

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 551.583

В.Ф. Логинов

ТРЕНДЫ, «СКАЧКИ» И ПАУЗЫ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ

В.Ф. Логинов

ТРЕНДЫ, «СКАЧКИ» И ПАУЗЫ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ

Государственное научное учреждение «Институт природопользования», Минск, Беларусь

В изменении глобальной и региональной температуры отмечаются тренды, «скачки» и паузы разной продолжительности. Появление квазиоднородных пауз в изменении климата, вероятно, связано с квазиоднородными эпохами в развитии общей циркуляции атмосферы и океана. Обсуждаются вопросы детерминированности пауз внешними факторами: содержание парниковых газов, аэрозолей естественного и антропогенного происхождения и солнечная активность, а также внутренними факторами: автоколебания в климатической системе, которые могут возникать и без воздействия каких-либо внешних факторов.

Рассмотрены связь событий Эль-Ниньо и Ла-Ниньо с многолетним Тихоокеанским колебанием (МТК), а также роль таких событий в формировании «скачков» и пауз в изменении глобальной температуры.

Шестнадцатилетнюю паузу (1998–2013 гг.) в потеплении климата в последний 40-летний период нельзя объяснить ослаблением солнечной активности и изменениями содержания аэрозолей естественного и антропогенного происхождения.

Наблюдающееся замедление потепления и небольшое зимнее похолодание вступают в противоречие с теорией парникового потепления климата, поскольку скорость роста содержания парниковых газов в атмосфере была максимальной, а среднегодовая эмиссия углекислого газа возросла более чем на 30% по сравнению с последними годами прошлого столетия. Совокупное антропогенное радиационное воздействие в текущем столетии оказалось в два раза выше, чем в 70–90-е годы, когда наблюдался самый интенсивный рост глобальной температуры. Это свидетельствует о том, что внутренний по отношению к климатической системе фактор оказался более мощным модулятором сравнительно короткопериодных (менее 20 лет) колебаний климата, чем парниковые газы.

Ключевые слова: температура воздуха; глобальная температура; региональная температура; изменения климата.

V. Loginov

TRENDS, «JUMPS» AND PAUSES IN GLOBAL AND REGIONAL TEMPERATURE CHANGE AND THEIR POSSIBLE CAUSES

State scientific institution «Institute of Nature management», Minsk, Belarus

Trends, «jumps» and pauses of various duration have been observed in the global and regional temperature change. The emergence of quasi-homogeneous pauses in climate change, probably have something to do with the quasi-homogeneous periods in the development of general atmosphere and ocean circulation. The issues of pauses determinacy by external factors have been discussed: the concentration of greenhouse gases, aerosols of natural and anthropogenic origin and solar activity, as well as internal factors: oscillations in the climatic system, which can occur without the impact of any external factors.

The connection of El Niño and La Niño events occurrences with long term Pacific Ocean Oscillation (LTPOO), as well as the role of such events in the formation of «jumps» and pauses in global temperature change have been reviewed. Sixteen-year pause (1998-2013 yrs.) in the climate warming within the last 40-year period cannot be explained by the weakening of solar activity and changes in aerosol content of both natural and anthropogenic origin.

The observed slowdown in warming and small winter cooling conflict with the theory of greenhouse climate warming, since the rate of greenhouse gases content growth in the atmosphere was the maximum, and the average annual carbon dioxide emission has increased by more than 30% compared to the last years of the previous century. Aggregate anthropogenic radiative impact in this century was twice higher than in the 70-90s, when the most intensive growth in global temperature was observed. This indicates that the internal climate system factor appeared to be more powerful modulator of relatively short-period (less than 20 years) climate variations than greenhouse gases.

Keywords: air temperature; global temperatures; regional temperature; climate change.

Введение

Вопросам современного изменения климата посвящены многие тысячи работ. Сошлемся лишь на некоторые обзорные работы [1–7, 9–13].

В большом числе работ основной причиной современного потепления климата называют рост содержания парниковых газов в атмосфере в результате антропогенной деятельности [1, 2, 10, 13, 18]. В других работах [3–9, 11, 12], не отрицая возможную роль антропогенных факторов, большое внимание уделяется естественным причинам современных изменений климата.

Причины формирования «скачков» при переходе от одной однородной эпохи в изменении климата к другой достаточно широко обсуждались в 70–80-е годы прошлого столетия.

На факт наличия однородных эпох (пауз) в изменении температуры Северного полушария в период с 1881 по 1960 гг. и скачкообразного перехода от одной ко второй эпохе нами обращено внимание в конце 60-х годов [6].

