

УДК 519.6, 519.2

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

Н. П. Тучкова¹ [0000-0001-5357-9640], К. П. Беляев² [0000-0003-2111-2709],
Г. М. Михайлов³ [0000-0002-4535-7180], А. Н. Сальников⁴ [0000-0001-8669-9905]

¹⁻⁴Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ Информатика
и управление РАН, г. Москва

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

⁴ФОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
факультет ВМК, г. Москва

¹natalia_tuchkova@mail.ru, ²kosbel55@gmail.com, ³gmickail@ccas.ru,

⁴salnikov@angel.cs.msu.ru

Аннотация

Представлены результаты исследований атмосферного давления в Арктическом регионе России в период с 1948 по 2008 годы. Проведен анализ климатического сезонного хода полей атмосферного давления. В качестве основного метода исследования использован вероятностный и статистический анализ временных рядов поля давления длиной в 60 лет в фиксированных точках области Арктической зоны России. Всего было исследовано около 90000 ежедневных (с шестичасовым шагом) значений давления. На основе этих данных построен климатический сезонный ход как осреднение значений данного временного ряда в каждой точке пространства и для фиксированной даты. Изучены характеристики сезонного хода, его амплитуда и фаза. Эти характеристики были проанализированы, проведена их геофизическая интерпретация. В частности, определены минимальное и максимальное значения ряда по всей области и построены временные ряды этих характеристик. Показано, что отклонение носит несимметричный характер, это составляет неочевидный результат исследований. Для максимума и минимума построены наилучшие аппроксимации, и эти аппроксимации протестированы известными методами статистического анализа, включая методы максимального правдоподобия, наименьших квадратов и методы (критерии) согласия,

в частности, χ^2 -критерий. Проведенное исследование имеет приложение как чисто физическое (позволяет объяснить природу, генезис и распространение крупномасштабных атмосферных образований в климатическом году), так и прогностическое (позволяет понять и отследить тенденции в климате, а также количественно оценить масштабы и изменчивость крупномасштабных атмосферных процессов). Численные расчеты выполнялись на суперкомпьютере Ломоносов-2 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

***Ключевые слова:** анализ временных рядов, климатический сезонный ход, максимальные и минимальные значения давления внутри климатического года.*

ВВЕДЕНИЕ

В работе использованы методы анализа временных рядов, в частности, разбиение временного ряда на периодическую и непериодическую составляющие. Такие методы успешно используются при анализе финансового рынка [1] и многолетней изменчивости геофизических характеристик, таких как температура воздуха или воды [2], и в более сложных моделях и схемах [3]. В геофизических схемах часто используется понятие климатического сезонного хода, когда строятся средние значения всего временного ряда на каждую дату года и в каждой фиксированной точке пространства. Например, все значения на 1 января в конкретной точке пространства за весь период наблюдений усредняются, и в результате строится среднее значение ряда на 1 января, которое считается климатическим значением. Эту процедуру осуществляют на каждое число внутри года, таким образом, строится климатический сезонный ход конкретной физической характеристики. Подробно этот метод описан, например, в работе [4]. Далее в исследованиях можно более подробно проанализировать полученный ряд наблюдений, например, выделить максимальные и (или) минимальные значения этой физической характеристики по заданной области и изучить изменчивость только этих максимума или минимума. Заметим важность названных характеристик, поскольку, например, в поле атмосферного давления эти экстремумы связаны с такими физическими процессами, как циклоны и антициклоны, их локализацией и изменчивостью.

Изучению Арктического региона посвящено колоссальное количество современных работ, поскольку климат этого региона оказался особенно подвержен

изменениям в связи с глобальным потеплением последних десятилетий, что привело к значительному уменьшению снежного и ледяного покрова [5, 6]. Например, в работе [7] представлены результаты анализа полей давления Арктического региона в «ранний инструментальный» период 1801–1920 гг. Эти данные относятся ко времени начала сбора метеорологических данных из сети регулярных станций. Массив наблюдений [7] за 20 лет недостаточен для оценки климатического сезонного хода, однако их анализ позволил авторам получить представление о состоянии давления в Арктике и выяснить, что, в целом, оно было ниже современного.

В настоящей работе продолжены исследования, опубликованные ранее в работах [8, 9]. Так же, как в этих работах, здесь использовалось поле атмосферного давления в области, ограниченной координатами 62°с.ш. – 80°с.ш. и 15°в.д. – 60°в.д. С одной стороны, эта область достаточно широка, чтобы пренебречь локальными особенностями атмосферных процессов, с другой – достаточно однородна, так как размеры крупных атмосферных образований сопоставимы с размерами всей области. По времени данные по давлению записаны с 1 января 1948 г. по 31 декабря 2008 г. ежедневно в одноградусной сетке. Эти данные получены в Гидрометцентре России¹ и использовались ранее в некоторых работах, например, [10].

Ниже приведены также результаты вероятностного анализа полей атмосферного давления, выполненного на основе разбиения всего ряда на периодическую и непериодическую составляющие. Отдельно такой анализ осуществлен для максимальных и минимальных значений полей давления по области и внутри климатического года. Показано, что изученные процессы могут быть представлены в виде суммы, где одно слагаемое характеризует регулярный периодический сигнал, а другое – случайный процесс, независимый от первого. Характеристики этого случайного процесса можно определить из полученной выборки. При этом и периодический сигнал, и характеристики случайного процесса для максимума и минимума давления различны, имеют свои принципиальные особенности и требуют дополнительного изучения.

