили коллективу ученых из Китая и США откорректировать глобальный ряд температуры. Ими было установлено, что скорость роста температуры в Арктике в период с 1998 по 2012 год составляла примерно $0,07^{\circ}\text{C}$ в год, тогда как на основании прежних данных наблюдений отмечалось падение температуры на $0,005^{\circ}\text{C}$ в год. Собственно, эта работа и перечеркнула прежние представления о наличии паузы в изменении глобальной температуры.

Рассмотрим основные возражения, представленные в других работах. Отсутствие паузы в изменении жарких дней над сушей и в изменении глобальной температуры обнаружено в работе [Seneviratne et al., 2014]. Аномалии были получены относительно нормы для периода с 1979 по 2010 год. Положительный тренд температуры и экстремально жарких дней был установлен, несмотря на отсутствие мощных событий Эль-Ниньо, начиная с 1998 года. Число жарких дней оказалось более чем в два раза выше, чем для предшествующего тридцатилетнего периода. Авторы считают, что уменьшение скорости роста температуры в относительно короткий период (10–20 лет) не говорят об остановке глобального потепления. Этот вывод, на наш взгляд, требует комментариев, поскольку появление короткопериодных изменений климата может свидетельствовать о том, что существуют более мощные по сравнению с парниковыми газами факторы антропогенного происхождения, способные остановить или, по крайней мере,

замедлить скорость роста температуры в течение нескольких лет или даже одного-двух десятилетий на фоне положительного тренда температуры, приписываемого влиянию парниковых газов.

Одним из факторов, способных замедлить потепление на 1–3 года, являются мощные вулканические извержения типа: Кракатау, Эль-Чичон и Пинатубо. Более продолжительные эпизоды в изменении климата связаны с колебанием термодинамических свойств океана. Последний является необходимым звеном автоколебательного процесса в климатической системе [Логинов, Лысенко, 2019]. Что касается трендовой составляющей в изменении климата, то ее наличие обусловлено ростом содержания парниковых газов антропогенного происхождения, и этот вывод в последние годы редко кем оспаривается.

Еще одну статью [Lewandowsky et al., 2018], где ставится под сомнение наличие паузы в период с 1990 по 2013 год, можно принять концептуальной, и ее результаты требуют более глубокого анализа. Авторы отмечают, что последний период характеризовался существенным улучшением качества набора глобальных климатических данных. Разные версии одного и того же набора данных могут давать существенно отличающиеся оценки трендов. Это особенно заметно для данных Центра Гадлея (далее – HadCRUT) и Отдела климатических исследований Университета Восточной Англии: при использовании третьей версии продукта (HadCRUT3) тренд в изменении температуры в период с 1998 до конца 2011 года оценивался как слабо отрицательный, что свидетельствовало о наличии паузы. В то же время, по данным новой версии HadCRUT4 2012 год отмечен отчетливым скачком температуры, что приводит к ее положительному тренду при продлении указанного выше периода лишь на несколько месяцев, то есть пауза отсутствовала. Существуют и различия в наборах данных [Folland, Parker, 2003; Груза, Ранькова, 2012]. В этой связи в зависимости от «пристрастий» к характеру современных изменений климата

можно прийти к различным выводам [Sarafanov et al., 2008; Trenberth, Fasullo, 2010; Kosaka, Xie, 2013; Drijfhout et al., 2014; Seneviratne et al., 2014; Tollefson, 2014; Chen, Liu, 2016; Huang et al., 2017; Chen, Tung, 2018; Dai, Wang, 2018; Lewandowsky et al., 2018; Zhao, Zhan, Wang, 2018].

В работе [Lewandowsky et al., 2018] приводится анализ 225 статей, в которых упоминалась «пауза», который показал, что в 82 из них обращалось внимание на расхождение модельных результатов и наблюдений в период «паузы». Авторы пытаются найти ответ на вопрос, есть ли расхождения между трендами, вычисленными по данным глобальной приземной температуры земной поверхности в основных наборах данных наблюдений (GMST) и CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project. Phase 5) за последние 20–25 лет? Распределение внутренней изменчивости климата они моделировали с помощью метода Монте Карло на базе модели APCC (модель авторегрессии скользящего среднего). Анализ основных наборов данных Годдарского космического института (GISTEMP) и Центра Гадлея (HadCRUT) показал, что по данным HadCRUT получают самые низкие оценки величины положительных трендов температуры, поскольку версии HadCRUT располагают неполным набором данных наблюдений в Арктических широтах, тогда как с использованием данных GISTEMP получены более высокие оценки положительных трендов температуры.

