

# ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И СКОРОСТИ ВЕТРА В АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

*Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.*  
Казанский федеральный (Приволжский)  
университет, Казань, Россия  
E-mail Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru

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 [5,8]. По современным представлениям климат отражает физическое, химическое и биологическое состояние компонентов земной климатической системы (атмосферы, океана, суши, криосферы, биоты) и поэтому для понимания его изменчивости необходима оценка динамики их параметров [1,3]. Особое внимание при этом следует уделить роли атмосферной циркуляции.

В докладе представлен анализ пространственно-временных изменений температурно-ветрового режима в целом по Северному полушарию, в зоне умеренных широт (30-70°с.ш.) в период 1948 – 2013 гг.

В качестве исходных материалов использованы временные ряды аномалий приповерхностной температуры по всему Земному шару с 1850 по 2013 гг. (объединенный массив данных CRU и центра Хэдли – HadCRUT4), с сайта группы исследования климата университета Восточной Англии, обозначаемые далее как данные CRU, а также данные NCEP/NCAR реанализа приповерхностной температуры воздуха, температуры и компонент скорости ветра в тропосфере и стратосфере (1948-2013 гг.) Северного полушария (СП) за последние 66 лет (1948-2013 гг.).

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 (30-70°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-

70°с.ш.), так и для ее северной (50-70°с.ш.) и южной (30-50°с.ш.) частей для зимнего и летнего периодов.

Проведено осреднение исследуемых метеовеличин по различным регионам умеренной зоны, исследовалась долгопериодная динамика полученных в результате осреднения временных рядов. Выделение низкочастотной компоненты осуществлялось с помощью НЧ фильтра Поттера [6] с точкой отсечения 10 и 30 лет и той же шириной окна.

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

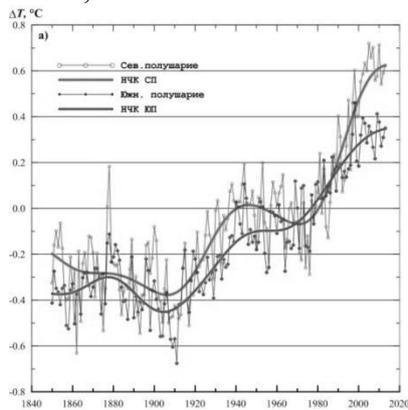
Рассмотрим временной ход аномалий осредненных по полушариям температур за период 1850 – 2013 г. по данным CRU. Кроме того, по данным реанализа проведем пространственно-временной анализ температуры за последние 60 лет от уровня Земли до 30 км и, после применения низкочастотной фильтрации, изучим ее долгопериодную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

Наблюдаются различия (рис. 1а 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 – 2013 гг. в 2005 г. (0,719°С) и в 2010 г. (0,713°С). В 2008 г. наблюдался локальный минимум – 0,558°С. В ЮП максимальная аномалия зафиксирована в 1998 г. (0,460°С) в период наиболее интенсивного явления Эль-Ниньо и далее началось ее снижение до 0,217°С в 2008 г., а в последующем опять отмечено ее увеличение.

Аномалия среднезимней температуры (декабрь – февраль) в СП ведет себя аналогично среднегодовой, ее максимум в СП отмечен в 2006/07 г. (0,880°С), в ЮП (июнь-август) она соответственно равна 0,696°С и зафиксирована в 1998 г. Далее происходит уже отмеченное понижение температуры южного полушария.

Аномалии осредненной по полушариям температуры за летний период ведут себя следующим образом. В СП (июнь - август) максимум в 0,750°С отмечен в 2010 г. (в 1998г. 0,708, а в 2008 г. 0,530°); в ЮП (декабрь – февраль) максимум отмечен в 1997/98 г. 0,521°,

(в 2009/10 г.  $0,457^{\circ}\text{C}$ ). Наклон сглаженных кривых показывает, что северное полушарие, где больше суши, летом прогревается более значительно, чем океаническое южное, где



большую охлаждающую роль играет ледниковая Антарктида.

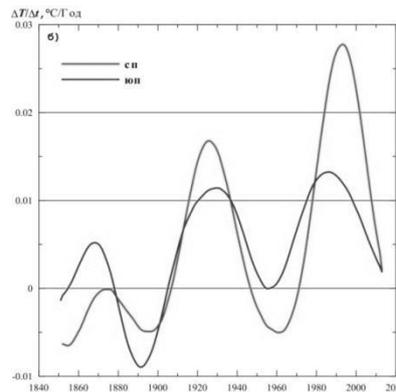


Рисунок 1. – (а) Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) северного (вверху) и южного (внизу) полушарий и ее долгопериодной компоненты (30 лет и более); (б) Многолетний ход скорости изменения ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) долгопериодной компоненты (30 лет и более) температуры северного и южного полушарий.

