

УДК 519.6 + 519.2

СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В АРКТИКЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЙ И ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ

К. П. Беляев¹[0000-0003-2111-2709], Г. М. Михайлов²[0000-0002-4535-7180],

А. Н. Сальников³[0000-0001-8669-9905], Н. П. Тучкова⁴[0000-0001-6518-5817]

^{1,2,3,4}Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, г. Москва

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

³ФОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», факультет ВМК, г. Москва

¹kosbel55@gmail.com, ²gmickail@ccas.ru, ³salnikov@angel.cs.msu.ru,

⁴natalia_tuchkova@mail.ru

Аннотация

Проведен статистический и временной анализ сезонной и многолетней изменчивости поля атмосферного давления в Арктическом регионе России. В качестве основного метода исследования использованы схемы частотных характеристик вероятностей переходов при построении диффузионных процессов, описывающих изменчивость полей давления. На основе заданных рядов длиной в 60 лет с 1948 по 2008 годы вычислялись такие параметры диффузионных процессов, как среднее (снос процесса) и дисперсия (диффузия процесса), и строились их карты и временные кривые. Изучена сезонная и многолетняя изменчивость полученных полей, а также их зависимость от интервалов и величины разбиения. Эти характеристики проанализированы, и проведена их геофизическая интерпретация. В частности, выявлены известные циклы солнечной активности в 11 и 22 года, а также известный из литературы квазидвухлетний период. Численное моделирование выполнено на суперкомпьютере Ломоносов-2 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Ключевые слова: анализ временных рядов, диффузионные случайные процессы, сезонная и многолетняя изменчивость атмосферного давления

ВВЕДЕНИЕ

Анализ временных рядов (АВР) – одно из наиболее хорошо разработанных и широко применяемых направлений в математической статистике. Методы АВР успешно применяются в геофизике, экономике, технике и других работах, связанных с исследованиями массивов данных. Например, одним из первых применений методов АВР был анализ данных по урожаю в Англии в 18 веке [1], связанный со сбором зерна, который разделялся на многолетний тренд сезонных составляющих и нерегулярных компонентов, зависящих от текущих событий (погодные условия, инфляционный ценовой всплеск и пр.). В последующем АВР стал использоваться при анализе финансового рынка [2], анализе многолетней изменчивости геофизических характеристик, таких как температура воздуха или воды [3], в более сложных моделях и схемах [4]. На современном этапе анализа АВР часто используются схемы авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA) [5]. Отметим, что этот анализ требует использования большого объема вычислительных мощностей, компьютерного времени и памяти, решения задач визуализации результатов и многих сопутствующих проблем. В последние годы, благодаря значительному прогрессу в области вычислительных систем и численного моделирования, накопления и обработки больших данных, эксперименты по АВР становятся доступными многим исследовательским группам и отдельным пользователям, принадлежащим научному сообществу. Это, в свою очередь, способствует дальнейшему развитию численного моделирования и возможностей анализа модельных данных, полученных результатов и их последующего сравнения.

Исследования по АВР широко используются также непосредственно в теории вероятностей и математической статистике. Одним из методов анализа является представление ряда в виде цепи Маркова и/или Марковского процесса. Поскольку литература по Марковским процессам весьма обширна, отметим только несколько из наиболее известных работ в данной области, в которых изложены все необходимые теоретические положения и практические методы расчета характеристик, необходимых для дальнейшего исследования. Например, в работе [6] описаны все нужные в настоящем исследовании теоретические сведения о том, как определять приведенные в дальнейшем параметры процесса, а в работе [7] изложены конкретные примеры таких процессов.

В данной работе моделируется поведение поля атмосферного давления на основе Марковского диффузионного процесса. Такие процессы хорошо описывают поведение характеристик полей, которые изменяются под воздействием двух сил – короткопериодной, называемой диффузией процесса, и длиннопериодной, называемой дрейфом или сносом. Эти модели обобщают приведенные ранее в литературе разложения временного ряда на тренд, периодическую и случайную составляющие, упомянутые в работах [1], [3, 4]. В теории вероятностей такие процессы описываются стохастическими дифференциальными уравнениями [6, 7], а их плотности вероятностей задаются решениями уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова [8].

Характеристики этих процессов адекватно описываются такими моделями, если выполнены два основных условия. Во-первых, инкремент (то есть разность между двумя соседними моментами времени) должен быть много меньше, чем общая длина ряда. Во-вторых, поле этих характеристик должно быть достаточно однородно, то есть поведение в соседних точках пространства не сильно отличается друг от друга, особенно если это поведение рассматривать на длительных интервалах времени. Для поля атмосферного давления в относительно небольшом регионе, которое мы рассматриваем, эти условия выполнены. Длина ряда составляет 60 лет, при этом шаг по времени, то есть инкремент, составляет одни сутки. И размер циклонического атмосферного образования, которое в основном и формирует поле давления, сопоставим с размерами всей рассматриваемой области, то есть внутри области для одного образования оно не сильно изменяется. При этом важно исследовать, насколько результат зависит от разбиения реально наблюдаемого интервала давления (то есть разности максимума и минимума давления во всей области) на отдельные под-интервалы, которые используются для расчета частотных (статистических) характеристик при анализе изменчивости этого поля.

Методы диффузионных случайных процессов применялись ранее для различных задач, в том числе задач усвоения данных, в методиках, предложенных авторами [9, 10]. Однако для описания сезонного и многолетнего поведения атмосферных процессов этот метод широко не применялся.

