

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
CLIMATIC RESOURCES
КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 551.583

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

*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: info@nature-nas.by*

**ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИН КОЭФФИЦИЕНТОВ ЛИНЕЙНЫХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ
В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ**

Аннотация. На основе анализа линейных трендов нормированных среднемесячных температур воздуха выделены квазиоднородные периоды в изменении температур Северного и Южного полушарий, а также Земного шара в целом. Обнаружены различия годового хода величин коэффициентов линейных трендов для Северного и Южного полушарий. Выявленные особенности не согласуются с существующими представлениями о большей выраженности современного потепления в зимнее время года. Возможные причины различий связаны с общей циркуляцией атмосферы и океана. Внутритропическая зона конвергенции рассмотрена как фактор обнаруженных различий линейных трендов температуры в разные периоды года.

Ключевые слова: коэффициент линейного тренда, температура воздуха, Северное и Южное полушария, внутритропическая зона конвергенции

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky, Yu. A. Brovka

*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
e-mail: info@nature-nas.by*

**TEMPERATURE LINEAR TREND COEFFICIENT VALUES CHANGES IN NORTHERN AND SOUTHERN
HEMISPHERES AND IT POSSIBLE CAUSES**

Abstract. Quasi-homogeneous periods in the temperature variation of the Northern and Southern hemispheres, as well as the Globe were identified based on the analysis of linear trends in normalized mean monthly air temperatures. Differences in the annual variation of the linear trend coefficients for the Northern and Southern Hemispheres were found. The revealed features are not consistent with the existing ideas about the greater severity of modern warming in the winter season. Possible reasons for the differences are related to the general atmosphere and ocean circulation. The intertropical convergence zone is considered as a factor in the detected differences in linear temperature trends in different periods of the year.

Keywords: linear trend coefficient, air temperature, Northern and Southern hemispheres, intertropical convergence zone

У. Ф. Логінаў, У. С. Мікуцкі, Ю. А. Броўка

*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: info@nature-nas.by*

**ЗМЭНЫ ВЕЛІЧЫНЬ КАЭФІЦЫЕНТАЎ ЛІНЕЙНЫХ ТРЭНДАЎ ТЭМПЕРАТУРЫ Ў ПАЎНОЧНЫМ І ПАЎДНЁВЫМ
ПАЎШАР'ЯХ І ІХ МАГЧЫМЫЯ ПРЫЧЫНЫ**

Анатацыя. На аснове аналізу лінейных трэндаў нарміраваных сярэднямесячных тэмператур паветра вылучаны амаль аднародныя перыяды ў змене тэмператур Паўночнага і Паўднёвага паўшар'яў, а таксама Зямнога шара ў цэлым. Паказаны адрозненні гадовага ходу велічынь каэфіцыентаў лінейных трэндаў для Паўночнага і Паўднёвага паўшар'яў. Выяўленыя асаблівасці не адпавядаюць існуючым уяўленням аб большай адлюстраванасці сучаснага пацяплення ў зімовую пару года. Магчымыя прычыны адрозненняў звязаны з агульнай цыркуляцыяй атмасферы і акіяна. Унутрытрапічная зона канвергенцыі разгледжана як фактар выяўленых адрозненняў лінейных трэндаў тэмпературы ў розныя перыяды года.

Ключавыя словы: каэфіцыент лінейнага трэнду, тэмпература паветра, Паўночнае і Паўднёвае паўшар'я, унутрытрапічная зона канвергенцыі

Введение. Пространственно-временные изменения температуры в разных районах Земного шара представлены в многочисленных работах [1–8]. В научных публикациях описываются результаты анализов трендов, полученных для разных интервалов времени. Для сравнимости

результатов значения трендов, полученных на разных интервалах лет, авторы часто приводят к значениям, отнесенным к 10 или 100 годам. При этом тренды становятся сравнимыми численно, но не сравнимы по своей сути. При выборе интервала лет для расчета трендов необходимо руководствоваться физической гипотезой, т. е. вычислять тренды для физически однородных периодов, например, однородных форм циркуляции.

Скорость изменений температуры в различные периоды претерпевала значительные изменения: от нескольких сотых градуса / 10 лет до $0,35\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ лет}$. В отдельные периоды времени знак тренда изменений температуры менялся даже на противоположный.