Отчетливо проявляется в ходе аномалий средней годовой приповерхностной температуры Северного полушария 60–70 летнее колебание (рис. 1б), а также более слабое 20-ти летнее наиболее активно проявляющее себя в периоды похолоданий (рис. 2б). Таким образом, при сохранении ансамбля 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 [7].

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. 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 1994 гг., 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.

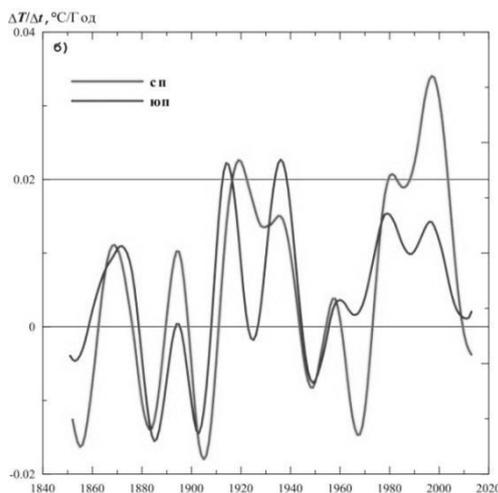
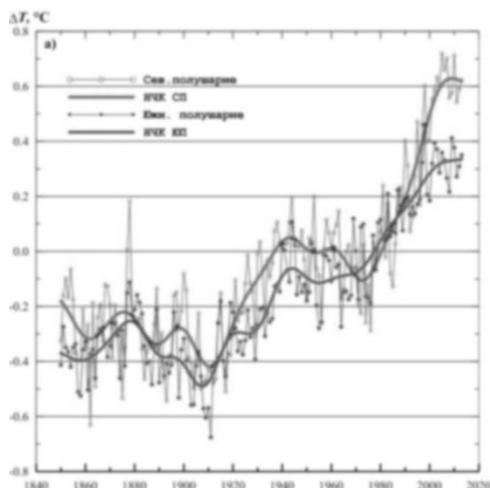


Рисунок 2. – (а) Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) северного (вверху) и южного (внизу) полушария ( $^{\circ}\text{C}$ ), сглаженный НЧ фильтром Оттера (полоса пропускания 10 лет и более). (б) Многолетний ход скорости изменения ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) средней годовой приземной температуры воздуха северного и южного полушария, сглаженной НЧ фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более).

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 –  $1,01^{\circ}\text{C}$ . Над океанической поверхностью наиболее активные температурные изменения происходят в северной части Индийского океана (к северу от экватора), где потепление продолжается 54 года (1956–2010 гг.) и составило  $0,82^{\circ}\text{C}$ .

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

Анализ вертикальных разрезов многолетнего хода скорости изменения низкочастотной компоненты (с периодом более 10 лет) средней годовой температуры (рис. 3) показывает, что в период 1972-2010 гг. в основной толще тропосферы наблюдалось потепление, причем наибольший прирост температуры за этот период наблюдается на уровне изобарической

поверхности 850 гПа (более  $1^{\circ}\text{C}$ ). 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  $0,69^{\circ}\text{C}$ .

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, то можно предположить, что в ближайшие годы в тропосфере, возможно, наступит похолодание. Процесс замедления потепления в тропосфере просматривается и в масштабах всего земного шара.

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

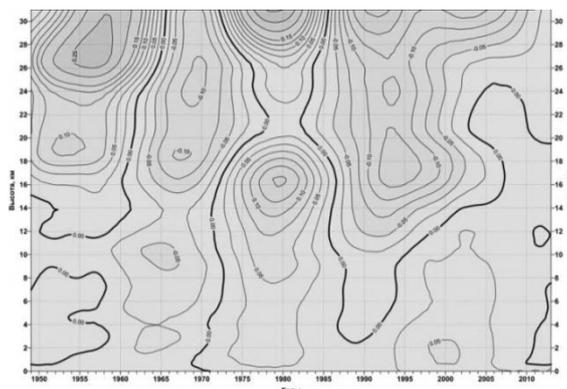


Рисунок 3. – Временной вертикальный разрез осредненных по территории Северного полушария изменений долгопериодной (10 и более лет) компоненты температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) по данным реанализа.

