

# НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВО ВНЕТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

*Ю.П. Переведенцев<sup>1</sup>, Р.М. Вильфанд<sup>2</sup>, К.М. Шанталинский<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет*

*<sup>2</sup>Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации  
ypereved@kpfu.ru*

## **Введение**

В данной статье главное внимание уделяется анализу пространственно-временного распределения приповерхностной температуры воздуха и атмосферного давления в период 1900–2014 гг. в широтной зоне 20–90° с. ш. в условиях современного глобального потепления климата.

Обобщающие материалы по проблемам изменения климата содержатся в [5, 20] и других научных изданиях. Безусловно, на первый план выходят вопросы, связанные с причинами изменений климата и ожидаемыми последствиями для природной среды и социума. В частности, в [3, 19] рассматривается вопрос о наличии альтернативы сценарию все ускоряющегося потепления климата из-за увеличения концентрации парниковых газов, где в качестве внешнего воздействия на климатическую систему рассматривается 180-летний цикл обращения Солнца вокруг центра масс Солнечной системы. На роль естественных факторов в современных изменениях климата указывается в [23, 24], согласно которым в зимний период в умеренных широтах мощные циркуляционные процессы, связанные с взаимодействием океана и атмосферы, вызывают

значительные колебания температуры с масштабами от межгодового до нескольких десятилетий, накладывающиеся на общий процесс глобального потепления и существенно изменяющие его проявление. Согласно [2], динамика современного климата определяется тремя наблюдаемыми компонентами циркуляции: относительно высокочастотными вынужденными возмущениями (периоды 2–8 лет), циклическими колебаниями (20–50 лет), вековым трендом. Роль естественных факторов в происходящих современных изменениях климата обсуждается также в [4, 9–12, 15].

### **Материалы и методика исследований**

В качестве исходных материалов использовались временные ряды приповерхностной температуры воздуха и атмосферного давления в узлах регулярной широтно-долготной сетки за период 1900–2014 гг., подготовленных Отделом климатических исследований Университета Восточной Англии (ряд CRU) [18, 21, 22]. Авторы располагали данными по температуре воздуха в период 1900–2014 гг. и атмосферному давлению в период 1900–2000 гг.

Вначале в каждом узле вычислялись многолетние средние значения для января и июля по всему указанному периоду как для температуры  $T$ , так и для давления  $P$ . Затем строились карты распределения средних многолетних значений  $P$  и  $T$  как в целом по всему периоду, так и по более коротким: 1900–1929, 1930–1959, 1960–1987, 1988–2000, 1988–2014 гг. Затем были построены разностные карты путем вычитания данных более раннего периода из более позднего. Сходство полей определялось как визуально, так и по рассчитанному критерию аналогичности  $\rho$ . С использованием метода композитов оценивалось влияние ряда циркуляционных колебаний на термический режим Северного полушария.

Для выяснения возможности продления ряда давления в умеренной зоне СП были вычислены средние, дисперсии и коэффициенты линейной корреляции между рядами давления в умеренной зоне по данным CRU и NCEP-DOE реанализа за перекрывающийся период с 1979 по 2000 год.

Было установлено, что коэффициенты корреляции за указанный период для разных месяцев года изменяются в пределах

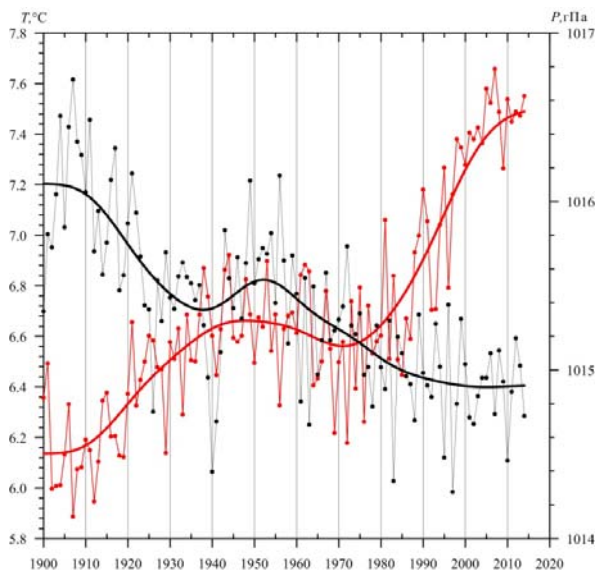
0,96–0,98, а выборочные средние и дисперсии не отличаются на уровне значимости 0,05. В результате методом линейной регрессии ряд давления CRU в умеренной зоне СП был продлен до 2014 г. по данным реанализа NCEP-DOE, что позволило рассмотреть долгопериодные колебания  $P$  и  $T$  в центрах действия атмосферы и на территории Приволжского федерального округа.

С целью определения общей тенденции изменения температуры и давления в умеренной зоне СП (32,5–67,5° с. ш.) в период 1900–2014 гг. исходные данные в узлах сетки осреднялись по всей широтной полосе для января, июля и года в целом. Полученные временные ряды подвергались статистической обработке. Кроме этого, они сглаживались с помощью фильтра Поттера для оценки долгопериодной изменчивости, т. е. отфильтровывались волны с периодом меньше 20 лет.