За короткий период времени с 1917 по 1921 г. температура воздуха в Северном полушарии возросла на величину около $0,6^{\circ}\text{C}$. Этот скачок в изменении температуры вряд ли возможно понять, если исходить только из радиационного воздействия парниковых газов. Наличие длительных пауз отмечается и в изменении глобальной температуры. Длительность таких пауз, как правило, составляет около двух десятилетий, а переход (скачок) от одной паузы ко второй – 5–7 лет.

Причины появления квазиоднородных пауз в изменении климата могут быть связаны с однородными эпохами в развитии общей циркуляции атмосферы и океана, обусловленными определенным сочетанием воздействия внешних и внутренних сил, а также автоколебаниями в климатической системе.

Переход от скачкообразного увеличения температуры к паузе может определяться, например, таким внешним фактором, как резкое усиление вулканической деятельности. Но не только внешние факторы изменений климата могут быть причиной скачков и пауз в изменении климата.

Ряд работ, посвященных скачкообразным изменениям климата, выполнен японскими исследователями Ивашима и Ямамото [14]. Разработанная ими модель показала, что некоторые климатические изменения могут проходить без воздействия внешних факторов. С использованием пространственно-временной спектральной модели общей циркуляции атмосферы, находящейся под воздействием сезонного нагревания, продемонстрировано множество стабильных решений уравнений.

В работах названных выше авторов приводится много примеров резких изменений приземной температуры, осадков в разных районах мира. Та-

кие резкие «климатические скачки» связывались с общей циркуляцией атмосферы. Показано, что резкое изменение фазового угла ультрадлинных волн с волновым числом, равным 1, может определять «климатические скачки». Делается вывод, что «климатические скачки» почти интранзитивны, т.е. являются проявлением нелинейности климатической системы. Таким образом, недетерминистические подходы Лоренца были подтверждены работами японских ученых. Вместе с тем имеется много фактов в пользу детерминированности изменений климата.

Изложение основного материала

В изменении глобального и регионального климата встречаются периоды, когда трендовая составляющая в его изменении отсутствует и на фоне практически нулевого тренда заметны лишь короткопериодные (2–3-х-летние) флюктуации.

Динамика сезонных аномалий глобальной температуры за различные периоды представлена на рис. 1. Рассмотрен временной интервал, когда в атмосферу было выброшено более 70 % парниковых газов. Из рис. 1 следует, что активный рост значений аномалий температуры земного шара начался только в период с 1979 по 1998 гг. В последний период времени (2001–2013 гг.) небольшой рост значений аномалий температуры отмечался только летом (рис. 1, г), а зимой отмечалось даже падение значений аномалий температуры.

Наблюдавшаяся в последние 15–16 лет пауза в потеплении климата активно обсуждается в последние два–три года [15, 22]. Однако подобные паузы в изменении климата, когда температура практически не увеличивалась (почти нулевой тренд) или даже несколько уменьшалась, наблюдались и раньше, например, в 1881–1906 и 1945–1975 гг. На причины таких пауз не обращали должного внимания, хотя они должны были стать предметом острых дискуссий.

