

УДК 551.583: 551.513

ДИНАМИКА ТРОПО- И СТРАТОСФЕРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский

Казанский федеральный (Приволжский) университет,
Институт экологии и природопользования,
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18,
Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru

Резюме. Проведен статистический анализ временных рядов аномалий приповерхностной температуры по всему Земному шару для 1850 – 2013гг. Использовались данные университета Восточной Англии и центра Хедли (Великобритания), а также данные реанализа NCEP/NCAR (США) по температуре воздуха и компонентам скорости ветра в тропосфере и стратосфере за 1948 – 2013гг. Установлено, что за последние 37 лет температура умеренных широт повысилась на 0,75°C, что почти в три раза меньше, чем в полярной зоне (2,38°C). Наименьшие изменения средней годовой приземной температуры воздуха наблюдаются в тропиках, где за последние 39 лет температура повысилась на 0,54°C. Над океанической поверхностью изменения температуры выражены существенно слабее, чем над сушей. Определены величины современного потепления также во всей тропосфере и нижней стратосфере. Наибольшие различия между величиной потепления у поверхности Земли и в средней тропосфере наблюдаются в полярной зоне, а наименьшие – в умеренной и тропической зонах. Изучены вертикальные разрезы изменений температуры воздуха, осредненной по Северному полушарию, суще и океану, различным широтным зонам. Годовые и сезонные данные за 1971 – 2013гг. показывают, что наибольший прирост температуры за этот период наблюдается в тропосфере на уровне изобарической поверхности 850 гПа (более 1°C). При переходе из тропосферы в стратосферу происходит смена знака изменения температуры, т.е. наблюдается похолодание нижней стратосферы. Вид вертикального профиля зависит от типа подстилающей поверхности и широтной зоны.

Ключевые слова. Климат, изменение климата, аномалия температуры воздуха, тропосфера, атмосферная циркуляция, скорость ветра, колебательный режим, коэффициент корреляции.

DYNAMICS OF THE TROPO- AND STRATOSPHERE AND THE MODERN CLIMATE CHANGES

Yu.P. Perevedentsev, K.M. Shantalinskiy

Institute of Ecology and Environmental Sciences,
Kazan' Federal University,
18, Kremlin str., 420008, Kazan, Russia, Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru

Summary. A statistical analysis of the time series of surface temperature anomalies was accomplished for the globe for 1850 – 2013. Data of University of East Anglia and Hadley Centre (UK) as well as the NCEP/NCAR (USA)

reanalysis data on air temperature and wind speed components in the troposphere and stratosphere for 1948 – 2013 were used. It was found that temperatures of the temperate latitudes have increased by 0,75°C during the last 37 years which is almost three times lesser than in the polar zone (2,38°C). The smallest changes in the mean annual air temperature were observed in the tropics, where temperatures increased by 0,54°C during the last 39 years. Temperature changes are manifested much weaker over the ocean surface than over land. Magnitudes of the modern warming in the entire troposphere and the lower stratosphere are also identified. The greatest differences between magnitudes of warming at the Earth's surface and in the middle troposphere have been observed in the polar zone, while the smallest ones have occurred in the moderate and tropical zones. Vertical profiles of air temperature changes averaged over the Northern Hemisphere, land, ocean, and different latitudinal zones are analyzed. Annual and seasonal data for 1971 – 2013 show that the greatest increase in temperature in the troposphere during this period is observed at the isobaric level of 850 hPa (more than 1°C). A sign of temperature change switches to the opposite one at the transition from the troposphere to the stratosphere. i.e. cooling of the lower stratosphere is observed. A shape of the vertical profile depends on a type of the underlying surface and latitudinal zone.

Keywords: Climate, climate change, air temperature anomaly, troposphere, atmospheric circulation, wind speed, oscillatory mode, correlation coefficient.

Введение

Проблема глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата стала в настоящее время как никогда актуальной в связи с усиливающимся влиянием различных факторов, основными из которых являются: влияние солнечной активности; влияние процессов, происходящих в земной коре и ядре, и влияние антропогенных факторов (Gray et al, 2010, Сергин, 2008, Climate Change 2013). По современным представлениям климат отражает физическое, химическое и биологическое состояние компонентов земной климатической системы (атмосфера, океан, суши, криосфера, биоты) и поэтому для понимания его изменчивости необходима оценка динамики их параметров (Груза, Ранькова, 2012, Второй оценочный доклад Росгидромета..., 2014, Семенов, 2012). По существу, понятие климатической системы становится сейчас адекватным понятию окружающей природной среды. Причем, эволюция этой сложной самоорганизующейся системы определяется, с одной стороны, взаимодействием ее природных сред, а с другой стороны, непрерывным воздействием на нее человека (Переведенцев, Шанталинский, 2011). Поэтому, те глобальные и региональные изменения, которые в последние годы происходят в окружающей среде, несомненно, должны найти отражение и в состоянии климата.

Особое внимание при этом следует уделить роли атмосферной циркуляции. Еще в 1930 годах известный метеоролог Е.И. Тихомиров отразил этот аспект в своем определении понятия «климат» – «... климатом

какого-нибудь района следует называть состояние атмосферы, являющееся результатом более или менее длительного (порядка десятилетий) взаимодействия между атмосферной циркуляцией данного района и его физико-географическими условиями, понимая последние в самом широком смысле» (Тихомиров, 1933).

Вопросам изучения глобальных и региональных климатических процессов посвящен также цикл работ, опубликованных авторами статьи. В частности, результаты статистического анализа современных изменений климата в тропосфере и стратосфере Земли и в отдельных регионах Северного полушария до 2009г. представлены в работах (Переведенцев и др., 2005, Переведенцев и др., 2008, Переведенцев, 2009).

Цель настоящего исследования изучить пространственно-временные изменения температурно-ветрового режима по Северному полушарию в период 1948 – 2013гг.

Материалы и методы

В качестве исходных материалов использованы временные ряды аномалий приповерхностной температуры по всему Земному шару с 1850 по 2013гг. объединенный массив данных группы исследования климата (CRU) университета Восточной Англии и центра Хэдли – HadCRUT4, с сайта CRU и, поэтому далее, в статье обозначаемые как данные CRU (Morice et al., 2012, Osborn, Jones, 2014, Rayner et al., 2006).

Использовались также данные реанализа NCEP/NCAR приповерхностной температуры воздуха, температура и компонент скорости ветра в тропосфере и стратосфере (1948 – 2013гг.) Северного полушария (СП) за последние 66 лет (1948 – 2013гг.), распространяемые NOAA/OAR/ESRL PSD, Боулдер, Колорадо, США (Kalnay et al., 1996, Kistler R. et al., 2001). В исследовании использован первый вариант реанализа, а не вариант NCEP/DOE, поскольку последний начинается с 1979г., что не позволяет исследовать современное потепление с его начала. Кроме того, следует отметить, что к результатам оценки изменений климатических переменных, полученным по данным реанализа следует относиться с осторожностью из-за их неоднородности.

Были построены поля средних многолетних значений и характеристик временной изменчивости указанных метеорологических величин для СП. При этом, основное внимание уделялось исследованию процессов в умеренной зоне СП ($30\text{--}70^{\circ}\text{с.ш.}$).

Характер циркуляционного режима умеренных широт нижней половины тропосферы СП в северной и южной частях этой зоны существенно различен. Поэтому расчеты проводились как для всей широтной зоны ($30\text{--}70^{\circ}\text{с.ш.}$), так и для ее северной ($50\text{--}70^{\circ}\text{с.ш.}$) и южной ($30\text{--}50^{\circ}\text{с.ш.}$) части.

Поскольку, режим циркуляции зимнего (XII-II) и летнего (VI-VIII) периода также существенно различен, то особенности циркуляционных условий и их влияние на приповерхностную температуру исследовались отдельно для этих двух сезонов.