Летом картина усложняется: в широтной зоне  $0\text{--}20^{\circ}$  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 расширилась, сместилась на север. Зона западных движений в умеренных широтах ослабла. Очаги западных ветров со скоростями  $6 - 8$  м/с по-прежнему сохраняются над Атлантикой и Тихим океаном.

При переходе на уровень  $\text{AT}_{500}$  зональные потоки заметно усиливаются по сравнению с уровнем  $\text{AT}_{850}$ . Область западного переноса расширилась, скорости ветра в зоне  $30 - 40^{\circ}$  с.ш. над акваториями океанов достигли  $35$  м/с (Тихий океан), над Атлантикой –  $25$  м/с. Летом потоки заметно слабее.

При движении вдоль широтного круга осредненные в зонах  $50 - 70$  и  $30 - 50^{\circ}$  с.ш. зональные потоки демонстрируют следующие черты: в южной зоне сильный западный перенос с наибольшими значениями в области  $150^{\circ}$  в.д.,  $80^{\circ}$  з.д. и  $180^{\circ}$  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 компонент (НЧК). Анализ временного хода НЧК зональной компоненты скорости (ЗКС) и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в период с 1948 по 2013 гг. на изобарических поверхностях  $850$  и  $500$  гПа показывает: в умеренной зоне на  $\text{AT}_{850}$  наблюдается согласованный временной ход ЗКС и ПТВ – в

период  $1962\text{--}1970$  гг. наблюдается их минимум, а в период  $1990\text{--}2000$  гг. – максимум. Затем к  $2010$  г. 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  $\text{AT}_{850}$ , 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  $1975$  г. противофазность скоростей увеличивается, температура уменьшается, около  $1998$  г. максимумы ЗКС на  $\text{AT}_{850}$  и ПТВ совпадают, на  $\text{AT}_{500}$  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  $1975$  г. сопровождается понижением температуры, в последующие годы отмечается согласованный ход – рост ЗКС на двух уровнях в нижней тропосфере и рост ПТВ. Однако, начиная с  $2000$  г. наблюдается понижение как ЗКС, так и ПТВ (рис.4).

В летний период (рис.5), когда в умеренных широтах океан холоднее суши, имеет место противофазный характер изменений НЧК ПТВ и ЗКС. В целом по умеренной зоне в период  $1950 - 1996$  гг. наблюдается рост ЗКС и понижение ПТВ. В северной зоне картина проще, чем в южной. Наблюдается рост температуры в

последние годы и ослабление скорости ветра. В южной зоне ПТВ растет, ЗКС на  $AT_{850}$  также растет в последние годы, температурная кривая во всех зонах ведет себя одинаково: в 1975 г.

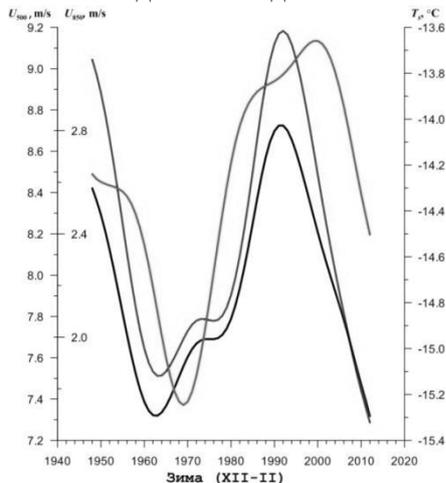
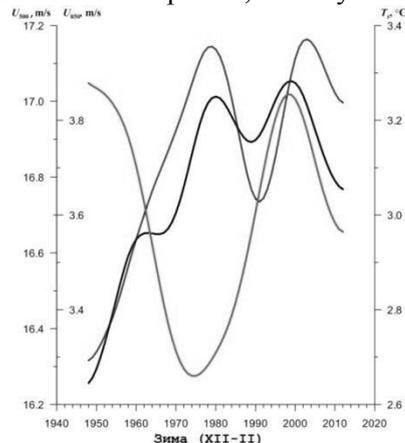


Рисунок 4. – НЧК (более 10 лет) приповерхностной температуры воздуха (красная линия) и зональной компоненты скорости ветра на поверхностях 850 (черная) и 500 гПа (синяя) в северной (вверху) и южной (внизу) частях умеренной зоны СП зимой.