### **Анализ результатов**

Анализ рис. 1 показывает, что многолетний ход среднегодовой температуры воздуха (СГТВ) в 115-летний период (1900–2014 гг.) испытывал определенные колебания. Так, с 1900 по 1945 г. наблюдался прирост температуры на 0,52 °С, затем СГТВ плавно понижалась до 1970 г. примерно на 0,1 °С в связи с небольшим похолоданием климата, и начиная с начала 1970-х годов наблюдается активная фаза потепления. Прирост температуры составил около 0,9 °С. В то же время кривая атмосферного давления указывает на тенденцию его падения, за исключением небольшого периода 1935–1952 гг., когда оно возрастало. Таким образом, в периоды 1900–1935 и 1975–2014 гг. наблюдался противофазный ход атмосферного давления и температуры воздуха в умеренной широтной зоне, что свидетельствует об усилении циклонической активности в периоды потепления климата в начале XX столетия и в последние десятилетия на рубеже XX–XXI вв. В целом подобная закономерность отмечается также в январе и июле.

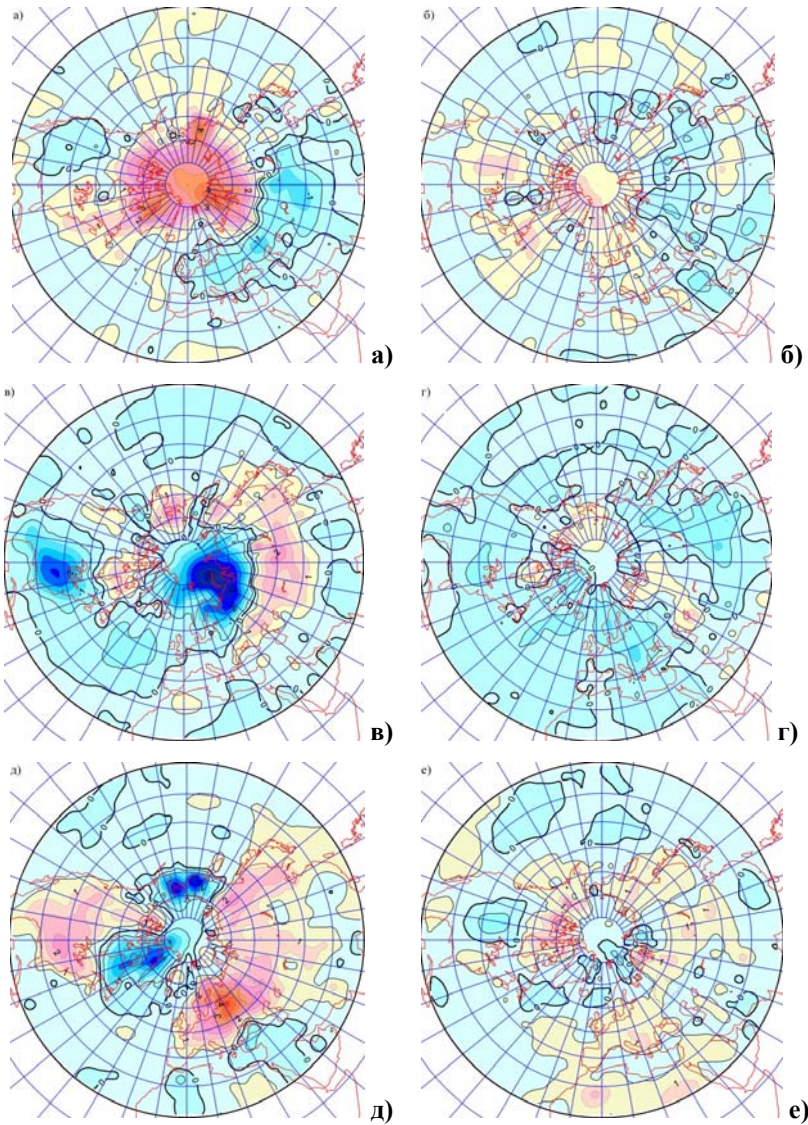
Были построены карты средних полей температуры воздуха и приземного давления для января и июля во внетропическом поясе от 20° с. ш. до Северного полюса по ранее рассчитанным средним значениям в узлах сетки за длительный период (по температуре с 1900 по 2014 г., по давлению с 1900 по 2000 год).



**Рис. 1. Многолетний ход средних годовых значений (исходные данные и НЧК с периодом более 20 лет) давления, приведенного к уровню моря (черная линия), и приземной температуры воздуха (красная линия).**

Структура полей, представленных на этих картах, в целом хорошо воспроизводит известные климатические закономерности пространственного распределения рассматриваемых метеорологических величин. В частности, в январе на климатической карте давления выделяются Исландский и Алеутский минимумы, Сибирский максимум, а в июле Гонолульский и Азорский максимум, а также обширная Азиатская депрессия.

Для анализа развития климатических процессов в 1900–2014 гг. анализировались разности приповерхностной температуры воздуха и атмосферного давления между выделенными периодами. Как видно из рис. 2 а, январь в период 1930–1959 гг. оказался значительно теплее по сравнению с январем 1900–1929 гг. в полярной области, на севере Евразии  $\Delta T$  достигает 3 °С, на крайнем северо-востоке Сибири в районе Чукотки  $\Delta T = 3\text{--}4$  °С.



**Рис. 2.** Разности средних значений температуры периодов 1930–1959 и 1900–1929 гг. (а, б); 1960–1987 и 1930–1959 гг. (в, г); 1988–2000 и 1960–1987 гг. (д, е) в январе (слева) и июле (справа).

В Западном полушарии на территории Канадского архипелага и Гренландии также заметно потеплело (на 2–3 °С). Согласно [1], наиболее легкие ледовые условия в Северо-Европейском бассейне и сибирских арктических морях пришлось на 1930–1950-е годы, что соответствует полученным результатам. Однако в Европе и на большей части Азиатского континента температура понизилась примерно на 1 °С.