¹ <http://meteoinfo.ru>

Для поля атмосферного давления в регионе, который мы рассматриваем, максимальные и минимальные значения заметно отличаются. Если минимумы по пространству изменяются от 980 гПа до 995 гПа, то максимумы изменяются от 1010 гПа до 1025 гПа, и эти значения в течение года «мигрируют» внутри области. Это связано с поведением циклонов и антициклонов, их передвижением, углублением и перестройкой. В Арктической области России циклонов в течение климатического года наблюдается заметно больше, чем антициклонов, поэтому распределения их характеристик различны. Отметим, что размер циклонического атмосферного образования, которое, в основном, и формирует поле давления, сопоставим с размерами всей рассматриваемой области. Другими словами, мы имеем дело с одним, максимум, двумя циклонами и антициклонами одновременно.

В настоящей работе выполнено следующее исследование:

- построен климатический сезонный процесс для поля атмосферного давления в районе Арктической области России, описаны его особенности для максимальных и минимальных значений по области;
- построены временные графики этих характеристик, проведен их анализ;
- проведено разбиение этих процессов на периодические и аperiodические составляющие, оценены амплитуды и фазы периодических составляющих;
- для аperiodических составляющих подобраны оптимальные в смысле минимума дисперсии аппроксимации наблюдаемых величин, показано их согласие с аппроксимирующими распределениями.

1. ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ

Рассмотрим поле атмосферного давления в области, ограниченной координатами 62°с.ш. – 80°с.ш. и 15°в.д. – 60°в.д., то есть Европейскую часть Арктической зоны России, включая побережье Балтики, акваторию Белого, Баренцева морей до Карского моря и полуострова Ямал. Это достаточно широкая область для того, чтобы пренебречь локальными особенностями атмосферных процессов, а также достаточно однородная, поскольку размеры крупных атмосферных образований сопоставимы с размерами этой области. Данные наблюдений за давлением записаны в период с 01.01.1948 по 31.12.2008 гг. ежедневно с интервалом в 6 часов в одноградусной сетке.

Для наглядности представим сами поля давления, характерные для этого региона. На рис. 1 показано среднее поле давления для каждой точки Европейской части Арктической зоны РФ за 60 лет с 1948 до 2008 гг. Видно, что поле представляет собой достаточно гладкую по пространству поверхность, хотя, если представить сами значения в виде кривой (рис.2), то становятся заметны скачки и аномалии внутри годового сезонного хода.

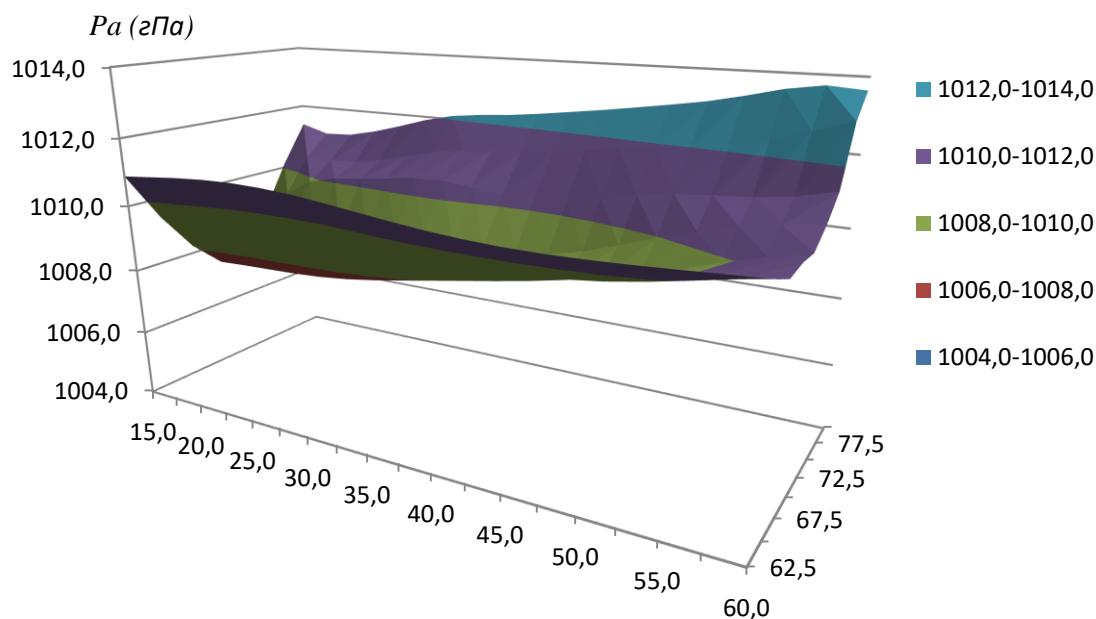


Рис. 1. Поле средних значений давления за 60 лет для каждой точки области, ограниченной координатами 62°с.ш. – 80°с.ш. и 15°в.д. – 60°в.д.