Проведено осреднение исследуемых метеорологических величин по

различным регионам умеренной зоны, исследовалась долгопериодная динамика полученных в результате осреднения временных рядов. Выделение низкочастотного компонента осуществлялось с помощью НЧ фильтра Поттера (Отнес, Эноксон, 1982) с точкой отсечения 10 и 30 лет и той же шириной окна. Недостающие данные на конце временного ряда полагались постоянными и равными средним значениям за 5 лет на соответствующем конце ряда.

По данным реанализа в узлах сетки и по регионам рассчитывались значения коэффициентов корреляции (КК) рядов температуры и компонентов скорости ветра (множественный КК температуры и зональной и меридиональной составляющих ветра, парные и частные КК температуры и отдельных составляющих скорости ветра).

Результаты и дискуссия

Тенденции изменения приповерхностной температуры Северного полушария.

Сначала рассмотрим временной ход аномалий осредненных по полуширьям температур за период 1850 – 2013г. по данным CRU. Кроме того, по данным реанализа проведем пространственно-временной анализ температуры за последние 60 лет от уровня Земли до 30 км и, после применения низкочастотной фильтрации, изучим ее долгопериодную динамику.

Наблюдаются различия (рис. 1.1 – а и б) в изменениях аномалий температуры Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий. Так, средняя аномалия средней годовой приповерхностной температуры, усредненной по всему СП, достигла максимумов на отрезке времени 1850 – 2013гг. в 2005г. ($0,719^{\circ}\text{C}$) и в 2010г. ($0,713^{\circ}\text{C}$). В 2008г. наблюдался локальный минимум $-0,558^{\circ}\text{C}$. В ЮП максимальная аномалия зафиксирована в 1998г. ($0,460^{\circ}\text{C}$) в период наиболее интенсивного явления Эль-Ниньо и далее началось ее снижение до $0,217^{\circ}\text{C}$ в 2008г., а в последующем опять отмечено ее увеличение.

Аномалия среднезимней температуры (декабрь – февраль) в СП ведет себя аналогично среднегодовой, ее максимум в СП отмечен в 2006/07г. ($0,880^{\circ}\text{C}$), в ЮП (июнь–август) она соответственно равна $0,696^{\circ}\text{C}$ и зафиксирована в 1998г. Далее происходит уже отмеченное понижение температуры южного полушария.

Аномалии осредненной по полуширьям температуры за летний период ведут себя следующим образом. В СП (июнь – август) максимум в $0,750^{\circ}\text{C}$ отмечен в 2010г. (в 1998г. – $0,708$, а в 2008г. – $0,530^{\circ}\text{C}$); в ЮП (декабрь – февраль) максимум отмечен в 1997/98г. – $0,521^{\circ}$, (в 2009/10г. – $0,457^{\circ}\text{C}$). Наклон сглаженных кривых показывает, что северное полушарие, где больше суши, летом прогревается более значительно, чем океаническое южное, где большую роль в охлаждении играет ледниковая Антарктида.

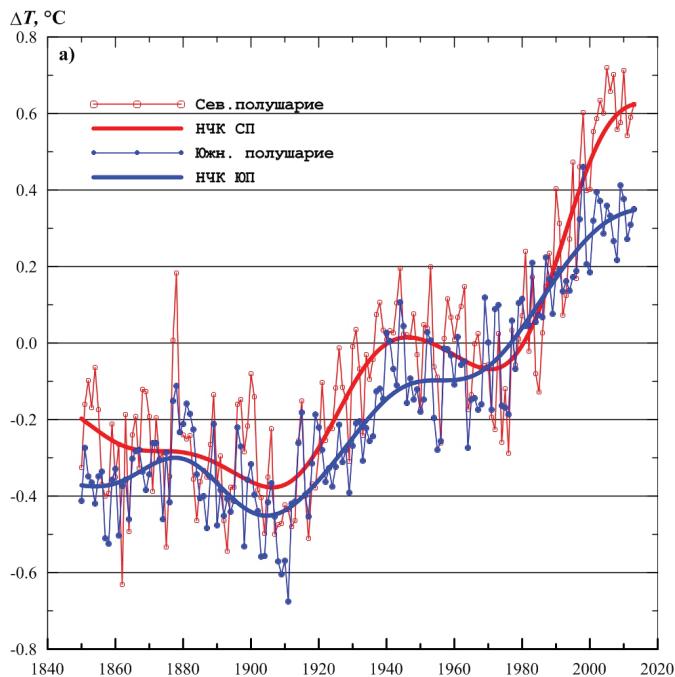


Рисунок 1.1 – а

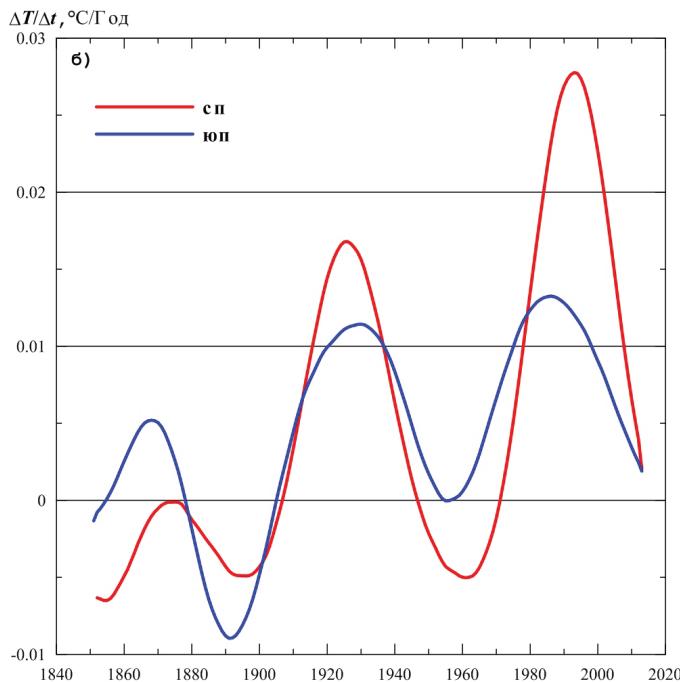


Рисунок 1.1 – б

Рисунок 1.1 – (а) Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха ($^\circ\text{C}$) северного (вверху) и южного (внизу) полушарий и ее долгопериодного компонента (30 лет и более); (б) Многолетний ход скорости изменения ($^\circ\text{C}/\text{год}$) долгопериодного компонента (30 лет и более) температуры северного и южного полушарий.

Рассмотрим особенности изменения аномалий приповерхностной температуры воздуха за период с 1850 по 2013гг. (данные CRU) и более детально с 1948 по 2013гг. (данные NCEP/NCAR реанализа). Анализ рядов, сглаженных НЧ фильтром Поттера, показывает, что за последние более чем 150 лет инструментальных наблюдений при общем весьма существенном, но достаточно неравномерном росте средней годовой температуры северного полушария, имели место и периоды ее понижения (рис. 1.2 – а, б).