Таким образом, на фоне роста температуры за последние почти 170 лет отмечались как периоды быстрого роста температуры, так называемые скачки в изменении температуры, так и периоды медленных ее изменений или даже падения температуры, которые можно назвать паузами. Продолжительность скачков и пауз, как показывают многочисленные работы [9–13], изменяется от нескольких лет до нескольких десятков лет. Причины скачков и пауз на фоне роста температуры, приписываемого воздействию парниковых газов, могут быть как внешними, так и внутренними. Как правило, короткопериодные флуктуации в изменении температуры считают случайными. Они могут быть описаны моделями «белого» или «красного» шума, а длительные колебания зачастую относят к воздействию различных внешних и внутренних факторов. Вопрос причинности скачков и пауз считается дискуссионным и требует дальнейших исследований. Что касается наличия долгопериодного положительного тренда в изменении глобальной температуры, то его в подавляющем числе работ связывают с изменением источников и стоков парниковых газов в последние 150–170 лет.

Материалы и методы исследований. В представленной работе выполнены детальные исследования трендов температуры Северного и Южного полушарий, а также Земного шара с использованием наборов данных, предоставляемых Национальными центрами экологической информации Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA's NCEI) [14].

Принципиальным отличием проведенного исследования является использование нормированных на среднеквадратическое отклонение (σ) значений среднемесячных аномалий температуры за период с 1880 по 2020 г. Преимущества использования нормированных значений температуры при исследовании их пространственно-временных изменений описаны в наших работах [9, 15].

Как показано в многочисленных исследованиях [1–8], величины трендов зависят от величины суммарного форсинга парниковых газов. Однако более ярко эта зависимость проявляется для суши Северного полушария, особенно в теплое время года, когда скачок нормированных аномалий температуры в период с 1968 по 1998 г. был большим по сравнению со скачком в период с 1908 по 1945 г. Для этого региона в период с 1998 по 2014 г. пауза в изменении аномалий температуры была хорошо выражена только в зимние месяцы (декабрь–февраль) и особенно на суше Северного полушария. Ее природа связана с уменьшением оптической толщины облаков [16]. В настоящей работе вопросы причинности изменения температуры рассмотрены с большой детальностью.

Подробный анализ величины коэффициентов линейного тренда температуры в различные месяцы года для Земного шара, Северного и Южного полушарий за весь период наблюдений (1880–2020 гг.), а также различных подпериодов времени продолжительностью от 16 до 75 лет позволил установить ряд различий в изменении температуры (величин K линейных трендов температуры) Северного и Южного полушарий.

В изменении коэффициентов линейного тренда можно выделить 4 квазиоднородных периода изменений климата для Северного полушария и Земного шара. Их границы для разных месяцев года будут различаться в среднем на ± 3 года. Выбор границ периодов в значительной степени определяет результат исследования трендовых составляющих в изменении климата, поскольку известно, что для произвольного достаточно длинного числового ряда с выраженным линейным трендом вариации крайних членов ряда оказывают большее влияние на величину коэффициентов линейного тренда, чем соответствующие вариации, производимые в середине ряда.

Действительно, модули $|y_i - \bar{y}|$ отклонений крайних членов ряда y_i от нормы \bar{y} в целом будут превосходить соответствующие модули для его средних членов в силу большей близости последних к среднему значению (норме). С учётом формулы для оценки коэффициентов линейного тренда $K = \frac{\sum (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$ это означает, что в сделанных предположениях однонаправленные выбросы в начале (или конце) ряда окажут большее влияние на величину тренда, чем аналогичные выбросы в середине ряда.

При выборе периодов квазиоднородности в изменении температуры следует иметь в виду следующее важное обстоятельство. На годы Первой мировой и гражданской войн в России (1914–1921 гг.), а также на Вторую мировую войну (1939–1945 гг.) пришлось два коротких интервала времени, когда плотность сети наблюдений уменьшалась на 20–30 %. Уменьшение плотности сети особенно характерно для океанического Южного полушария, что вызывает некоторые сомнения относительно наличия здесь крупной положительной аномалии температуры в период Второй мировой войны. Эти обстоятельства затрудняют выбор границ квазиоднородных периодов изменения температуры в Южном полушарии. В конечном счете были выбраны следующие периоды квазиоднородных трендов для Южного полушария: 1 – 1880–1910 гг.; 2 – 1911–1944; 1945–2020 гг. Однако для сравнимости трендов для Северного и Южного полушарий отдельно вычислены значения K как для Северного, так и для Южного полушария за периоды с 1945 по 1975 и с 1976 по 2020 гг.

Результаты исследований и их обсуждение. Не углубляясь в мелкие детали изменений K , рассмотрим генеральные пространственно-временные особенности этих изменений в различные месяцы и сезоны для разных периодов времени. На диаграммах (рис. 1, 2) и в табл. 1 представлены результаты расчетов величины линейных трендов температуры (K) в различные месяцы года.

Следует отметить, что в Южном полушарии величины K для разных месяцев меньше отличаются друг от друга по сравнению с Северным – диаграмма значений K для Южного полушария напоминает круг, тогда как диаграмма значений K для Северного полушария больше напоминает эллипс, поскольку отмечался несколько меньший рост температуры в период с ноября по апрель.