На рис. 2 показана кривая изменения средних значений за весь временной период наблюдений на каждый день. Можно увидеть, что нет видимых закономерностей, но есть периоды наибольших скачков значений, например, в 1958 г. и 1968–1988 гг. Начиная с 1975 г., по данным Гидрометцентра РФ, намечается тренд на увеличение скачков температуры, что показано в работе [11] на картине аномалий среднегодовой температуры воздуха в Арктическом регионе.

Разница аномалий средних значений в период 1948–2008 гг. для Европейской части Арктической зоны России составляет 8,04 гПа, а за период 1882–1990 гг. для всего Арктического региона в соответствии с исследованиями [7, Table

VII] – 1,4 гПа. Это сравнение дает представление об изменении тренда наблюдаемых значений.

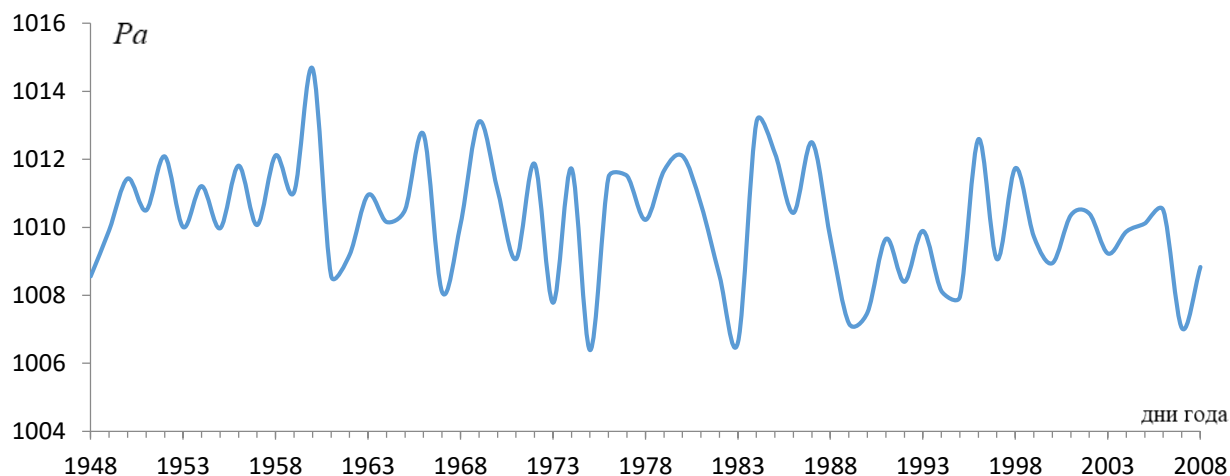


Рис. 2. Кривая средних значений давления для каждого дня за 60 лет с 01.01.1948 по 31.12.2008 в Арктической зоне РФ

2. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ

В рассматриваемых полях выделялись области минимального и максимального давления за каждые сутки и строились графики их поведения для значений, средних за климатический год.

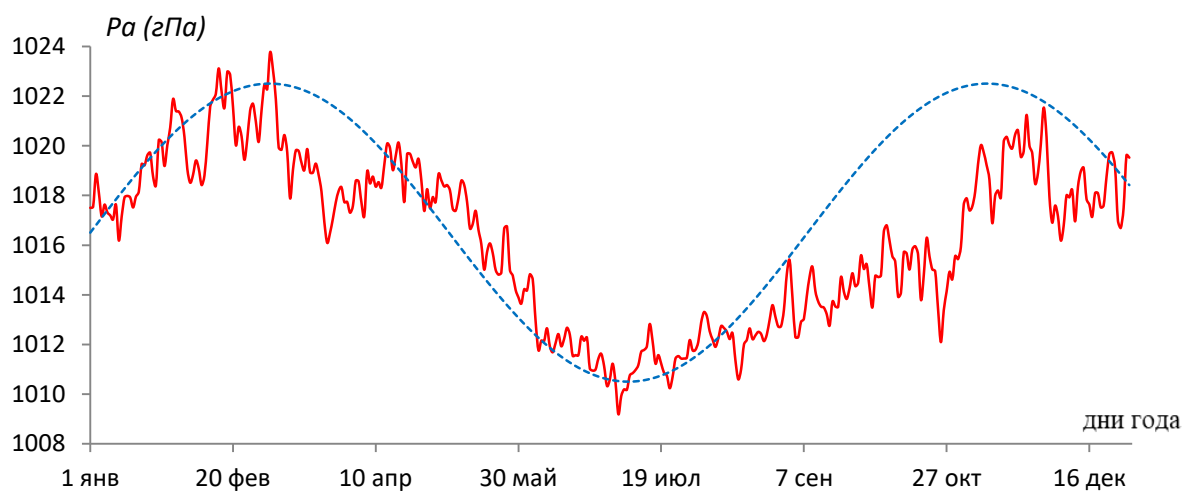


Рис. 3. Поведение среднегодового максимума давления – красная линия; аппроксимация – синий пунктир.