Авторы использовали обновленные радиационные форсинги, включающие изменения малых климатообразующих факторов: солнечное излучение, связанное с изменением солнечной активности, антропогенные тропосферные аэрозоли, вулканические стратосферные аэрозоли. Авторы приходят к выводу, что в случае использования обновленных радиационных форсингов и объединенных оценок температуры земной поверхности (TAS) и смоделированной температуры Мирового океана (TOS) не обнаружено заметных расхождений между модельными проекциями и GMST за последние 20 лет. Таким образом, различие

модельных оценок и данных наблюдений глобальной температуры, полученных в ряде работ, в значительной степени связано со степенью полноты используемых наборов данных наблюдений. Кроме того, степень обоснованности мнимых доказательств расхождения между модельными проекциями и наблюдениями зависит от применяемых статистических методов сравнения и субъективных подходов разных исследователей при выборе периода, для которого заметны малые значения величины линейного тренда температуры, что, по мнению некоторых авторов, ставит под вопрос корректность стандартных процедур оценки статистической значимости тренда с использованием p -уровня значимости [Wagenmakers, 2007]. Отмечая ценность проведенного авторами исследования, нельзя не заметить из проведенного анализа, что пауза в изменении температуры может отсутствовать в изменении температуры Земного шара в целом, но в других случаях – в изменении температуры Северного полушария или крупных регионов, а также в отдельные месяцы или сезоны года – она присутствует.

Основываясь на этих дискуссионных результатах, нами был проведен детальный анализ изменений величины коэффициентов линейных трендов температуры для разных периодов времени, сезонов и месяцев года в Северном и Южном полушариях, а также Земного шара в целом. Для последнего периода (с 1976 по 2020 год) это будут средние значения коэффициентов линейного тренда для обоих полушарий. Вычисление указанных величин для Земного шара в этом случае было необходимо только для контроля правильности оценок величин линейных трендов (K) для Северного и Южного полушарий.

Материалы и методика исследований

В представленной работе указанный выше вопрос рассматривается с точки зрения характера и причин пространственно-временных особенностей в изменении линейных трендов температуры в Северном и Южном полушариях.

Анализ проводился на основе наборов данных, предоставляемых Национальными центрами экологической информации Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA's NCEI) США¹ [NOAA National Centers..., 2021].

Особенностью анализа является использование нормированных значений температуры. Естественная изменчивость температуры зимой в средних широтах в два с лишним раза больше, чем летом, и вклад центрального зимнего месяца в изменчивость сезонных характеристик всегда больше, причем он всегда остается таким при современных значениях параметров орбиты Земли. Нормировка же значений температуры на среднеквадратическое отклонение σ дает возможность уравнивать шансы каждого месяца при анализе многолетних изменений осредненных значений температуры. Такая операция позволяет исключить из рассмотрения годовой ход естественной изменчивости температуры, связанной с орбитальными параметрами Земли и, в конечном счете, снизить доминирование значений температуры в холодные месяцы в среднегодовых характеристиках, а также более холодных месяцев отдельных сезонов при вычислении сезонных характеристик температуры. Такая нормировка также полезна при совместном рассмотрении сезонных температур Северного и Южного полушарий, поскольку в зимнем полушарии σ значений температуры будет существенно выше и роль этого полушария окажется доминирующей при вычислении суммарных характеристик температуры Земного шара в целом. Важно также отметить, что пространственная изменчивость температуры в Южном полушарии, в силу большей однородности подстилающей поверхности, будет меньше, чем в Северном.

Результаты и обсуждения

Результаты анализа величин линейных трендов (K) среднемесячных нормированных температур и года в целом за период с 1998 по

2013 год и предшествующий период (с 1976 по 1998 год) приведены в таблице 1.

Анализ величин K показал, что если в период, предшествующий паузе (с 1976 по 1998 год), значения величин линейных трендов среднегодовой температуры в Северном полушарии составляли 0,053, то в период паузы с 1998 по 2013 год они оказались равными 0,031, то есть в 1,7 раза меньше, что свидетельствует о замедлении скорости роста температуры в период с 1998 по 2013 год по сравнению с предшествующим периодом (с 1976 по 1998 год). В Южном полушарии отношение величин K составляет 2,5.

Значения различий коэффициентов линейных трендов температуры (K) в различные сезоны года в Северном и Южном полушариях для двух рассматриваемых периодов приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, пауза в изменении температуры ярко выражена зимой в Северном полушарии, осенью и в меньшей степени летом и зимой – в Южном полушарии. Осенью в Северном полушарии и весной в Южном полушарии пауза отсутствует.

Значения ΔK для среднегодовой температуры в период паузы и предшествующий ей период соизмеримы в Северном и Южном полушариях.

