

**Использование аппроксимации кусочно-линейными функциями
в эмпирическом анализе изменений и изменчивости рядов
климатических данных**

*С.М. Семенов^{1,2)}, К.М. Кутузова¹⁾**

¹⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

²⁾ Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29
*Адрес для переписки: kkutuzova@mail.ru

Реферат. Предложен метод анализа рядов климатических данных, позволяющий выделять быструю и медленную составляющие изменчивости. Метод использует аппроксимацию временного ряда кусочно-линейными функциями. Обоснован алгоритм, обеспечивающий наилучшую аппроксимацию в среднеквадратическом смысле, т.е. оценку методом наименьших квадратов. С помощью программы, реализующей этот алгоритм, предложенный метод применен к анализу временных рядов среднегодовой температуры в приповерхностном слое. Анализ проведен для рядов среднеглобальной температуры и средней для Северного и Южного полушарий (HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0). Продемонстрирована полезность предложенного инструмента эмпирического анализа, по результатам которого можно определить целесообразность дальнейшего, более глубокого исследования ряда климатических данных статистическими средствами.

Ключевые слова. Климатические данные, изменчивость, изменения, анализ, кусочно-линейные функции.

**Using approximation by piecewise linear functions
in empirical analysis of changes and variability
of climate data series**

*S.M. Semenov^{1,2)}, K.M. Kutuzova¹⁾**

¹⁾ Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

²⁾ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 29, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: kkutuzova@mail.ru

Abstract. A method for the analysis of climate data series is proposed, which allows to identify fast and slow components of variability. The method uses approximation of time series by piecewise linear functions. An algorithm is substantiated that provides the best approximation in the mean square sense, i.e., allows to obtain the least squares estimate. Using the program implementing this

algorithm, the proposed method is applied to the analysis of time series of annual mean air temperature in the surface layer. The analysis is carried out for the series of globally averaged temperature and average for the Northern and Southern Hemispheres (HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0). The usefulness of the proposed tool of empirical analysis is demonstrated, based on the results of which it is possible to decide on the feasibility of further, more in-depth investigation of the climate data series with statistical means.

Keywords. Climate data, variability, changes, analysis, piecewise linear functions.

Введение

При анализе временных рядов климатических данных часто возникает потребность отделить «быстрые» изменения, обусловленные собственной изменчивостью климатической системы Земли с характерными временами до 10 лет, от «медленных» изменений с большими характерными временами. Типично этот вопрос возникает при анализе рядов климатических данных XX-XXI вв., где медленные изменения, действие которых заметно на масштабе времени 10-100 лет, предположительно связаны в том числе с усилением антропогенного воздействия на климатическую систему Земли и вызванным им глобальным потеплением, а быстрые изменения – с факторами ненаправленной изменчивости, действие которых заметно на временном масштабе около 10 лет и менее. К таким факторам относится в том числе явление Эль-Ниньо.

Самый простой способ получить представление о действии таких факторов – осреднение во времени. Это – введение в рассмотрение совокупности последовательных непересекающихся отрезков времени (обычно – одинаковой продолжительности), осреднение элементов временного ряда в пределах этих отрезков и последующий анализ результатов осреднения. На рис. 1 представлен пример результата подобного анализа. Это изменения средней глобальной приземной температуры в 1850-2012 гг. (аномалии vs. 1961-1990 гг.), представленные в (IPCC, 2013, р. 6) – Пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). На верхней панели рисунка приведены три кривые (обозначены тремя разными цветами), построенные по трем независимым совокупностям исходных данных.

На нижней панели рис. 1 представлены результаты осреднения данных по последовательным десятилетиям. Хорошо заметно, что средние значения последних десятилетий, начиная с 1970 г., монотонно возрастают. Однако, если рассмотреть разности между значениями, представленными на верхней панели рис. 1 и на его нижней панели, определенного заключения о характере быстрых изменений, в том числе о среднеквадратичном значении этих отклонений, сделать не удастся, ведь разности будут содержать компоненты, представляющие собственно быстрые изменения, а также компоненты, характеризующие проявления долговременных трендов внутри десятилетий.