В период 1960–1987 гг. по сравнению с 1930–1959 гг. (рис. 2 в) ситуация коренным образом изменилась: в Арктике, на севере Европы и Азии температура понизилась на 3 °С, однако более южные районы Азии заняты положительной аномалией температуры ( $\Delta T = 2$  °С). На юго-востоке США отмечается очаг холода до -2 °С, на большей части территории СП различия между сравниваемыми периодами невелики, преобладает похолодание. Следует отметить, что, согласно данным рис. 2 в, в приатлантической и притихоокеанской частях Арктики формируются аномалии температуры противоположного знака.

В период 1988–2000 гг. по сравнению с 1960–1987 гг. (рис. 2 д) наблюдается понижение температуры на северо-востоке Северной Америки и в районе Алеутской депрессии ( $\Delta T = -2$  °С). Евразия и большая часть Североамериканского континента, в отличие от акваторий Атлантического и Тихого океанов, к концу столетия значительно прогрелись ( $\Delta T \approx 4$  °С). В заключительный период 1988–2014 гг. по сравнению с 1960–1987 гг. наблюдается значительное потепление на континентах до 2–3 °С и охлаждение в акватории Северной Атлантики, и особенно в районе Алеутской депрессии, где ( $\Delta T = -2$  °С).

В июле перестроечные процессы выражены заметно слабее относительно январских (рис. 2 б, г, е). Выделяются два периода: 1960–1987 гг., когда практически повсеместно (за исключением восточной Арктики) похолодало по сравнению с 1930–1959 гг. (рис. 2 г), и заключительный теплый период 1988–2014 гг. В эту наиболее активную фазу глобального потепления климата июльские температуры заметно повысились по сравнению с 1960–1987 гг. над Европейским континентом, Северной Африкой, северо-востоком Северной Америки, восточной Азией. В то же

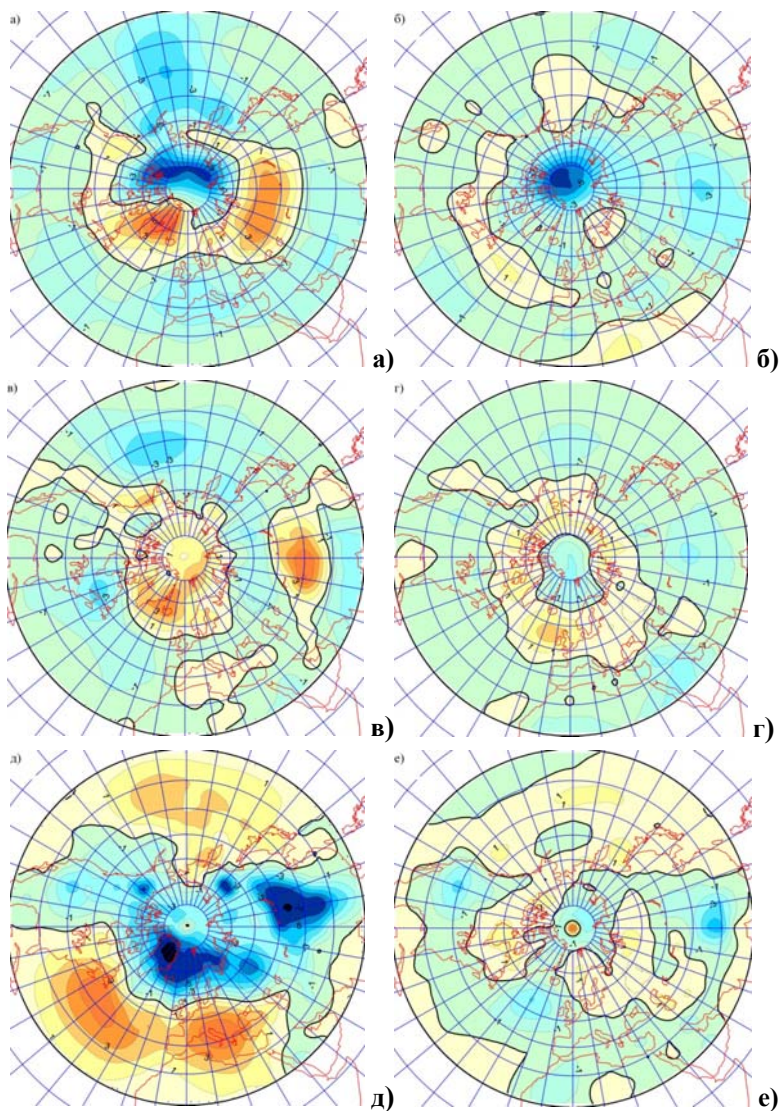
время потепление не коснулось значительной части акватории Тихого и Атлантического океанов (рис. 2 е).

Разница между полями давления в январе в периоды 1930–1959 и 1900–1929 гг. (рис. 3 а) указывает на понижение  $P$  в центральной Арктике ( $\Delta P = -5$  гПа), в области Алеутской депрессии ( $\Delta P = -3$  гПа), и рост в полосе от запада Североамериканского континента до Чукотки с очагами на Гренландии ( $\Delta P = 5$  гПа), в Сибири ( $\Delta P = 3$  гПа), остальная территория СП занята слабым понижением в поле давления (на 1 гПа). Особенно резкие изменения произошли между 1988–2000 и 1960–1987 гг. (рис. 3 д).

Большая часть Североамериканского континента, весь Арктический район с примыкающей Северной Атлантикой и Азиатский континент заняты отрицательной аномалией давления. Очаги отмечаются в районе Исландской депрессии ( $-7$  гПа) и Сибирского максимума ( $-7$  гПа). В это же время наблюдается некоторое ослабление Алеутской депрессии (слабый рост давления), усиление Азорского максимума ( $+3$  гПа) и рост  $P$  в Средиземноморье ( $\Delta P = 3$  гПа). Для январских условий четко прослеживается закономерность: противофазный характер колебаний атмосферного давления в приатлантической и притихоокеанской частях Арктики. Отметим, что в [6] также выявлена связь между солнечной активностью и формированием взаимосвязанных аномалий приземного давления воздуха противоположного знака в приатлантической и притихоокеанской частях Арктики. Здесь же физический механизм отмеченного явления не рассматривается.