Особого внимания заслуживает анализ изменений величины трендов температуры (K) для послевоенного периода времени, когда плотность сети метеорологических наблюдений превысила 50 %, что обеспечило необходимую точность вычислений средней температуры в различных пространственно-временных интервалах. Принято во внимание и то обстоятельство, что последний период наблюдений

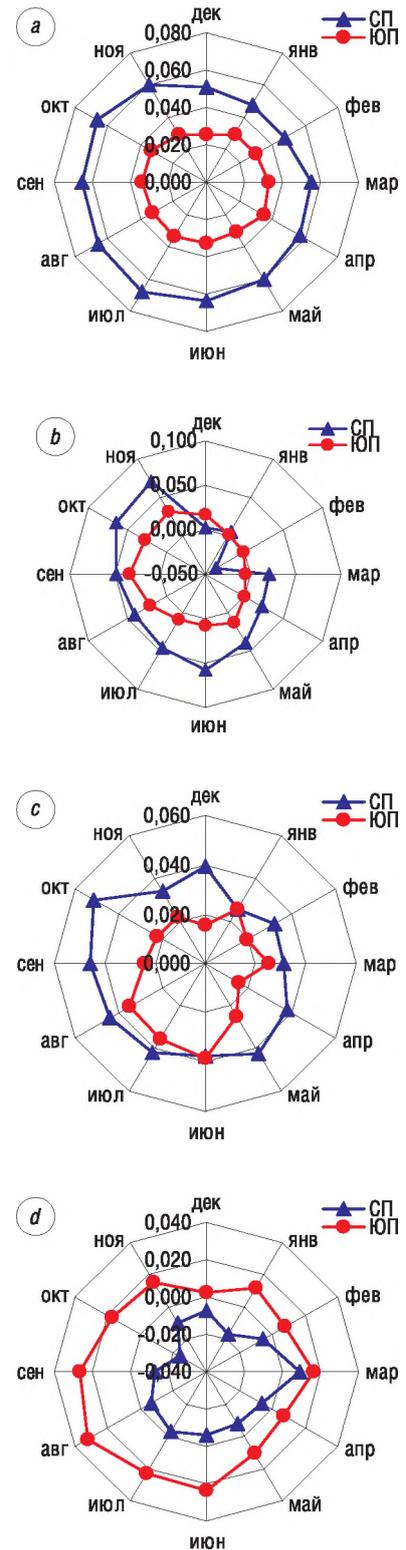


Рис. 1. Диаграммы величин коэффициентов линейных трендов среднемесячных температур в Северном (СП) и Южном (ЮП) полушариях Земного шара для различных периодов времени: а – 1976–2020 гг.; б – 1998–2013; с – 1911–1944; д – 1945–1975 гг.

Таблица 1. Среднемесячные и среднегодовые величины линейных трендов температуры (K) в Северном и Южном полушариях для различных периодов времени

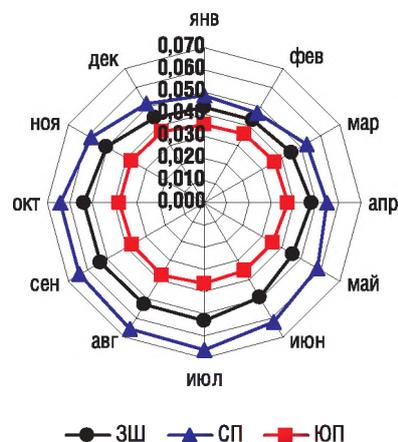


Рис. 2. Диаграмма величин коэффициентов линейных трендов среднемесячных температур в Северном (СП) и Южном (ЮП) полушариях и на Земном шаре для различных периодов времени: Северное полушарие и Земной шар – 1976–2020 гг.; Южное полушарие – 1945–2020 гг.

Месяц	Периоды роста температуры					Пауза		
	1976–2020		1911–1944		1945–2020		1998–2013	
	полушарие		полушарие		полушарие		полушарие	
	Северное	Южное	Северное	Южное	Южное	Северное	Южное	
I	0,048	0,029	0,025	0,025	0,035	0,006	0,001	
II	0,048	0,030	0,032	0,019	0,036	-0,037	0,001	
III	0,055	0,033	0,031	0,025	0,037	0,020	-0,006	
IV	0,057	0,035	0,038	0,015	0,037	0,022	0,000	
V	0,060	0,031	0,042	0,025	0,035	0,039	0,012	
VI	0,063	0,032	0,037	0,038	0,035	0,058	0,008	
VII	0,068	0,033	0,042	0,035	0,036	0,045	0,009	
VIII	0,066	0,033	0,044	0,035	0,038	0,041	0,020	
IX	0,066	0,034	0,046	0,024	0,037	0,048	0,035	
X	0,067	0,033	0,051	0,022	0,038	0,064	0,027	
XI	0,060	0,029	0,034	0,021	0,038	0,070	0,032	
XII	0,051	0,026	0,039	0,016	0,037	0,002	0,017	
I–XII	0,062	0,033	0,040	0,023	0,037	0,038	0,014	
XII–II	0,049	0,028	0,032	0,020	0,037	-0,010	0,005	
III–XI	0,068	0,033	0,041	0,027	0,037	0,045	0,019	
$K_{XII-II} - K_{III-XI}$	-0,019	-0,005	-0,009	-0,007	0,000	-0,055	-0,014	