В работе сделано следующее:

- построены характеристики моделей, описаны их особенности, в частности, особенности сезонного и многолетнего хода, проведен анализ особенностей;
- построены временные графики и пространственные карты этих характеристик, проведен их анализ;
- проведен анализ устойчивости к разбиению всего интервала значений давления (максимума минус минимума поля по всей области) на частотные под-интервалы

1. ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ

Изменчивость случайного процесса, в нашем случае это поле давления, представляется в виде

$$dX = a(t, X)dt + b(t, X)dW, \quad (1)$$

где X – значение (давление) поля (в момент времени t и в точке с заданными координатами, явно не показано), t – время, dW – стандартное обозначение гауссова «белого шума» – обобщенного случайного процесса с нулевым средним значением и дисперсией, равной единице, при этом его ковариационная функция равна дельта-функции, то есть $E dW(t)dW(\tau) = \delta(t - \tau)$, здесь и далее $\delta(t - \tau) = 1$, если $t = \tau$, и нулю, если нет; $a(t, x)$, $b(t, x)$ – некоторые функции, которые вычисляем по формулам из монографии [6]. Выражение (1) понимается в интегральном смысле, то есть

$$X(t + \Delta t) - X(t) = \int_t^{t+\Delta t} a(u, X)du + \int_t^{t+\Delta t} b(u, X)[W(u + du) - W(u)]. \quad (2)$$

В формуле (2) выражение $W(u + du) - W(u)$ представляет собой гауссову случайную величину с нулевым средним и дисперсией, равной du . Теория стохастического интеграла и все определения, необходимые для понимания формул (1) и (2), содержатся в работах [6, 7].

Согласно работе [6], для определения коэффициентов $a(t, x)$ и $b^2(t, x)$ используются следующие формулы

$$a(t, x) = (dt)^{-1} \int_t^{t+dt} (y - x)p(y | x)dy, \quad (3)$$

$$b^2(t, x) = (dt)^{-1} \int_t^{t+dt} (y-x)^2 p(y|x) dy, \quad (4)$$

где использованы следующие обозначения:

x и y – значения процесса $X(t)$ в моменты времени t и $t+dt$, соответственно;

$p(y|x)dt$ – вероятность (условная вероятность) события $X(t+dt) = y$ при условии $X(t) = x$, то есть $p(y|x)dt = P(X(t+dt) = y | P(t) = x)$.

Решается задача – вычислить эти коэффициенты и произвести анализ полученных характеристик.

Для статистического определения условной вероятности $p(y|x)dt$ нужно иметь выборку наблюдений (значений) x и y в фиксированной точке пространства. Однако, так как рассматриваемая область однородная, как отмечалось выше, можно отметить точки с этими значениями по всей этой области. Именно, техника определения этих вероятностей следующая: на шаге t отмечаются все точки в области, где $X(t) = x$ ($x_{\min} < x < x_{\max}$). Для простоты значения x_{\min} , x_{\max} можно считать одинаковыми для всех t . Пусть таких точек будет $n(x)$. Далее, на шаге $t+dt$ в тех и только в тех точках, где $X(t) = x$ выбираются все те точки, где $X(t+dt) = y$. Пусть таких точек будет $m(y)$. Тогда $p(y|x)dt = m(y)/n(x)$. Очевидно, что $0 \leq p(y|x)dt \leq 1$, то есть это действительно вероятность. Далее, расчет коэффициентов $a(t, x)$ и $b^2(t, x)$ осуществляется по формулам (3) и (4). Такой метод определения коэффициентов $a(t, x)$ и $b^2(t, x)$ ранее был опубликован для несколько иной задачи в работах [9, 10]. При этом, как видно из описания метода, результат зависит от числа под-интервалов, на которые разбивается весь интервал изменчивости поля давления (то есть максимум минус минимум значения поля давления по области). Были проведены эксперименты по разбиению на 20 и 60 интервалов.

2. ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Рассмотрим поле атмосферного давления в области, ограниченной координатами 62° с.ш.– 80° с.ш. и 30° в.д.– 90° в.д., то есть область России от побережья Балтики близ С.-Петербурга до Северной Земли и Енисея в Сибири. Эта область достаточно широка, чтобы пренебречь локальными особенностями атмосферных процессов, и достаточно однородна, так как размеры крупных атмосферных образований сопоставимы с размерами всей области. Данные по давлению записаны с 1 января 1948 г по 31 декабря 2008 г. ежесуточно в одноградусной сетке. Данные получены в Гидрометцентре РФ и использовались ранее в некоторых работах (см. [11]). На рис. 1(а–г) представлены поля давления в ограниченной области на 1 января с интервалом 20 лет (от 1948 до 2007 гг.).