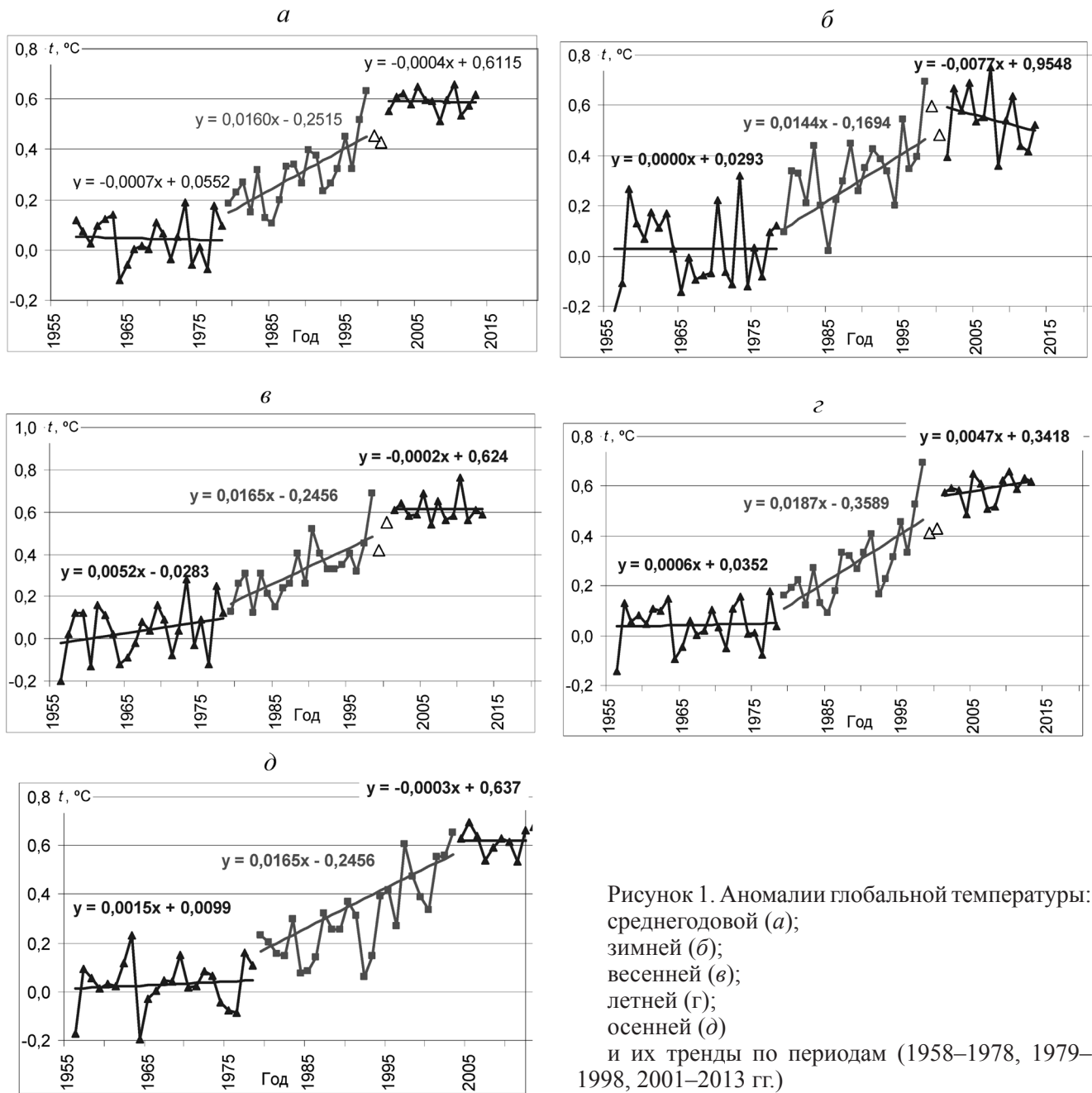
И только последняя длительная пауза в изменении климата заставила пристальнее взглянуть и на другие возможные «модуляторы» скачков и пауз в изменении современного климата. Современную длительную паузу в изменении климата связывают с рядом причин [15, 22]:

1) понижением температуры в восточной части Тихого океана, связанным с большой повторяемостью и мощностью событий Ла-Ниньо;

2) ростом аэрозольного загрязнения атмосферы; одним из главных «поставщиков» антропогенных аэрозолей в атмосферу называют Китай;

3) снижением солнечной активности в последнем 24-м 11-летнем солнечном цикле по цюрихской нумерации (2008–2018 гг.).

Считается, что эти «охлаждающие» атмосферу факторы могут уменьшать скорость потепления кли-



мата, связанную с ростом содержания парниковых газов. Последние принимаются основным «модулятором» современных изменений климата [15, 22].

Детализируем некоторые особенности изменения скорости роста глобальной температуры в связи с радиационным воздействием углекислого газа (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что связь величин роста радиационного воздействия углекислого газа и линейной скорости увеличения глобальной температуры (а) не наблюдается. Так, соизмеримые по величине скорости изменения глобальной температуры в 1907–1944 гг. и 1976–1998 гг. приходились на

различающиеся более чем в 5 раз средние величины роста радиационного воздействия углекислого газа (соответственно 0,0053 и 0,0283 Вт/м²). Максимальная величина роста радиационного воздействия углекислого газа приходится на последние 13 лет (2001–2013 гг.), когда температура Земного шара, оставаясь самой высокой за период инструментальных наблюдений, тем не менее не увеличивалась ($\alpha = -0,0004$).

Естественно, проведенное сравнение не может служить достаточным основанием отрицания наличия связи изменений температуры с ростом содержания углекислого газа, но оно требует дальнейших пояснений.

Таблица 1. Изменение величины роста радиационного воздействия углекислого газа и линейной скорости роста глобальной температуры для разных периодов времени (°/год)

Периоды времени (годы)	Число лет N	Средняя величина роста радиационного воздействия углекислого газа (Δ), Вт/м ² в год	Коэффициент линейной скорости роста глобальной температуры (α) $y=\alpha x \pm b$ в градусах за год
1881–1906	26	0,0038	–0,0042
1907–1944	38	0,0053	0,0151
1945–1976	32	0,0109	0,0029
1976–1998	23	0,0283	0,0177
2001–2013	13	0,0346	–0,0004

Известно, что климатическая система является инерционной и установление ее стационарного состояния зависит от чувствительности к притокам тепла. Исследования нестационарной реакции температуры на резкое увеличение притока радиации с учетом замедляющей ее термической инерции океана показали, что время, в течение которого достигается стационарное состояние атмосферы, оценивается различными моделями от 8 до 102 лет [23]. Теоретические исследования для случая реалистического увеличения углекислого газа показывают, что величина потепления климата составляет около половины того, что наблюдалось бы в отсутствие океана.