приходится на эпоху современного потепления климата. Ниже приведены результаты сравнительного анализа трендовых изменений температуры (K) в Северном и Южном полушариях, а также Земного шара; для последнего они, естественно, являются результатом осреднения K для обоих полушарий (табл. 1).

Результаты сравнительного анализа коэффициентов линейного тренда температуры (K) для отдельных периодов года: май–октябрь и ноябрь–апрель для разных временных периодов представлены в табл. 2. Из табл. 2 следует, что отношение коэффициентов линейного тренда (K) в теплый (V–X) и холодный (XI–IV) периоды находится в интервале 1,23–3,50, причем отношение выше для периодов времени, совпадающих с паузами в изменении температуры.

Таблица 2. Сравнительный анализ коэффициентов линейного тренда температуры в теплое (май–октябрь) и холодное (ноябрь–апрель) полугодия для различных фаз изменения климата Северного полушария

Периоды	Коэффициенты линейного тренда температур (K)															Отношение величин K теплых и холодных полугодий
	месяц															
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май–октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	ноябрь–апрель		
Современное потепление климата (1976–2020 гг.)	0,060	0,063	0,068	0,066	0,066	0,067	0,065	0,060	0,051	0,048	0,048	0,055	0,057	0,053	1,23	
Предыдущее потепление климата (1911–1944 гг.)	0,042	0,037	0,042	0,044	0,046	0,051	0,044	0,034	0,039	0,025	0,032	0,031	0,038	0,033	1,33	
Первая пауза в изменении климата (1945–1975 гг.)	-0,008	-0,006	-0,003	-0,006	-0,013	-0,023	-0,010	-0,010	-0,007	-0,017	-0,005	0,009	-0,007	-0,006	1,67	
Последняя пауза в изменении климата (1998–2013 гг.)	0,039	0,058	0,045	0,041	0,048	0,064	0,049	0,070	0,002	0,006	-0,037	0,020	0,022	0,014	3,50	

Названные выше периоды года строго не отвечают понятиям теплый (IV–IX) и холодный (X–III) период года в средних широтах, которые зачастую используются в климатологии. Каждый из этих периодов включает кроме контрастных сезонов (зима, лето) еще и ряд месяцев равноденственных сезонов.

Возможные причины пространственно-временных особенностей в изменении линейных трендов температуры в Северном и Южном полушариях. Принимая во внимание, что подстилающая поверхность в Южном океаническом полушарии более однородна по сравнению с Северным, меридиональный обмен в нем является менее упорядоченным (нет определенной локализации переносов). Уже одно это обстоятельство может формировать разные особенности изменений климата в Северном и Южном полушариях Земли. Весной, когда начинается спад интенсивности неупорядоченного меридионального теплообмена, при уменьшении температурного контраста «экватор–полюс», в нижних слоях атмосферы еще сохраняется влияние контраста «океан–материк» на поддержание упорядоченного меридионального обмена [17]. Это влияние как бы тормозит спад меридиональности, особенно вблизи подстилающей поверхности и, как следствие, приводит к тому, что наступление минимума меридиональности весной задерживается. Не исключено, что сохранение меридиональности в небольшой толще тропосферы оказывает задерживающее влияние на наступление весеннего минимума меридиональности у поверхности Земли и, как следствие, обеспечивает известные возвраты холодов в апреле–мае на Европейской территории СНГ.

В связи с сильным прогревом материков летом зональный температурный градиент снова усиливается, но уже с обратным знаком, и процессы меридионального обмена оживляются вновь. Однако по сравнению с зимой меридиональный обмен характеризуется преобладанием иной локализации гребней и ложбин.

Влияние градиента «океан–материк» на меридиональный обмен летом, после весеннего минимума, снова направлено на усиление этого обмена. И поскольку неупорядоченный обмен в это время ослабевает, то вторичный максимум на всех уровнях атмосферы слабее основного – зимнего. Зональный градиент температуры в зоне 40°–70° с.ш. имеет основной максимум в зимнее время; вторичный максимум – в июне–июле (вследствие летнего прогрева материковой части Северного полушария) и два минимума в течение равноденственных сезонов – весной и осенью. Осенний минимум является более глубоким [17].

