

Вероятностный анализ сезонного хода полей по данным наблюдений потоков тепла в Северной Атлантике

Тучкова Н.П.¹, Беляев К.П.^{1,2}, Михайлов Г.М.¹

¹*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

Аннотация. Анализируются данные наблюдений 1979-2018 гг. в районе Северной Атлантики. Эти данные получены в результате реализации проекта Российской академии наук по исследованию атмосферы в Северной Атлантике (РАН-НААД). Набор данных предоставляет множество параметров поверхности и свободной атмосферы на основе сигма-модели и отвечает многим требованиям метеорологов, климатологов и океанографов, работающих как в исследовательской, так и в оперативной областях. В работе проведен анализ сезонной и многолетней изменчивости поля атмосферного давления и температуры поверхности воды в Северной Атлантике. В качестве основного метода исследования использовались схемы анализа диффузионных процессов. На основе заданных рядов длиной в 40 лет с 1979 по 2018 годы вычислялись такие параметры диффузионных процессов, как среднее (снос процесса) и дисперсия (диффузия процесса) и строятся их карты и временные кривые. 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 тепловых потоков и температуры внутри климатического года

Probabilistic analysis of the seasonal variation of fields based on observational data on heat fluxes in the North Atlantic

N.P. Tuchkova^{1*} [0000-0001-5357-9640], K.P. Belyaev^{1,2**} [0000-0003-2111-2709],
G.M. Mikhaylov^{1***} [0000-0002-4535-7180]

¹ *Dorodnicyn Computing Center FRC CSC of RAS*

² *Shirshov Institute of Oceanology of RAS*

* natalia_tuchkova@mail.ru, ** kosbel55@gmail.com *** gmickail@ccas.ru

Abstract. The observational data for 1979-2018 in the North Atlantic region are analyzed. These data were obtained as a result of the implementation of the project of the Russian Academy of Sciences for the study of the atmosphere in the North Atlantic (RAS-NAAD). The dataset provides many surface and free atmosphere parameters based on the sigma model and meets the many requirements of meteorologists, climatologists and oceanographers working in both research and operational fields. The paper analyzes the seasonal and long-term variability of the field of atmospheric pressure and water surface temperature in the North Atlantic. Schemes for analyzing diffusion processes were used as the main research method. Based on the given series of 40 years in length from 1979 to 2018, such parameters of diffusion processes as the mean (process drift) and variance (process diffusion) were calculated and their maps and time curves were constructed. Numerical calculations realized on the Lomonosov-2 supercomputer of the Lomonosov Moscow State University

Keywords: time series analysis, climatic seasonal cycle, maximum and minimum heat flux and temperature values within a climatic year

Анализируются данные наблюдений 1979-2018 гг. в районе Северной Атлантики. Исследования [1] позволили получить 40-летний трехмерный ретроспективный прогноз атмосферы Северной Атлантики (10° – 80° с. ш.) с пространственным разрешением 14 км и 50-ю уровнями в вертикальном направлении (до 50 гПа). Прогноз выполнен с региональной настройкой модели WRF-ARW3.8.1 для периода 1979–2018 гг. и значений реанализа ERA-Interim в качестве граничных условий. Набор данных предоставляет множество параметров поверхности и свободной атмосферы на основе сигма-модели в границах выбранного региона, рис.1.

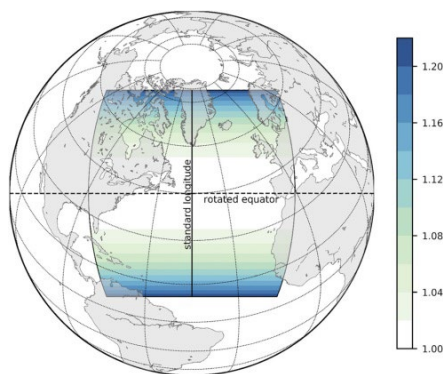


Рис. 1. Область расчета NAAD для моделирования HiRes (Journal of Applied Meteorology and Climatology 59, 5; [10.1175/JAMC-D-19-0190.1](https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0190.1))

Анализовались такие параметры, как приводная температура воздуха (2 m temperature, $^{\circ}\text{C}$) и потоки океан-атмосфера, а именно, поток явного тепла, (surface sensible heat flux W m^{-2} , Вт/м^2), поток скрытого тепла (surface latent heat flux W m^{-2} , Вт/м^2), размер данных (time=2928,

south_north=550, west_east=550). Ранее авторы проводили аналогичные исследования с одним параметром (давлением) [2].

