УДК 551.524

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ В 1948–2013 гг.

Т.Р. Аухадеев

Аннотация

Рассмотрены пространственно-временные изменения приземного поля давления воздуха над территорией Северного полушария за период 1948–2013 гг. по данным реанализа. Получены карты распределения осредненного атмосферного давления, среднего квадратического отклонения, тенденций изменения давления во времени, что позволило оценить современные изменения в поле давления в условиях глобального потепления климата. Особое внимание в работе уделено зоне внетропических широт (30–70° с.ш.) и территории Приволжского федерального округа.

Ключевые слова: атмосферное давление, температура воздуха, глобальное потепление, коэффициент корреляции, реанализ.

Введение

Погодные условия в локальном районе развиваются под влиянием как региональных особенностей, так и глобальных факторов. Одним из основных факторов является общая циркуляция атмосферы (ОЦА), существование которой обусловлено неоднородностью в поле атмосферного давления. Поэтому важным для предсказания погодных и климатических процессов является изучение характера пространственно-временного распределения давления.

Следует отметить, что изучению барико-циркуляционного режима Земли и ее регионов посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов как эмпирико-статистического, так и прогностического гидродинамического характера [1–6], в которых представлены основные особенности барического поля по данным метеорологических наблюдений с начала XX в., а также результаты среднесрочных прогнозов поля давления. В настоящей статье главный акцент делается на анализ атмосферных процессов, происходящих в условиях современного глобального потепления в последние десятилетия во внетропических широтах Северного полушария (СП), с привлечением данных реанализа и наземных метеонаблюдений.

Поскольку на сегодняшний день нет единой точки зрения на причины современного потепления, являются весьма полезными эмпирико-статистические оценки пространственно-временной изменчивости метеорологических полей, включая и поле атмосферного давления.

Понимание закономерностей и характера формирования и изменения поля атмосферного давления необходимо также для учета влияния прямых и обратных связей в численных моделях общей циркуляции атмосферы и океана.

В настоящей работе предпринята попытка выявления закономерностей формирования поля атмосферного давления в тропосфере СП в условиях глобального потепления климата начиная с середины двадцатого столетия по 2013 г. Следует отметить, что в предшествующих работах сотрудников кафедры метеорологии, климатологии и экологии Казанского федерального университета рассмотрены вопросы, касающиеся глобального потепления климата и его проявления в различных регионах СП, преимущественно с привлечением информации о температурном поле [7, 8].

1. Материалы и методы

В качестве исходных материалов для исследования использовались временные ряды средних месячных значений NCEP/NCAR реанализа приповерхностной температуры воздуха, атмосферного давления в тропосфере СП за последние 66 лет (1948–2013 гг.) в узлах регулярной географической сетки с разрешением 2.5° × 2.5°, распространяемые NOAA/OAR/ESRL PSD, Боулдер, Колорадо, США (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis/), а также данные метеорологических наблюдений на 183 станциях, равномерно покрывающих территорию Приволжского федерального округа (ПФО), за период 1966–2009 гг.

Были построены карты средних многолетних значений и характеристик временной изменчивости атмосферного давления и температуры для всего СП. Особое внимание уделялось исследованию процессов в внетропической зоне СП (30–70° с.ш.), включающей территорию ПФО.

По данным реанализа в узлах регулярной сетки рассчитывались значения коэффициентов корреляции (r) между рядами среднемесячного атмосферного давления осредненного по СП (по методу удельных площадей), и среднемесячного атмосферного давления широтной зоны 30–70° с.ш. и ПФО.

2. Результаты и их обсуждение

Как известно, крупномасштабные механизмы циркуляции атмосферы и океана являются важнейшими внутренними факторами в климатической системе Земли, участвующими в формировании климата и его изменчивости [9]. В условиях современного глобального потепления климата происходят структурные изменения атмосферной циркуляции и поля давления.

Для характеристики многолетнего режима атмосферного давления чаще всего используют средние месячные и годовые значения. Применяют также и другие показатели, например повторяемости, крайние (максимальные и минимальные) значения показателей изменчивости. Для анализа рассеяния случайной величины также применяются такие показатели, как максимальные и минимальные значения, повторяемость различных градаций значений, размах колебаний, среднее квадратическое отклонение (СКО), законы распределения и т. д. [10].