Меридиональному градиенту температуры свойственен противоположный зональному годовой ход, т.е. зональный и меридиональный градиенты развиваются в противофазе. Вышеизложенное позволяет считать, что годовые и полугодовые колебания гидрометеорологических процессов так или иначе связаны с особенностями нагревания материков и океанов. Природа годовых колебаний вполне понятна, тогда как природа полугодовых колебаний гидрометеорологических характеристик является предметом острых дискуссий.

Роль внутритропической зоны конвергенции в изменении температуры. Внутритропическая зона конвергенции (ВТЗК) располагается между пассатами Северного и Южного полушарий или между пассатом и муссоном или между пассатом и экваториальными западными ветрами. Она характеризуется ослаблением скорости ветра. Конвергенция и возникновение волновых и вихревых возмущений приводит к усилению конвекции, формированию кучевых и кучево-дождевых облаков, имеющих большое вертикальное развитие. ВТЗК может сводиться к резкому тропическому фронту с большими температурными контрастами. В течение года ВТЗК меняет свое положение, смещаясь в то полушарие, где наблюдается лето. Спутниковые наблюдения облачного покрова Земного шара показали, что ВТЗК, если рассматривать ее положение в глобальном масштабе, пересекает географический экватор в мае, находясь в Северном полушарии вплоть до начала ноября (V–X), а в Южном полушарии – с ноября по апрель (XI–IV) (рис. 3) [18]. В разных регионах Земного шара положение ВТЗК различается: в Атлантическом океане и восточной части Тихого океана она находится в течение года в Северном полушарии, а в остальных регионах ее географическое положение подобно вышеописанному глобальному.

Наибольший рост нормированной температуры Северного полушария (положительные коэффициенты линейного тренда) пришелся на май–октябрь, т. е. период, когда ВТЗК находится в Северном полушарии, а наименьший – на период с ноября по апрель, когда ВТЗК находится в Южном полушарии.

Наибольший рост температуры в мае–октябре формируется высоким влагосодержанием атмосферы и облачности в широтном поясе 0–10° с.ш., что позволяет заключить о доминировании обусловленного водяным паром парникового эффекта в формировании максимальных трендов температуры в указанные месяцы года (табл. 2).