В июле (рис. 3 б) произошло наиболее существенное понижение  $P$  в центре Арктики на 5 гПа в период 1930–1959 гг. по сравнению с 1900–1929 гг. и в целом достаточно умеренное по СП. В заключительный период 1988–2000 гг. по сравнению с 1960–1987 гг. над Северной Атлантикой давление слабо падает ( $-1$  гПа), над акваторией северной части Тихого океана происходит слабый рост  $P$  ( $+1$  гПа). В районе Китая сформировался очаг падения  $P$  на 3 гПа (рис. 3 е). Таким образом, перестройка барического поля происходит более радикально в зимний период, чем в летний, что сказывается на структуре и интенсивности поля скоростей ветра.





**Рис. 3. Разности средних значений давления периодов 1930–1959 и 1900–1929 гг. (а, б); 1960–1987 и 1930–1959 гг. (в, г); 1988–2000 и 1960–1987 гг. (д, е) в январе (слева) и июле (справа).**



Для оценки геометрического сходства полученных за разные периоды полей аномалий температуры воздуха и атмосферного давления использовался известный критерий аналогичности  $\rho$  [8]:

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{k}, \quad (1)$$

где  $k$  – общее количество узлов регулярной сетки;  $n_+$  – количество узлов, где знаки аномалий двух полей совпадают;  $n_-$  – количество узлов, где знаки аномалий полей противоположные. Значения критерия изменяются в пределах  $-1 \leq \rho \leq 1$ .

Рассчитанные значения  $\rho$  за различные периоды XX–XXI столетий для полей аномалий температуры и давления для широтной зоны 27,5–67,5° с. ш. представлены в табл. 1 и 2.

*Таблица 1*

**Значения показателя подобия полей аномалий температуры за различные периоды для широтной зоны (27,5–67,5° с. ш.)**

Период	Январь				Июль			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
I	1	-0,19	0,16	0,22	1	-0,39	0,28	0,44
II	-0,19	1	0,15	0,17	-0,39	1	-0,18	-0,19
III	0,16	0,15	1	0,86	0,28	-0,18	1	0,79
IV	0,22	0,17	0,86	1	0,44	-0,19	0,79	1

*Примечания:* I – (1930–1959) – (1900–1929) гг.; II – (1960–1987) – (1930–1959) гг.; III – (1988–2000) – (1960–1987) гг.; IV – (1988–2014) – (1960–1987) гг.

Как видно из табл. 1, в поле температуры воздуха наиболее тесно связаны значения разностей полученных для двух соседних периодов III и IV  $\rho = 0,86$  в январе и в июле  $\rho = 0,79$ . В январе в целом сходство в рассматриваемых полях не столь велико ( $\rho$  меняется в пределах от -0,19 до 0,22). В июле значения  $\rho$  заметно возрастают, колеблются в пределах от -0,39 до 0,44, что свидетельствует о более стабильном характере процессов.

Таблица 2

**Значения показателя подобия полей аномалий давления  
за различные периоды для широтной зоны (27,5–67,5° с. ш.)**

Период	Январь			Июль		
	I	II	III	I	II	III
I	1	0,26	-0,33	1	-0,02	-0,09
II	0,26	1	-0,35	-0,26	1	0,17
III	-0,33	-0,35	1	-0,09	0,17	1

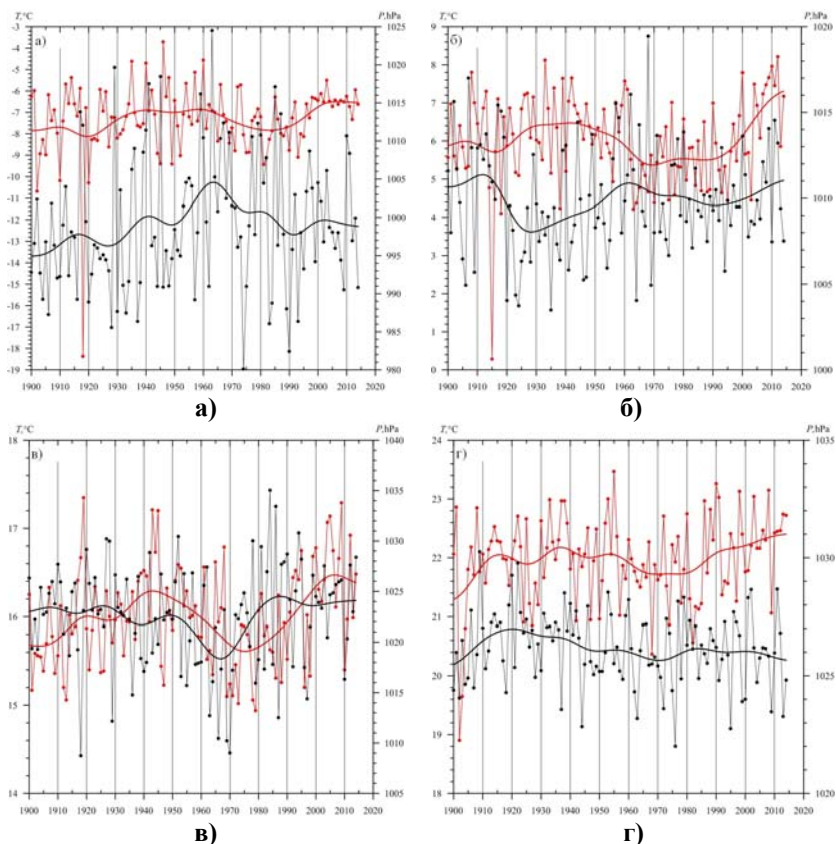
*Примечания:* I – (1930–1959) – (1900–1929) гг.; II – (1960–1987) – (1930–1959) гг.; III – (1988–2000) – (1960–1987) гг.