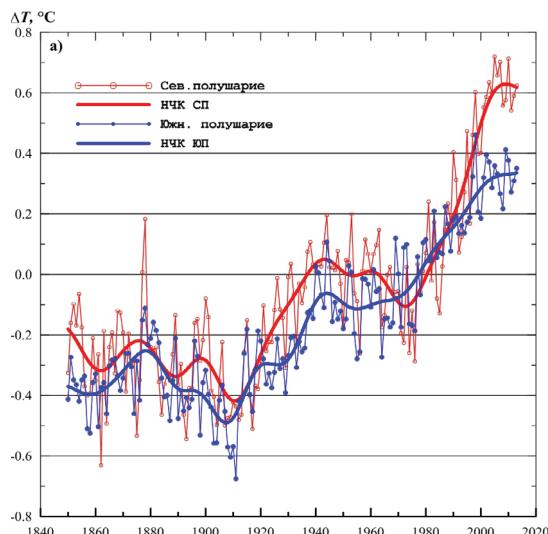


Рисунок 1.2 – а

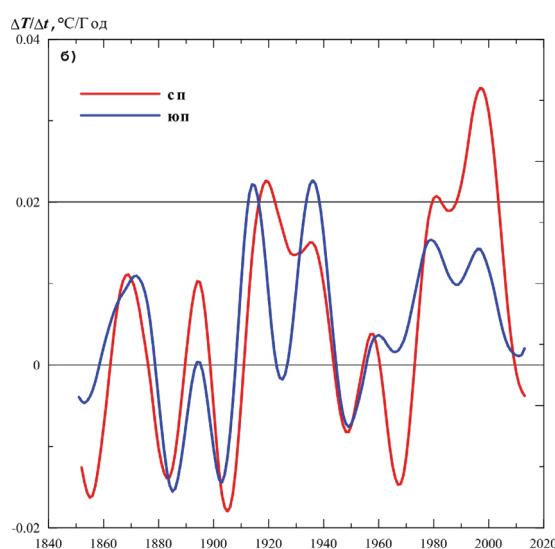


Рисунок 1.2 – б

Рисунок 1.2 – (а) Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха (С) северного (вверху) и южного (внизу) полушария (°C), сглаженный НЧ фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более). (б) Многолетний ход скорости изменения (°C/год) средней годовой приземной температуры воздуха северного и южного полушария, сглаженный НЧ фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более).

Первое похолодание за указанный период наблюдалось с 1850 по 1911гг. и составило $0,23^{\circ}\text{C}$ за 62 года; второе – с 1940 по 1972гг. и составило $0,17^{\circ}\text{C}$ за 32 года. После похолоданий следовали более интенсивные потепления. Первое происходило с 1911 по 1940гг. в результате среднегодовая температура Северного полушария возросла на $0,51^{\circ}\text{C}$ за 29 лет; второе – с 1972 по 2010гг. и, судя по ходу кривой скорости потепления, еще не завершилось, хотя скорость упала почти до нуля. Тем не менее, потепление продолжается уже 38 лет, а величина повышения температуры за этот период составила $0,71^{\circ}\text{C}$.

Отчетливо проявляется в ходе аномалии средней годовой приповерхностной температуры Северного полушария 60-70-летнее колебание (рис. 1.1б), а также более слабое 20-летнее, наиболее активно проявляющее себя в периоды похолоданий (рис. 1.2б). Заметим, что данный эмпирический факт выявлен для периода 1850-2013гг., что согласуется с результатами работ (Бардин, 2011, Груза, Ранькова, 2012). Таким образом, при сохранении спектра выявленных колебаний температуры в ближайшем будущем можно ожидать некоторого снижения темпов потепления, которое уже наметилось, и даже возможно слабого похолодания на фоне уже достигнутых высоких значений.

На факт замедления современного потепления было обращено внимание в работах (Груза, Ранькова, 2009, Переведенцев, Шанталинский, 2008), где на основании оценок линейных трендов пространственно осредненной температуры для земного шара Северного и Южного полушарий и территории России показано, что в Южном полушарии определенно отмечается замедление темпов потепления – в большей мере над океанами (с 2003г.) и несколько слабее над континентами (с 2005г.). В Северном полушарии согласно (Груза, Ранькова, 2009) наиболее интенсивное ослабление потепления отмечено над океанами (с 2005г.), в то время как над сушей скорость потепления достигла своего максимума лишь в 2007г.

Следует отметить, что результаты авторов настоящей статьи, полученные эмпирико-статистическим путем, соответствуют результатам численного моделирования, в которых удается воспроизвести наиболее значительные изменения климата с середины 70-х годов по настоящее время лишь с учетом влияния парникового эффекта (Володин и др., 2010).

Рассмотрены характеристики изменения температуры воздуха в различных регионах Северного полушария по данным реанализа в период 1948 – 2013гг. Сравнение хода аномалий температуры по данным CRU и реанализа показывает их существенные различия в начале исследуемого периода (рис. 1.3 – а, б). Так, с 1948 по 1960гг. данные реанализа превышали величину аномалии среднегодовой температуры по сравнению с данными CRU. В конце исследуемого периода данные реанализа также расходятся с данными CRU, но в меньшей степени.

Наиболее резко процессы изменения температуры по данным реанализа выражены в приполярной зоне полушария, где похолодание, составившее $-0,54^{\circ}\text{C}$ за 13 лет, сменилось потеплением, которое продолжается уже 44 года и к настоящему времени составило $2,38^{\circ}\text{C}$. В умеренной зоне

интенсивности последнего потепления климата и предшествующего ему похолодания весьма близки и составляют $+0,22$ и $-0,27^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно.

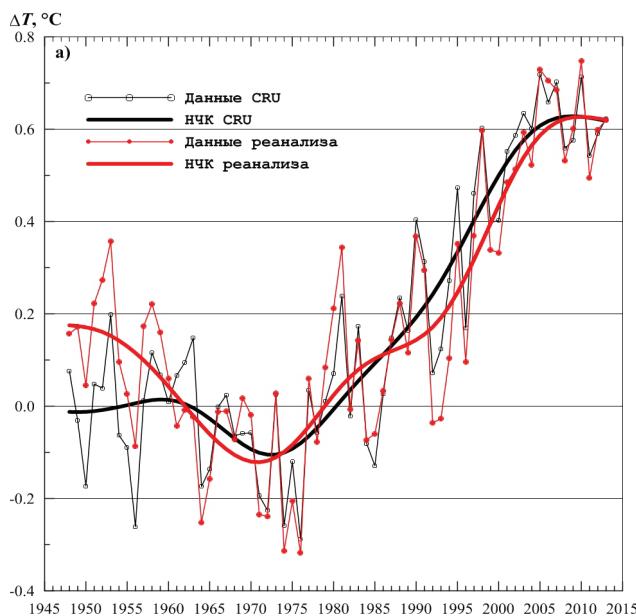


Рисунок 1.3 – а

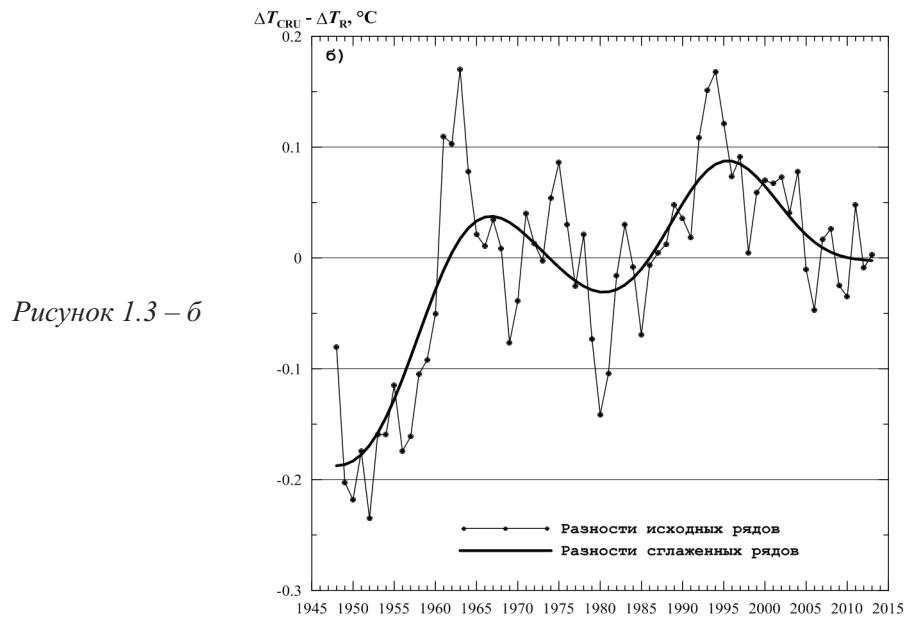


Рисунок 1.3 – б

Рисунок 1.3 – Многолетний ход аномалий средней годовой приземной температуры Северного полушария (а) и разностей аномалий ($^{\circ}\text{C}$) по данным университета Восточной Англии и реанализа (б). Сглаженные линии – низкочастотные (10 и более лет) компоненты аномалий среднегодовой температуры Северного полушария.