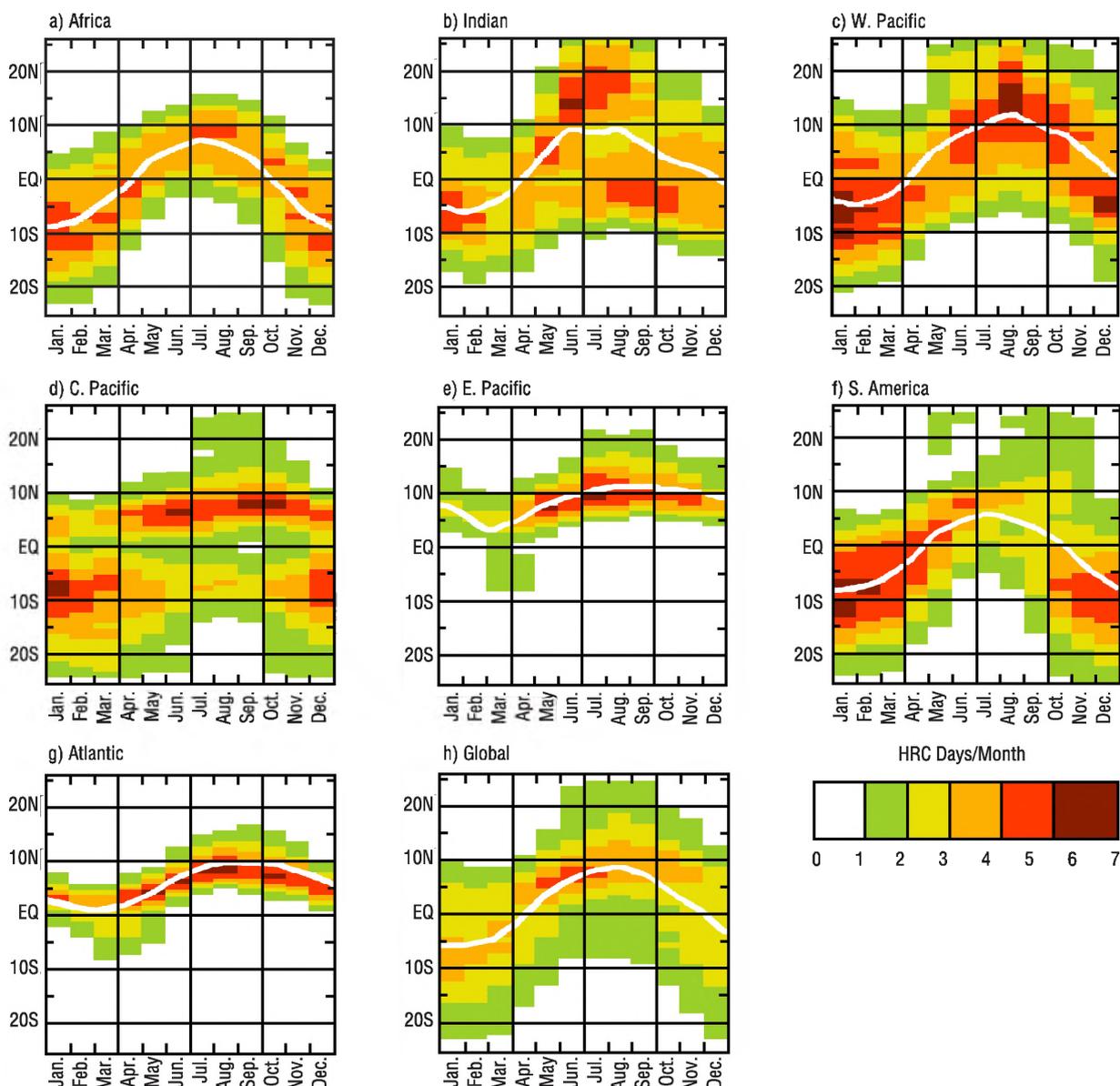


Рис. 3. Пространственно-временная диаграмма годовой миграции внутритропической зоны конвергенции (ВТЗК). Среднегодовой цикл был получен на основании 17-летних спутниковых наблюдений облаков с высокой отражательной способностью (HRC – highly reflective cloud) для 7 районов Земного шара и Земного шара в целом [18]

И хотя солнечный нагрев подстилающей поверхности на экваторе наибольший в течение весеннего и осеннего равноденствий, относительно низкая температура воды на экваторе в комбинации с положительными градиентами температуры воды океана не способствуют крупномасштабной конвекции на экваторе.

В низких широтах циклоническая деятельность ослаблена, а основные циркуляционные механизмы поддерживаются разностью температур между субтропиками и экваториальными районами [19]. В области широт 0–30° циркуляцию можно представить в виде ячейки Гадлея с подъемом воздуха над экватором и опусканием его в районе 30° северной и южной широты. Под действием силы Кориолиса потоки воздуха у поверхности Земли отклоняются вправо. Движение воздуха в Северном полушарии осуществляется в юго-восточном направлении, в Южном – в северо-восточном. Такое движение воздуха называется пассатом. Иногда считается, что следствием пассатной циркуляции являются субтропические антициклоны, но это самая упрощенная схема циркуляции не может объяснить многие особенности тропической циркуляции, а значит, скорее всего, субтропические антициклоны ответственны за формирование пассатов.

Восточный перенос воздуха в экваториальной зоне пониженного давления обусловлен тем, что у поверхности Земли и на высотах градиенты давления направлены от тропиков к оси приэкваториального пояса пониженного давления (экваториальная ложбина). Ось этой ложбины меняет свое положение, которое зависит от склонения Солнца и долготы места. В среднем за год ось экваториальной ложбины находится на 5° с. ш. Собственно, эту широту и принимают за метеорологический экватор и здесь располагается пояс пониженного давления.

В январе экваториальная ложбина располагается на широте $\approx 5^\circ$ с.ш., а в июле – около 15° с.ш. Это означает, что метеорологическое Северное полушарие меньше по площади, чем Южное метеорологическое полушарие.

Над относительно теплой океанической поверхностью ось экваториальной ложбины располагается в Северном полушарии, достигая в январе 8° с.ш. в Тихоокеанском секторе. В связи с этим значения отношения дисперсии квазишестидесятилетней компоненты к общей дисперсии ряда температуры на 6° с.ш. можно относить к метеорологическому экватору и, как следствие, все особенности в изменении температуры воды надо рассматривать с учетом особых свойств приэкваториальной циркуляции атмосферы.

Поскольку к северу и югу от экваториальной ложбины давление увеличивается, то на ее оси должна происходить конвергенция воздуха Северного и Южного полушарий. Однако это происходит не всегда и область, где такая конвергенция хорошо выражена, называют зоной внутритропической конвергенции (ВТЗК). Области ВТЗК несимметричны экваториальной ложбине, а следовательно, несимметрично и распределение облачности и осадков. Иногда над океанами, особенно над Тихим и Индийским, прослеживаются две (иногда и три) зоны конвергенции, а между ними располагается зона дивергенции. Циклонические возмущения в экваториальном поясе происходят непрерывно. Изменения же температуры у подстилающей поверхности в их области малы [19].