Если же за окончание предыдущего потепления климата в Южном полушарии принять 1939 год, то величины коэффициентов линейного тренда среднемесячных температур составляли около 0,001 (за исключением мая и июня, когда K составлял $\sim 0,01$). Столь малая величина K может свидетельствовать об отсутствии потепления с 1911 по 1939 год в Южном полушарии. Коэффициенты линейных трендов температуры в Южном полушарии оказались на порядок ниже, чем в Северном, что противоречит сложившимся в климатологии представлениям о синхронности крупномасштабных изменений климата на Земном шаре.

¹NOAA National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Mapping, published June 2021, retrieved on July 6, 2021. Available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag>.

Таблица 1. Величины коэффициентов линейных трендов температуры (K) в Северном и Южном полушариях для периодов с 1976 по 1998 год и с 1998 по 2013 год и их разности ($\Delta K = K_{1976-1998} - K_{1998-2013}$) для различных месяцев года и года в целом.

Table 1. Values of linear temperature trends coefficients (K) in the Northern and Southern Hemispheres for the periods 1976–1998 and 1998–2013 and their differences ($\Delta K = K_{1976-1998} - K_{1998-2013}$) for different months of the year and the year as a whole.

Месяц	Северное полушарие			Южное полушарие		
	K		ΔK	K		ΔK
	1976–1998	1998–2013		1976–1998	1998–2013	
I	0,038	0,006	0,032	0,022	0,001	0,021
II	0,063	-0,037	0,100	0,028	-0,001	0,029
III	0,049	0,020	0,029	0,035	-0,006	0,041
IV	0,048	0,022	0,026	0,037	0,000	0,037
V	0,055	0,039	0,016	0,038	0,012	0,026
VI	0,061	0,058	0,003	0,045	0,008	0,037
VII	0,062	0,045	0,017	0,038	0,009	0,029
VIII	0,061	0,041	0,020	0,036	0,020	0,016
IX	0,039	0,048	-0,009	0,036	0,035	0,001
X	0,059	0,064	-0,005	0,032	0,027	0,005
XI	0,029	0,070	-0,041	0,025	0,032	-0,007
XII	0,040	0,002	0,038	0,016	0,017	-0,001
I–XII	0,053	0,031	0,022	0,033	0,013	0,020

Таблица 2. Разности $\Delta K = K_{1976-1998} - K_{1998-2013}$ для сезонов года и года в целом в Северном и Южном полушариях.

Table 2. Differences $\Delta K = K_{1976-1998} - K_{1998-2013}$ for the seasons of the year and the year as a whole in the Northern and Southern hemispheres.

Сезоны	Северное полушарие	Южное полушарие
XII–II	0,061	0,031
III–V	0,026	0,039
VI–VIII	0,014	0,028
IX–XI	-0,020	0,002
I–XII	0,022	0,020

Анализ изменений линейных трендов температуры для других временных периодов показал, что в период современного потепления скорость роста температуры в Северном полушарии больше в 1,9 раза, чем в Южном, в то время как скорость роста температуры в Южном полушарии в период предыдущего потепления (с 1911 по 1944 год) была ниже скорости роста температуры в Северном полушарии в период современного потепления в 2,5 раза. Этот результат не противоречит теории парникового потепления климата.

Согласно парниковой теории на материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой, поэтому потепление более интенсивно происходит в центрах материков, особенно зимой и ночью, когда ослабляется вертикальная конвекция. В океанах поглощение прямой солнечной радиации происходит в поверхностном слое воды днем, а длинноволновой – в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и, следовательно, понижение скорости роста температуры воды поверхности океана, и, как следствие, меньший

рост температуры в океаническом Южном полушарии.

Изменения величины трендов среднемесячной температуры для Северного и Южного полушарий в период последней паузы (с 1998 по 2013 год) существенно отличаются от изменений величины трендов в период двух рассмотренных потеплений (с 1911 по 1944 год и с 1976 по 2020 год).

Изменения величин трендов среднемесячной температуры (K) сильно варьируется в годовом ходе: значения K в период с декабря по май меньше, чем в другие месяцы и распределение K в годовом ходе больше напоминает эллипс (рисунок 1).

Из рисунка 1 следует, что наименьшие значения коэффициентов линейных трендов температуры (K) характерны для зимних и весенних месяцев, а зимой в Северном полушарии в период с 1998 по 2013 год величины K становятся даже отрицательными. Это свидетельствует о том, что пауза в изменении температуры наиболее выражена в зимние месяцы в Северном полушарии. В изменении величин K в Южном полушарии эллиптическое распределение K в годовом ходе просматривается слабее, но эллипс в годовом распределении K

также сжат в конце и в начале года. Это означает, что пауза в изменении коэффициентов линейного тренда температуры в Северном и Южном полушарии формируется в одни и те же месяцы года.