На рис. 3 приведены графики среднего максимума климатического годового хода за рассматриваемый период и аппроксимирующей функции. Показано

поведение среднегодового максимума давления Pa (y_i) по всей области за весь период с 1948 по 2008 годы и на всем пространстве $62,5^\circ\text{с.ш.} - 80^\circ\text{с.ш.}$ и $15^\circ\text{в.д.} - 60^\circ\text{в.д.}$ в сравнении с тригонометрической функцией $f_i = 6\sin(0,01y_i) + 1016,5$ (год – усредненный по массиву данных наблюдений год). Из рис. 3 очень хорошо видно, что поведение максимума можно представить в виде суммы тригонометрической функции и случайного остатка. Методом наименьших квадратов можно найти параметры этой тригонометрической функции, которая оказывается равной $f_i = A + B\sin \omega y_i$, где $A=1016,5$ (гПа), $B=6$ (гПа), $\omega=0,01(\text{год}^{-1})$. После вычитания из «красной линии» ее аппроксимации получается кривая (ΔPa), показанная на рис. 4 (начало координат перенесено для лучшей презентации).

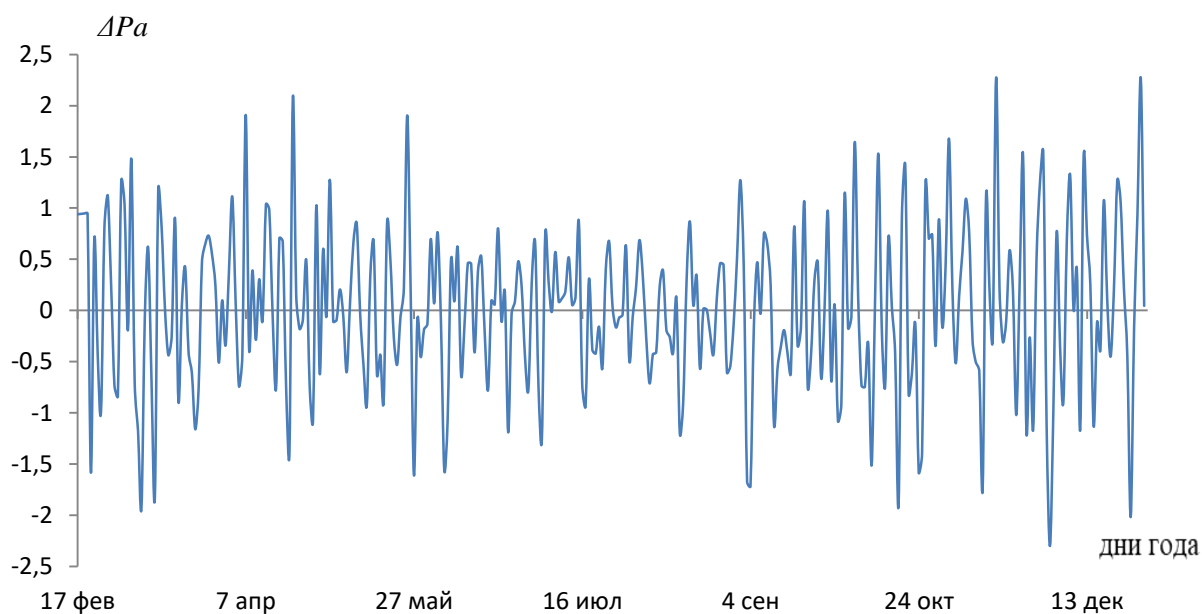


Рис. 4. Разность между наблюдаемой и аппроксимирующей кривой для среднегодового максимума давления.

Из рис. 4 видно, что величина разности ΔPa не имеет заметной регулярной изменчивости и может рассматриваться как случайная величина, не зависящая от аппроксимирующей функции (см. рис. 3). Имеет смысл известными статистическими методами, в частности, методом наибольшего правдоподобия, подобрать вероятностное распределение этой величины. Соответствующая аппроксимации

гистограмма частот показана на рис. 5. Предварительно была проведена центровка остатка поля давления относительно величины $A=1016,5$ (гПа).