Эти исследования также демонстрируют, что климатическая система будет продолжать нагреваться даже в том случае, если не происходит дальнейшее увеличение концентрации углекислого газа [13]. Считается, что обусловленная термической инерцией океана задержка реакции температуры воздуха составляет от нескольких лет до нескольких десятков лет и изменяется в соответствии с принятой оценкой роста температуры при двукратном увеличении концентрации CO₂ [18].

Наиболее ярким примером нелинейности связей концентрации CO₂ и температуры являются результаты сравнения изменений содержания парниковых газов и температуры Мирового океана. Так, величины роста средней глобальной температуры поверхностного слоя океана в период с 1905 по 1942 гг. и период с 1975 по 2002 гг. соизмеримы, тогда как показатели выбросов углекислого газа в атмосферу во втором периоде превышали их значения по сравнению с первым в несколько раз.

Со времени экспедиции корабля «Челленджер» в 1872–1876 гг. рост температуры воды в слое воды 0–700 м равнялся $0,33 \pm 0,14$ °C. За последние 50 лет величина потепления океана составила половину от названной. За предыдущие 85 лет, когда рост содержания углекислого газа в атмосфере составил менее 25 % от его суммарного роста по сравнению

с преиндустриальным уровнем, увеличение температуры воды океана также равнялось около $0,165$ °C [20].

Это свидетельствует о том, что глобальное потепление началось задолго до существенного увеличения содержания парниковых газов в атмосфере, хотя скорость роста температуры в слое 0–700 м за последние 50 лет была почти в полтора раза выше, чем в предыдущие 85 лет. Величина потепления на глубине 914 м (500 футов) составила всего $0,12 \pm 0,07$ °C.

Если исходить из энергетических соображений, то наиболее обоснованной причиной паузы в скорости роста глобальной температуры за последние 15–16 лет могло быть понижение температуры на востоке и в центре экваториальной части Тихого океана. Общая площадь и объем воды в Тихом океане приблизительно равны площади и объему воды в Атлантическом, Индийском и Северном Ледовитом океанах. Это свидетельствует о том, что роль Тихого океана в формировании глобальных изменений климата огромна. Как правило, отрицательные аномалии температуры здесь формируются во время так называемых событий Ла-Нинья.

Известно, что события *Ла-Нинья* и *Эль-Ниньо* – это колебания температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана. Они обычно рассматриваются в связи с Южным колебанием, интенсивность которого определяется разностью давления над о. Таити (восток Тихого океана) и ст. Дарвин (Австралия). Низкое давление обычно формируется над теплыми водами, а высокое – над холодными. В восточной части Тихого океана температура обычно ниже на 5–7 °C по сравнению с западной.

Эль-Ниньо совпадает с продолжительными теплыми периодами в центральной и восточной областях тропической части Тихого океана. Существуют два центра действия, расположенных в тропиках Южного полушария: австралийско-индонезийский и южно-тихоокеанский.

Признаками Эль-Ниньо является повышение давления над Индийским океаном, Индонезией и Австралией и падение давления над о. Таити, в центральной и восточной частях Тихого океана. В период Эль-Ниньо теплые воды устремляются на восток. Зона конвекции смещается вслед за теплой водой на центральные и восточные районы Тихого океана. Причиной Эль-Ниньо служит ослабление Тихоокеанских пассатов (устойчивые ветры восточной четверти, дующие в течение всего года над океанами на обращенной к экватору периферии субтропических антициклонов в каждом полушарии).

Известно, что формирование пассатов связано с ячейкой Гадлея. Самое интенсивное повышение температуры в Северном и Южном полушариях Земли наблюдалось в период частых и интенсивных событий Эль-Ниньо в 80–90-е гг. XX в.

Противоположные процессы в Тихом океане происходят при усилении пассатов. Показано, что скорость пассатов за последние 20 лет возросла. Их длительное усиление сопровождалось появлением частых событий Ла-Ниньо. Они привели к похолоданию климата и, как следствие, прогнозы специалистов в области моделирования климата, уверенно предсказывавших непрерывное повышение температуры воздуха в течение XXI в. в связи с ростом содержания в атмосфере парниковых газов, не оправдались.