На рис. 2-5 представлены некоторые предварительные оценки, такие как кривые сезонного хода минимумов, максимумов и частотного распределения температуры и тепла, полученные в процессе данного исследования из анализа данных NAAD.

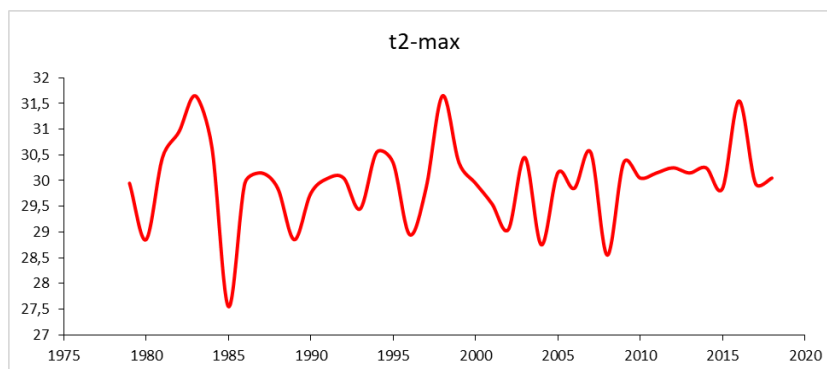


Рис. 2. Сезонный ход максимумов поверхностной температуры по всему региону.

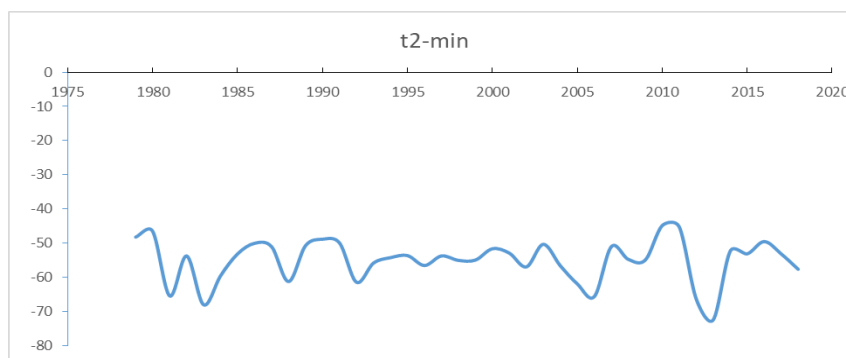


Рис. 3. Сезонный ход минимумов поверхностной температуры по всему региону.

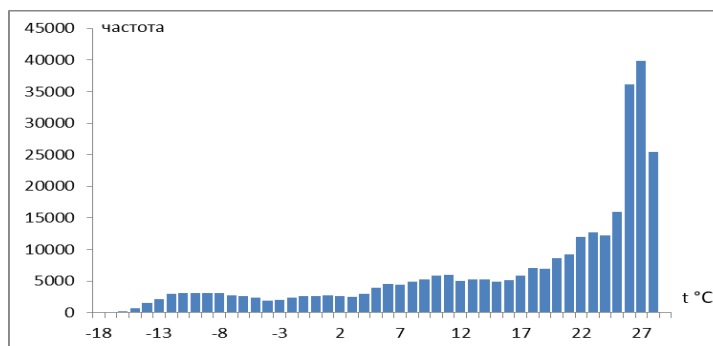


Рис. 4. Гистограмма частот средней температуры по всему региону за январь за весь период наблюдений с 1979 по 2018 гг.

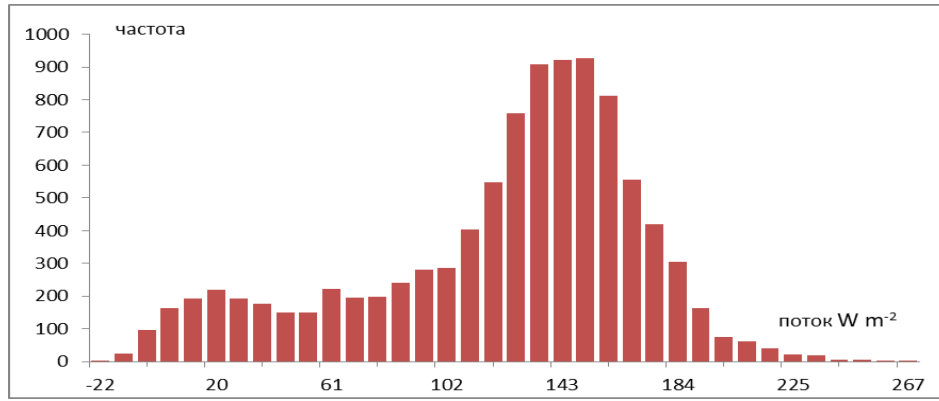


Рис. 5. Гистограмма частот среднего суммарного потока (явного и скрытого тепла) усредненного по всему региону на 1 января за весь период наблюдений с 1979 по 2018 гг.