В Северном полушарии зимняя пассатная циркуляция простирается от экватора до 28° с.ш. В связи с перемещением экваториальной ложбины в Северное полушарие летом, зона пассатной циркуляции располагается между 18° и 31° с.ш., и уменьшается по площади. В Южном полушарии положение пассатной зоны более стабильно, не меняется и ее структура. Эти циркуляционные особенности низких широт могут сильно влиять на частотную структуру изменений температуры воды океанов.

Хорошо развитая муссонная циркуляция в Северном полушарии делает циркуляционную структуру пассатной области еще более сложной. В западной части Тихого океана и над Юго-Восточной Азией пассатная циркуляция особенно сильно нарушается действием муссона. Здесь южные потоки, охватывая тропики Южного полушария, распространяются на районы Северного полушария.

Таким образом, разные начальные условия в атмосфере, на которые накладываются внешние воздействия, могут существенным образом отражаться в характере их проявления на разных широтах западной и восточной частях Тихого океана. Наибольшие изменения интенсивности зональной циркуляции происходят зимой и особенно в январе.

Рассмотрим конкретный случай – снижение интенсивности зональной циркуляции в результате снижения величины градиента температуры «экватор–полюс». В результате происходит снижение выноса водяного пара с океана на материк и, как следствие, снижение температуры атмосферного воздуха.

Наибольшее снижение температуры во время первой паузы в изменении температуры (1945–1975 гг.) произошло в Северном полушарии в январе ($K = -0,017$), а во время второй паузы (1998–2013 гг.) – в феврале ($K = -0,057$). В то же самое время в теплый период года температура приземного воздуха в средних широтах Северного полушария продолжала неуклонно расти, причем наиболее сильно в период с мая по октябрь. Проведенные нами ранее исследования показали, что общая толщина слоя водяного пара (Total Column Water Vapor – TCWV) по данным спутникового прибора MODIS в умеренных широтах (30–60° с.ш.) однозначно определяет оптическую толщину облаков (COT) в этом же широтном поясе с запаздыванием во времени 5 месяцев (коэффициент корреляции TCWV и COT составил 0,96) [15]. Отметим, что COT, представляющая произведение показателя ослабления излучения частицами облака на его толщину, является более функциональным показателем облачности по сравнению с таким показателем, как степень покрытия неба облаками. Последняя характеристика слабо коррелирует с величиной радиационного баланса планеты.

Это запаздывание COT в 5 месяцев относительно TCWV подтверждается экспериментальными данными, которые показывают, что после максимального снижения коэффициентов линейного тренда температуры (K) в январе и феврале указанных выше двух пауз в изменении температуры, наиболее существенный рост температуры в Северном полушарии начал наблюдаться в мае и последующие пять месяцев (июнь–октябрь), когда ВТЗК находилась в Северном полушарии. Это может означать, что величина коэффициентов линейного тренда температуры в Северном и Южном полушариях зависит от положения ВТЗК, которое определяет содержание TCWV и оптическую толщину облаков.

Линейный тренд оптической толщины облаков для периода с мая по сентябрь оказался отрицательным в широтном поясе 30–75° с.ш. ($K = -0,031$) с 2000 до 2018 г., тогда как в полярной шапке Земли обнаруживается другая картина – наблюдается рост COT. На фоне падения COT в указанные годы отмечались положительные и отрицательные флюктуации продолжительностью около 3 лет. Это означает, что уменьшение COT в период с мая по сентябрь обеспечивало увеличение притока коротковолновой солнечной радиации и, как следствие, более интенсивный рост температур в указанные месяцы по сравнению с ноябрем–апрелем. Наши экспериментальные данные подтверждают этот вывод (табл. 2).

Таким образом, схематически обнаруженные закономерности в изменении величин линейных трендов температуры в Северном полушарии можно представить так. Сезонные и многолетние изменения температуры воды в низкоширотных областях Мирового океана под влиянием внешних и внутренних факторов способны изменять положение ВТЗК в годовом и многолетнем ходе.

Расположение внутритропической зоны конвергенции (ВТЗК) в Северном полушарии (май–октябрь) определяет большую скорость роста температуры (большие значения K) в указанные месяцы по сравнению с другими месяцами года (ноябрь–апрель). Это особенно заметно в Северном полушарии.

Механизмы регулирования температуры связаны с влиянием оптической толщины облаков (COT) на радиационный баланс Земли. Они описаны в большом числе работ [19–22]. В многочисленных исследованиях установлена также роль циркуляции атмосферы и океана в низких широтах в формировании климата Земного шара. Это дает основание считать термодинамический режим низких широт основным генератором климатических изменений.