Скорость пассатов оказалась выше, чем предсказывалось в различных климатических моделях, а аномально сильные ветры могут охладить приповерхностные слои воздуха Земного шара на 0,1–0,2°C.

Следует отметить, что подобные события развивались и в прошлые годы. Изменения скорости ветра над Мировым океаном были изучены Рамезом по наиболее полному архиву данных (The Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS)), включающему свыше 70 млн судовых наблюдений с 1854 по 1979 г. [19].

Проведенное исследование показало, что скалярная скорость ветра уменьшалась с 1854 по 1920 г. и увеличивалась со второй половины 40-х годов XX в. Полученные вариации скорости могут быть в значительной мере объяснены условиями наблюдений и приборным оборудованием. Падение скорости ветра с 1854 по 1920 г. логично увязывается с заменой парусного флота паровым, а происходившее в последние 40 лет увеличение числа судов, оборудованных анемометрами, нарушило однородность рядов наблюдений и могло повлиять на выводы о кажущемся увеличении скорости ветра.

Однако автор не исключает и наличие естественного, а не «методического» векового тренда в изменении скорости ветра. Показательно, что пос-

ле 1950 г., когда роль методических погрешностей была сведена к минимуму, скорость ветра прогрессивно увеличивалась. Это увеличение, составляющее около 1 м/с, представляется, безусловно, реальным.

Результаты свидетельствуют о вековой изменчивости скорости ветра в пределах ± 2 м/с, увеличении скорости ветра после 30–40-х гг. XX в. и уменьшении ее в предшествующем периоде.

Определенный интерес представляет анализ скорости ветра в отдельных крупных регионах Земного шара. Изменения скорости ветра в северной (5–25° с.ш., 150° в.д. – 130° з.д.) и южной (0–20° ю.ш., 160–90° з.д.) частях Тихого океана, взятые из работы Висала и др. [6], обнаруживают положительные аномалии скорости западного ветра в 30–40-х гг. XX в. В последующие годы наступило снижение скорости западного ветра, и, как следствие, возрастание скорости восточных ветров. Начиная с 50-х годов, обнаружено усиление восточных (пассатных) ветров в Тихом и Атлантическом океанах. В частности, за период 1948–1972 гг. их скорость в Атлантическом океане усилилась на 4 м/с, что совпало с низкой температурой Земного шара в это время. Похожая ситуация сложилась в последние годы, когда наступила пауза в изменении температуры Земного шара при максимальной скорости роста содержания парниковых газов в атмосфере.

Таким образом, усиление скорости восточных ветров (пассатов) в Тихом океане сопровождается более частым и интенсивным развитием событий Ла-Ниньо и коррелирует с низкими температурами (конец 40-х–конец 70-х гг. XX в.) или отсутствием роста температуры Земного шара в последние годы (1998–2013 гг.).

Сложнее понять, почему в последние годы произошло столь сильное усиление скорости пассатных ветров. Возможной причиной этого усиления пассатов называют рост содержания парниковых газов [15, 22].

Однако подобные паузы или периоды слабого падения температуры в Южном и Северном полушариях Земли наблюдались во второй половине 40-х–середине 70-х гг. XX в., когда содержание основного антропогенного парникового газа – углекислого – в атмосфере составляло всего 0,031–0,032 % и увеличилось менее чем на 25 % по сравнению с преиндустриальным уровнем. Его роль в усилении пассатов и изменении климата в эти годы не может быть существенной, а значит, за предыдущую «холодную» паузу в изменении глобальной температуры ответственны другие климатообразующие факторы.