Табл. 1

Годовой ход показателей атмосферного давления P, гПа

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Осредненное по СП (1948–2013 гг.)													
Среднее P	1014.7	1014.6	1014.1	1013.5	1012.9	1011.9	1011.8	1011.9	1012.5	1013.5	1014.3	1014.7	1013.4
P_{max}	1015.8	1015.5	1015.3	1014.7	1014.0	1013.0	1012.8	1013.0	1013.4	1014.6	1015.2	1015.5	1014.4
P_{min}	1013.9	1013.6	1012.9	1012.4	1012.1	1010.7	1010.7	1010.9	1011.1	1012.4	1013.5	1013.8	1012.3
$P_{max} - P_{min}$	1.9	1.9	2.4	2.2	1.9	2.3	2.1	2.2	2.3	2.2	1.7	1.7	2.1
Год максимума	2012	2005	1977	1979	1982	1998	1979	1993	1981	1981	1993	1956	1993
Год минимума	1997	1963	1968	1961	1956	1964	1958	1959	1961	1957	1963	2003	1963
Осредненное по зоне 30–70° с.ш. (1948–2013 гг.)													
Среднее P	1016.3	1016.2	1015.7	1015.1	1014.2	1012.6	1012.5	1012.8	1013.9	1015.2	1016.4	1016.4	1014.8
P_{max}	1018.9	1018.5	1017.9	1016.7	1015.7	1014.4	1014.3	1014.1	1015.4	1016.9	1018.7	1018.6	1016.7
P_{min}	1014.4	1013.4	1012.8	1013.3	1013.0	1011.0	1010.9	1011.3	1011.8	1013.9	1013.7	1014.4	1012.8
$P_{max} - P_{min}$	4.5	5.1	5.1	3.5	2.7	3.4	3.5	2.8	3.6	3.1	5.0	4.2	3.9
Год максимума	2000	2005	1985	1954	1982	1979	1989	1993	1992	1987	1993	1954	1996
Год минимума	1992	1998	1981	1961	1951	1964	1958	1950	1966	1960	1983	1989	1963
Осредненное по ПФО (1948–2013 гг.)													
Среднее P	1018.9	1020.3	1018.8	1017.1	1014.9	1010.9	1009.9	1011.9	1014.4	1016.5	1019.4	1019.0	1016.0
P_{max}	1034.8	1039.2	1032.6	1023.7	1020.5	1016.5	1015.4	1018.6	1022.4	1032.9	1034.5	1036.4	1027.3
P_{min}	1007.7	1008.4	1007.3	1010.0	1009.5	1006.4	1004.0	1006.9	1006.6	1010.4	1008.5	1009.7	1008.0
$P_{max} - P_{min}$	27.1	30.8	25.3	13.7	11.0	10.1	11.4	11.7	15.8	22.5	25.9	26.7	19.3
Год максимума	1987	2002	1996	1971	1997	2007	2002	1996	2010	2005	2011	1984	1996
Год минимума	2007	1967	2008	2003	2000	2003	1974	1974	1977	1996	2001	1975	1983

2.1. Климатические показатели распределения атмосферного давления в период 1948–2013 гг. В качестве характеристик барического режима нами рассматривались годовой ход атмосферного давления (АД) и его пространственное распределение. Для выявления значений рассматриваемых показателей был выполнен расчет по исходной выборке средних месячных значений давления в 1948–2013 гг., то есть средние показатели получены за 66-летний период. Как видно из табл. 1, наибольшие значения АД наблюдаются в зимний период (АД января для СП достигает значения 1014.7 гПа; для зоны 30–70° с.ш. – 1016.3 гПа), что обусловлено увеличением плотности воздуха в результате выхолаживания земной поверхности. Наименьшие значения давления P отмечаются в летний период (в июле для СП – 1011.8 гПа; для зоны 30–70° с.ш. – 1012.5 гПа). Годовая амплитуда колебаний АД Северного полушария составила 3.0 гПа, для зоны 30–70° с.ш. – 3.9 гПа. Осреднение по СП проводилось по методу «удельных площадей». Реализация осреднения возможна, например, при помощи процедуры AAVE в системе GRADS, предназначением которой является вычисление взвешенных средних сеточных значений внутри широтно-долготного прямоугольника (вес пропорционален длине широтного круга) [11]. Данный метод осреднения дает высокую точность и хорошо согласуется с другими принятыми методами пространственного осреднения [12].

Давление, осредненное по всей территории СП, испытывает значительные межгодовые колебания. Так, при среднегодовом многолетнем значении АД Северного полушария, равном 1013.4 гПа, максимум среднего АД по СП достигал значения 1015.8 гПа в 2012 г., минимум же составил 1010.7 гПа в 1963 г. (табл. 1).

Как видно из таблицы, годы наступления максимумов и минимумов средних месячных значений АД не совпадают в масштабах СП, зоны 30–70° с.ш. и ПФО, что свидетельствует о неоднородности (несогласованности) изменений АД и об отсутствии единого управляющего механизма изменений АД.

Для изучения пространственной структуры барического поля были построены карты средних многолетних значений и характеристик временной изменчивости поля давления для СП. При этом основное внимание уделялось исследованию процессов во внетропической зоне СП (30–70° с.ш.), включающей территорию ПФО, где наиболее ярко проявляются бароклинная неустойчивость и вихревая активность. Наше внимание к внетропической зоне обусловлено установившимся мнением, что для прогноза погоды в Европе, достаточно иметь информацию о циркуляционных процессах именно в этой полосе [13].

С использованием архива имеющихся данных реанализа NCEP/NCAR за период 1948–2013 гг. построены карты среднего многолетнего давления на уровне моря в центральные месяцы сезонов (январь, апрель, июль, октябрь). В настоящей работе приводятся карты только для января и июля.

Как известно, наиболее устойчивой особенностью в распределении метеорологических полей над земным шаром является зональность ввиду зонального распределения приходящей солнечной радиации [14]. Как видно из рис. 1, в поле давления изобары не параллельны широтным кругам, зональность нарушена. Согласно [1], возникновение возмущений в барическом поле вызвано термическими и динамическими причинами. Над охлажденными районами условия в нижних слоях атмосферы благоприятны для повышения давления, а над нагретыми – для его понижения, поэтому над экватором образуется пояс пониженного давления, а над полюсами, где низкие температуры, – области относительно высокого давления.

На нарушение зональности в распределении давления на многолетних картах также оказывает влияние неравномерность в расположении материков и океанов по поверхности Земли, и, как следствие, возникает неравномерность в температуре подстилающей поверхности. В холодное время года над материками, которые выхолаживаются сильнее, чем океаны, развиваются барические максимумы. Это объясняется большей теплоемкостью океанов по сравнению с сушей. В теплое время года материки прогреваются сильнее, чем океаны, и над ними образуются области пониженного давления. В результате действия перечисленных факторов барическое поле распадается на отдельные очаги, на области повышенного и пониженного давления с замкнутыми изобарами – центры действия атмосферы [15].

В январе, как следует из рис. 1, вдоль экватора располагается пояс относительно низкого давления. В широтной полосе 30–35° с.ш. образуются зоны высокого давления в виде отдельных очагов. Это так называемые субтропические барические максимумы. Их в Северном полушарии три: Атлантический (Азорский), Азиатский (Сибирский), Северо-Тихоокеанский (Гавайский) максимумы.