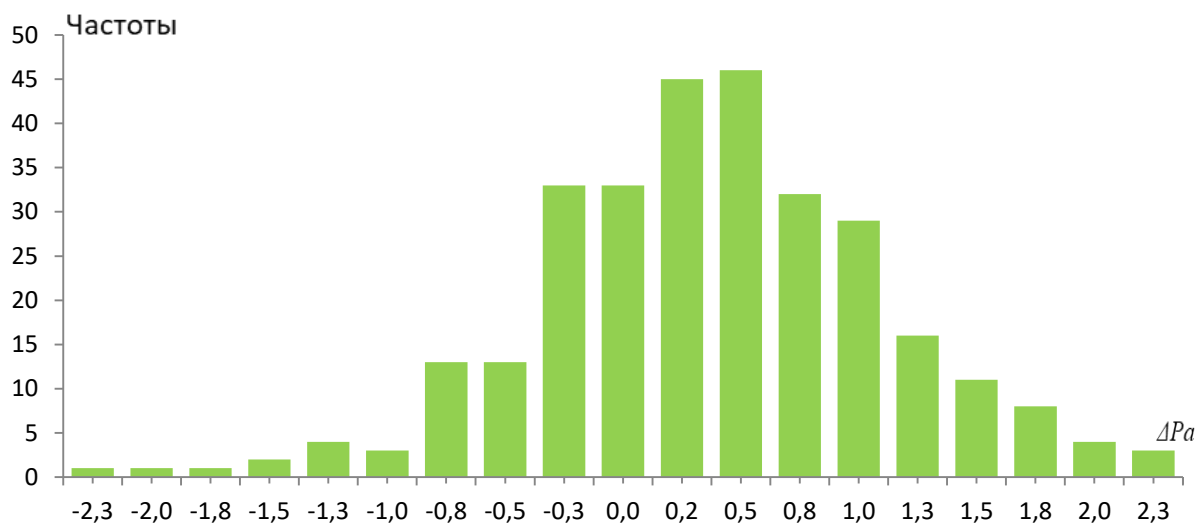


Рис. 5. Гистограмма максимумов для ΔPa среднегодового климатического хода.

Эта гистограмма достаточно хорошо, с нужной степенью вероятности относительно критерия χ^2 согласуется с двумя распределениями: Гаусса (Pd_1) и Максвелла (Pd_2), что показано на рис. 6 (а, б).

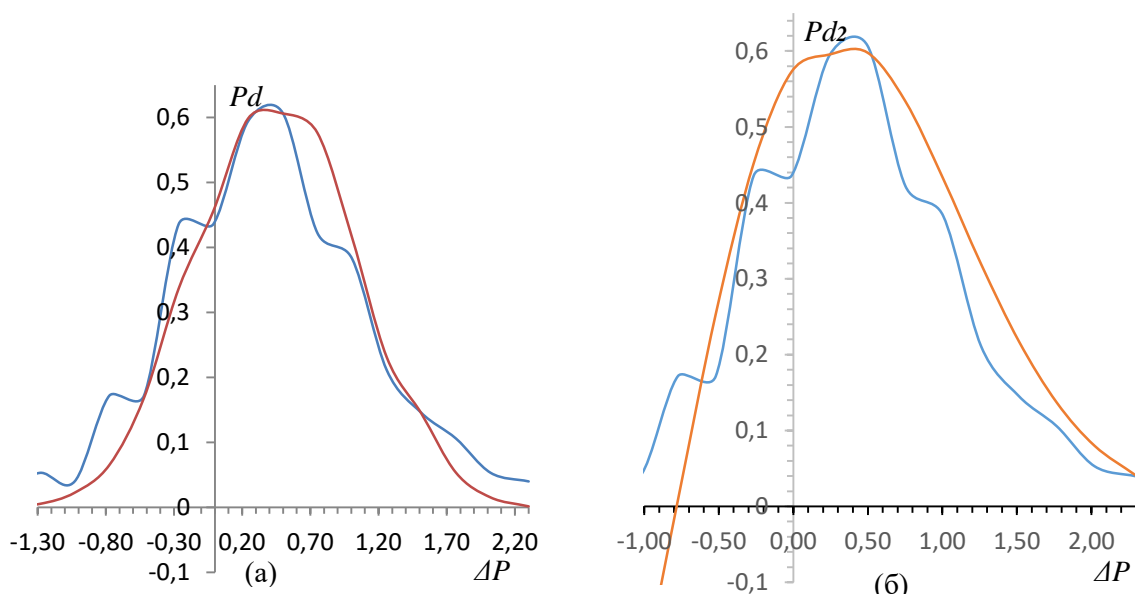


Рис. 6. Аппроксимация случайного остатка максимумов (синяя кривая) распределением: а) Гаусса (красная кривая); б) Максвелла (красная кривая).

Для распределения Гаусса $F_1(x) = \beta \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}}$ оптимальными параметрами будут $\alpha=0,277$, $\sigma=0,5$, $\beta=0,78$. При этом аппроксимация происходит равномерно по всей области, но не очень хорошо в области малых вероятностей («хвостов» распределения). Распределение Максвелла $F_2(x) = \frac{(x-\alpha)}{\sigma^2} e^{-\frac{(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}}$ при параметрах $\alpha=1$, $\sigma=0,8$ гораздо лучше аппроксимирует «хвосты», но плохо аппроксимирует область малых отрицательных значений давления.

Аналогичное исследование было выполнено и для минимумов давления. Поведение климатических сезонных минимумов показано на рис. 7 (год – усредненный по массиву данных наблюдений год).