В результате за последние 37 лет температура повысилась на $0,75^{\circ}\text{C}$, что почти в три раза меньше чем в приполярной зоне. Более того, в последние годы рост средней годовой температуры в умеренной зоне СП практически прекратился. Наименьшие изменения средней годовой приземной температуры воздуха наблюдаются в тропической зоне, где за последние 39 лет температура повысилась на $0,54^{\circ}\text{C}$.

Обращает на себя внимание также резкое ослабление роста приземной температуры воздуха в период с 1983 по 1994гг., которое прослеживается практически во всех регионах полушария. Оно вызвано, в частности, уменьшением прозрачности атмосферы в связи с поступлением в атмосферу большого количества продуктов извержений вулканов Эль-Чичон и Пинатубо. В результате уменьшение роста температуры отмечается во всей тропосфере, а в стратосфере вследствие поглощения солнечной радиации продуктами извержения имеет место значительный рост температуры (Parker D.E. et al., 1996, Stenchikov G.L. et al. 1998, Robock A. 2000).

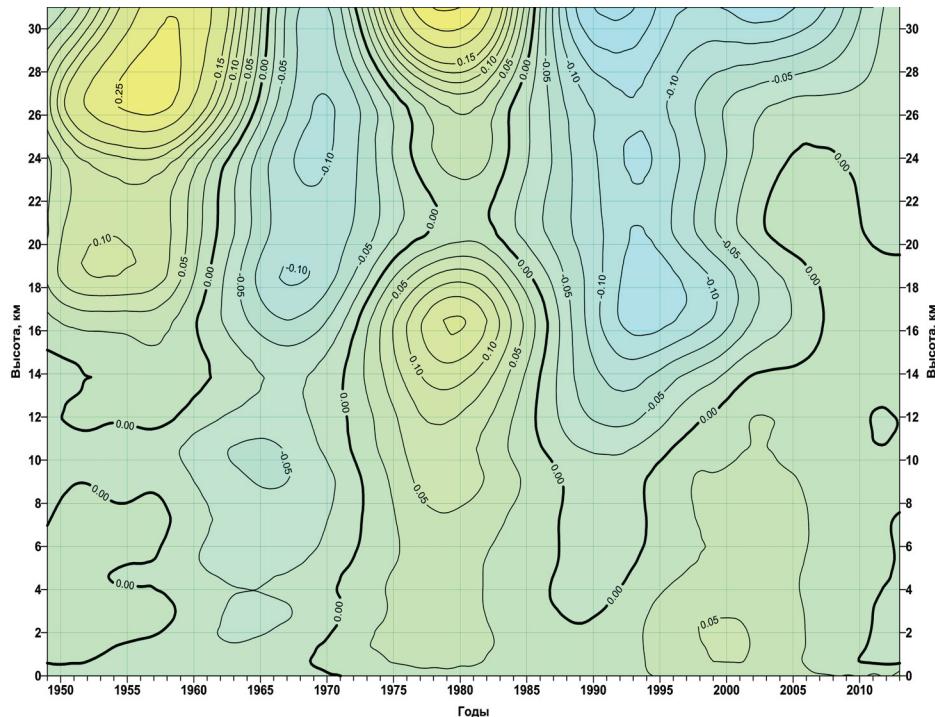
Над термически более инерционной подстилающей поверхностью – океаном изменения температуры выражены слабее, чем над сушей, где наибольшие изменения имеют место в умеренной зоне Евразии. Здесь похолодание за 24 года составило $1,02^{\circ}\text{C}$, а потепление за 38 лет – $1,01^{\circ}\text{C}$. Наименьшие изменения температурного режима над сушей наблюдаются в тропической зоне Америки, которая представляет собой узкую полосу суши между океанами. В результате чего долгопериодные колебания приземной температуры здесь невелики. Похолодание за короткий период 11 лет составило $0,13^{\circ}\text{C}$, а современное потепление, длившееся 41 год – $0,46^{\circ}\text{C}$. Над океанической поверхностью наиболее активные температурные изменения происходят в северной части Индийского океана (к северу от экватора), где потепление продолжается 54 года (1956 – 2010гг.) и составило $0,82^{\circ}\text{C}$.

В зимний сезон (декабрь – февраль) величина потепления существенно больше, чем в летний (июнь – август) за исключением тропической зоны, где, впрочем, период потепления летом начался намного раньше. Интенсивность же потепления больше в зимний сезон во всех регионах.

Однако в последние годы отмечается некоторое ослабление роста и даже понижение средних зимних температур, выраженное ярче всего в регионах суши умеренных широт. Так понижение осредненных по территории умеренных широт Евразии температур составило $0,62^{\circ}\text{C}$ за последние 12 лет. Таким образом, скорость наблюдающегося в настоящее время понижения температуры в этом регионе по данным реанализа сравнима со скоростью предшествующего потепления ($0,51$ и $0,56^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно).

Таким образом, наиболее длительные периоды потепления за последние 60 лет наблюдаются в приполярной и тропической зонах, но в приполярной зоне потепление намного сильнее. В этих широтных зонах потепление существенно превосходит предшествующее похолодание. В умеренных широтах различия между величинами последнего потепления и предшествующего ему похолодания по данным реанализа минимальны.

Были построены вертикальные разрезы многолетнего хода межгодовых разностей низкочастотной компоненты ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) изменения температуры по данным реанализа в период 1948 – 2013гг. Сумма этих разностей за некоторый интервал времени дает качественное и количественное представление о ходе процесса изменения температуры на том или ином уровне тропо- и стратосферы.



*Рисунок 1.4 – Временной вертикальный разрез осредненных по территории Северного полушария изменений долгопериодного (10 и более лет) компонента температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) по данным реанализа.
Высота – км.*

Анализ вертикальных разрезов многолетнего хода скорости изменения низкочастотного компонента (с периодом более 10 лет) средней годовой температуры (рис. 1.4) показывает, что в период 1972-2010гг. в основной толще тропосфера наблюдалось потепление, причем наибольший прирост температуры за этот период наблюдается на уровне изобарической поверхности 850 гПа (более 1°C). Далее с высотой, в среднем, значение величины современного потепления убывает. Так, если в среднем для полушария у поверхности земли она составила $0,79^{\circ}\text{C}$ за 39 лет, то на уровне изобарической поверхности 500 гПа (средняя высота около 5,5 км) температура за этот же период времени повысилась на $0,69^{\circ}\text{C}$.

В стратосфере, наоборот, имело место похолодание (80-90 годы XX в.). Согласно (Моханакумар, 2011) главной причиной стратосферного охлаждения является поступление углекислого газа в тропосферу. Эффекты глобального тропосферного потепления и стратосферного охлаждения

существуют параллельно. В целом излучение CO₂ в нижней стратосфере обеспечивает потерю энергии и эти атмосферные области охлаждаются.

Однако с начала XXI столетия в стратосфере началось потепление. Так, как процессы в тропосфере и стратосфере в период с 1995 по 2010 гг. идут в противофазе (рис. 1.4), то можно предположить, что в ближайшие годы в тропосфере, возможно, наступит похолодание. Процесс замедления потепления в тропосфере просматривается и в масштабах всего земного шара.