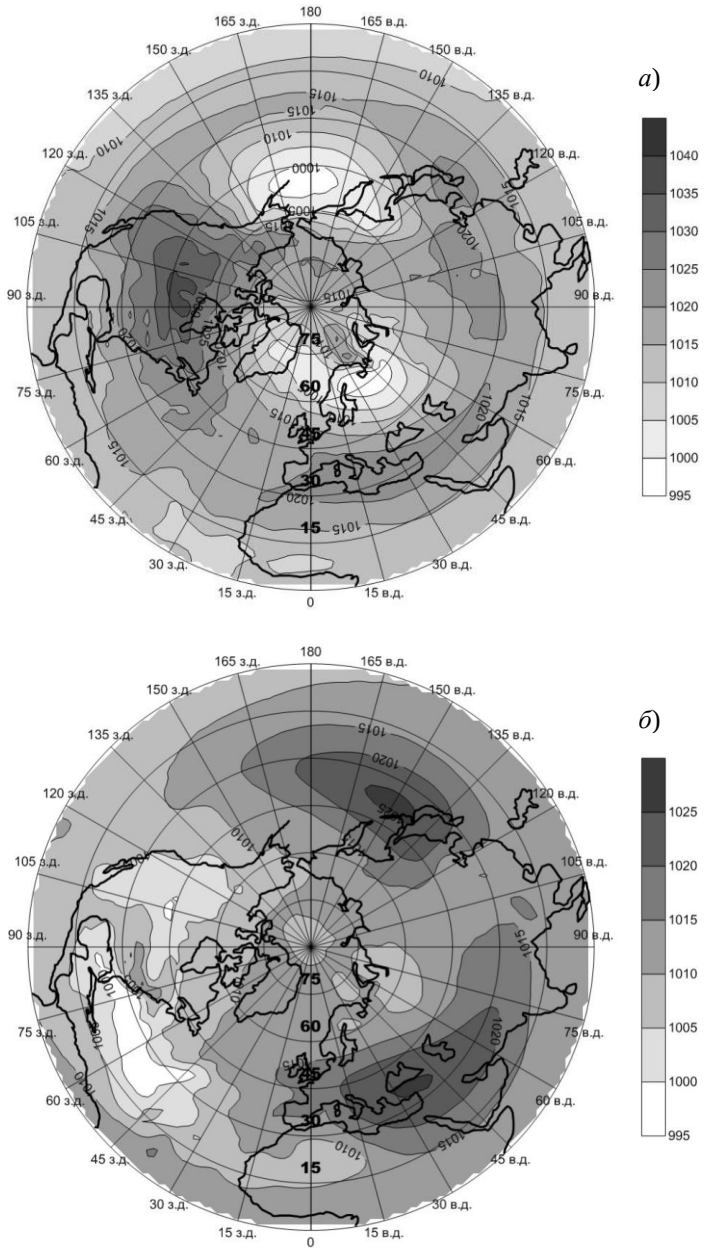

Рис. 1. Среднее многолетнее значение атмосферного давления (гПа) на уровне моря (1948–2013 гг.): *а*) январь, *б*) июль

К северу от субтропиков давление над океанами убывает, образуя два минимума (в районе Исландии и Алеутских островов). Над сушей давление вглубь континентов значительно возрастает, образуя два барических максимума: обширный азиатский антициклон над Азией с центром над монгольским плато и канадский антициклон в Северной Америке.

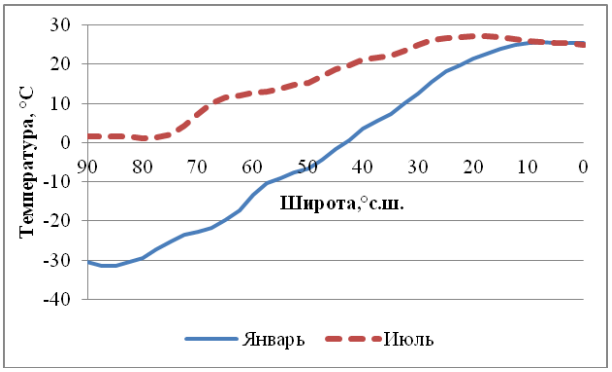

Рис 2. Распределение средней зональной температуры воздуха (°С) у земли в СП (1948–2013 гг.)

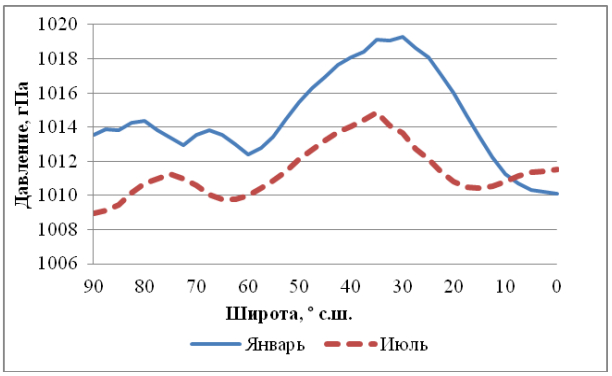

Рис. 3. Распределение среднего зонального давления (гПа) в СП (1948–2013 гг.)

Летом (рис. 1) в целом структура сохраняется, однако наблюдается исчезновение сезонных центров действия атмосферы, Сибирского и Канадского максимумов, над материками (Северная Америка и Азия) давление падает.

Таким образом, многолетнее среднее распределение атмосферного давления на уровне моря в целом имеет зональный характер. Выделяются зоны пониженного давления (экваториальная, зоны умеренных и субполярных широт) и зоны повышенного давления (субтропические и полярные). Однако полная зональность распределения давления нарушается за счет того, что над материками давление зимой повышается, а летом понижается. Из всего вышеперечисленного следует, что полученное нами распределение атмосферного давления на уровне моря за период 1948–2013 гг. по данным реанализа в целом соответствует более ранним результатам [1, 4].