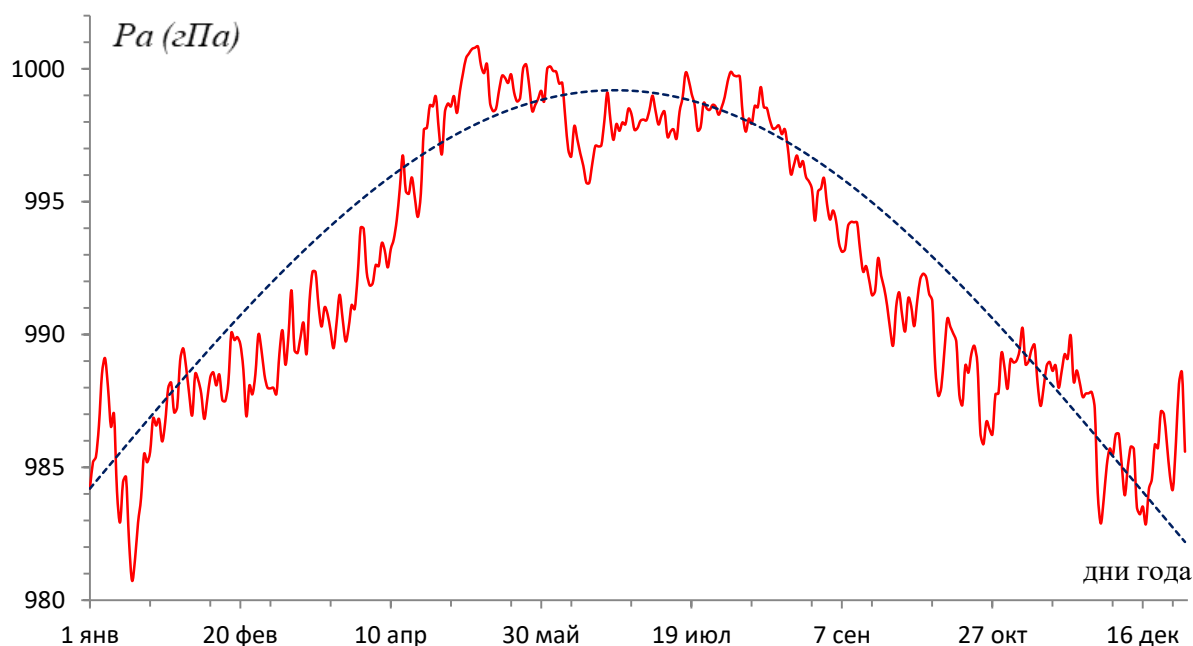


Рис. 7. Кривая средних ежедневных минимумов (красная линия) и аппроксимирующая кривая (синий пунктир).

Кривая средних ежедневных минимумов (1948–2008 гг., во всем регионе) и аппроксимирующая кривая $f_i = A + B \sin \omega x_i$, $A=984,2$, $B=15$, $\omega=0,01$ ($x_i=0,9*k$, $k=0,1,\dots,368$) (рис. 7), а гистограмма представлена на рис. 8.

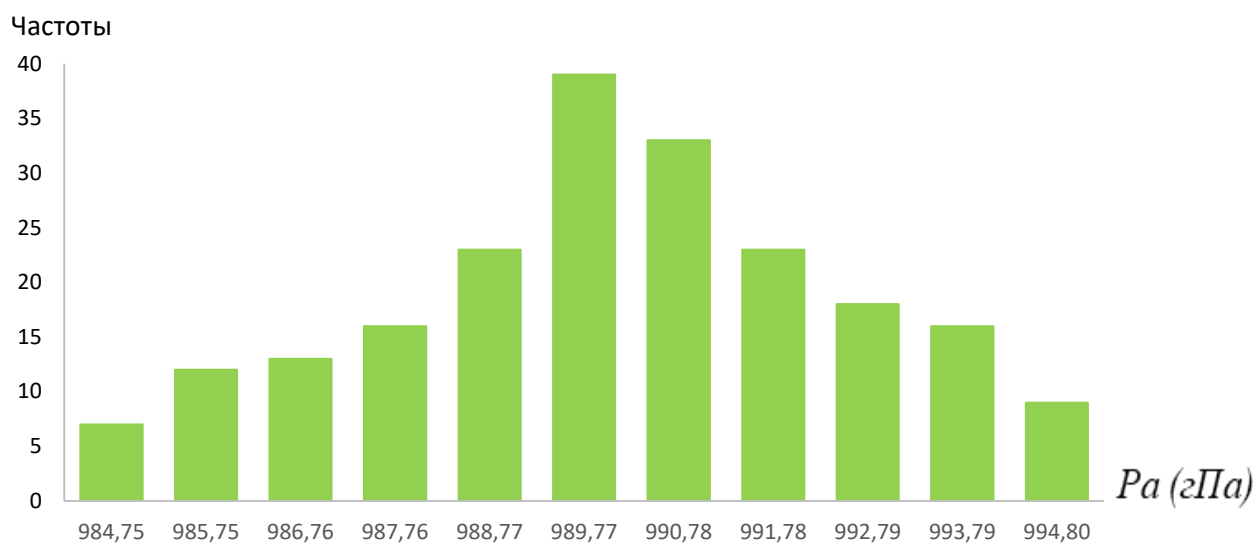


Рис. 8. Гистограмма минимумов среднегодового климатического хода.

По принятому методу соответствующая функция плотности вероятностей (Pd) аппроксимирована распределением Максвелла $F_2(x) = \frac{(x-\alpha)}{\sigma^2} e^{-\frac{(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}}$, где $\alpha=0, \sigma=1$ (рис. 9).