Таким образом, анализ среднемесячных и среднегодовых значений линейного тренда температуры показал, что в Северном полушарии пауза в изменении температуры ярко выражена зимой, менее отчетливо весной и слабо летом. Осенью в период с 1998 по 2013 год наблюдался даже более быстрый рост температуры по сравнению с предшествующим периодом (с 1976 по 1998 год). Это означает, что пауза в изменении температуры отсутствует осенью. Представленные результаты показывают, что имеющиеся различные точки зрения на наличие самой паузы и, естественно, на ее природу, могут быть связаны, в том числе с особенностями изменения температуры в разных районах Земного шара и для разных сезонов года.

Попытки обнаружения паузы в среднегодовых значениях температур менее перспективны, чем в изменениях зимних температур, и совершенно бесполезны при поисках паузы в изменении осенних температур.

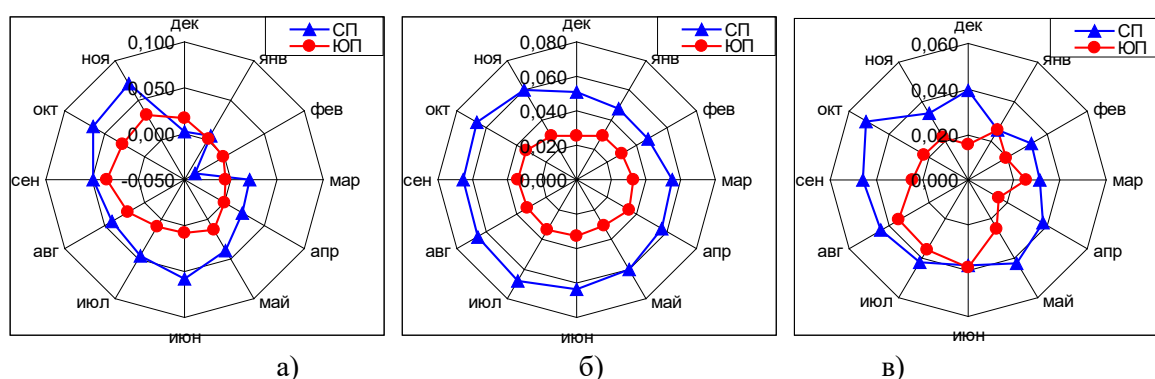


Рисунок 1. Диаграммы величин коэффициентов линейных трендов среднемесячных температур в Северном (СП) и Южном (ЮП) полушариях для различных периодов времени: а) с 1998 по 2013 год; б) с 1976 по 2020 год; в) с 1911 по 1944 год.

Figure 1. Diagrams of values linear trends coefficients of average monthly temperatures in the Northern and Southern hemispheres for different time periods: a) 1998–2013; b) 1976–2020; c) 1911–1944.

В изменении величин линейного тренда температуры Земного шара хорошо прослеживаются большие изменения температуры Северного полушария по сравнению с Южным полушарием. Это заметно для всех периодов времени. Выполненные расчеты коэффициентов линейного тренда температуры для периода с 1911 по 1939 год показали, что в указанный период времени в Северном полушарии наблюдалось первое потепление, известное как потепление Арктики; в Южном полушарии в этот период потепление климата было почти незаметным: коэффициенты линейного тренда температуры K колебались вблизи 0,001 и только в мае и июне достигали 0,01. Рост температуры Земного шара во все месяцы года был несколько меньше, чем в Северном полушарии и значения линейного тренда температуры Земного шара не являлись средней величиной соответствующих трендов K для обоих полушарий. Вышеизложенное позволяет сделать вывод либо об отсутствии заметной синхронности в изменении климата Северного и Южного полушарий в это время, либо недостоверности данных для Южного полушария. Отчетливая синхронизация изменений климата в Северном и Южном полушариях наступила только в последние 40–50 лет.

Кроме естественных причин обнаруженной слабой синхронности изменений температуры в Северном и Южном полушарии в начале прошлого столетия (с 1911 по 1939 год) могли существовать и антропогенные причины, нарушающие синхронность, такие как: более интенсивная антропогенная деятельность в Северном полушарии по сравнению с Южным; изменение свойств подстилающей поверхности в результате хозяйственной деятельности (мелиорации, вырубки лесов и другое); большие объемы выбросов парниковых газов и промышленных аэрозолей в Северном полушарии. Важно отметить и еще одну причину формирования синхронности – большую площадь суши в Северном полушарии по сравнению с Южным, что способствует более интенсивному

росту температуры в Северном полушарии в результате начавшегося роста парниковых газов.