Осреднение по широтным кругам метеорологических величин (в нашем случае температуры воздуха и атмосферного давления) дает возможность построения зонального разреза той или иной метеорологической характеристики (среднеширотные значения получены методом нахождения простого среднего арифметического в 144 узлах сетки, расположенных на каждой широте). Рассмотрим построенные зональные разрезы (рис. 2, 3). Так, для зимней температуры зональное распределение (рис. 2) характеризуется монотонным повыше-

нием температуры от полюса к экватору и максимальным контрастом (полюс – экватор), что обусловлено зональным характером приходящей солнечной радиации (инсоляции). В этот период возникают значительные контрасты в поле температуры между экватором и полюсом (~55 °С), летом разница не столь велика (~25 °С).

В направлении от экватора к высоким широтам давление в СП растет, и максимальные его значения наблюдаются в январе на широте 30° с.ш., а в июле – на 35° с.ш. (рис. 3). Минимальное среднее зональное давление наблюдается в приполярных широтах, на самом Северном полюсе среднеиюльское значение приземного давления составило 1009.0 гПа.

2.2. Пространственно-временные изменения характеристик атмосферного давления. Для характеристики изменчивости давления рассчитывался ряд параметров. Так, величина среднего квадратического отклонения (СКО) σ характеризует межгодовую изменчивость давления. Анализ рис. 4 показывает, что величина σ меняется в годовом ходе от минимальных значений летом (0.5–5.5 гПа с максимальными значениями данного параметра в высоких широтах) до максимальных зимой, достигающих 9.0–9.5 гПа в областях, близких к районам расположения депрессий (Исландской и Алеутской).

Карты распределения СКО (рис. 4) по внешнему виду соответствуют картам средних месячных значений атмосферного давления: большим значениям СКО соответствуют области пониженных значений АД на средних многолетних картах, где наиболее активна циклоническая деятельность. Наиболее четко данная закономерность проявляется в холодное время года.

Высокие значения изменчивости атмосферного давления в области высоких широт являются следствием изменения характера подстилающей поверхности северных морей (изменение ледовой обстановки), на что обращено внимание в работах [17, 18].

В качестве оценки максимальных значений межгодовой изменчивости давления часто используют простейшую меру изменчивости – амплитуду (разность между самым высоким и самым низким значением в ряду наблюдений) $A = \overline{P}_{\max} - \overline{P}_{\min}$, где $\overline{P}_{\max}$ – максимальное среднемесячное значение АД во временном ряду конкретной станции за конкретный месяц, состоящем из 66 членов (1948–2013 гг.), а $\overline{P}_{\min}$ – соответственно минимальное значение этого ряда.

Результаты расчетов для выборки 1948–2013 гг. представлены на рис. 5. Согласно рисунку, в зимний период внутрирядная неоднородность многократно превышает летнюю.

При визуальном сравнении по своей структуре поля величин A и СКО сходны.

Сравнение январских и июльских карт величины A показывает, что зимой эти перепады возрастают от 2–4 гПа в приэкваториальных областях до 35–45 гПа в районах, совпадающих с положением Исландской и Алеутской депрессий.

Средняя многолетняя годовая амплитуда АД на уровне моря для полушария в целом ~3.0 гПа, для широтной зоны 30–70° с.ш. она составляет ~3.9 гПа и достигает максимального значения (~10.9 гПа) для территории ПФО. Величина АД наибольших значений достигает в зимнее время, а наименьших – в летнее.