Для атмосферного давления показатели  $\rho$  меняются в диапазоне от -0,35 до 0,26 в январе и от -0,02 до 0,17 в июле, т. е. совпадение значений разностей  $P$  в различные периоды в узлах не столь велико, что свидетельствует о значительной индивидуальности рассматриваемых периодов.

Как известно, значительную роль в формировании погодных и климатических аномалий в СП играют компоненты атмосферной циркуляции под названием центры действия атмосферы (ЦДА). Рассмотрим многолетнее поведение сглаженных с помощью фильтра Поттера временных рядов температуры воздуха и атмосферного давления (низкочастотных компонент с периодом более 20 лет) в центрах действия атмосферы СП в период 1900–2014 гг.

Рассмотрим вначале циркуляционную пару: Исландский минимум и Азорский максимум. В области Исландского минимума в январе НЧК температуры и давления в период 1900–2014 гг. испытывают небольшие колебания (рис. 4 а). Начиная с 1980-х годов температура повысилась до -6,5 °С примерно на 1,2 °С, а давление после достижения своего максимума в 1965 г. (~1004 гПа) стало понижаться, достигнув к концу рассматриваемого периода 999 гПа. Безусловно, кривая давления отражает более сложную динамику, чем кривая температуры. В июле температура воздуха (рис. 4 б) начиная с 1990 г. по настоящее время находится в активной фазе роста, она повысилась с 5,5 до 7,3 °С, и если раньше

давление и температура колебались в противофазе (1910–1960 гг.), то в заключительный период давление также испытывает слабый рост и достигло 1011 гПа. Отметим, что в 1925 г. давление в Исландском ЦДА достигло своего минимума (1008 гПа).



**Рис. 4. Многолетний ход давления (черная линия) и температуры воздуха (красная линия) в области Исландского минимума (а, б) и Азорского максимума (в, г) в январе (а, в) и июле (б, г).**

В районе Азорского максимума в январе (рис. 4 в) картина более сложная, чем для Исландского минимума: происходят

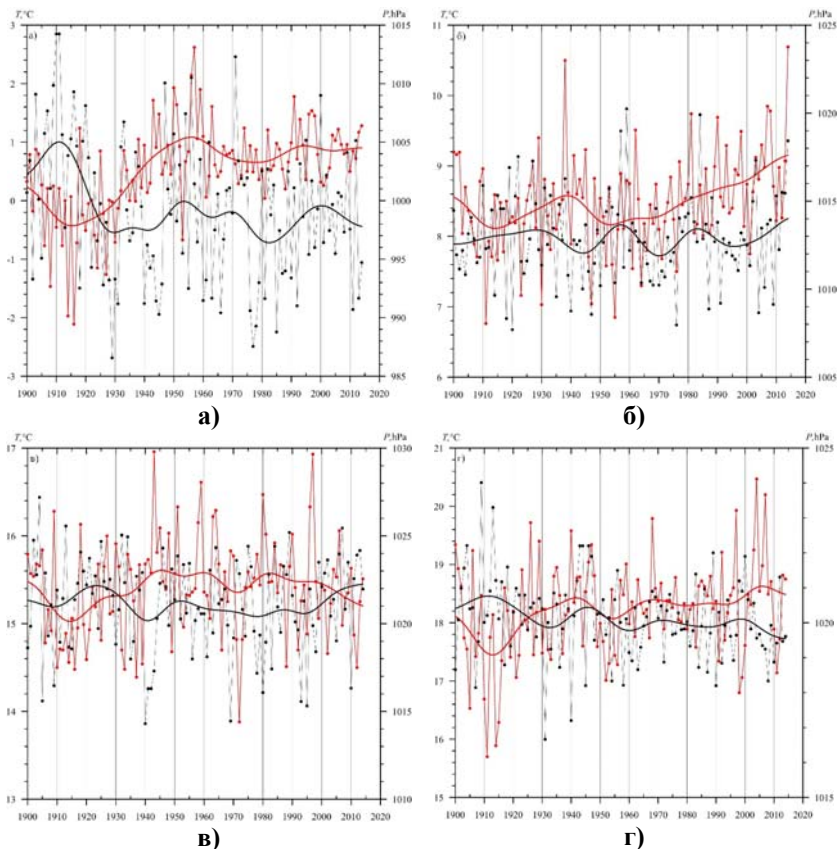
волнообразные колебания НЧК  $P$  и  $T$ , при этом с 1965 г. давление повысилось с 1018 до 1024 гПа (1990 г.), а затем пошло на понижение. Температура с 1975 г. повысилась от 15,6 до 16,4 °С в 2005 г. и далее стала понижаться. В июле (рис. 4 г) наблюдаются плавные слабые изменения термодинамических параметров, при этом с 1980 г. температура слегка растет и достигла к 2014 г. 22,4 °С, а давление, наоборот, испытывает слабое падение и к концу рассматриваемого периода опустилось до 1025,6 гПа.