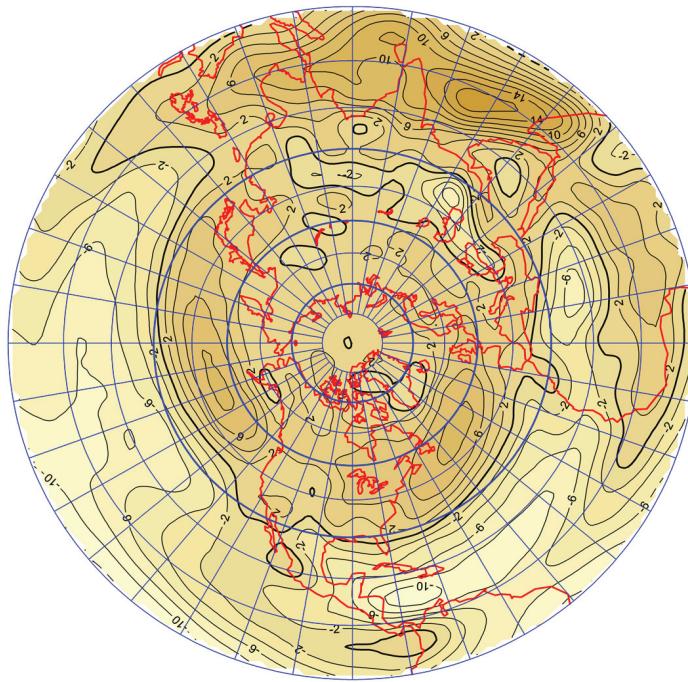
Дополнительный анализ результатов исследования в отдельных широтных зонах и регионах полушария позволил установить, что наибольшие различия между величиной потепления у поверхности и в средней тропосфере наблюдаются в приполярной зоне: 2,33 и 0,87°C соответственно, а наименьшие – в умеренной и тропической (разности составили 0,05 и 0,06°C). Тип подстилающей поверхности также не сильно влияет на разности между величиной повышения температуры у Земли и в средней тропосфере: над сушей они около 0,2, над океанической поверхностью 0,1°C. Обнаруженное уменьшение роста температуры в средней тропосфере по сравнению с приземной связано, в частности, с тем, что под влиянием вулканических выбросов с середины восьмидесятых до середины девяностых годов в тропосфере наблюдалось слабое понижение температуры, а не ослабление ее роста как у поверхности Земли (Parker D.E. et al., 1996, Stenchikov G.L. et al. 1998, Robock A. 2000).

Основные черты ветрового режима нижней половины тропосфера и зависимости температуры от циркуляции в умеренных широтах Северного полушария.

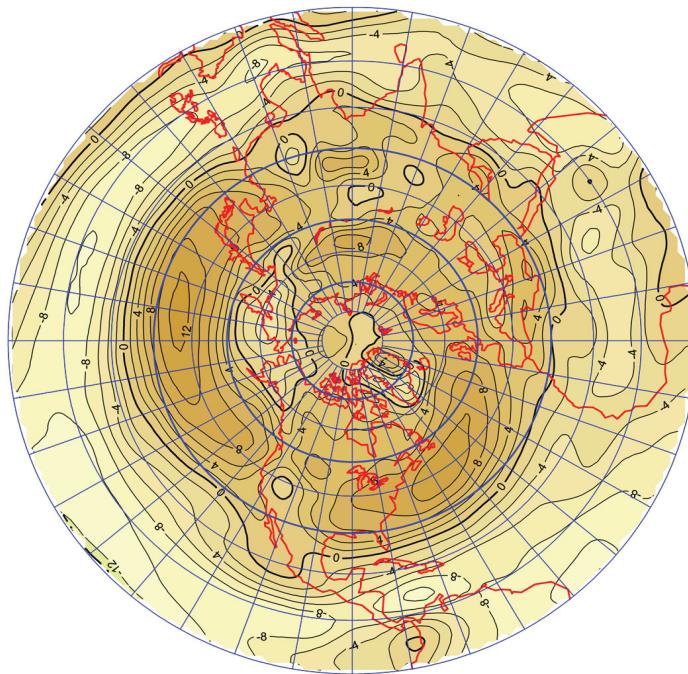
Рассматривая более подробно по данным реанализа в период 1948 – 2013 гг. процессы в зоне умеренных широт (30 – 70°с.ш.), где наиболее ярко проявляется бароклинная неустойчивость и вихревая активность атмосферы.

Анализ распределения средней многолетней зональной компоненты скорости ветра на изобарической поверхности 850 гПа (AT₈₅₀) в Северном полушарии (СП) зимой и летом по данным реанализа в период 1948 – 2013 гг. показывает, что зимой в широтной зоне 30 – 40°с.ш. устанавливаются интенсивные западные потоки со скоростями 8 – 12 м/с на Атлантической и Тихим океаном (очаги) и ослабленным западным переносом в умеренных и полярных широтах над континентами (~4 м/с) за исключением южной Сибири (~8 м/с).

Летом картина усложняется: в широтной зоне 0 – 20°с.ш. над Индийским океаном интенсивные западные потоки (>14 м/с), достаточно интенсивные восточные потоки (до -10, -12 м/с) выделяются над акваторией Тихого океана. Зона пассатов расширяется, смещается на север. Зона западных движений в умеренных широтах ослабевает. Очаги западных ветров со скоростями 6 – 8 м/с по-прежнему сохраняются над Атлантикой и Тихим океаном (рис. 2.1).



a)



b)

Рисунок 2.1 – Средние многолетние значения зонального компонента скорости ветра на изобарической поверхности 850 гПа для зимой (a) и летом (б).

При переходе на уровень АТ₅₀₀ зональные потоки заметно усиливаются по сравнению с уровнем АТ₈₅₀. Область западного переноса расширяется, скорости ветра в зоне 30 – 40°с.ш. над акваториями океанов достигают 35 м/с (Тихий океан), над Атлантикой – 25 м/с. Летом потоки заметно слабее.

При движении вдоль широтного круга осредненные по широте в зонах 50 – 70 и 30 – 50°с.ш. зональные потоки демонстрируют следующие черты: в южной зоне сильный западный перенос с наибольшими значениями в области 150°в.д., 80°з.д. и 180°з.д. в зимний период. Летом картина менее устойчива.

Летом распределение западного ветра в южной зоне имеет волновой характер. В северной зоне потоки слабее, но в определенной степени наблюдается противофазность в ходе скорости потоков в южной и северной зонах.

Для установления зависимости между температурой воздуха и циркуляцией атмосферы рассмотрена динамика их низкочастотных компонентов (НЧК). Анализ временного хода НЧК зонального компонента скорости (ЗКС) и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в период с 1948 по 2013гг. на изобарических поверхностях 850 и 500 гПа показывает: в умеренной зоне на АТ₈₅₀ наблюдается согласованный временной ход ЗКС и ПТВ – в период 1962 – 1970гг. наблюдается их минимум, а в период 1990 – 2000гг. – максимум. Затем к 2010г. имеет место вновь понижение указанных метеовеличин. Таким образом, наблюдается колебательный режим при отставании хода температуры на 8 – 10 лет. Вначале отмечается экстремальное значение ЗКС на АТ₈₅₀, а затем с запаздыванием идет максимум ПТВ. Все это повторяется и в северной зоне, но картина здесь носит менее сглаженный характер.

В южной зоне в 1975г. противофазность скоростей увеличивается, температура уменьшается, около 1998г. максимумы ЗКС на АТ₈₅₀ и ПТВ совпадают, на АТ₅₀₀ максимум ЗКС запаздывает на 2 года.

Таким образом, зимой во всей умеренной широтной зоне и в ее северной части выделяется запаздывание экстремумов ПТВ относительно ЗКС, что указывает как на ведущую роль атмосферной циркуляции, так и на согласованную картину между атмосферной циркуляцией и ПТВ. Усиление западной составляющей скорости ветра сопровождается повышением температуры в результате усиления адвекции более теплого зимой воздуха над океаном и более интенсивного перемешивания верхнего квазиоднородного слоя. В южной зоне рост ЗКС к 1975г. сопровождается понижением температуры, в последующие годы отмечается согласованный ход – рост ЗКС на двух уровнях в нижней тропосфере и рост ПТВ. Однако, начиная с 2000г. наблюдается понижение как ЗКС, так и ПТВ (рис. 2.2).