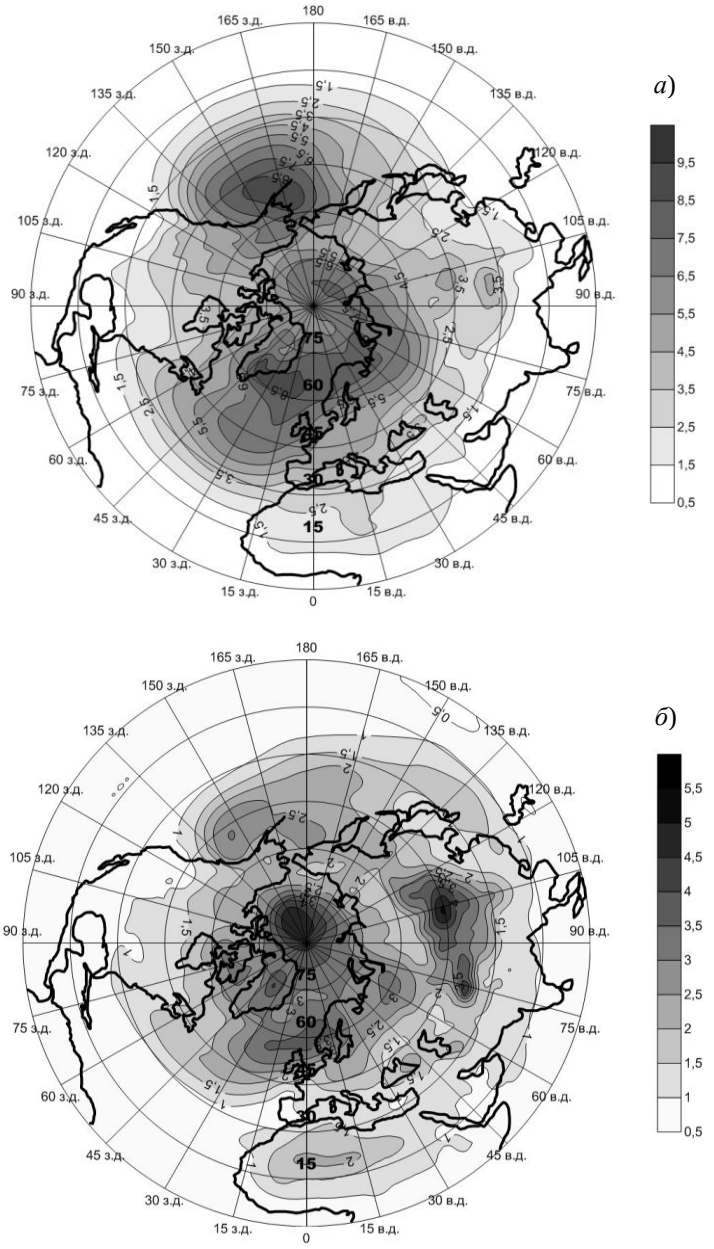

Рис. 4. Распределение СКО среднемесячных значений атмосферного давления (гПа): *а*) январь, *б*) июль

Естественно, что с увеличением территории происходит сглаживание контрастов. Размах внутригодовых колебаний АД имеет хорошо выраженную зависимость от широты, максимум наблюдается в приполярной зоне, а в обширной тропической зоне Земли годовые изменения невелики.

Для выявления последствий современного потепления климата рассмотрим разности среднего атмосферного давления и температуры воздуха между периодами до наступления активной фазы потепления (1948–1975 гг.) и в период потепления (1976–2013 гг.) (рис. 6). Согласно [8], процесс потепления происходит

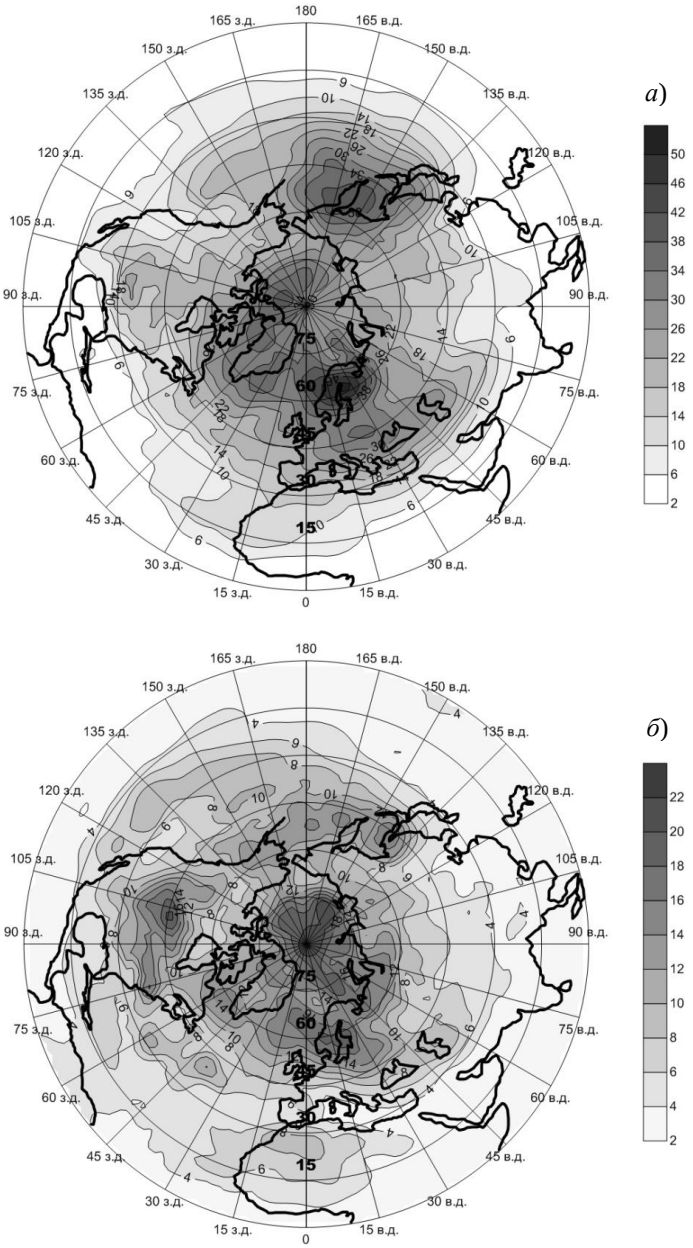

Рис. 5. Амплитуда среднемесячных значений давления (гПа) на уровне моря: *а*) январь, *б*) июль

неравномерно на территории СП, что подтверждается нашими результатами. Так, в холодный период приращения температуры воздуха, характеризующие потепление, значительно выше, чем в теплый, за исключением тропической зоны. Интенсивность потепления больше в зимний сезон практически во всех регионах. Зимой наиболее сильным изменениям подверглась приполярная область. На Европейской территории России температура растет со скоростью ~0.2 °С/10 лет. Анализ рис. 5 свидетельствует о том, что глобальное потепление проявляет себя в последнее десятилетие в основном за счет теплых зим.