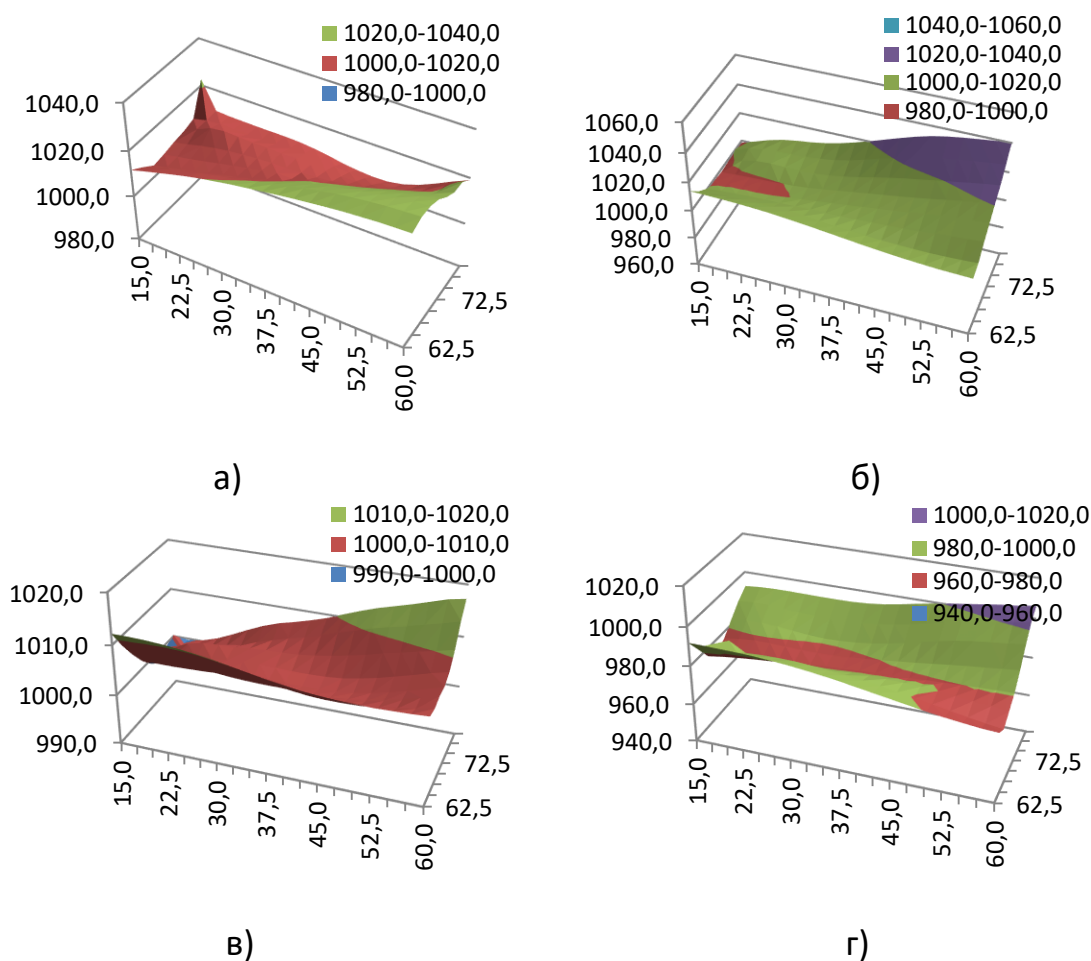


Рисунок 1. Наблюдаемые поля давления Северной зоны РФ на 1 января:
а) 1948 год; б) 1967 год; в) 1987 год; г) 2007 год.

Из рис. 1 видно, что поля давления имеют многолетнюю изменчивость, но достаточно однородны по пространству, области примерно равного давления за-

нимают большую часть пространственной области. Некоторое исключение составляет 1987 г, но и в этом году пространственный градиент давления невелик, составляет приблизительно 10 гпк на 1000 км. Поэтому с большой степенью точности поле давления можно считать однородным, и к нему применимы методы, описанные в предыдущем параграфе.

По приведенным данным наблюдений по формулам (3) и (4) строились коэффициенты $a(t, x)$ и $b^2(t, x)$ для каждого X – значения давления в рассматриваемой области на конкретные сутки. При этом разбиения всей области значений давления осуществлялись на 20 и 60 интервалов.