Аналогично предыдущим исследованиям авторов [2], изменчивость случайного процесса представляется в виде.

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

где X - значение (поток тепла и температуры, в настоящем исследовании) поля (в момент времени t и в точке с заданными координатами), 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, $EdW(t)dW(\tau) = \delta(t - \tau)$. Здесь и далее $\delta(t - \tau) = 1$, если $t = \tau$ и нулю, если нет, $a(t, X), b(t, x)$ - некоторые функции. 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 [3-5].

Согласно [3], для определения коэффициентов $a(t, X)$ и $b(t, x)$ 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 в формулах (3) и (4) использованы следующие обозначения:

y, x - значения процесса $X(t)$ в моменты времени $t+dt$ и t , соответственно, $p(y|x)dt$ - вероятность (условная вероятность) события, что значения $X(t+dt)=y$ при условии, $X(t)=x$, то есть, $p(y|x)dt = P(X(t+dt) = y | P(t) = x)$. Ставится задача - вычислить эти коэффициенты и произвести анализ полученных характеристик.

На Рис. 6-8 представлены некоторые численные результаты исследования, а именно статистические характеристики параметров $a(t, X)$ и $b^2(t, x)$ за климатический январь. Такие характеристики получены на каждый климатический месяц за весь период наблюдений и на всем пространстве измерений. Из этих оценок следует, что среднее значение климатического месяца соответствует годовому циклу климатического года.

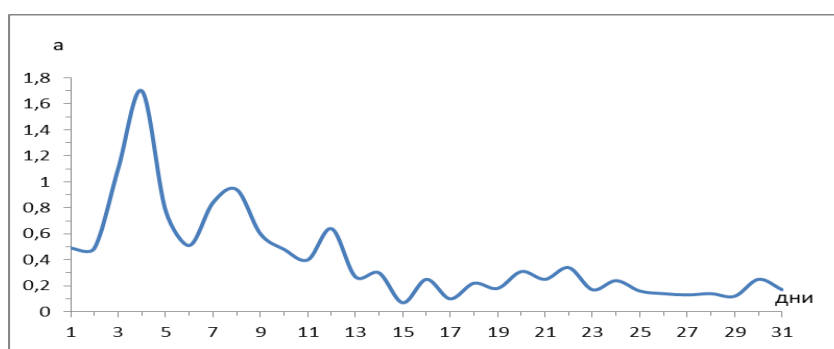


Рис. 6. Кривая значений максимумов коэффициента $a(t, X)$ для значений температуры усредненного января за 1979 -2018 гг. по всему региону

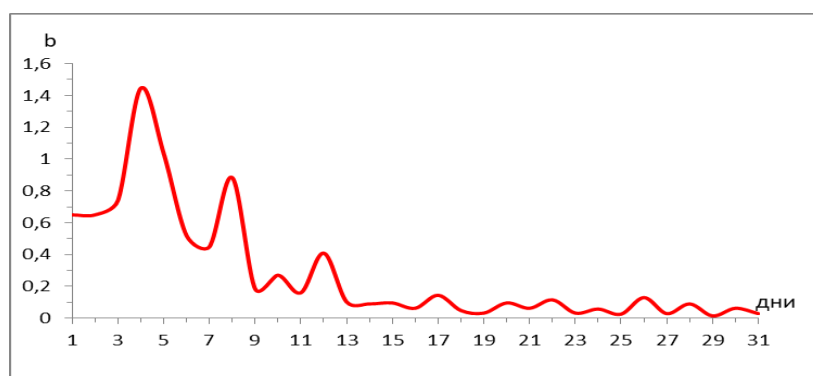


Рис. 7. Кривая значений максимумов коэффициента $b^2(t, x)$ для значений температуры для усредненного января за 1979 -2018 гг. по всему региону