Нельзя сбрасывать со счетов и следующее обстоятельство: в указанный период степень покрытия данными наблюдений океанического Южного полушария была менее 30% [Логинов, Лысенко, 2019], что могло исказить результаты произведенных расчетов линейных трендов температуры для этого полушария.

Таким образом, в результате проведенного анализа обнаружены две важные особенности в изменении температуры Северного и Южного полушарий. В Северном полушарии во все месяцы года в период с середины 1940-х годов до середины 1970-х годов отчетливо проявляется пауза в изменении температуры: в 11 из 12 месяцев года (исключение составляет март, для которого отмечался слабый рост температуры – $K = 0,009$), когда наблюдался отрицательный тренд в изменении температуры. Величина K изменялась в эти месяцы от -0,003 до -0,023.

В Южном полушарии в начале 1940-ых годов наблюдалась самая мощная за историю инструментальных наблюдений положительная флюктуация температуры и большая изменчивость температуры. Этот период пришелся на годы Второй мировой войны (с 1939 по 1945 год), что позволяет с некоторой осторожностью отнести к достоверным эти слишком высокие значения температуры. После указанного периода начался прогрессивный рост температуры при значительно меньшей ее флюктуируемости по сравнению с указанными годами. Это позволяло сделать вывод, что в Южном полушарии не было паузы в изменении температуры в период с 1945 по 1975 год, а с 1945 года начался рост температуры: коэффициент линейного тренда температуры K в Южном полушарии во все месяцы года стал положительным, хотя и меньше в 1,61 раза, чем в Северном полушарии в период с 1976 по 2020 год. Если согласиться с тем, что значения температуры в Южном полушарии в период с 1939 по 1945 год завышены, то можно сделать парадоксальный вывод: потепление в Южном полушарии наступило на три десятка лет раньше, чем в Северном. Если исходить из парниковой

теории современного потепления климата, то все должно быть наоборот; то есть современное потепление должно начаться раньше в Северном полушарии. Наши результаты подтверждают более существенный рост температуры в Северном полушарии по сравнению с Южным, что согласуется с парниковой теорией. Опережение начала более раннего роста температуры в Южном полушарии по сравнению с Северным требует дополнительного исследования.

Приведенные результаты позволяют предположить наличие общей причины формирования рассматриваемой паузы в изменении температуры Северного и Южного полушарий при контрастных сезонных условиях в Северном и Южном полушариях. Сопряженность атмосферных процессов в обоих полушариях, ответственных за формирование паузы, предполагает активный обмен теплом и влагой между ними. В работе [Held, 2013] установлено, что содержание водяного пара уменьшается с 2003 по 2012 год (коэффициент линейного тренда $K = -0,0149$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,893$, уровень значимости $P_{случ.} = 0,0005$). Снижение содержания водяного пара больше над океанической поверхностью, чем над материками. Особенно быстрое уменьшение содержания водяного пара происходило в широтном поясе 36° с. ш. – 36° ю.ш. ($K = -0,0224$, $R^2 = 0,892$, $P_{случ.} = 0,0005$), причем в северной части этого широтного пояса скорость падения была несколько больше, чем в южной. И только в Арктических широтах отмечался незначительный рост содержания водяного пара. Предвестником этой паузы могло стать мощное событие ЭНЮК (Эль-Ниньо – Южное Колебание) в 1997–1998 годах, за которым последовали процессы заглужения теплой воды в Атлантическом и Тихом океанах. В работе [Drijfhout et al., 2014] показано, что средний поток тепла, поглощаемого океанами, в период с 2001 по 2009 год увеличился на $0,6–0,8$ Вт/м² по сравнению с предыдущими годами (с 1992 по 2000 год). В качестве возможных причин изменений способностей океанов поглощать тепло авторы указывают на Северо-Атлантическое колебание,

Антарктическое полярное течение и таяние ледового щита Антарктиды, сопровождающееся поступлением холодной пресной воды в Мировой океан. Таяние ледового покрова в Северном полушарии также приводит к поступлению холодной и пресной воды в Северную Атлантику. Как следствие, этот процесс способствует распреснению воды, уменьшению вертикальной конвекции воды и ослаблению действия Атлантического транспортера теплой воды в Арктику. Это с неизбежностью приводит к холодным эпизодам в Евразии. В другой работе [England et al., 2014] показано, что возникшая пауза является следствием охлаждения тропической зоны Тихого океана. Как показано в этой работе, пяти лет мощных пассатов достаточно для создания сильных океанических течений, которые уносят теплые поверхностные воды в западную часть Тихого океана с погружением на глубину 125 м. Одновременно на востоке экваториального региона происходит подъем холодных вод на поверхность Тихого океана. В результате Тихий океан оказывается способным поглощать больше тепла, чем обычно, что и приводит к снижению температуры, то есть формированию паузы.