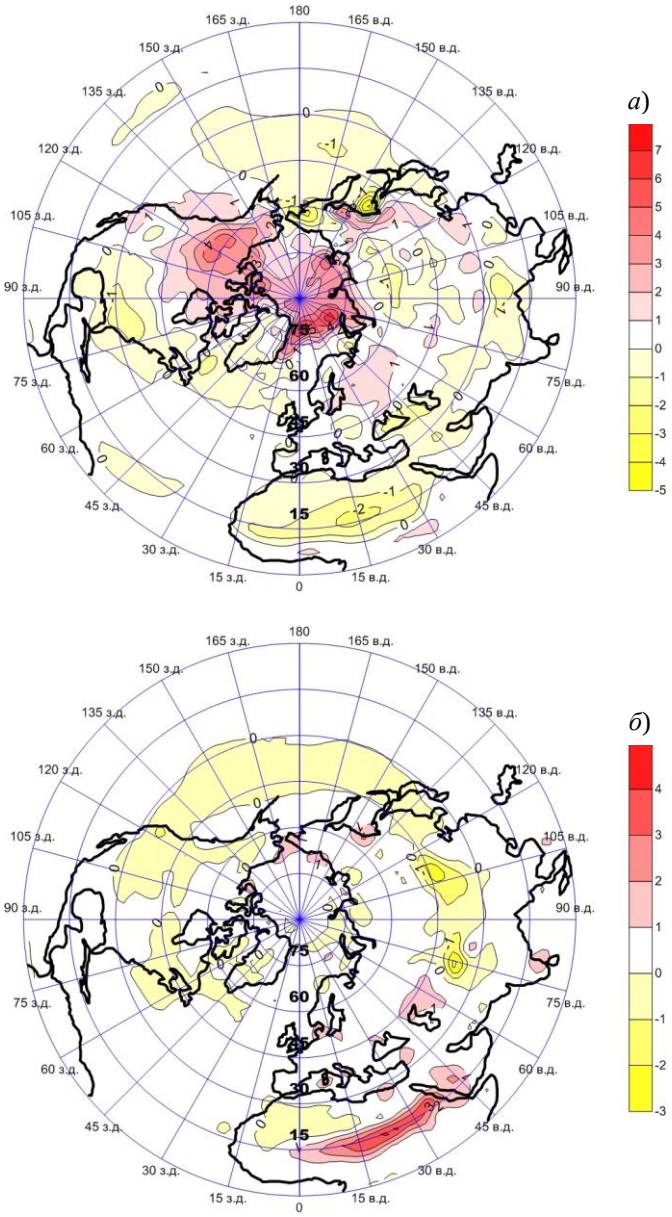

Рис. 6. Разности средних температур воздуха (°С) для периодов 1976–2013 гг. и 1948–1975 гг.: *а*) январь, *б*) июль

При картировании различий в барическом поле между периодами 1948–1975 и 1976–2013 гг. проявляется очаговая структура, расположение очагов соответствует положению сезонных центров действия атмосферы (рис. 7).

Следует отметить, что полученные результаты соответствуют ранее полученным в работе [16] с использованием тренд-анализа, согласно которому атмосферное давление в значительной части внетропических широт западного полушария и зимой и летом в период с 1948 по 2013 г. уменьшалось. Более активно этот процесс происходил в зимний период. Во внетропических широтах Евразии зимой и летом изменения давления имеют противоположную направленность.

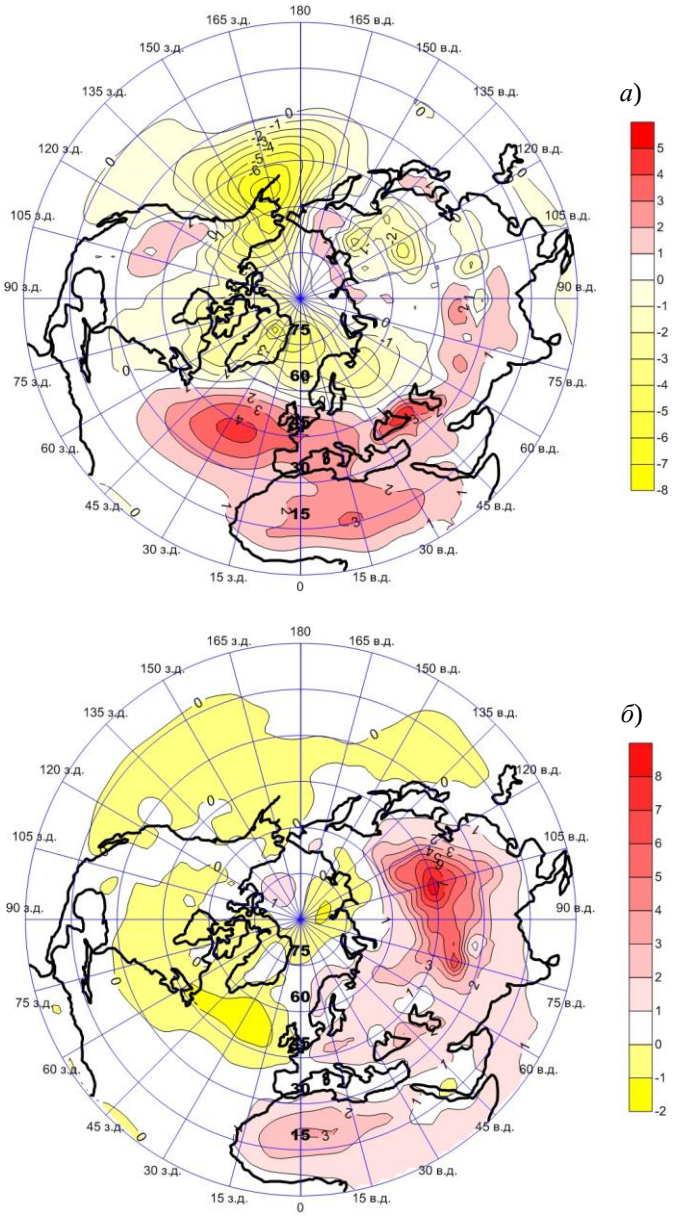

Рис. 7. Разности средних значений атмосферного давления (гПа) для периодов 1976–2013 гг. и 1948–1975 гг.: *а*) январь, *б*) июль

Основные очаги уменьшения давления в зимний период занимают северную и северо-западную части Северной Атлантики, Гренландию и острова Канадского архипелага, они располагаются также в восточной Евразии и районе Алеутских островов. Области положительных значений коэффициентов наклона линейного тренда (КНЛТ) в этот сезон занимают всю Западную Европу, Кавказ и Закавказье и простираются вдоль 35° с.ш. до 90° в.д. Кроме того, давление выросло также в центре северной части Африки. Летом давление росло практически на всей территории Евразии, причем основной очаг положительных значений КНЛТ располагается в области восточного центра Азиатской депрессии в Монголии

к югу от оз. Байкал. Второй очаг положительных значений КНЛТ давления располагается в Северной Африке. На остальной части полушария результирующее изменение давления за период с 1948 по 2013 г. невелико.