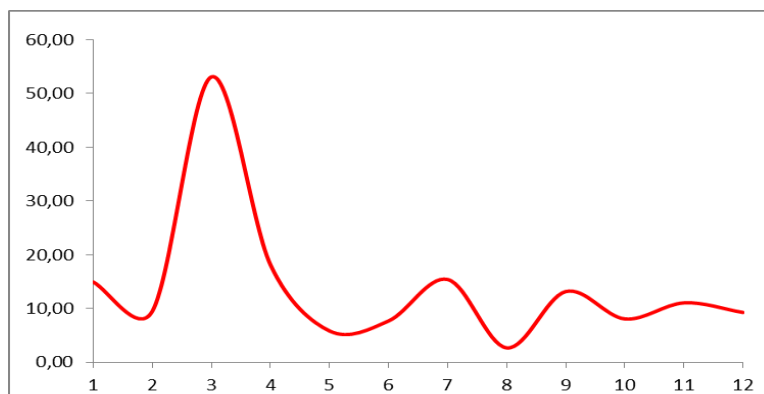


Рис. 8 Кривая значений коэффициента $b^2(t, x)$ для суммарного потока (явного и скрытого тепла) климатического года 15 числа за 1979 -2018 гг. по всему региону

В исследовании были также получены аппроксимирующие функции $A(t, X)$ и $B(t, x)$ для значений климатического года за весь период исследований и на всем пространстве Северной Атлантики (10° – 80° с. ш.) с пространственным разрешением 14 км. Эти функции позволяют получить, как результат, численную оценку изменчивость случайного процесса.

Заключение и выводы

В настоящем исследовании показано, что в многолетней изменчивости (за 40 лет) максимумов по акватории приводной температуры воздуха заметно присутствует 11-летний цикл, обусловленный известными в природе циклами солнечной активности. При этом не выявлено тенденций к росту этих максимумов за период 40 лет. Для вычисленных коэффициентов среднего диффузии за климатический январь выявлены также синоптические колебания порядка 3-5 дней, которые хорошо видны на графиках. Поскольку используется предложенный оригинальный метод исследования, такие результаты ранее не были известны. Эти результаты могут быть использованы для аналитического исследования многолетнего поведения изучаемых процессов.

Работа представлена в рамках выполнения темы госзадания «Математические методы анализа данных и прогнозирования» ФИЦ ИУ РАН, темы госзадания 0128-2021-0002 ИО РАН.

Литература

1. Gavrikov A., Gulev S., Markina M., Tilinina N., Verezemskaya P., Barnier B., Dufour A., Zolina O., Zyulyaeva Y., Krinitskiy M., Okhlopkov I., and Sokov A.. RAS-NAAD: 40-yr High-Resolution North Atlantic Atmospheric Hindcast for Multipurpose Applications (New Dataset for the Regional Mesoscale Studies in the Atmosphere and the

- Ocean) // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2020, vol. 59, issue 5, pp. 793–817. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0190.1>
2. 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. — <http://ceur-ws.org/Vol-2784/rpaper05.pdf>.
 3. Гихман И., Скороход А. Введению в теорию случайных процессов. М.Наука, 1965. 655 с.
 4. Назаров А., Терпунов А. Теория вероятностей и случайных процессов. Изд-во Томского Госуниверситета, 2010. 204 с.
 5. Risken H. The Fokker - Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. Springer. 1984. 452 p.

References

1. Gavrikov A., Gulev S., Markina M., Tilinina N., Verezemskaya P., Barnier B., Dufour A., Zolina O., Zyulyaeva Y., Krinitskiy M., Okhlopkov I., and Sokov A.. RAS-NAAD: 40-yr High-Resolution North Atlantic Atmospheric Hindcast for Multipurpose Applications (New Dataset for the Regional Mesoscale Studies in the Atmosphere and the Ocean) // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2020, vol. 59, issue 5, pp. 793–817. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0190.1>
2. 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. — <http://ceur-ws.org/Vol-2784/rpaper05.pdf>.
3. Gihman I., Skorohod A. Vvedeniyyu v teoriyyu sluchajnyh processov. M.Nauka, 1965. 655 p.
4. Nazarov A., Terpunov A. Teoriya veroyatnostej i sluchajnyh processov. Izd-vo Tomskogo Gosuniversiteta. 2010. 204 p.
5. Risken H. The Fokker - Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. Springer. 1984. 452 p.