Анализ НЧК температуры воздуха и атмосферного давления в Северо-Тихоокеанской паре – Алеутском минимуме и Гонолульском максимуме – показал, что в январе (рис. 5 а) в Алеутском минимуме наиболее интересным является факт падения атмосферного давления в период с 1910 по 1930 г. на 7,5 гПа (с 1005,0 до 997,5 гПа) и рост температуры на 1,2 °С с 1910 по 2014 г. В июле (рис. 5 б) наблюдается заметное повышение температуры на величину около 1 °С с 1950 г. по настоящее время. Кривая НЧК давления испытывает колебания с небольшой амплитудой. Сравнение временного хода НЧК давления в Исландской и Алеутской депрессиях указывает на противофазный характер их колебаний.

В области Гонолульского максимума как в январе, так и в июле (рис. 5 в, г) термобарические процессы протекают достаточно стабильно. Не наблюдается значительных временных изменений. Можно отметить лишь небольшое понижение температуры и рост давления в последние десятилетия в январе, а в июле слабое понижение и давления, и температуры воздуха в последние годы.

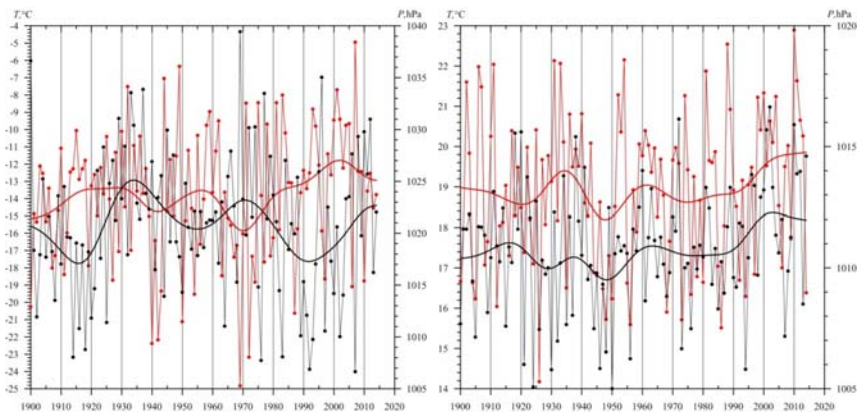
Следует отметить, что рассмотренный многолетний ход термодинамических параметров в ЦДА находит свое отражение в динамике североатлантического колебания (NAO) и западно-тихоокеанского колебания (WP), в значительной степени влияющих на погодные условия Северной Евразии и Северной Америки соответственно.

Что касается Сибирского максимума, то наблюдается резкое январское понижение давления с конца 1960-х гг. до 1994 г. с 1039 до 1030 гПа. После этого давление стало расти и достигло 1036 гПа в конце периода. Температура изменялась в противофазе с давлением и испытывала начиная с 1930-х гг. до 1990 г. весьма заметный рост (с -25,6 до -22,2 °С). В заключительной фазе с 1990 г. наблюдается слабое понижение НЧК температуры.



**Рис. 5. Многолетний ход давления (черная линия) и температуры воздуха (красная линия) в области Алеутского минимума (а, б) и Гонолульского максимума (в, г) в январе (а, в) и июле (б, г).**

Европейская часть России, включая ПФО, в зимнее время часто подвергается воздействиям со стороны Северной Атлантики. Согласно [14], обнаруживается достаточно тесная корреляция между циркуляционными модами североатлантического колебания и арктической осцилляции, с одной стороны, и температурой воздуха и атмосферным давлением ПФО, с другой. Многолетний ход НЧК давления и температуры представлен на рис. 6.



**Рис. 6. Многолетний ход давления (черная линия) и температуры воздуха в области ПФО в январе (слева) и июле (справа).**

Как видно из рисунка, в январе  $P$  и  $T$  меняются в противофазе. При этом визуально можно выделить три периода в ходе кривых 1900–1930, 1930–1980 и 1980–2014 гг. Средний период отличается своей неустойчивостью, в последнем периоде температура интенсивно повышалась с 1970 по 2005 г. с  $-15,8$  до  $-11,4$  °C (в последние годы происходит ее снижение), давление начиная с 1990 г. растет с 1017 до 1023 гПа. Таким образом, зимний процесс отличается своей активностью на территории ПФО.

В июле колебания  $P$  и  $T$  происходят достаточно плавно. В последние десятилетия температура повышается, а давление с 2004 г. слабо падает.

В заключительной части статьи рассмотрим влияние ряда пространственно-временных мод, характеризующих межгодовую изменчивость поля давления во внетропических широтах Северного полушария, на приповерхностную температуру воздуха. В качестве меры изменчивости таких мод обычно используются циркуляционные индексы, которые рассчитывают на основании разложения полей давления или геопотенциала на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ).

В качестве исходного материала использовались следующие индексы: североатлантическое колебание (САК), арктическая ос-

цилляция (АО), скандинавское колебание (СК), восточно-атлантическое колебание (ВАК), восточно-атлантическое-западно-российское колебание (ВАЗРК) в период 1950–2014 гг. для января и июля. Поле приповерхностной температуры воздуха в широтной зоне 20–90° с. ш. было представлено данными в узлах регулярной сетки (данные CRU) для января и июля в 1950–2014 гг.

Характеристика циркуляционных индексов дана в ряде работ, например в [13, 16]. Важно отметить, что вышеперечисленные индексы циркуляции характеризуют временные изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и имеют географическую привязку [17].

В качестве основного метода статистической обработки исходных данных был выбран композитный анализ [16]. Следуя этой работе, для выделения чистого сигнала, соответствующего влиянию отдельной циркуляционной моды на термический режим рассматриваемой территории, были выполнены следующие операции. Вначале для конкретного месяца составлялся временной ряд одного из индексов циркуляции с вычислением его среднего значения и среднего квадратического отклонения  $\sigma$  (СКО). Затем формировались выборки аномальных лет, в которых значение индекса циркуляции либо превышает среднее значение на величину  $\sigma$  и более или, наоборот, меньше на  $\sigma$ .