Таким образом, выявляется главная закономерность в изменчивости температурного и барического полей: областям повышения температуры соответствуют области понижения давления, что особенно хорошо видно на примере динамики центров действия атмосферы (Исландского и Алеутского минимумов, Сибирского максимума).

2.3. Корреляционные связи в поле давления. О степени однородности процессов на исследуемых территориях можно судить по рассчитанным корреляционным связям в поле давления между рассматриваемыми регионами. Как видно из табл. 2, они наиболее сильны в зимний период для ПФО и широтной зоны 30–70° с.ш., что является естественным, так как ПФО входит в эту зону, а также между давлением на территории всего СП и давлением широтной зоны 30–70° с.ш. Для ПФО и СП корреляционные связи являются слабыми (за исключением января), особенно в летний период, когда коэффициенты корреляции статистически незначимы и по величине приближаются к нулю.

Табл. 2

Коэффициенты линейной корреляции r между рядами среднемесячного атмосферного давления ($r \cdot 100$)

Регион	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ПФО и СП	**48**	**25**	14	**29**	**32**	5	3	15	**24**	23	**25**	**35**	**35**
ПФО и зона 30–70° с.ш.	**57**	**61**	**63**	**58**	**60**	**43**	**60**	**54**	**53**	**47**	**57**	**69**	**56**
СП и зона 30–70° с.ш.	**59**	**51**	**48**	**42**	**45**	**37**	**43**	**38**	**64**	**58**	**40**	**44**	**45**

Жирным цветом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции при доверительной вероятности $p = 0.95$.

Выводы

Изучена пространственно-временная структура поля атмосферного давления над СП, выявлено нарушение его зональности в зимний период. При этом рассчитанные среднезональные значения давления принимают максимальные значения зимой на широте ~30°с.ш. (1019.3 гПа), а летом на широте ~35°с.ш. (1014.8 гПа).

Оценено влияние глобального потепления на изменение полей атмосферного давления и температуры воздуха в СП. Построены карты разностей средних значений давления и температуры за периоды 1976–2013 гг. и 1948–1975 гг., выявлена очаговая структура их пространственного распределения. Показано, что исландский и алеутский минимумы становятся более интенсивными (давление в них падает), а центры повышенного давления (сибирский и канадский максимумы) ослабевают.

Распределение величин средних квадратических отклонений давления, характеризующих его межгодовую изменчивость, имеет очаговый характер: центрам действия атмосферы соответствуют наибольшие значения СКО (9.0–9.5 гПа).

Амплитуда колебаний атмосферного давления увеличивается по мере уменьшения площади осредняемого объекта: для полушария в целом она равна 3 Гпа, для широтной зоны 30–70° с.ш. – 3.9 гПа и ПФО – 10.9 гПа.

Рассчитанные коэффициенты корреляции между рядами среднемесячного атмосферного давления на различных масштабах свидетельствуют об их тесной статистической связи в зимний период ($r \sim 0.5$–0.6) и о ее ослаблении в летний ($r \sim 0.3$–0.4).

Автор выражает искреннюю признательность своему научному руководителю профессору Ю.П. Переведенцеву за помощь в работе над статьей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-06349).

Литература

1. *Погосян Х.П.* Общая циркуляция атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 394 с.
2. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.
3. *Хайруллин Р.Р.* Структура динамики циклогенеза в Северном полушарии. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. – 135 с.
4. *Стехновский Д.И.* Барическое поле земного шара. – М.: Гидрометеоиздат, 1962. – 148 с.
5. *Толстых М.А., Желен Ж.-Ф., Володин Е.М. Богословский Н.Н., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Красюк Т.В., Кострыкин С.В., Мизяк В.Г., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Шляева А.В., Эзау И.Н., Юрова А.Ю.* Разработка многомасштабной версии глобальной модели ПЛАВ // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 6. – С. 25–35.
6. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley. – Cambridge, United Kingdom; N. Y., USA: Cambridge Univ. Press, 2013. – 1535 p.
7. *Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.* Региональные проявления современного потепления климата в тропо-стратосфере Северного полушария // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2005. – № 6. – С. 6–16.
8. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Оценка современные изменений температуры воздуха и скорости ветра в тропосфере Северного полушария // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 10. – С. 19–31.
9. *Алексеев Г.В.* Исследования изменений климата Арктики в XX столетии // Труды ААНИИ. – 2003. – Т. 446. – С. 6–21.
10. *Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я.* Климатическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 295 с.
11. *Doty B., Kinter J.L. III.* The Grid Analysis and Display System (GrADS): A practical tool for Earth science visualization // Eighth International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology. – Boston, Mass., USA: Amer. Meteorol. Soc., 1992.
12. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Смирнов В.Д.* О пространственном осреднении в задачах мониторинга климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.: Ин-т Глобального климата и экологии, 2013. – Т. 25. – С. 42–70.

13. *Акимов Л.М., Задорожная Т.Н.* Многолетние тенденции в развитии циркуляции приземного поля давления над Северным полушарием // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 12–18.

14. *Витвицкий Г.Н.* Зональность климата Земли. – М.: Мысль, 1980. – 253 с.