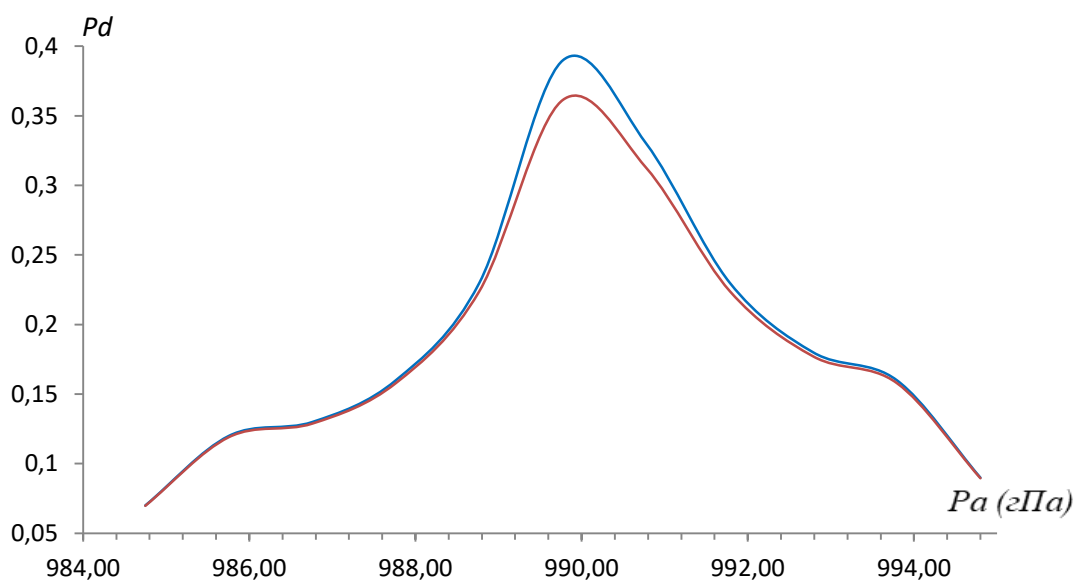


Рис. 9. Аппроксимация случайного остатка минимумов (синяя линия) распределением Максвелла (красная линия).

Из этого рисунка (рис. 9) видно, что распределение Максвелла с приведенными выше параметрами, построенными по методу наибольшего правдоподобия и протестированными по критерию χ^2 с 12 степенями свободы (разбиение интервала давления на 14 подынтервалов и 2 параметра оценивалось по выборке) очень хорошо согласуется с наблюдениями (с доверительным уровнем 95%). Можно отметить, что для минимумов модель суммы фиксированных тригонометрических функций плюс случайный остаток лучше согласуется с наблюдениями, чем для максимумов. Это можно объяснить тем фактом, что для полярной зоны России циклоны, их физические особенности более характерны, чем антициклоны и их изменчивость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе предложены и реализованы методы вероятностного анализа временного ряда атмосферного давления за 60 лет. Показано, что построенный по такому ряду климатический сезонный ход и построенные по этому сезонному ходу максимальные и минимальные значения, хорошо аппроксимируются суммой регулярного и стохастического слагаемых. При этом дана количественная оценка отклонения реального давления от сезонного хода в виде распределения плотности вероятностей. Показано, что отклонение носит несимметричный характер, что составляет неочевидный результат исследований. Для максимума и минимума построены наилучшие аппроксимации, и эти аппроксимации протестированы известными методами статистического анализа, включая метод максимального правдоподобия, метод наименьших квадратов и методы (критерии) согласия, в частности, χ^2 -критерий.

Такое исследование имеет приложение как чисто физическое, то есть позволяет объяснить природу, генезис и распространение крупномасштабных атмосферных образований в климатическом году, так и прогностическое, то есть позволяет понять и отследить тенденции в климате, а также количественно оценить масштабы и изменчивость крупномасштабных атмосферных процессов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках тем Минобрнауки РФ 0128-2021-0002 ИО РАН и «Математические методы анализа данных и прогнозирования» ФИЦ ИУ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Привальский В.Е. Статистическая предсказуемость средней годовой температуры воздуха северного полушария // Докл. АН СССР. 1981. Т. 257. № 6. С. 1342–1345.
4. Зверяев И.И., Яшяев И.М. Сезонная изменчивость полей давления, температуры воды и воздуха в Северной Атлантике по данным COADS // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1996. № 2. С. 222–239.
5. 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. № 75. С. 149–160.
6. Environmental Working Group. Edited by F. Fetterer and V.F. Radionov. 2000. *Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas, Version 1* [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. <https://doi.org/10.7265/N5MS3QNJ> (доступно 26.10.2021)
7. Przybylak R., Wyszyński P., Vízi Z., Jankowska J. Atmospheric pressure changes in the Arctic from 1801 to 1920 // The International Journal of Climatology. 2013. V. 33. P. 1730–1760. <https://doi.org/10.1002/joc.3546>
8. Belyaev K., Mikhaylov G., Salnikov A., Tuchkova N. Seasonal and Decadal Variability of Atmosphere Pressure in Arctic, its Statistical and Temporal Analysis // CEUR Workshop Proceedings, M. Jeusfeld c/o Redaktion Sun SITE, Informatik V, RWTH Aachen (Aachen, Germany). 2020. V. 2784. P. 51–61. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2784/rpaper05.pdf> urn:nbn:de:0074-2784-8.
9. Беляев К.П., Михайлов Г.М., Сальников А.Н., Тучкова Н.П. Сезонная и многолетняя изменчивость атмосферного давления в Арктике, статистический и временной анализ // Электронные библиотеки, 2021. Т. 24. № 1. С. 57–73.
10. 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.