В период паузы Земной шар получал больше энергии, чем излучал обратно в космическое пространство. Этот факт позволил авторам поставить вопрос: куда делась поступившая энергия? [Trenberth, Fasullo, 2010]. Ответ на этот вопрос был дан в процитированных работах. Приведенные в многочисленных работах результаты позволяют обосновать появление пауз в изменении температуры Земного шара глобальными термодинамическими процессами в Мировом океане. Синхронность наступления паузы в изменении температуры Северного и Южного полушарий подтверждает существование активного межполушарного массотеплообмена. Решающая роль в осуществлении такого обмена принадлежит Мировому океану, который можно рассматривать как модулятор долгопериодных изменений в климатической системе.

Выводы

Определены характер и величины пространственно-временных особенностей в изменении линейных трендов температуры в Северном и Южном полушариях.

Приведенные в таблицах 1–2 и на рисунке 1 результаты обнаруживают более значительный рост температуры в Северном полушарии по сравнению с Южным и почти полное отсутствие годового хода в изменении K в Южном полушарии в силу однородности подстилающей поверхности (океаничность Южного полушария 81%), а также наличие более интенсивного роста температуры в период с 1976 по 2020 год по сравнению с предыдущим потеплением (с 1911 по 1944 год) и паузой (с 1998 по 2013 год). Скорость роста температуры в Северном полушарии в период современного потепления оказалась приблизительно в 1,9 раза выше, чем для предыдущего интервала (с 1911 по 1944 год).

Обнаружены две важные особенности в изменении температуры Северного и Южного полушарий. В Северном полушарии в период с 1945 по 1975 год почти во все месяцы года (исключение составляет март, когда $K = 0,009$),

отмечается отрицательный тренд в изменении температуры. В Южном полушарии с 1945 года начался прогрессивный рост температуры в мае – октябре (холодное время года), то есть пауза в изменении температуры с середины 1940-х до середины 1970-х годов в Южном полушарии отсутствовала и потепление здесь наступило на тридцать лет раньше, чем в Северном полушарии. Однако, если исходить из парниковой теории, оно должно было начаться раньше в Северном полушарии.

Ранее предложенный нами механизм формирования паузы в изменении температуры, связанный с изменением содержания водяного пара в атмосфере [Логинов, Лысенко, 2019], не противоречит установленным в настоящей работе особенностям изменений скорости роста температуры в Северном и Южном полушариях. Снижение содержания водяного пара в текущем столетии происходило в широтном поясе 36° с.ш. – 36° ю.ш., причем особенно быстро в северной части этого широтного пояса. Это согласуется с большей выраженностью паузы в изменении температуры именно в Северном полушарии Земли.

Литература

- Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. М.: ИГКЭ, 2012. 194 с.
- Логинов В.Ф., Лысенко С.А. Современные изменения глобального и регионального климата. Мн.: Беларуская навука, 2019. 315 с.
- Chen B., Liu Z. Global water vapor variability and trend from the latest 36 year (1979 to 2014) data of ECMWF and NCEP reanalyses, radiosonde, GPS, and microwave satellite // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2016. Vol. 121. Iss. 19. Pp. 11442–11462. DOI: [10.1002/2016JD024917](https://doi.org/10.1002/2016JD024917).
- Chen X., Tung K.K. Global surface warming enhanced by weak Atlantic overturning circulation // *Nature*. 2018. Vol. 559. Iss. 7714. Pp. 387–391. DOI: [10.1038/s41586-018-0320-y](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0320-y).
- Dai X.-G., Wang P. Identifying the early 2000s hiatus associated with internal climate variability //

References

- Chen B., Liu Z. Global water vapor variability and trend from the latest 36 year (1979 to 2014) data of ECMWF and NCEP reanalyses, radiosonde, GPS, and microwave satellite. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2016, vol. 121, iss. 19, pp. 11442–11462. DOI: [10.1002/2016JD024917](https://doi.org/10.1002/2016JD024917).
- Chen X., Tung K.K. Global surface warming enhanced by weak Atlantic overturning circulation. *Nature*, 2018, vol. 559, iss. 7714, pp. 387–391. DOI: [10.1038/s41586-018-0320-y](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0320-y).
- Dai X.-G., Wang P. Identifying the early 2000s hiatus associated with internal climate variability. *Nature. Scientific Reports*, 2018, vol. 8, article number 13602. DOI: [10.1038/s41598-018-31862-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-31862-z).
- Drijfhout S.S., Blaker A.T., Josey S.A., Nurser A.J.G., Sinha B., Balmaseda M.A. Surface warming hiatus caused by increased heat uptake across multiple ocean basins. *Geophysical Research*

Nature. Scientific Reports. 2018. Vol. 8. Article number 13602. DOI: [10.1038/s41598-018-31862-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-31862-z).