Главный механизм, отвечающий за долгопери-

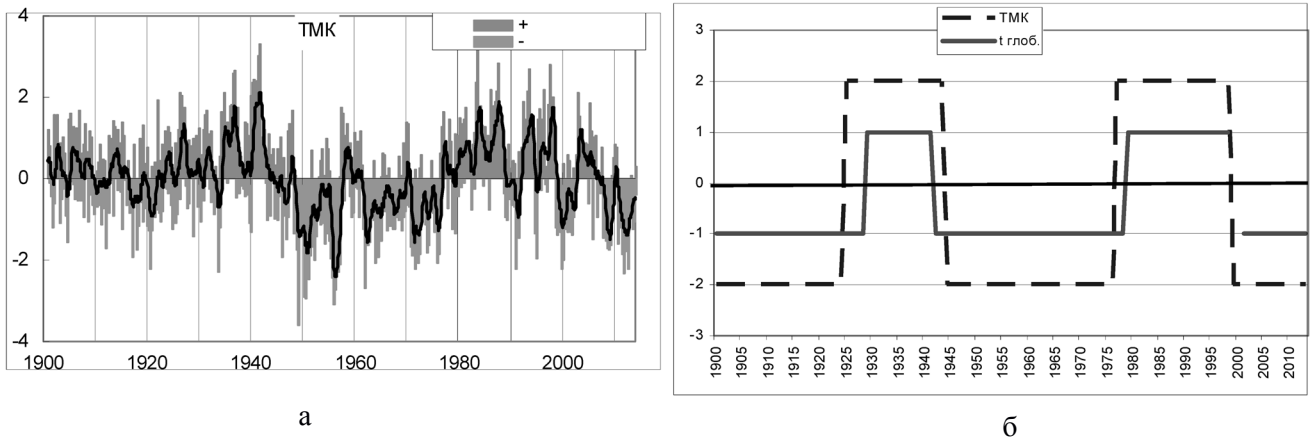


Рисунок 2. Изменения месячных и годовых сглаженных значений Тихоокеанского многолетнего колебания (а); «холодные» (-2) и «теплые» (+2) фазы ТМК, совпадающие, соответственно, с отрицательными и положительными значениями градиентов изменений среднегодовой глобальной температуры (б)

одные автоколебания в климатической системе, основан на *взаимодействии атмосферы и океана*. Оно сопровождается развитием взаимосвязанных систем ветров и морских течений в Мировом океане. Наличие автоколебаний в климатической системе длительностью от нескольких лет до многих десятилетий было обнаружено В.В. Шулейкиным, А.И. Дуваниным, А.И. Угрюмовым, Ш. А. Мусаеяном, Н.И. Яковлевой и др. Обзор этих работ представлен в [6].

Автоколебания, собственно, и могут быть ответственны за формирование циклов, «скачков» и пауз в изменении климата. Модулятором таких автоколебаний в климатической системе, кроме парниковых газов, могут быть аэрозоли естественного и антропогенного происхождения, солнечная активность, долгопериодные приливы в океане и другие факторы.

В частности, рост температуры и увеличение испарения в более холодной (восточной) части Тихого океана должны приводить к увеличению испарения воды. Этот эффект будет более слабо выражен в теплой тропической (западной) части Тихого океана, где воздух и без того сильнее насыщен влагой (температура здесь выше на 5–7 °С).

Нагон теплой поверхностной воды пассатами в западную часть Тихого океана, если исходить из наличия связи событий Эль-Ниньо и Ла-Ниньо с определенными фазами многолетнего тихоокеанского колебания (Pacific Decadal Oscillation, PDO), природа которого носит автоколебательный характер в климатической системе, может скоро прекратиться, и пауза в изменении температуры Земного шара закончится.

Следует отметить, что многолетнее тихоокеанское колебание отличается значительной устойчивостью и особенно выражено в северной части Тихого океана, т.е. в его североамериканском секторе.

За последний более чем столетний период в тихоокеанском колебании обнаружены длительные «теплые» и «холодные» фазы. «Холодная» фаза была характерна для периода времени с 1890 по 1924 гг. «Теплые» фазы наблюдались в 1925–1946 гг. и с 1977 г. до середины 90-х гг. XX в. В последние 15–16 лет вновь наступила «холодная» фаза (рис. 2).

Теплые и холодные фазы наблюдались в изменениях глобальной температуры и температуры Северного полушария.

Для Тихоокеанского колебания характерны 15–30-летние и 50–70-летние составляющие. Явления Эль-Ниньо и Ла-Ниньо наиболее характерны для тропической части Тихого океана. Они устойчивы, как правило, в течение 6–18 месяцев. В спектрах их повторяемости и спектре Южного колебания, тесно связанного с ними, преобладают составляющие длительностью 2–7 лет [6].

Таким образом, для явлений Эль-Ниньо и Ла-Ниньо характерны другие пространственно-временные особенности, чем для ТМК, хотя их повторяемость и мощность определенным образом связаны с фазами многолетнего Тихоокеанского колебания: для «теплой» фазы более характерно Эль-Ниньо, а для «холодной» – Ла-Ниньо. Когда закончится «холодная» фаза ТМК? Ответ будет получен в ближайшие несколько лет.

В последние годы роста такого фактора понижения температуры, как *вулканический аэрозоль*, не обнаруживается [9]. После 1991 г., когда произошло самое крупное в XX в. извержение вулкана Пинатубо, аэрозоли в виде капелек серной кислоты находились в стратосфере длительное время (более 1 года). Последующие вулканические извержения были существенно слабее, их влияние на климат – незначительным, поскольку выбросы аэрозоля

не достигали стратосферы. Антропогенное аэрозольное загрязнение на территории Китая не могло существенно изменить картину аэрозольного загрязнения на Земном шаре. Нами было показано [6], что воздействие антропогенных аэрозолей уменьшает приток суммарной солнечной радиации всего на 0,02–0,03 % в год, тогда как после крупных вулканических извержений, выбрасывающих сернистые соединения в стратосферу, может наступить снижение суммарной солнечной радиации на несколько процентов на протяжении 0,5–2 лет.