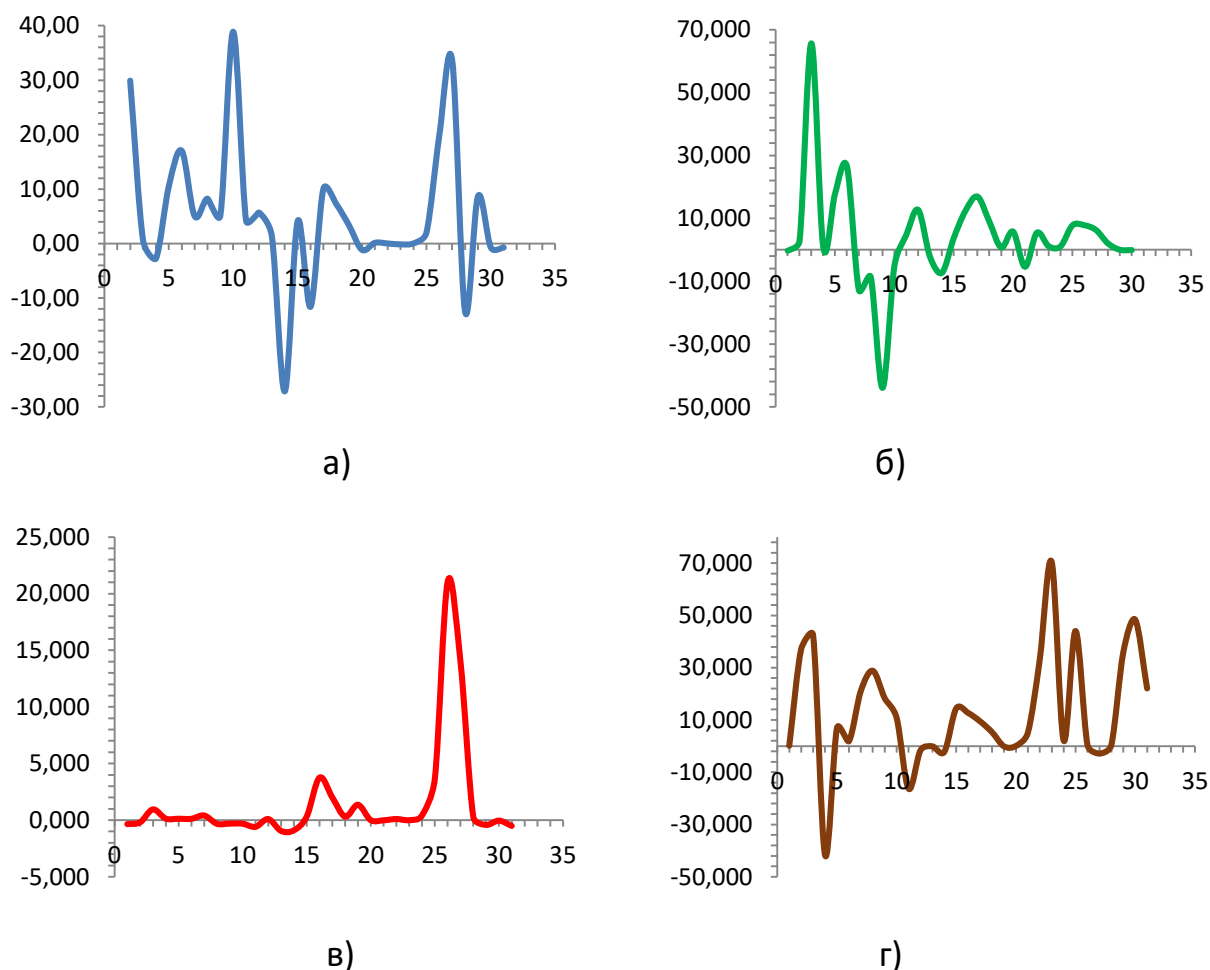


Рисунок 2. Поведение среднего коэффициента $a(t, x)$ 20 интервалов за 2007 год: а) январь; б) апрель; в) июль; г) октябрь.

В представленных иллюстрациях продемонстрированы поведение среднего значения коэффициентов $a(t, x)$ и $b^2(t, x)$ их сезонная и межгодовая изменчивость.

Рисунки 2(а–г) демонстрируют поведение среднего коэффициента $a(t, x)$ за 2007 год при разбиении на 20 интервалов. Из формулы (1) видно, что средним для процесса dX будет $a(t, x) = 0$. Однако выборочное среднее $a(t, x)$ с теоретическим средним может не совпадать, и это отличие необходимо проанализировать. 2007 год взят как показательный, в другие годы картина похожая. На этих рисунках обращает на себя внимание то, что разброс коэффициента $a(t, x)$ около среднего значения, равного нулю, очень мал летом, в июле и достаточно велик в переходные месяцы – апрель и октябрь, особенно в октябре, причем в основном отклонение от нуля положительное. Это значит, что атмосферные образования (циклоны и антициклоны) в рассматриваемом районе в основном изменяются в сторону повышения давления, то есть приходящий циклон (а их большинство) не углубляется, то есть давление не понижается.

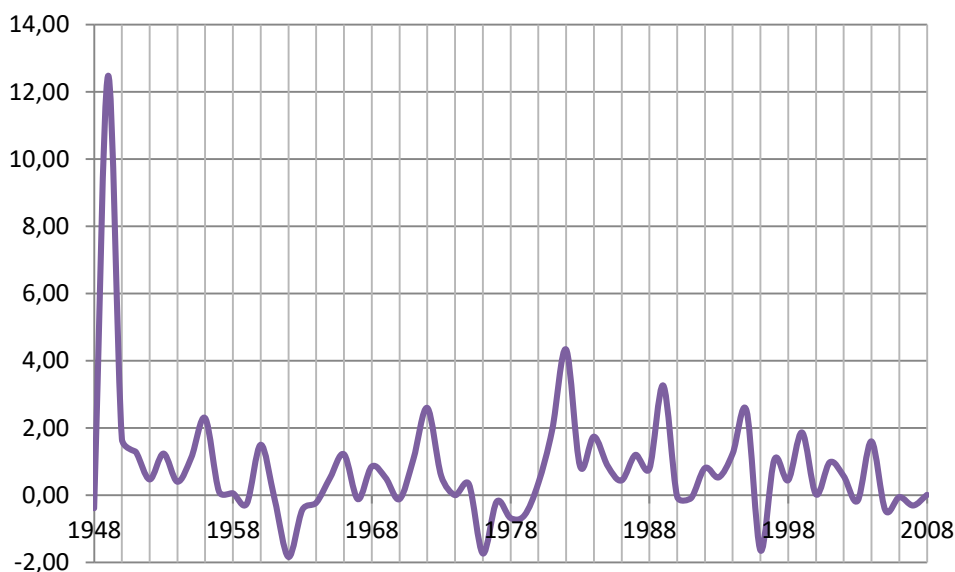


Рисунок 3. Кривая изменения коэффициента $a(t, x)$ с 1948 по 2008 годы (измерение в 0 часов 15 января).

На рис. 3 показан межгодовой ход для коэффициента $a(t, x)$ для 15 января в период с 1948 по 2008 годы. Изменение давления, выраженное в значениях ве-

личин $a(t, x)$, взятое на 15-е число каждого месяца, показывает, что есть квазипериодические многолетние колебания, с довольно хорошо выраженным 11-летним циклом и несколько хуже с квазидвухлетним циклом. Эти циклы хорошо известны в геофизике и связаны как с колебаниями солнечной активности, так и двухлетним колебанием ветра и давления, отмеченным ранее многими авторами, например, [12]. Отметим, что в начале расчета, 1948 г график содержит резкий всплеск в значениях коэффициента, а потом таких всплесков больше не наблюдается. Это объясняется тем фактом, что в начале архива за 1948 г данные наблюдений были недостаточно гладкие, содержали много шумов и недостоверных значений. Однако затем эти данные существенно вычищались и сглаживались.

Рис. 4(а–г) иллюстрирует поведение среднего коэффициента $b^2(t, x)$ за 2007 год, а рис. 5 – межгодовой ход коэффициента $b^2(t, x)$ для 15 января соответственно.