наблюдается минимум, а в 2013 г. – максимум. Минимум ПТВ при максимуме ЗКС (рис.5). И все же главная особенность та, что в последние годы ПТВ летом растет, а ЗКС уменьшается.



Расчет коэффициентов множественной корреляции ПТВ и компонент скорости ветра на  $AT_{850}$  зимой и летом показал, что поле корреляции носит очаговый характер. Значения коэффициентов корреляции достигают значений 0,8. На  $AT_{500}$  картина в целом сохраняется. Коэффициенты парной и частной корреляции ПТВ и ЗКС зимой указывают на положительные

связи над Евразией (океан тепляет континент), над океанами связи отрицательные, т.е. при усилении зонального переноса здесь происходит понижение температуры. Летом картина обратная для континентов. Корреляционная связь температуры с меридиональной составляющей в основном положительна.

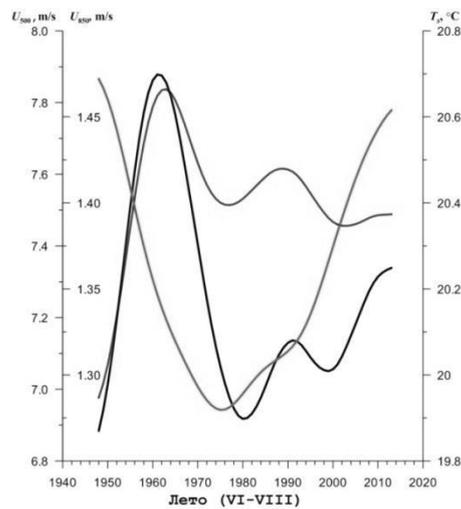
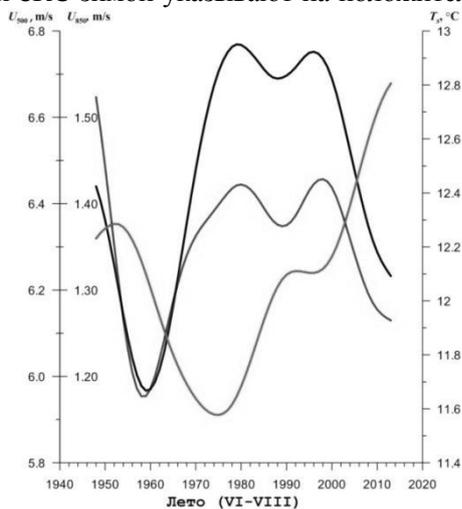


Рисунок 5. – НЧК (более 10 лет) приповерхностной температуры воздуха (красная линия) и зональной компоненты скорости ветра на поверхностях 850 (черная) и 500 гПа (синяя) в северной (вверху) и южной (внизу) частях умеренной зоны СП летом.

Таким образом, главный вывод заключается в том, что после интенсивного зимнего потепления в последнее 30-летие XX столетия, с начала XXI столетия последовало интенсивное понижение зимней температуры. В летний период, начиная с 1975 г. наблюдается рост ПТВ с большей скоростью в северной части умеренной зоны СП, что согласуется с выводами работы [4], 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-х годов, т.е. к росту годовой амплитуды температуры воздуха.

Анализ низкочастотных изменений ЗКС в нижней половине тропосферы в период 1948 – 2013 гг. 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 1975 г., наоборот, возрастать в широтной зоне 50–70° с.ш., что объясняется возрастающей ролью блокирующих процессов. Отмечается также ослабление зональной компоненты 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 рассмотреть зимние процессы в тропосфере с учетом зимних стратосферных потеплений.

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

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

#### Список использованных источников

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: – 2014. – 61 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Оценка изменений климата на территории Российской Федерации. / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова // Метеорология и гидрология. – 2009.–№11.– С. 15-29.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – 194 с.
4. Кононова Н.К. Изменение характера циркуляции атмосферы в последние десятилетия как фактор изменения климатических и ледовых условий Арктики. / Н.К. Кононова // В кн. Материалы гляциологических исследований. – 2006. – вып. 100. – С.191-199.
5. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. – Минск: «ТетраСистемс». – 2008. – 494 с.
6. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов: Основные методы. М.: Мир. – 1982. – 428 с.
7. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Метеорологические исследования в Казанском университете за 200-летний период (1805-2008 гг.). / Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский // В кн. Университетская география в начале XXI века. Сборник статей. М.: МАКС Пресс. – 2008. – С. 99-107.
8. 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.