Для полученных выборок лет (с положительными и отрицательными фазами колебаний циркуляции атмосферы) подбирались среднемесячные значения температуры воздуха в каждом узле исходной сетки. Для вновь сформированных выборок метеовеличин находились средние значения, дисперсии и СКО. На заключительном этапе получен чистый сигнал посредством определения разности между средними по выборкам для каждого узла сетки, т. е. разностный композит. Статистическая значимость полученных сигналов была определена по стандартному алгоритму с использованием критерия Стьюдента.

Рассмотрим результаты расчетов по каждому из пяти колебаний.

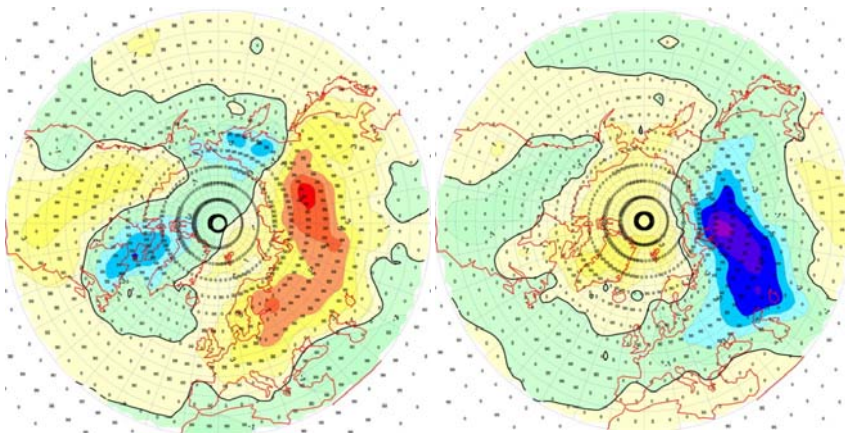
1. Влияние САК. Как известно, индекс САК отображает многолетние колебания интенсивности зонального переноса над



внетропической зоной Северной Атлантики. Влияние САК на температурное поле наиболее велико в зимний период. В январе значительная часть Евразии находится под влиянием САК. Значение разностного композита в  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  с высокой степенью достоверности выделяемого сигнала (95%-ный доверительный уровень) наблюдается на обширной территории Западной и Восточной Европы, Сибири, Центральной Азии и Дальнего Востока. Максимального значения величина разностного композита в  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (результат значим на 99%-ном уровне) достигает на территории Центральной и Восточной Европы и в Средней Сибири. В то же время в Западном полушарии выделяется очаг с отрицательным значением композита в  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что объясняется затоком холодного воздуха с Арктики вдоль западного побережья Гренландии.

2. Влияние АО. Сравнение полученных карт композитов для САК и АО отмечает их значительное сходство. Максимальная активность АО проявляется в Восточном полушарии, где на территории Восточной Европы и Сибири разностные композиты достигают  $+7$  и  $+9\text{ }^{\circ}\text{C}$  с высокой статистической значимостью выделяемого сигнала (99%-ный доверительный уровень). Ареал со значением разностного композита приповерхностной температуры воздуха  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  занимает обширную территорию Евразии. В то же время в Западном полушарии в районе Восточного побережья Северной Америки значение разностного композита  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В июле поле композитов слабее. Лишь в Восточной Европе и на территории Северной Америки выделяются зоны со значением разностного композита в  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 7).

3. Влияние СК. Воздействие СК проявляется противоположным образом относительно АО и САК. Так, в январе область отрицательных значений СК захватывает Восточную Европу, Западную и Среднюю Сибирь. Значение разностного композита  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В центре этой области происходит усиление влияния СК до  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В то же время на большей части Арктического бассейна отмечаются положительные значения композита  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В летний период влияние СК значительно ослаблено. Выделяются отдельные ареалы со значением композита в  $-1$  и  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 7).



**Рис. 7. Поле разностного композита приповерхностной температуры для индекса АО (слева) и SCAND (справа) в январе (1950–2014 гг.).**

4. Влияние ВАК. Индекс ВАК определяет интенсивность зональной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе в зимний период. В январе в поле разностных композитов для приземной температуры выделяется обширная территория Евразии, где значение композитов меняется от +1 до +3 °С. Аналогичная область сформировалась в Северной Америке. Отрицательные значения композитов отмечаются в южной и восточной части Арктического бассейна и в районе Колымы и Чукотки (-1 °С). В июле поле разностного композита температуры достаточно однородное. Значения композита достигают на значительной части территории +1 °С. По сравнению с полем САК и АО роль индекса ЕА невелика, что отражается в структуре поля композитов.

5. Влияние ВАЗРК. Влияние этого фактора также заметно уступает САК и АО. В январе лишь в Средней Сибири и в центре Америки значения композита +3 °С, в северо-восточной части Европы сформировался очаг с разностью в -5 °С. В июле значения композитов невелики, достигают +1 и -1 °С в отдельных регионах.

Таким образом, лишь три осцилляции – САК, АО и СК – оказывают крупномасштабное и интенсивное влияние на температурный режим Северного полушария (20–90° с. ш.) в зимний период,

что свидетельствует о ведущей роли циркуляционного механизма в формировании крупных аномалий температуры воздуха.

### **Выводы**

1. Изменения сглаженных временных рядов приповерхностной температуры воздуха и атмосферного давления, осредненных по широтной зоне 32,5–67,5° с. ш., в период 1900–2014 гг. происходят в противофазе.