15. *Хромов С.П., Петросянц М.А.* Метеорология и климатология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 528 с.

16. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р., Исмагилов Н.В., Занди Р.* О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2014. – Т. 156, кн. 2. – С. 156–167.

17. *Карклин В.П.* Изменения поля атмосферного давления в высоких и умеренных широтах Северного полушария в 11-летних циклах солнечной активности // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1978. – Вып. 54. – С. 62–68.

18. *Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М.* Климатические изменения ледовых условий в Арктических морях Евразийского шельфа // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – № 1 (75). – С. 149–160.

19. *Переведенцев Ю.П., Аухадеев Т.Р.* Пространственно-временные изменения атмосферного давления на территории Приволжского федерального округа за последние десятилетия // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 4. – С. 112–122.

Поступила в редакцию
01.04.15

Аухадеев Тимур Ринатович – аспирант кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: *TRAuhadeev@kpfu.ru*

*** * ***

SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES OF THE SURFACE AIR PRESSURE IN THE NORTHERN HEMISPHERE BETWEEN 1948 AND 2013

T.R. Aukhadeev

Abstract

Spatial and temporal changes in the surface air pressure field over the territory of the Northern Hemisphere during the period of 1948–2013 were considered based on the reanalysis data. Maps showing the distribution of mean atmospheric pressure, standard deviation, trends in pressure over time were obtained, which made it possible to evaluate the recent changes in the pressure field under the conditions of global warming. Special attention was paid to the zone of extratropical latitudes (30–70° N) and the territory of the Volga Federal District.

Keywords: atmospheric pressure, air temperature, global warming, correlation coefficient, reanalysis.

References

1. Pogosyan Kh.P. General Circulation of the Atmosphere. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972. 394 p. (In Russian)

2. Perevedentsev Yu.P. Theory of Climate. Kazan, Kazan. Gos. Univ., 2009. 504 p. (In Russian)

3. Khairullin R.R. The Structure of Cyclogenesis Dynamics in the Northern Hemisphere. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1989. 135 p. (In Russian)

4. Stekhnovskii D.I. Baric Field of the Earth. Moscow, Gidrometeoizdat, 1962. 148 p. (In Russian)
5. Tolstykh M.A., Geleyn J.-F., Volodin E.M., Bogoslovskii N.N., Vil'fand R.M., Kiktev D.B., Krasyuk T.V., Kostrykin S.V., Mizyak V.G., Fadeev R.Yu., Shashkin V.V., Shlyaeva A.V., Ezau I.N., Yurova A.Yu. Development of the Multiscale Version of the SL-AV Global Atmosphere Model. *Meteorol. Gidrol.*, 2015, no. 6, pp. 25–35. (In Russian)
6. 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., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds.). Cambridge, United Kingdom; N. Y., USA: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.
7. Perevedentsev Yu.P., Gogol' F.V., Naumov E.P., Shantalinskii K.M. Regional signs of climate warming in the tropo-stratosphere of the Northern Hemisphere. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2005, no. 6, pp. 6–16. (In Russian)
8. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M. Estimation of the current changes in air temperature and wind velocity in the troposphere of the Northern Hemisphere. *Meteorol. Gidrol.*, 2014, no. 10, pp. 19–31. (In Russian)
9. Alekseev G.V. Research on the climate changes in the Arctic during the 20th century. *Tr. Arkt. Antarkt. Nauchno-Issled. Inst.*, 2003, vol. 446, pp. 6–21. (In Russian)
10. Kobysheva N.V., Narovlyanskii G.Ya. Climatological Processing of Meteorological Information. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978. 295 p. (In Russian)
11. Doty B., Kinter J.L. III. The Grid Analysis and Display System (GrADS): A practical tool for Earth science visualization. Proc. 8th Int. Conf. on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology. Boston, Mass., USA, Amer. Meteorol. Soc., 1992.
12. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Kleshchenko L.K., Smirnov V.D. On spatial averaging in climate monitoring problems. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems]. Moscow, Inst. Global'nogo klimata i ekologii, 2013, vol. 25, pp. 42–70. (In Russian)
13. Akimov L.M., Zadorozhnaya T.N. Long-term trends in the development of circulation of the surface pressure field over the Northern Hemisphere. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser. Geogr. Geoekol.*, 2010, no. 1, pp. 12–18. (In Russian)
14. Vitvitskii G.N. Zonality of the Earth's Climate. Moscow, Mysl', 1980. 253 p. (In Russian)
15. Khromov S.P., Petrosyants M.A. Meteorology and Climatology. Moscow, Izd. Mosk. Univ., 2001. 528 p. (In Russian)
16. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M., Aukhadeev T.R., Ismagilov N.V., Zandi R. Effect of macrocirculation systems on the thermobaric conditions of the Volga Federal District. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2014, vol. 156, no. 2, pp. 156–167. (In Russian)
17. Karklin V.P. Changes in the atmospheric pressure field at high and temperate latitudes of the Northern Hemisphere in 11-year cycles of solar activity. *Probl. Arkt. Antarkt.*, 1978, no. 54, pp. 62–68. (In Russian)
18. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolyanitskii V.M. Climatic changes in the ice conditions of Arctic seas of the Eurasian Shelf, *Probl. Arkt. Antarkt.*, 2007, no. 1 (75), pp. 149–160. (In Russian)
19. Perevedentsev Yu.P., Aukhadeev T.R. Spatial and temporal changes in the atmospheric pressure at the territory of the Volga Federal District over the recent decades. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2013, no. 4, pp. 112–122. (In Russian)

Received
April 1, 2015

Aukhadeev Timur Rinatovich – PhD Student, Department of Meteorology, Climatology and Ecology of the Atmosphere, Kazan Federal University, Kazan, Russia.
E-mail: *TRAuhadeev@kpfu.ru*