Drijfhout S.S., Blaker A.T., Josey S.A., Nurser A.J.G., Sinha B., Balmaseda M.A. Surface warming hiatus caused by increased heat uptake across multiple ocean basins // *Geophysical Research Letters*. 2014. Vol. 41. Iss. 22. Pp. 7868–7874. DOI: [10.1002/2014GL061456](https://doi.org/10.1002/2014GL061456).

England M.H., McGregor Sh., Spence P., Meehl G.A., Timmermann Ax., Cai W., Gupta Al.S., McPhaden M.J., Purich Ar., Santoso Ag. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus // *Nature Climate Change*. 2014. Vol. 4. Iss. 3. Pp. 222–227. DOI: [10.1038/nclimate2106](https://doi.org/10.1038/nclimate2106).

Folland C., Parker D. Global climate monitoring and assessing climate change // *Proceedings of the World Climate Change Conference (Moscow, 29 September– 3 October 2003)*. Moscow: Institute of Global Climate and Ecology, 2004, pp. 68–80.

Held I.M. The cause of the pause // *Nature*. 2013. Vol. 501. Iss. 7467. Pp. 318–319. DOI: [10.1038/501318a](https://doi.org/10.1038/501318a).

Huang J., Zhang X., Zhang Q., Lin Y., Hao M., Luo Y., Zhao Z., Yao Y., Chen X., Wang L., Nie S., Yin Y., Xu Y., Zhang J. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend // *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. Iss. 12. Pp. 875–879. DOI: [10.1038/s41558-017-0009-5](https://doi.org/10.1038/s41558-017-0009-5).

Kosaka Y., Xie S.-P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling // *Nature*. 2013. Vol. 501. Iss. 7467. Pp. 403–407. DOI: [10.1038/nature12534](https://doi.org/10.1038/nature12534).

Lewandowsky S., Cowtan K., Risbey J.S., Mann M.E., Steinman B.A., Oreskes N., Rahmstor S. The “pause” in global warming in historical context: (II). Comparing models to observations // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13. Iss. 12. Article number 123007. DOI: [10.1088/1748-9326/aaf372](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf372).

Sarafanov A., Falina A., Sokov A., Demidov A. Intense warming and salinification of intermediate waters of southern origin in the eastern subpolar North Atlantic in the 1990s to mid-2000s // *Journal*

Letters, 2014, vol. 41, iss. 22, pp. 7868–7874. DOI: [10.1002/2014GL061456](https://doi.org/10.1002/2014GL061456).

England M.H., McGregor Sh., Spence P., Meehl G.A., Timmermann Ax., Cai W., Gupta Al.S., McPhaden M.J., Purich Ar., Santoso Ag. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, 2014, vol. 4, iss. 3, pp. 222–227. DOI: [10.1038/nclimate2106](https://doi.org/10.1038/nclimate2106).

Folland C., Parker D. Global climate monitoring and assessing climate change. *Proceedings of the World Climate Change Conference (Moscow, September, 29 – October, 3, 2003)*. Moscow, Publ. of Institute of Global Climate and Ecology, 2004. P. 68–80.

Gruza G.V., Rankova E.Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukh [Observed and expected climate changes over russia: surface air temperature]*. Moscow, Publ. IGKE, 2012. 195 p. (In Russian; abstract in English).

Held I.M. The cause of the pause. *Nature*, 2013, vol. 501, iss. 7467, pp. 318–319. DOI: [10.1038/501318a](https://doi.org/10.1038/501318a).

Huang J., Zhang X., Zhang Q., Lin Y., Hao M., Luo Y., Zhao Z., Yao Y., Chen X., Wang L., Nie S., Yin Y., Xu Y., Zhang J. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend. *Nature Climate Change*, 2017, vol. 7, iss. 12, pp. 875–879. DOI: [10.1038/s41558-017-0009-5](https://doi.org/10.1038/s41558-017-0009-5).

Kosaka Y., Xie S.-P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*, 2013, vol. 501, iss. 7467, pp. 403–407. DOI: [10.1038/nature12534](https://doi.org/10.1038/nature12534).

Lewandowsky S., Cowtan K., Risbey J.S., Mann M.E., Steinman B.A., Oreskes N., Rahmstor S. The “pause” in global warming in historical context: (II). Comparing models to observations. *Environmental Research Letters*, 2018, vol. 13, iss. 12, article number 123007. DOI: [10.1088/1748-9326/aaf372](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf372).