Другим возможным «охлаждающим» атмосферным фактором может быть *низкая солнечная активность*. Текущий 24-й 11-летний солнечный цикл оказался низким и двухвершинным. Среднее значение относительных чисел Вольфа в «растянутом» двухвершинном максимуме (09.2011–09.2014) составляет около 69 единиц, т.е. 24-й солнечный цикл следует отнести к слабым солнечным циклам. Следует также отметить, что этот цикл, судя по динамике относительных чисел Вольфа, напоминает 14-й цикл по цюрихской нумерации (1902–1913 гг.), который имел также две вершины: в 1905 году (63,6 относительных единиц) и в 1907 году (62,0 относительных единиц). Однако самыми слабыми солнечными циклами были 4-й (1799–1809 гг.), когда максимальное среднегодовое значение относительных чисел Вольфа составило 47,5 (1804 г.), и 5-й (1811–1823 гг.) с максимальным среднегодовым значением относительных чисел Вольфа 45,8 в 1816 году.

К слабым солнечным циклам относится и 6-й солнечный цикл (1824–1833 гг.) с максимальным

среднегодовым значением относительных чисел Вольфа 71 единица в 1830 году.

Таким образом, последний 24-й 11-летний солнечный цикл входит в пятерку самых слабых солнечных циклов за историю инструментальных наблюдений, начавшихся в 1749 году.

Самым мощным солнечным циклом был 19-й цикл (1955–1964 гг.). Максимальное среднегодовое значение относительных чисел Вольфа в 1957 году в этом цикле составило 189,8 единиц.

Максимальное радиационное воздействие солнечной активности на климат не превышает нескольких десятых Вт/м², а средняя величина вклада – около 0,1 Вт/м². Ранее нами было показано, что величина изменения притока солнечной радиации при уменьшении солнечной активности (яркости солнечного диска) в 11-летнем цикле в 2,5–4 раза меньше по сравнению с изменениями величин притока солнечной радиации за счет изменения содержания аэрозолей и углекислого газа в атмосфере [9].

Выводы

Таким образом, есть основания считать, что основной причиной формирования паузы в изменении температуры в последние 15–16 лет являются автоколебания в климатической системе. «Модуляторами» автоколебаний разной длительности могут быть различные внешние факторы (аэрозоль вулканического происхождения, солнечная активность и др.). Однако циклы, «скачки», тренды и паузы в изменении климата могут явиться и следствием проявления нелинейного взаимодействия океана, атмосферы, криосферы и биосферы.

Литература

1. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. – Л., 1980. – С. 351.
2. Воздействие потепления в Арктике: отчет координационного комитета АСНА по оценке климатического воздействия в Арктике. – Изд. Кембриджского ун-та. 2004.
3. Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблемы Киотского протокола. / Отв. ред. Ю. А. Израэль. – М., 2006.
4. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем // МГУ, МАИК «Наука». – М.: Интерпериодика, 2001.
5. Кондратьев К.Я. Современные изменения климата и определяющие их факторы. (Изменения солнечной постоянной газового и аэрозольного состава атмосферы). Итоги науки и техники // Метеорология и климатология. – М., 1977. – С. 202.
6. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск: Наука і тэхніка, 1992. – 320 с.
7. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
8. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата и их доказательная база // Доклад на Межд. научн. конф. «Глобальные и региональные изменения», 16–19 ноября 2010 г., Киев, Украина. – Киев: Ника-Центр, 2011. – С. 23–37.
9. Логинов В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 266 с.
10. Силвер Дж. Глобальное потепление. – М., 2009.
11. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. – М., 2002.
12. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск, 2008.
13. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC, WMO, UNEP. Cambridge: Cambridge Univ. press, 2007.
14. Iwashima T. Time-space 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.
15. Kosaka Yu. Recent globale-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling / Yu. Kosaka, Shang Ping Xie. Doi: 10.1038 /

Nature 12534.