В летний период, когда в умеренных широтах океан холоднее суши, имеет место противофазный характер изменений НЧК ПТВ и ЗКС. В целом, по умеренной зоне в период 1950 – 1996гг. наблюдается рост ЗКС и понижение ПТВ. В северной зоне картина проще, чем в южной. Наблюдаются рост температуры в последние годы и ослабление скорости ветра.

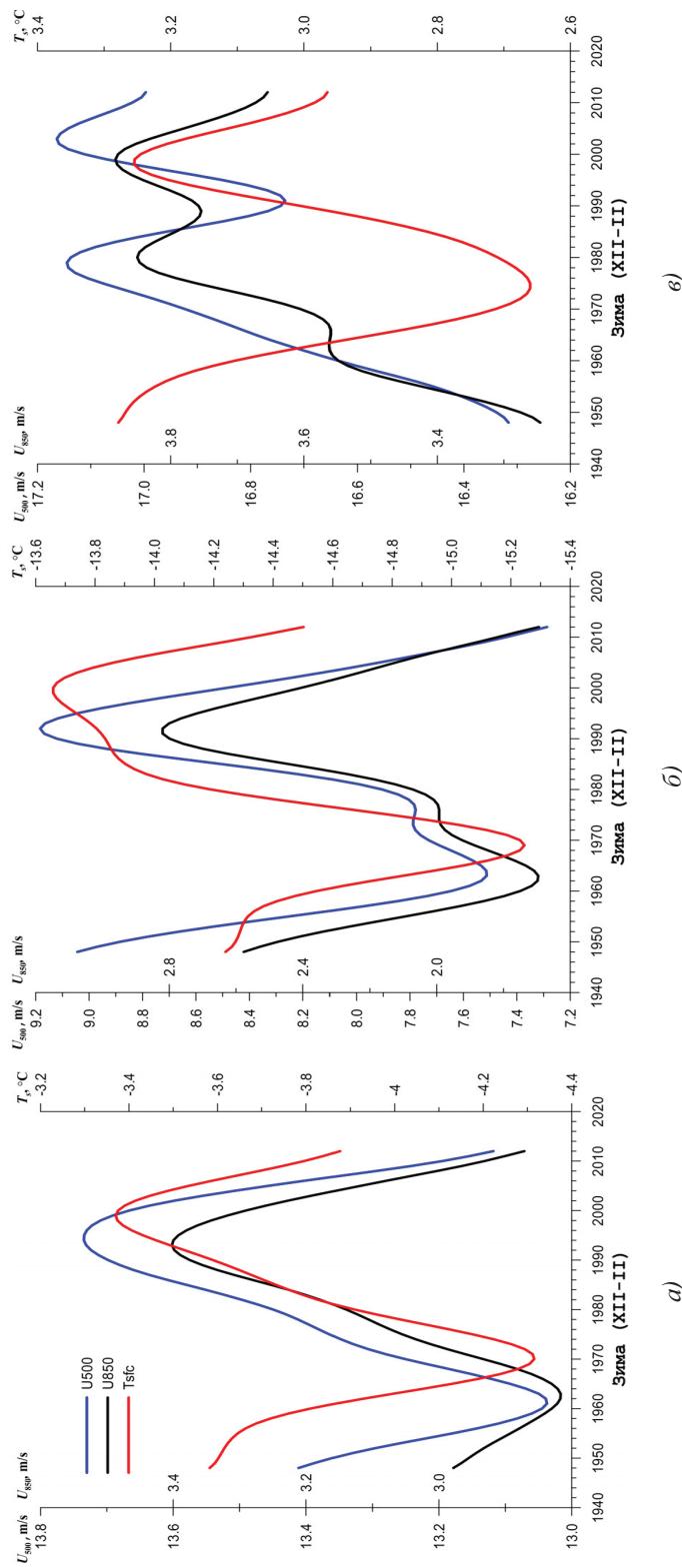


Рисунок 2.2 – НЧК (более 10 лет) притоверхностной температуры воздуха и зонального компонента скорости ветра на поверхности 850 и 500 гПа в умеренной зоне СП (а), северной (б) и южной (в) ее частях зимой.

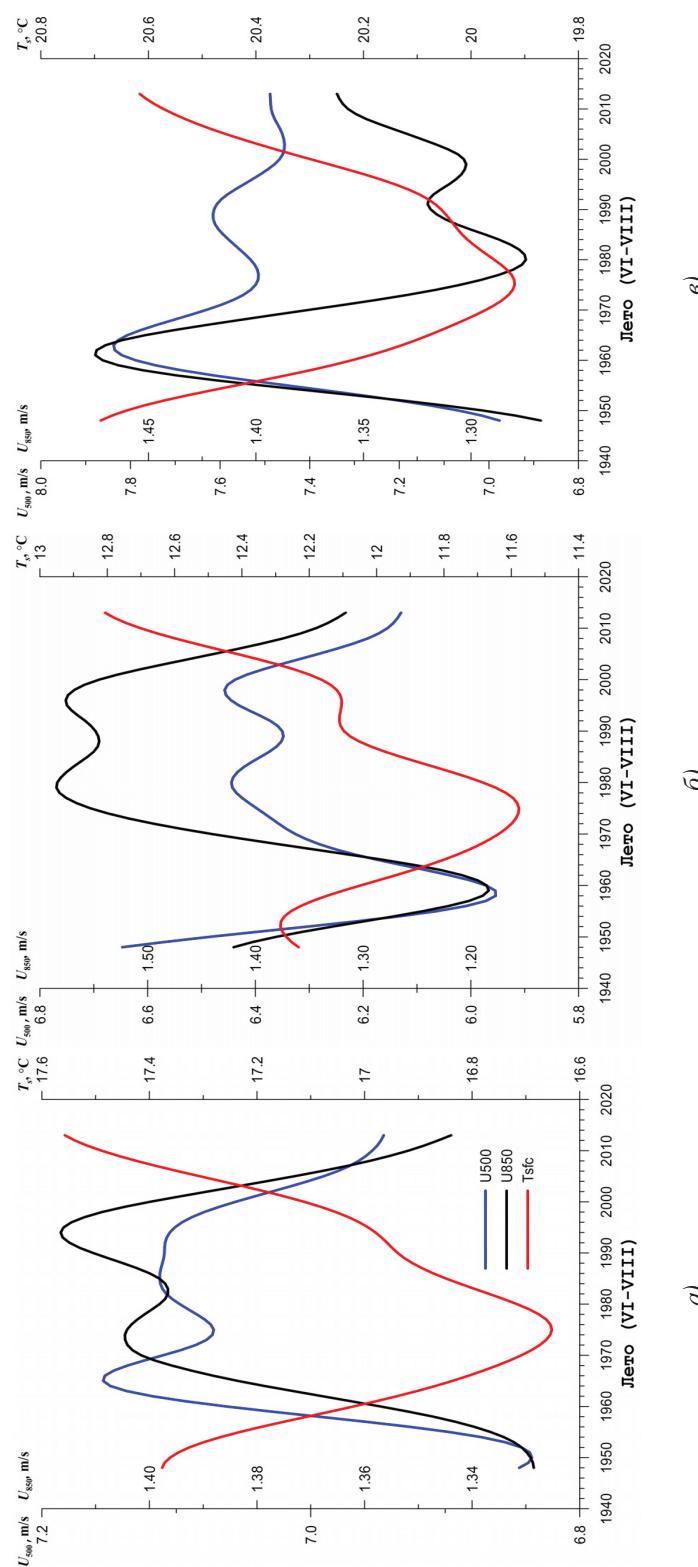


Рисунок 2.3 – НЧК (более 10 лет) приповерхностной температуры воздуха и зонального компонента скорости ветра на поверхности 850 и 500 гПа в умеренной зоне СП (а), северной (б) и южной (в) ее частях летом.