Выводы. Использование в представленной работе данных месячного разрешения позволило выявить ряд новых пространственно-временных особенностей в изменении климата как в Северном, так и в Южном полушариях.

Выделено четыре квазиоднородных периода в изменении коэффициентов линейных трендов среднемесячной температуры Северного полушария и Земного шара: 1880–1910; 1911–1944; 1945–1975; 1976–2020 гг. В Южном полушарии, если ограничиться теплым сезоном Северного полушария (май–октябрь), таких однородных периодов только три. В конце второго из них (1911–1945 гг.) наблюдается мощная короткопериодная флюктуация температуры (1939–

1945 гг.). Для последнего периода (1976–2020 гг.) отношение величин коэффициентов линейных трендов температуры в теплый (V–X) и холодный (XI–IV) сезоны находится в интервале 1,23–3,50, причем отношение больше для периодов времени, совпадающих с паузами в изменении температуры. В более океаническом Южном полушарии величины K для разных месяцев года меньше отличаются друг от друга по сравнению с Северным – диаграмма K для Южного полушария больше напоминает круг, а для Северного – эллипс ввиду меньшего роста среднемесячных нормированных температур в период с ноября по апрель. Выявленный характер годового хода величины K не согласуется с существующими представлениями парниковой теории современного потепления климата о большей его выраженности в зимнее время года.

Главной причиной обнаруженных особенностей в изменении линейных трендов в Северном и Южном полушариях является общая циркуляция атмосферы и океана. Внутритропическая зона конвергенции рассмотрена как фактор, определяющий различия линейных трендов нормированной температуры в различные месяцы года. Нахождение внутритропической зоны конвергенции в Северном полушарии в период с мая по октябрь обеспечивает более интенсивный рост температуры в указанные месяцы. Механизм регулирования температуры связан с влиянием оптической толщины облаков на радиационный режим Земли.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Груза, Г.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. – М.: ИГКЭ, 2012. – 194 с.
2. Кислов, А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем / А.В. Кислов. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 351 с.
3. Кондратьев, К.Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования / К.Я. Кондратьев // Исследования Земли и космоса. – 2004. – №2. – С. 61–96.
4. Логинов, В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В.Ф. Логинов. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 266 с.
5. Шерстюков, Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б.Г. Шерстюков. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 246 с.
6. Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability / D. Aiguo [et al.] // Nat. Clim. Change. – 2015. – Vol. 5, N 6. – P. 555–559.
7. 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 / eds. T.F. Stoker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. – New York: Cambridge Univ. Press, 2013. – 222 p.
8. The Global Climate system review. Climate system monitoring June 1991 – November 1993 / World Meteorological Organization. – 1995. – N 819. – 150 p.
9. Логинов, В.Ф. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобальной и региональной температуры и их возможные причины / В.Ф. Логинов // Украин. географ. журн. – 2015. – №1. – С. 12–19.
10. Логинов, В.Ф. Долгопериодные колебания температуры воды в Тихом океане и их возможные причины / В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, В.С. Микуцкий, Ю.А. Бровка // Гидрометеорология и образование. – 2020. – №3. – С. 42–56.
11. Namias, J. Short period climatic variations. Collected works 1934 through 1982 / J. Namias. – 1983. – Vol. 1, 2, 3. – San Diego, Univ. California. – 1298 p.
12. The “pause” in global warming in historical context: (II) Comparing models to observations / S. Lewandowsky [et al.] // Environ. Res. Lett. – 2018. – 123007. <http://doi.org/10.1088/1745-9326/saf372>
13. Tollefson, J. The case of the missing heat / J. Tollefson // Nature. – 2014. – Vol. 505. – P. 276–278.
14. NOAA National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Mapping, published June 2021, retrieved on July 6, 2021. <https://www.ncdc.noaa.gov/cag>
15. Логинов, В.Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 315 с.
16. Логинов, В.Ф. Изменение полей температуры поверхности воды и воздуха над Мировым океаном / В.Ф. Логинов, В.В. Цветков // Метеорология и гидрология. – 1990. – №7. – С. 85–93.
17. Кац, А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы / А.Л. Кац. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1960. – 270 с.
18. Waliser, D.E. Satellite-derived Climatology of the ITCZ / D.E. Waliser, C.A. Gautier // Journal of Climate. – 1993. – Vol. 6, N 11. – P. 2162–2174. Doi:10.1175/1520-0442(1993)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2
19. Климатология / А.А. Дроздов [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 567 с.
20. Облака и климат / Г.И. Марчук [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 512 с.
21. Мусаелян, Ш.А. О природе некоторых сверхдлительных атмосферных процессов / Ш.А. Мусаелян. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 142 с.
22. Переведенцев, Ю.П. Теория климата / Ю.П. Переведенцев. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.

Поступила 06.08.2021