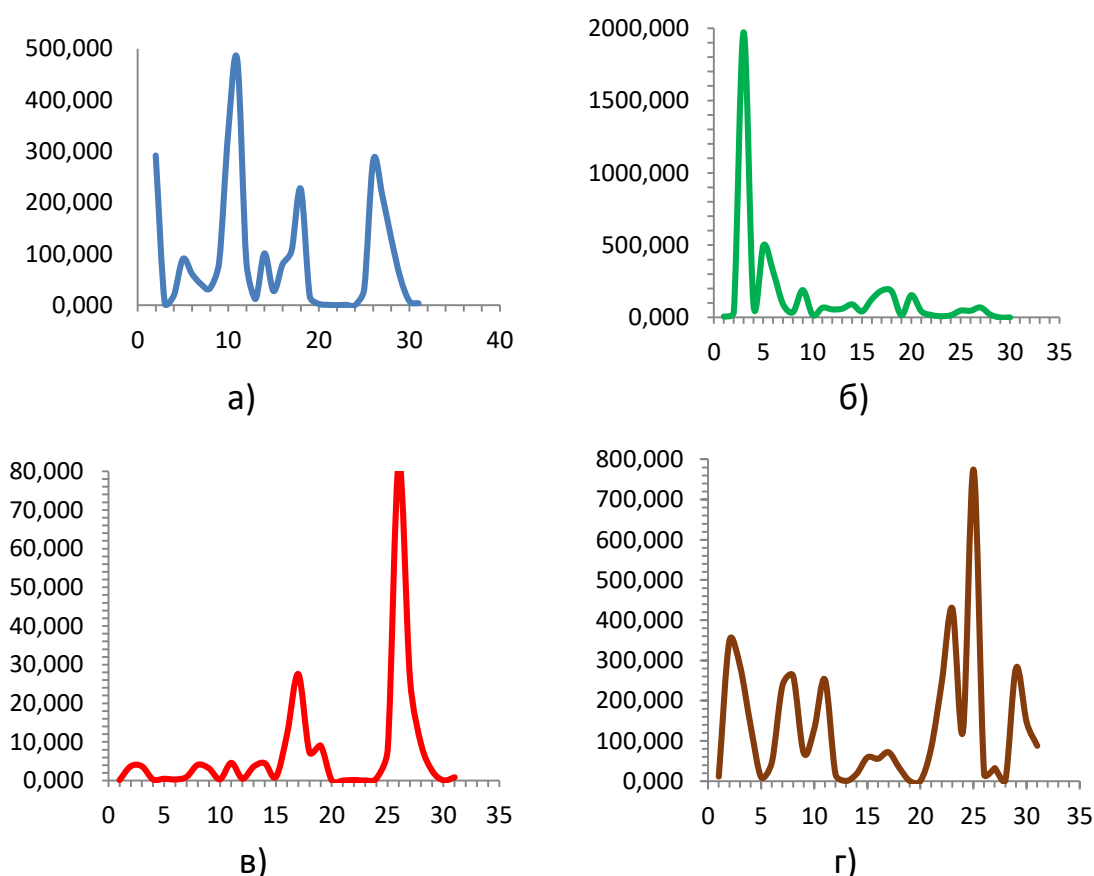


Рисунок 4. Поведение среднего коэффициента $b^2(t, x)$, 20 интервалов за 2007 год: а) январь; б) апрель; в) июль; г) октябрь.

Из рис. 4 и 5 видно, что коэффициент $b^2(t, x)$ достаточно хорошо соответствует коэффициенту $a(t, x)$, но с некоторыми отличиями. Так, из рис. 5 видно, что сезонный ход для коэффициента $b^2(t, x)$ выражен слабее, например, его почти не видно в апреле или июле, а межгодовой ход хуже отражает 11-летний цикл (хотя он тоже есть) и лучше – квазидвухлетний цикл, чем коэффициент $a(t, x)$. Каких-либо линейных трендов ни коэффициент $a(t, x)$, ни коэффициент $b^2(t, x)$ не содержат. Также наблюдается сильный всплеск в 1948 г, его объяснения даны выше.

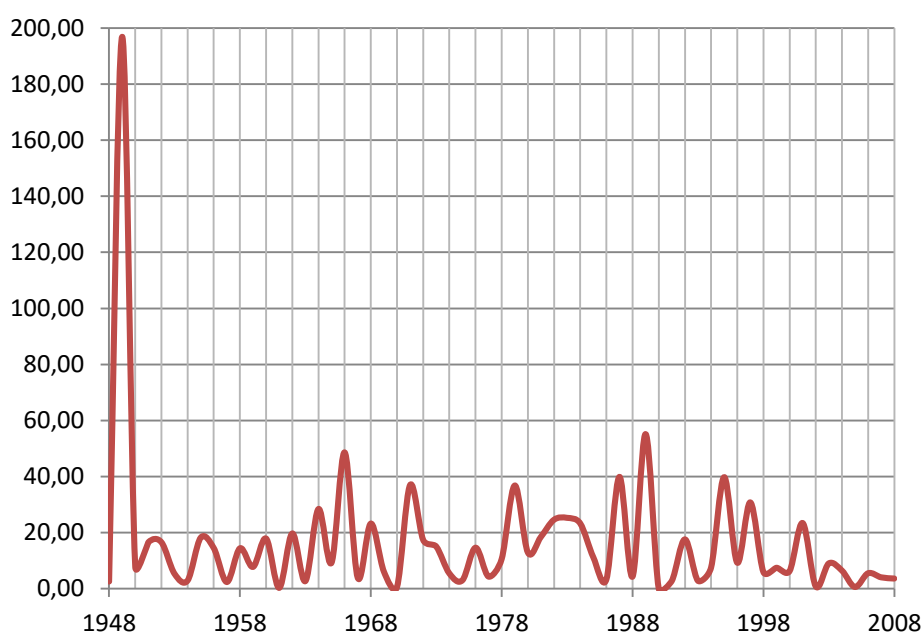


Рисунок 5. Кривая изменения коэффициента $b^2(t, x)$ с 1948 по 2008 годы (измерение в 0 часов 15 января).

На рис. 6 приведено пространственное расположение коэффициента $a(X)$, всего 4 значения на 15 января 1948, 1968, 1988 и 2008 гг. (через 20 лет).