а) б) в)

В южной зоне ПТВ растет, ЗКС на АТ₈₅₀ также растет в последние годы, температурная кривая во всех зонах ведет себя одинаково: в 1975г. наблюдается минимум, а в 2013г. – максимум. Минимум ПТВ при максимуме ЗКС (рис. 2.3). И все же главная особенность та, что в последние годы ПТВ летом растет, а ЗКС уменьшается.

При рассмотрении хода НЧК аномалий зонального ветра во времени над сушей и океаном по сезонам выявляются следующие особенности: зимой наблюдается их хорошее согласование (в 1960г. отрицательные аномалии ЗКС над океаном и сушей совпадают, в 1990 – 2000гг. отмечается их усиление, затем ослабление). Летом над океаном с 1950г. отмечается усиление ветра и, начиная, с 1960 годов над сушей и океаном достаточно согласованно ЗКС уменьшается (рис. 2.4).

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены характеристики низкочастотных изменений приземной температуры воздуха в умеренной зоне СП в зимний и летний периоды. Наблюдается достаточно однородная картина. Зимой, в период 1948-1970гг. ПТВ понижается со скоростью 0,48°C/10 лет, далее до 2000г. идет ее рост со скоростью 0,51°C/10 лет, а начиная с 2000г., происходит понижение со скоростью 0,70°C/10 лет.

Летом, в целом по зоне, в период 1948 – 1975гг. (27 лет) происходило понижение ПТВ со скоростью 0,27°C/10 лет, затем ее рост в последние 38 лет со скоростью 0,24°C/10 лет. В северной части зоны картина менее однородна, но в последние 17 лет также наблюдается рост со скоростью 0,41°C/10 лет. В южной зоне в период 1948 – 1975гг. ПТВ понижалась (0,29°C/10 лет), а в последние 38 лет росла со скоростью 0,18°C/10 лет.

Расчет коэффициентов множественной корреляции ПТВ и компонентов скорости ветра на АТ₈₅₀ зимой и летом показал, что поле корреляции носит очаговый характер. Значения коэффициентов корреляции достигают значений 0,8. На АТ₅₀₀ картина в целом сохраняется. Коэффициенты парной и частной корреляции ПТВ и ЗКС зимой указывают на положительные связи над Евразией (океан отепляет континент), над океанами связи отрицательные, т.е. при усилении зонального переноса здесь происходит понижение температуры. Это соответствует выводам более ранних работ (Нестеров, 2013, Бардин, Полонский, 2005, Крыжов, 2003, 2008, Попова, Шмакин, 2010). Летом картина обратная для континентов. Корреляционная связь температуры с меридиональной составляющей в основном положительна. Корреляционные поля представлены на рис. 2.5.

Таким образом, главный вывод заключается в том, что после интенсивного зимнего потепления в последнее тридцатилетие XX столетия, с начала XXI столетия последовало интенсивное понижение зимней температуры. В летний период, начиная с 1975г. наблюдается рост ПТВ с большей скоростью в северной части умеренной зоны СП, что согласуется с выводами работы (Кононова, 2006), в которой отмечена возрастающая роль блокирующих процессов в Северном полушарии, развивающихся преимущественно над континентами зимой и летом, что приводит к повышению летних и понижению зимних температур, начиная с середины 90 годов, т.е. к росту годовой амплитуды температуры воздуха.

Рисунок 2.4 – а

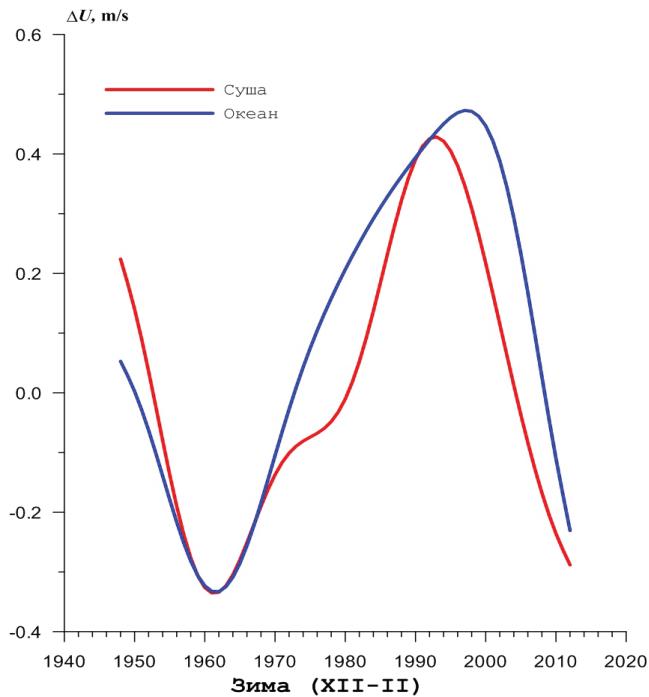


Рисунок 2.4 – б

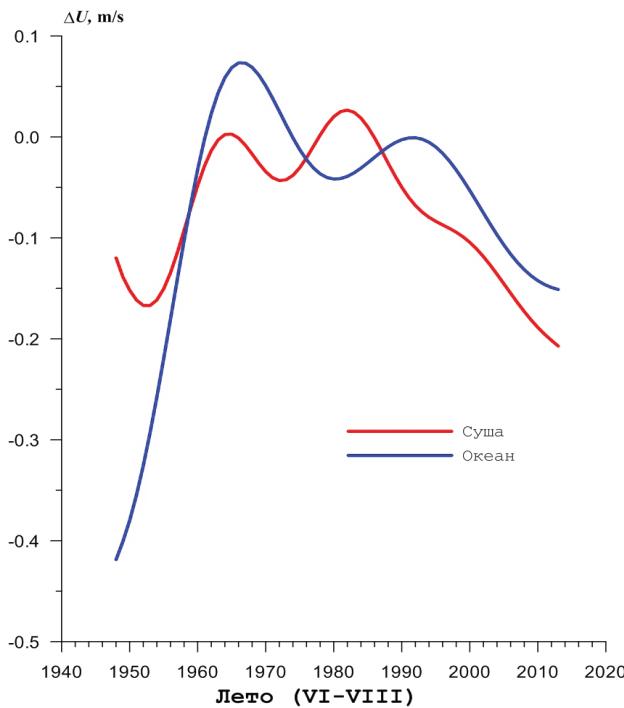


Рисунок 2.4 – НЧК (более 10 лет) аномалий зонального компонента скорости ветра в умеренной зоне СП над сушей и океаном на изобарической поверхности 500 гПа зимой и летом.