2. Анализ разностных карт приповерхностной температуры воздуха и атмосферного давления в широтной зоне 20–90° с. ш. выявил противофазный характер их поведения: так, в начале века (1900–1929 гг.) в поле давления преобладала тенденция к росту, а в поле температуры воздуха к ее понижению. Похолодание происходило на фоне высокого давления. В период 1988–2000 гг., напротив, потепление климата происходило на пониженном фоне атмосферного давления.

3. Выполнен низкочастотный анализ с помощью фильтра Поттера среднеянварской и среднеиюльской приповерхностной температуры и атмосферного давления для ряда территорий – Исландского и Алеутского минимумов, Азорского, Гонулульского и Сибирского максимумов, территории Приволжского федерального округа.

4. Низкочастотные колебания атмосферного давления в Исландской и Алеутской депрессиях имеют противофазный характер.

5. Анализ низкочастотной компоненты температуры воздуха на территории Приволжского федерального округа выявил ее рост в период с 1970 по 2005 г. с -15,8 до -11,4 °С в январе, в июле происходит устойчивое повышение температуры воздуха с 1970-х гг. по 2014 г. Отмечается рост атмосферного давления в январе с 1017 до 1023 гПа. начиная с 1990 г., а в июле слабое падение в последние десятилетия.

6. Наибольшее влияние на температурный режим внетропических широт Северного полушария в последние десятилетия, согласно композитного анализа, оказывали североатлантическое колебание, Арктическая осцилляция и Скандинавское колебание. И если на территории Северной Евразии формировались очаги

тепла, то на востоке Северной Америки и в Гренландии очаги отрицательных аномалий температуры.

Работа выполнена на средства субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также при финансовой поддержке РФФИ (грант 15-05-06349).

### Список использованных источников

1. *Алексеев Г.В., Захаров В.Ф., Смирнов А.Н., Смирнов Н.П.* Многолетние колебания ледовых условий и атмосферной циркуляции в приатлантической Арктике и Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология.* – 1998. – № 9. – С. 87–98.
2. *Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г., Романов Ю.А.* Особенности динамики климата в XX столетии // *ДАН.* – 2002. – Т. 384, № 5. – С. 674–681.
3. *Вакуленко Н.В., Нигматуллин Р.И., Сонечкин Д.М.* К вопросу о глобальном изменении климата // *Метеорология и гидрология.* – 2015. – № 9. – С. 89–97.
4. *Верецагин М.А., Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Тудрий В.Д.* Факторный анализ многолетней динамики глобального термического режима приземного слоя атмосферы // *Известия РАН. Серия географическая.* – 2004. – № 5. – С. 34–41.
5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с.
6. *Егоров А.Г.* Солнечная активность, барическая волна в приземной атмосфере Арктики и многолетние изменения арктического колебания // *Метеорология и гидрология.* – 2004. – № 2. – С. 27–37.
7. *Крыжов В.Н., Горелиц О.В.* Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XX в. // *Метеорология и гидрология.* – 2005. – № 6. – С. 5–13.
8. *Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е.* Современное состояние атмосферной циркуляции в Северном и Южном полушарии и региональные климатические особенности в Атлантико-Европейском секторе и районе Антарктического полуострова // *Проблемы Арктики и Антарктиды.* – 2008. – № 3 (80). – С. 17–37.

9. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Верещагин М.А.* Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона // *Метеорология и гидрология.* – 2004. – № 2. – С. 38–47.

10. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Верещагин М.А., Николаев А.А.* Региональные проявления современного потепления в тропо-стратосфере Северного полушария // *Известия РАН. Серия географическая.* – 2005. – № 6. – С. 6–16.

11. *Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.* Динамика полей температуры воздуха Северного полушария в современный период // *Проблемы анализа риска.* – 2007. – Т. 4, № 1. – С. 73–80.

12. *Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б.* Изменение основных климатических показателей на территории Ульяновской области // *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле.* – 2012. – № 6. – С. 136–144.

13. *Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В.* Теория общей циркуляции атмосферы. – Казань: Казанский университет, 2013. – 223 с.

14. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р., Исмагилов Н.В., Занди Р.* О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа // *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки.* – 2014. – Т. 156, № 2. – С. 156–169.

15. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Важнова Н.А.* Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в Приволжском федеральном округе // *Метеорология и гидрология.* – 2014. – № 4. – С. 32–48.

16. *Полонский А.Б., Кибальчич И.А.* Циркуляционные индексы и температурный режим Восточной Европы в зимний период // *Метеорология и гидрология.* – 2015. – № 1. – С. 5–17.

17. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // *Метеорология и гидрология.* – 2006. – № 12. – С. 15–25.

18. *Brohan P. et al.* Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850 // *J. Geophys. Res.* – 2006. – Vol. 111. – P. 1–35.

19. *Charvatova I.* Solar-terrestrial and climatic phenomena in relation to solar inertial motion // *Surv. Geophys.* – 1997. – Vol. 18. – P. 131–136.

20. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner et al. (eds). – Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.

21. Jones P.D. et al. Surface air temperature and its variations over the last 150 years // Rev. Geophys. – 1999. – Vol. 37. – P. 173–199.

22. Rayner N.A., Brohan P., Parker D. et al. Improved changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the midnineteenth century: the HadSST2 dataset // J. Climate. – 2006. – Vol. 19. – P. 446–469.

23. Wallace J.M., Zhang Y., Bajuk L. Interpretation of interdecadal trends in Northern Hemisphere surface air temperature // J. Climate. – 1966. – Vol. 9. – P. 249–259.

24. Wallace J.M., Thompson D.W. Annual models and climate prediction // Physics Today. – 2002. – Vol. 55, No. 2. – P. 28–33.

*Поступила в редакцию 4.05.2016 г.*