Видно, что скачки значений этого коэффициента достаточно локализованы и не превышают 5 гпк/сутки с разным знаком. Пространственное расположение этого коэффициента по области равномерное, заметных зон локализации и выбросов не наблюдается. Еще следует отметить, что изолинии значений коэффициента $a(t, x)$ достаточно локальны по сравнению с размерами самой области (показано разными цветами), что говорит о локальном характере изменений давления в крупном масштабе.

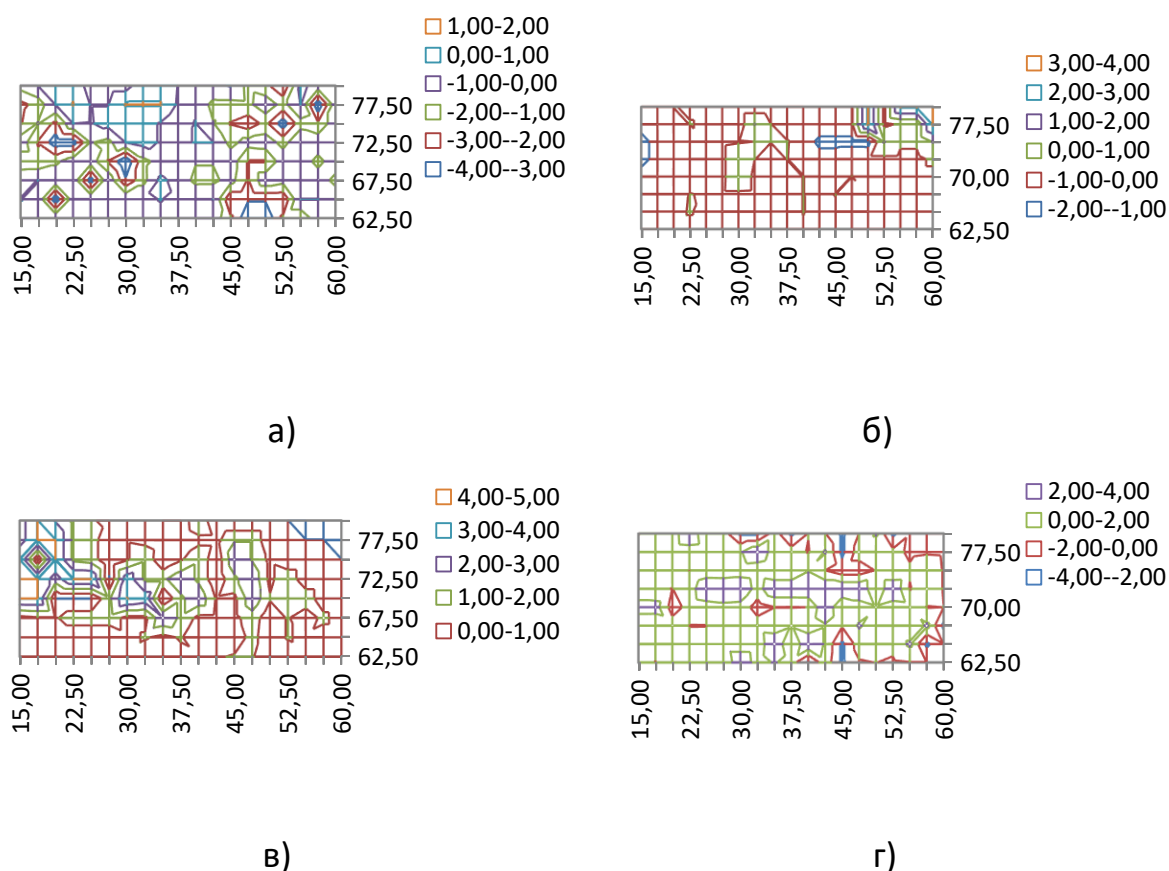


Рисунок 6. Поля коэффициентов $a(t, x)$ на 15 января за: а) 1948; б) 1968; в) 1988; г) 2008 годы.

Коэффициент $b^2(t, x)$ (рис. 7) более хаотичен, его распределение по пространству не столь гладко, как для коэффициента $a(X)$. Кроме того, можно сделать вывод, что пространственное расположение коэффициента $b^2(t, x)$ более локализовано и сосредоточено сплошными зонами (кроме значений за 2008 г.). По амплитуде размах этого коэффициента существенно больше, чем для коэффициента $a(t, x)$, локально же он занимает меньший размер всей области.

Еще можно отметить, что при увеличении разбиения на число интервалов графики 3 и 5 становятся более гладкими, рис. 4 и 6 – более выраженными, но качественно они совпадают. Поэтому результаты работы качественно не зависят от числа разбиений. Однако для корректности и надежности расчетов требуется, чтобы при разбиении каждый интервал содержал хотя бы одно наблюдение,

чтобы можно было корректно рассчитывать условные вероятности по формулам (3) и (4).