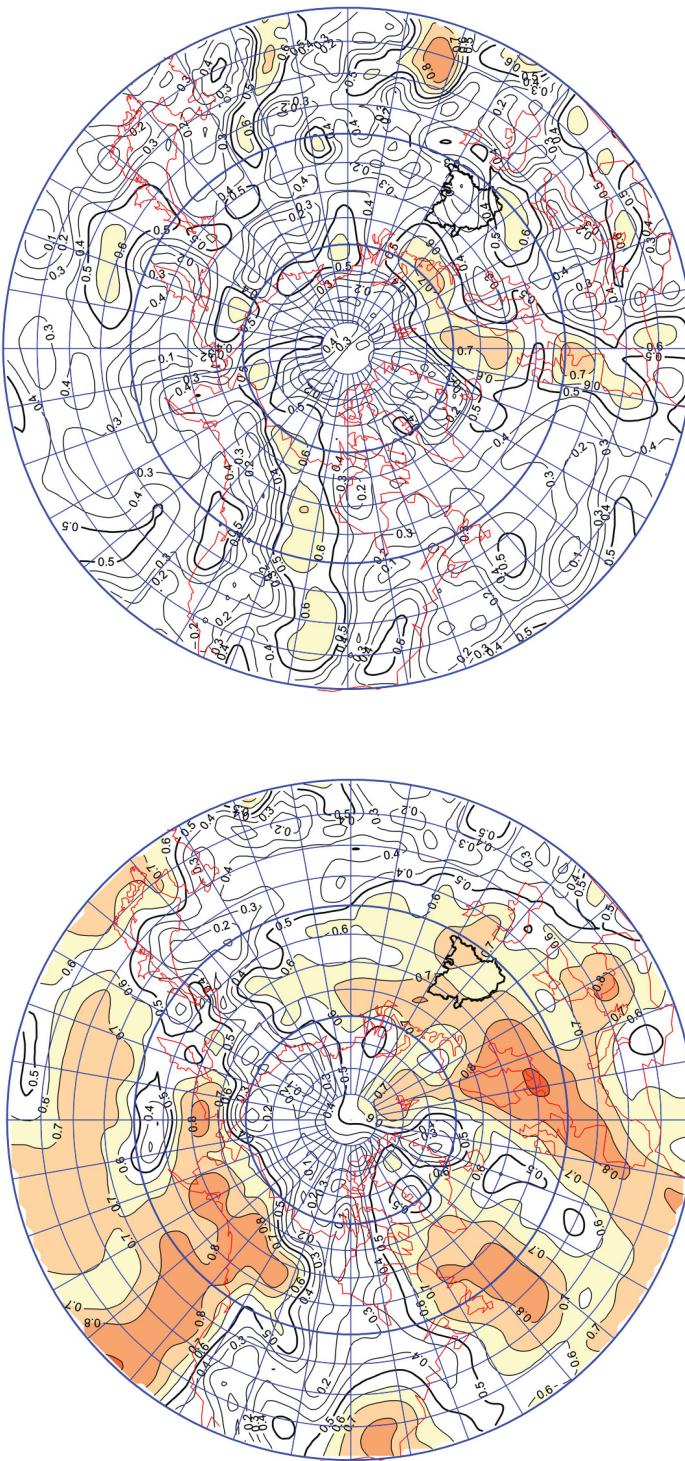


Рисунок 2.5 – Коэффициенты множественной корреляции приземной температуры воздуха и компонентов скорости ветра на изобарической поверхности 850 гПа зимой (слева) и летом (справа).

Анализ низкочастотных изменений ЗКС в нижней половине тропосферы в период 1948 – 2013гг. показывает, что в последние годы скорость зонального переноса уменьшилась, причем ее ослабление началось раньше, чем уменьшение ПТВ. Летом же имеет место ослабление ЗКС при продолжающемся росте ПТВ.

Заключение

Выполненное исследование динамики долгопериодных колебаний температуры воздуха и скорости ветра в атмосфере Северного полушария показало, что с начала XXI столетия зимние температуры стали понижаться, а летние, начиная с 1975г., наоборот, возрастать в широтной зоне 50 – 70°с.ш., что объясняется возрастающей ролью блокирующих процессов. Отмечается также ослабление зонального компонента скорости ветра. При этом около 60% изменчивости температуры определяется изменениями циркуляции.

В дальнейшем необходимо перейти к рассмотрению процессов по отдельным регионам Северного полушария с целью выявления региональных особенностей в долгопериодных изменениях температуры воздуха и скорости ветра, а также к рассмотрению зимних процессов в тропосфере с учетом зимних стрatosферных потеплений.

Переход от зонально осредненных характеристик к их более детальному представлению позволит подойти к постановке проблемы долгосрочного прогнозирования низкочастотных компонентов температуры воздуха и скорости ветра на региональном уровне.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(грант 15-05-06349).*

Литература

- Бардин М.Ю., Полонский А.Б. 2005. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период. Изв. РАН. ФАО, т.41, №2, с.3-13.
- Бардин М.Ю. 2011. Сценарные прогнозы изменения температуры воздуха для регионов Российской Федерации до 2030г. с использованием эмпирических стохастических моделей климата. Метеорология и гидрология, №4, с. 5-20.
- Володин М.Е., Дианский Н.А., Гусев А.В. 2010. Воспроизведение современного климата и помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM 4.0. Изв. РАН. ФАО, т.46, №4, с.448-466.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. –М.: 61 с.
- Груда Г.В., Ранькова Э.Я. 2009. Оценка изменений климата на территории Российской Федерации. Метеорология и гидрология, №11, с. 15-29.

- Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2012. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 194 с.
- Кононова Н.К. 2006. Изменение характера циркуляции атмосферы в последние десятилетия как фактор изменения климатических и ледовых условий Арктики. В кн. Материалы гляциологических исследований, выпуск 100, с. 191-199.
- Крыжов В.Н. 2003. Связь средних месячной, сезонной и годовой температур воздуха на севере России с индексами зональной циркуляции зимой. Метеорология и гидрология, №2, с.15-28.
- Крыжов В.Н. 2008. Причины похолоданий в ноябре в 1980-1999 годах на европейской территории России. Метеорология и гидрология, №1, с.5-13.
- Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под. ред. С.М. Семенова. Москва, Росгидромет, 2012, 508 с.
- Моханакумар К. 2011. Взаимодействие стратосферы и тропосферы. –М.: Физматлит, 452 с.
- Нестеров Е.С. 2013. Североатлантическое колебание: Атмосфера и океан. –М.: «Триада Лтд», 144 с.
- Отнес Р., Эноксон Л. 1982. Прикладной анализ временных рядов: Основные методы. –М.: Мир, 428 с.
- Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П. и др. 2005. Региональные проявления современного потепления климата в тропо- стратосфере Северного полушария. Изв. РАН, сер. геогр., №6, с. 6-16,
- Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. 2008. Метеорологические исследования в Казанском университете за 200-летний период (1805-2008 гг.). В кн. Университетская география в начале XXI века. Сборник статей. –М.: МАКС Пресс, с. 99-107.
- Переведенцев Ю.П. 2009. Теория климата: учебное пособие. Казань: Изд-во КГУ, 504 с.
- Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. 2011. Мониторинг глобальных и региональных изменений климата в тропосфере и стратосфере Северного полушария. В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. –М.: т. XXIV, с. 116-130.
- Попова В.В., Шмакин А.Б. 2010. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков. Изв. РАН. ФАО, т.46, №2, с.161-175.
- Семенов, 2012: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под. ред. С.М. Семенова. Москва, Росгидромет, 2012, 508 с.

- Сергин С.Я. 2008. Системная организация процессов геологического развития Земли. Белгород: Изд-во БелГУ, 360 с.
- Тихомиров Е.И. 1933. К вопросу об определении понятия климат. «Метеорологический вестник», №11-12, с. 305-312.
- Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Gray L.G., et al. 2010. Solar influences on climate. *Reviews of Geophysics*, 48, 4, RG4001.
- Kalnay et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, pp. 437-470.
- Kistler R. et al. 2001. The NCEP/NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, pp. 247-268.
- Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A. and Jones, P.D., 2012. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 dataset. *Journal of Geophysical Research*, 117, D08101.
- Osborn, T.J., Jones, P.D. 2014: The CRUTEM4 land-surface air temperature data set: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth System Science Data* 6, pp. 61-68.
- Parker D.E., Wilson H., Jones P.D. et al. 1996. The impact of Mount Pinatubo on world-wide temperatures. *International Journal of Climatology*, 16, pp. 487-497.
- Rayner, N.A., Brohan P., Parker D.E., et al. 2006. Improved analyses of changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 dataset. *Journal of Climate*, 19, pp. 446-469.
- Robock A. 2000. Volcanic eruption and climate. *Reviews of Geophysics*, 38, 2, pp. 191-219.
- Stenchikov G.L., Kirchner I., Robock A., H-F. Graf, et al. 1998. Radiative forcing from the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption. *Journal of Geophysical Research*, 103, D12, pp. 13837-13857.