16. National Climatic Data Center / Метод доступа: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/>. Дата доступа: 03.02.2014
17. National Geophysical Data Center (NGDC). Solar Indices Data // Метод доступа: [http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?t=102827&s=1&d=8,4,9](http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?t=102827&s=1&d=8,4,9;); <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-indices/sunspot-numbers/international/> / Дата доступа: 26.02.2014.
18. Peng Li. Climate warming due to increasing atmospheric CO₂: simulations with a multilayer coupled atmosphere-ocean seasonal energy balance model / Li Peng, Ming-Dah-Chou, A. Arking // J. Geophys. Res. 1987. Vol. 92, N D5. P. 5505–5521.
19. Ramage C.S. Secular change in reported surface wind speed over the Ocean / C. S. Ramage // J. Clim. Appl. Meteorol. 1987. Vol. 26. P. 525–528.
20. Roemmich Dean. 135 years of global ocean warming between the Challenger expedition and the Argo Programme / Dean Roemmich, W. John Gould, John Gilson // Nature Climate Change. 2012. Doi:10.1038/nclimate1461.
21. The Pacific Decadal Oscillation (PDO) / Метод доступа: <http://jisao.washington.edu/pdo>. Дата доступа: 29.01.2014
22. Tollefson J. The case of the missing heat / J. Tollefson // Nature. 16 January, 2014. Vol. 505. P. 276–278.
23. Wigley T.M.L., Schlesinger M.E. Analytical solution for the effect of increasing CO₂ on global mean temperature / T. M. L. Wigley, M. E. Schlesinger // Nature. 1985. Vol. 315. P. 649–652.

References

1. Budyko M.I. (1980). *The climate in the past and the future*. Leningrad (Russian).
2. *The impact of warming in the Arctic: report ASNA Coordinating Committee on the Arctic Climate Impact Assessment. (2004)*. Ed. Cambridge Univ. (Russian).
3. *Opportunities to prevent climate change and its adverse effects. Problems of the Kyoto Protocol*; Chief Editor Y.A.Izrael. (2006). Moscow (Russian).
4. Kislov A.V. (2001). *The climate in the past, present and future*. MSU MAIK «Nauka». Moscow: Interperiodika (Russian).
5. Kondratiev K.Y. (1977). Modern climate change and their determinants (Changes in the solar constant gas and aerosol composition of the atmosphere). The results of science and technology. *Meteorology and climatology*. Moscow. 202 (Russian).
6. Loginov V.F. (1992). *Causes and effects of climate changes*. Minsk: Navuka i tehnika (Russian).
7. Loginov V.F. (2008). *Global and regional climate change: causes and consequences*. Minsk: TetraSistems.
8. Loginov V.F. (2011). Global and regional climate change and its evidence base. Presentation at the Int. Sci. Conf. «Global and regional developments», November 16-19, 2010, Kiev, Ukraine. Kiev: Nika-Center. P. 23-37 (Russian).
9. Loginov V.F. (2012). *Radiation factors and evidence of modern climate change*. Minsk: Belaruskaya Navuka (Russian).
10. Silver J. (2009). *Global warming*. Moscow (Russian).
11. Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. (2002). *Development of the Earth*. Moscow (Russian).
12. Sherstyukov B.G. (2008). *Regional and seasonal patterns of changes in the current climate*. Obninsk (Russian).
13. Climate Change 2007 (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, WMO, UNEP. Cambridge: Cambridge Univ. press.
14. Iwashima T. (1986). *Time-space 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. Vol. 64. P. 183–196.
15. Kosaka Yu. Recent globale-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. Yu. Kosaka, Shang Ping Xie. Doi: 10.1038. Nature 12534.
16. National Climatic Data Center: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/>. Date of access: 03.02.2014
17. NationalGeophysicalDataCenter(NGDC).SolarIndicesData:[http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?t=102827&s=1&d=8,4,9](http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?t=102827&s=1&d=8,4,9;); <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-indices/sunspot-numbers/international>. Date of access: 26.02.2014.
18. Peng Li (1987). Climate warming due to increasing atmospheric CO₂: simulations with a multilayer coupled atmosphere-ocean seasonal energy balance model. Li Peng, Ming-Dah-Chou, A. Arking . J. Geophys. Res. Vol. 92, N D5. P. 5505–5521.
19. Ramage C.S. (1987). Secular change in reported surface wind speed over the Ocean. C. S. Ramage. J. Clim. Appl. Meteorol. Vol. 26. P. 525–528.
20. Roemmich Dean. (2012). 135 years of global ocean warming between the Challenger expedition and the Argo Programme / Dean Roemmich, W. John Gould, John Gilson. Nature Climate Change. Doi:10.1038/nclimate1461.
21. The Pacific Decadal Oscillation (PDO) / <http://jisao.washington.edu/pdo>. Date of access: 29.01.2014
22. Tollefson J. (2004). The case of the missing heat. *Nature*. 16 January, 2014. Vol. 505. P. 276–278.
23. Wigley T.M.L., Schlesinger M.E. (1985). Analytical solution for the effect of increasing CO₂ on global mean temperature. *Nature*. Vol. 315. P. 649–652.