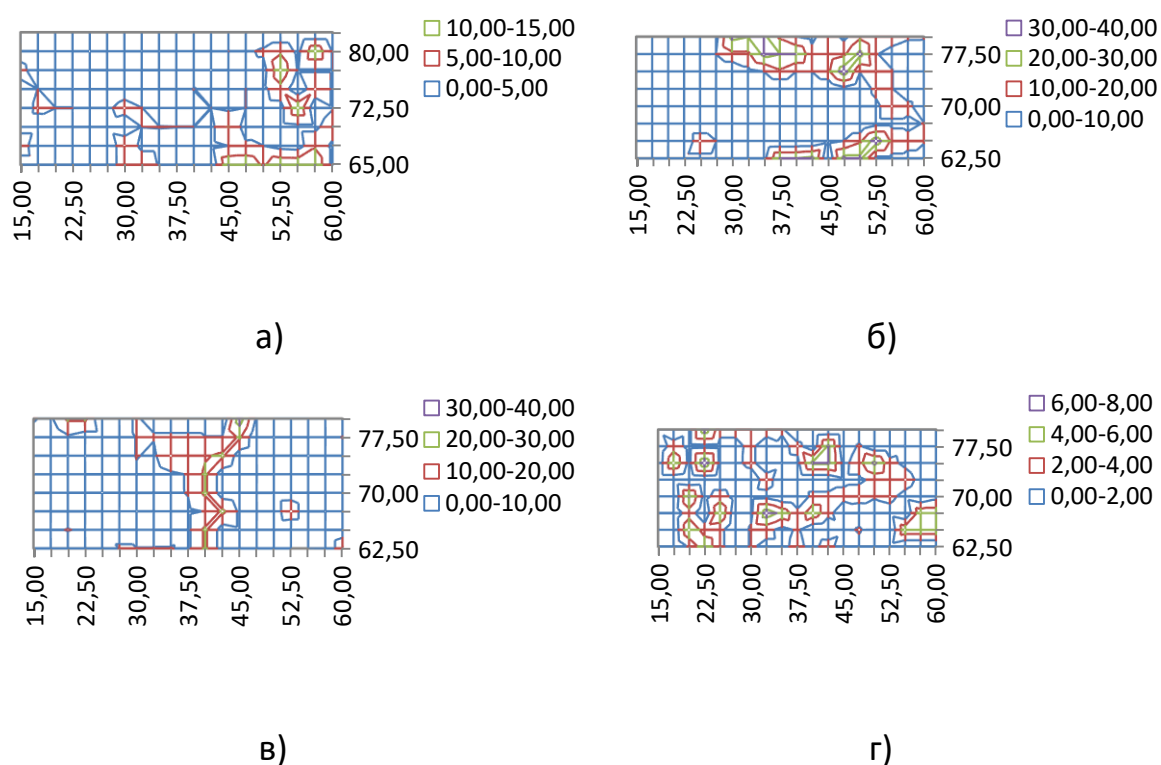


Рисунок 7. Поля коэффициентов $b^2(t, x)$ на 15 января: а) 1948; б) 1968; в) 1988; г) 2008 годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе получены характеристики, отражающие как долговременное, так и кратковременное поведение инкремента давления в Северной области России за 60 лет. Знание таких характеристик очень полезно при среднесрочных и долгосрочных прогнозах погоды и изменений климата, а также моделировании динамики течений в Северных морях России, особенно при расчетах проводки судов по Северному морскому пути. Кроме того, знание и прогноз характеристик, полученных в работе, позволит рассчитать и определить доверительные границы возможных значений давления, значит, и ряда производных от этой величины,

например, геострофического ветра, что позволит применить эти знания при определении экстремальных величин, таких как сильные ветра, экстремальные волны и ряда других характеристик.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 18-29-10085мк, и в рамках тем Министерства науки и высшего образования РФ 0149-2019-0004 и «Математические методы анализа данных и прогнозирования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kendall M., Stuart A., Ord J.K.* The Advanced Theory of Statistics. Vol. 3: Design and Analysis, and Time-Series. Fourth edition Hardcover. March 13, 1983.

2. *Murphy J.* Technical analysis of the futures markets. A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications. New York Institute of Finance, 1986. 556 p.

3. *Привальский В.Е.* Статистическая предсказуемость средней годовой температуры воздуха северного полушария // Докл. АН СССР. 1981. Т. 257. № 6. С. 1342–1345.

4. *Беляев К.П., Музыченко А.С., Селеменов К.М.* Статистические характеристики формирования аномалий поверхностной температуры воды // Сб. Статистические закономерности климатической изменчивости океанов, ред. Лаппо С.С. Л: Гидрометиздат, 1988. С. 65–72.

5. *Balasmeh O., Babbar R., Karmaker T.* Trend analysis and ARIMA modeling for forecasting precipitation pattern in Wadi Shueib catchment area in Jordan // Arabian Journal of Geosciences. 2019. V. 12, 27. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4205-z>

6. *Гухман И., Скороход А.* Введение в теорию случайных процессов. М.: Наука, 1965. 655 с.

7. *Назаров А., Терпунов А.* Теория вероятностей и случайных процессов. Изд-во Томского госуниверситета, 2010. 204 с.

8. *Risken H.* The Fokker–Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. Springer. 1984. 452 p.

9. *Беляев К., Кулешов А., Танажура К., Тучкова Н.* Метод коррекции расчетов динамической модели данными наблюдений и его применение к анализу динамики Атлантического океана // Матем. моделирование. 2015. Т. 27. № 2. С. 20–32.

10. *Tanajura C.A.S., Belyaev K.* On the oceanic impact of a data-assimilation method in a coupled ocean-land-atmosphere model // *Ocean Dynamics*. 2002. Vol. 52. № 3. P. 123–132.

11. *Попов С.К.* Влияние морского льда на приливные колебания уровня моря и скорости течений в Баренцевом и Белом морях // Труды Гидрометцентра РФ, Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 4 (370). С. 137–155.

12. *Девятова Е.В., Мордвинов В.И.* Квазидвухлетнее колебание ветра в низкоширотной стратосфере и волновая активность атмосферы зимой в северном полушарии // Изв. РАН, ФАО. 2011. Т. 47. № 5. С. 608–621.