11. Бирман Б.А., Бережная Т.В., Голубев А.Д. Основные погодно-климатические особенности, наблюдавшиеся на Северном полушарии Земли в 2017 г. Аналитический обзор. М: ФГБУ «Гидрометцентр России». URL: http://www.meteorf.ru/upload/iblock/dc0/Бирман%20Климат_2017.pdf (доступно 26.10.2021)

FURTHER DEVELOPMENT OF STUDIES OF PRESSURE FIELDS IN THE ARCTIC REGION OF RUSSIA

N. P. Tuchkova¹ [0000-0001-5357-9640], K. P. Belyaev² [0000-0003-2111-2709],
G. M. Mickailov³ [0000-0002-4535-7180], A. N. Salnikov⁴ [0000-0001-8669-9905]

¹⁻⁴Dorodnicyn Computing Center FRC CSC of RAS, Vavilov str., 40, 11933, Moscow

²Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Nahimovskiy pr., 36, 117218, Moscow

⁴Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, 11999, Moscow

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

Abstract

The results of studies of atmospheric pressure in the Arctic region of Russia in the period from 1948 to 2008 are presented. The analysis of the climatic seasonal variation of the atmospheric pressure fields is carried out. As the main research method, the probabilistic and statistical analysis of the time series of the pressure field 60 years long at fixed points in the region of the Arctic zone of Russia was used. In total, about 90,000 daily (in six-hour increments) pressure values were examined. On the basis of these data, a climatic seasonal variation was constructed as an averaging of the values of a given time series at each point in space and for a fixed date. The characteristics of the seasonal course, its amplitude and phase have been studied. These characteristics were analyzed and their geophysical interpretation was carried out. In particular, the minimum and maximum values of the series were determined for the entire region and the time series of these characteristics were constructed. It is shown that the deviation is asymmetric, this is an unobvious research result. For the maximum and minimum, the best approximations were constructed, and these approximations were tested by known methods of statistical analysis, including maximum likelihood, least squares and

goodness of fit methods (tests), in particular, the χ^2 -criterion. The conducted research has applications both purely physical (allows to explain the nature, genesis and distribution of large-scale atmospheric formations in a climatic year) and prognostic (allows understanding and tracking trends in climate, as well as quantitatively assessing the scale and variability of large-scale atmospheric processes). Numerical calculations were performed on the Lomonosov-2 supercomputer of the Lomonosov Moscow State University.

Keywords: *time series analysis, climatic seasonal cycle, maximum and minimum pressure values within a climatic year.*

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. T. 257. № 6. S. 1342–1345.
4. Zveryaev I.I., Yashayev I.M. Sezonnaya izmenchivost' polej davleniya, temperatury vody i vozduha v Severnoj Atlantike po dannym COADS // Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana. 1996. № 2. S. 222-239.
5. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolyanickij V.M. Klimaticheskie izmeneniya ledovyh uslovij v arkticheskikh moryah evrazijskogo shel'fa // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2007. № 75. S. 149–160.
6. Environmental Working Group. Edited by F. Fetterer and V.F. Radionov. 2000. *Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas, Version 1* [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. <https://doi.org/10.7265/N5MS3QNJ>
7. Przybylak R., Wyszzyński P., Vízi Z., Jankowska J. Atmospheric pressure changes in the Arctic from 1801 to 1920 // The International Journal of Climatology. 2013. V. 33. P. 1730–1760. <https://doi.org/10.1002/joc.3546>
8. Belyaev K., Mikhaylov G., Salnikov A., Tuchkova N. Seasonal and Decadal Variability of Atmosphere Pressure in Arctic, its Statistical and Temporal Analysis // CEUR

Workshop Proceedings, M. Jeusfeld c/o Redaktion Sun SITE, Informatik V, RWTH Aachen (Aachen, Germany), 2020. V. 2784. P. 51–61.

URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2784/rpaper05.pdf> urn:nbn:de:0074-2784-8.

9. *Belyaev K., Mikhaylov G., Salnikov A., Tuchkova N.* Sezonnaya i mnogoletnyaya izmenchivost' atmosfernogo davleniya v Arktike, statisticheskij i vremennoj analiz // Russian Digital Libraries Journal. 2021. T. 24. № 1. S. 57–73.

<https://doi.org/10.26907/1562-5419-2021-24-1-57-73>.

10. *Ропов S.K.* Influence of sea ice on the harmonic tidal oscillations of sea level and currents in the Barents and White seas // Trudy Gidrometcentra RF, Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy. 2018. #4 (370). P. 137–155.

11. *Birman B.A., Berezhnaya T.V., Golubev A.D.* Osnovnye pogodno-klimaticheskie osobennosti, nablyudavshiesya na Severnom polusharii Zemli v 2017 g. Analiticheskij obzor. M: FGBU «Gidrometcentr Rossii».

URL: http://www.meteorf.ru/upload/iblock/dc0/Бирман%20Климат_2017.pdf (access 25.10.2021)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ТУЧКОВА Наталья 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

ORCID: 0000-0001-5357-9640



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

ORCID: 0000-0003-2111-2709



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

ORCID 0000-0002-4535-7180



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

ORCID 0000-0001-8669-9905

Материал поступил в редакцию 26 октября 2021 года