Loginov V.F., Lysenko S.A. *Sovremennye izmeneniya global'nogo i regional'nogo klimata [Current changes in global and regional climate]*. Minsk, Publ. Belaruskaya navuka, 2019. 315 p. (In Russian; abstract in English).

of Geophysical Research. Oceans. 2008. Vol. 113. Iss. C12. DOI: [10.1029/2008JC004975](https://doi.org/10.1029/2008JC004975).

Seneviratne S.I., Donat M.G., Mueller B., Alexander L.V. No pause in the increase of hot temperature extremes // *Nature Climate Change*. 2014. Vol. 4. Iss. 3. Pp. 161–163. DOI: [10.1038/nclimate2145](https://doi.org/10.1038/nclimate2145).

Solomon S., Rosenlof K.H., Portmann R.W., Daniel J.S., Davis S.M., Sanford T.J., Plattner G.-K. Contributions of stratospheric water vapor to decadal changes in the rate of global warming // *Science*. 2010. Vol. 327. Iss. 5970. Pp. 1219–1223. DOI: [10.1126/science.1182488](https://doi.org/10.1126/science.1182488).

Tollefson J. Climate change: The case of the missing heat // *Nature*. 2014. Vol. 505. Iss. 7483. Pp. 276–278. DOI: [10.1038/505276a](https://doi.org/10.1038/505276a).

Trenberth K.E., Fasullo J.T. Tracking Earth's energy // *Science*. 2010. Vol. 328. Iss. 5976. Pp. 316–317. DOI: [10.1126/science.1187272](https://doi.org/10.1126/science.1187272).

Wagenmakers E.-J. A practical solution to the pervasive problems of p values // *Psychonomic Bulletin and Review*. 2007. Vol. 14. Iss. 5. Pp. 779–804. DOI: [10.3758/bf03194105](https://doi.org/10.3758/bf03194105).

Yao S.-L., Huang G., Wu R.-G., Qu X. The global warming hiatus – a natural product of interaction of a secular warming trend and a multidecadal oscillation // *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 123. Iss. 1-2. Pp. 349–360. DOI: [10.1007/s00704-014-1358-x](https://doi.org/10.1007/s00704-014-1358-x).

Zhao J., Zhan R., Wang Y. Global warming hiatus contributed to the increased occurrence of intense tropical cyclones in the coastal regions along East Asia // *Nature. Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. Art. numb. 6023. DOI: [10.1038/s41598-018-24402-2](https://doi.org/10.1038/s41598-018-24402-2)

Sarafanov A., Falina A., Sokov A., Demidov A. Intense warming and salinification of intermediate waters of southern origin in the eastern subpolar North Atlantic in the 1990s to mid-2000s. *Journal of Geophysical Research. Oceans*, 2008, vol. 113, iss. C12. DOI: [10.1029/2008JC004975](https://doi.org/10.1029/2008JC004975).

Seneviratne S.I., Donat M.G., Mueller B., Alexander L.V. No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nature Climate Change*, 2014, vol. 4, iss. 3, pp. 161–163. DOI: [10.1038/nclimate2145](https://doi.org/10.1038/nclimate2145).

Solomon S., Rosenlof K.H., Portmann R.W., Daniel J.S., Davis S.M., Sanford T.J., Plattner G.-K. Contributions of stratospheric water vapor to decadal changes in the rate of global warming. *Science*, 2010, vol. 327, iss. 5970, pp. 1219–1223. DOI: [10.1126/science.1182488](https://doi.org/10.1126/science.1182488).

Tollefson J. Climate change: The case of the missing heat. *Nature*, 2014, vol. 505, iss. 7483, pp. 276–278. DOI: [10.1038/505276a](https://doi.org/10.1038/505276a).

Trenberth K.E., Fasullo J.T. Tracking Earth's energy. *Science*, 2010, vol. 328, iss. 5976, pp. 316–317. DOI: [10.1126/science.1187272](https://doi.org/10.1126/science.1187272).

Wagenmakers E.-J. A practical solution to the pervasive problems of p values. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2007, vol. 14, iss. 5, pp. 779–804. DOI: [10.3758/bf03194105](https://doi.org/10.3758/bf03194105).

Yao S.-L., Huang G., Wu R.-G., Qu X. The global warming hiatus – a natural product of interaction of a secular warming trend and a multidecadal oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, vol. 123, iss. 1-2, pp. 349–360. DOI: [10.1007/s00704-014-1358-x](https://doi.org/10.1007/s00704-014-1358-x).

Zhao J., Zhan R., Wang Y. Global warming hiatus contributed to the increased occurrence of intense tropical cyclones in the coastal regions along East Asia. *Nature. Scientific Reports*, 2018, vol. 8, article number 6023. DOI: [10.1038/s41598-018-24402-2](https://doi.org/10.1038/s41598-018-24402-2).