SEASONAL AND DECADEAL VARIABILITY OF ATMOSPHERE PRESSURE IN ARCTIC, ITS STATISTICAL AND TEMPORAL ANALYSIS

K. P. Belyaev^{1[0000-0003-2111-2709]}, **G. M. Mickailov**^{2[0000-0002-4535-7180]},

A. N. Salnikov^{3[0000-0001-8669-9905]}, **N. P. Tuchkova**^{4[0000-0001-6518-5817]}

^{1,2,3,4}*Dorodnicyn Computing Center FRC CSC of RAS, Vavilov str., 40, 11933, Moscow*

¹*Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Nahimovskiy pr., 36, 117218, Moscow*

³*Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, 11999, Moscow*

¹*kosbel55@gmail.com*, ²*gmickail@ccas.ru*, ³*salnikov@angel.cs.msu.ru*, ⁴*natalia_tuchkova@mail.ru*

Abstract

The paper analyzes the statistical and temporal seasonal and decadal variability of the atmospheric pressure field in the Arctic region of Russia. Schemes for the frequency analysis of probability transitions for characteristics of stochastic-diffusion processes were used as the main research method. On the basis of the given series of 60 years long from 1948 to 2008, such parameters of diffusion processes as the mean (drift process) and variance (diffusion process) were calculated and their maps and time curves were constructed. The seasonal and long-term variability of calculated fields was studied as well as their dependencies on a discretization of the frequency

intervals. These characteristics were analyzed and their geophysical interpretation was carried out. In particular, the known cycles of solar activity in 11 and 22 years were revealed. Numerical calculations were performed on the Lomonosov-2 supercomputer of the Lomonosov Moscow State University.

Keywords: *time series analysis, random diffusion processes, seasonal and long-term variability of atmospheric pressure*

REFERENCES

1. Kendall M., Stuart A., Ord J.K. The Advanced Theory of Statistics. Volume 3: Design and Analysis, and Time-Series. Fourth edition Hardcover – March 13, 1983.
2. Murphy J. Technical analysis of the futures markets. A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications. New York Institute of Finance, 1986. 556 p.
3. Prival'skij V.E. Statisticheskaya predskazuemost' srednej godovoj temperatury vozduha severnogo polushariya // Dokl. AN SSSR. 1981. Vol. 257. № 6. S. 1342–1345.
4. Belyaev K.P., Muzychenko A.C., Selemenov K.M. Statisticheskie harakteristiki formirovaniya anomalij poverhnostnoj temperatury vody // Sb. Statisticheskie zakonomernosti klimaticheskoy izmenchivosti okeanov, red. Lappo S.S. L: Gidrometizdat, 1988. S. 65–72.
5. Balasmeh O., Babbar R., Karmaker T. Trend analysis and ARIMA modeling for forecasting precipitation pattern in Wadi Shueib catchment area in Jordan // Arabian Journal of Geosciences. 2019. V. 12, 27. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4205-z>.
6. Gihman I., Skorohod A. Vvedenie v teoriyu sluchajnyh processov. M.: Nauka, 1965. 655 s.
7. Nazarov A., Terpunov A. Teoriya veroyatnostej i sluchajnyh processov. Izd-vo Tomskogo Gosuniversiteta. 2010. 204 s.
8. Risken H. The Fokker–Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. Springer. 1984. 452 p.
9. Belyaev K., Kuleshov A., Tanajura K., Tuchkova N. Metod korrekcii raschetov dinamicheskoy modeli dannymi nablyudenij i ego primenenie k analizu dinamiki Atlanticheskogo okeana // Matem. Modelirovanie. 2015. Vol. 27. № 2. S. 20–32.

10. *Tanajura C.A.S., Belyaev K.* On the oceanic impact of a data-assimilation method in a coupled ocean-land-atmosphere model // Ocean Dynamics. 2002. Vol. 52. № 3. P. 123–132.

11. *Popov S.K.* Vliyanie morskogo l'da na prilivnye kolebaniya urovnya morya i skorosti techenij v Barencevom i Belom moryah // Trudy Gidrometcentra RF, Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy. 2018. № 4 (370). S. 137–155.

12. *Devyatova E.V., Mordvinov V.I.* Kvazidvuhletnee kolebanie vetra v nizkoshirotnoj stratosfere i volnovaya aktivnost' atmosfery zimoj v severnom polusharii // Izv. RAN, FAO. 2011. Vol. 47. № 5. S. 608–621.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



БЕЛЯЕВ Константин Павлович – ведущий научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и ФИЦ ИУ, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры теории вероятностей и статистики МГУ им. М.В. Ломоносова. Сфера научных интересов – математическое моделирование и усвоение данных наблюдений, статистический анализ натуральных данных.

Konstantin Pavlovich BELYAEV – leading scientist of Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science. Doctor of science, professor of Dept. of Applied Math and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University. Research interests – math. modelling and data assimilation, statistical analysis of natural data.

email: kosbel55@gmail.com



МИХАЙЛОВ Гурий Михайлович – ведущий научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, кандидат физ.-мат. наук. Сфера научных интересов – архитектура вычислительных систем и сетей, вычислительные и информационные технологии.

Gury Mickailovich MICKAILOV – leading scientist of Dorodnicyn computing center FRC SCS RAS, PhD in physics with a math degree. Research interests include architecture of computing systems and networks, computing and information technology.

email: gmickail@ccas.ru



САЛЬНИКОВ Алексей Николаевич – ведущий научный сотрудник кафедры математической физики факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова, кандидат физ.-мат. наук. Сфера научных интересов – параллельное программирование, биоинформатика, суперкомпьютеры.

Alexey Nikolaevich SALNIKOV – leading researcher Dept. of Applied Math. and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University, PhD in physics with a math degree. Research interests include bioinformatics, parallel and supercomputing programming

email: salnikov@angel.cs.msu.ru



ТУЧКОВА Наталия Павловна – старший научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, кандидат физ.-мат. наук, окончила ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова. Специалист в области алгоритмических языков и информационных технологий.

Natalia Pavlovna TUCHKOVA – senior researcher of Dorodnicyn computing center FRC SCS RAS, PhD in physics with a math degree, graduated from CS Faculty of Lomonosov MSU. The expert in the field of algorithmic languages and information technologies.

email: natalia_tuchkova@mail.ru

Материал поступил в редакцию 25 ноября 2020 года