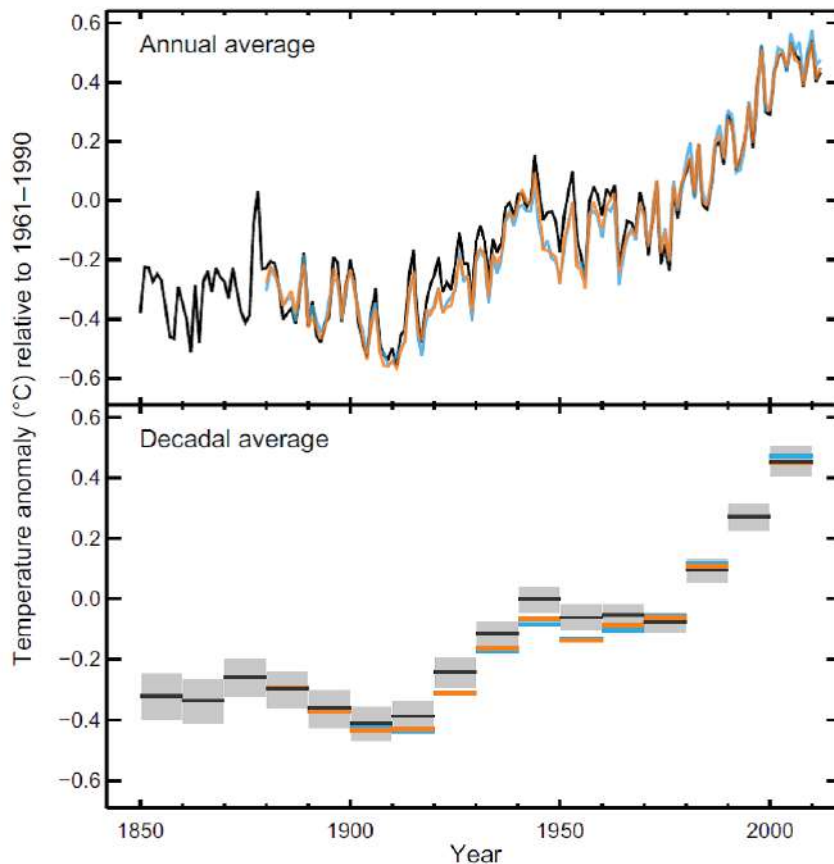


Рисунок 1. Изменение средней глобальной приземной температуры в 1850-2012 гг. (аномалии vs. 1961-1990 гг.); (IPCC, 2013, p. 6)

Figure 1. Change of average global air temperature in the surface layer in 1850-2012 (anomalies vs. 1961-1990); (IPCC, 2013, p. 6)

В данной работе для подобного анализа предлагается способ аппроксимации временного ряда не ступенчатой функцией, а кусочно-линейной функцией. Такая функция а) является линейной на каждом из последовательных отрезков, б) эти линейные функции сопряжены без разрывов на последовательных отрезках и в) в целом приближают все данные наилучшим образом, а именно: минимизируют сумму квадратов отклонений (т.е. это оценка методом наименьших квадратов, МНК-оценка). Такие кусочно-линейные функции, с одной стороны, в значительной мере «вбирают в себя» информацию о проявлении долговременных трендов в пределах последовательных десятилетий, а с другой, делают более реалистичными оценки характеристик быстрых изменений по ряду остатков. Предлагаемый метод нацелен, в первую очередь, на анализ средних скоростей изменения исследуемой переменной на последовательных отрезках времени, а не средних значений переменной.

Метод

Время описывается целочисленной переменной. T_0 означает число, на единицу меньше нижней границы первого отрезка времени. Верхняя граница n -го отрезка задается формулой $T_n = T_0 + n\Delta$, $n = 1, \dots, N$. Здесь Δ – длина отрезка.

Задана совокупность данных X , элементы которой соответствуют элементам совокупности моментов времени t . Обозначим моменты времени, принадлежащие n -му отрезку, через $t_{n,1}, \dots, t_{n,M(n)}$, где $M(n)$ – их число. Соответствующие данные обозначим через $x_{n,1}, \dots, x_{n,M(n)}$.

Отрезок времени с номером n будем называть «пригодным», если $M(n)$ больше некоторого порогового значения, задаваемого исследователем. В данной статье это 2.

Рассмотрим последовательные отрезки времени от nb -го до ne -го (« b » и « e » – сокращения от «begin» и «end» соответственно). Эта последовательность отрезков такова, что:

- все отрезки являются пригодными;
- предыдущий по отношению к nb -му либо отсутствует, либо непригодный;
- последующий по отношению к ne -му либо отсутствует, либо непригодный.

Назовем такую последовательность «комплексом».

Для целей аппроксимации данных кусочно-линейной функцией на таком комплексе введем неизвестные y_n , $n = (nb - 1), nb, \dots, ne$. Смысл введенных неизвестных y_n при $n = nb, \dots, ne$ – значения кусочно-линейной функции в правых концах соответствующих отрезков рассматриваемого комплекса; y_{nb-1} имеет формальное значение.

При построении кусочно-линейной функции, приближающей рассматриваемую совокупность данных, на n -том отрезке времени в момент τ ей приписывается значение

$$[(T_n - \tau)y_{n-1} + (\tau - T_{n-1})y_n] / \Delta.$$

Для комплекса значения y_n , $n = (nb - 1), nb, \dots, ne$ находятся как доставляющие минимум функционалу, представляющему сумму квадратов отклонений

$$F = \sum_{n=nb}^{ne} \sum_{m=1}^{M(n)} \left(\frac{[(T_n - t_{n,m})y_{n-1} + (t_{n,m} - T_{n-1})y_n]}{\Delta} - x_{n,m} \right)^2.$$

Приравнивание к нулю частных производных F по y_n , $n = (nb - 1), nb, \dots, ne$ приводит к системе следующих $(ne - nb + 2)$ линейных уравнений относительно этих $(ne - nb + 2)$ неизвестных:

– в результате приравнивания к 0 производной F по y_{nb-1} получаем

$$\left[\sum_{m=1}^{M(nb)} (T_{nb} - t_{nb,m})^2 \right] y_{nb-1} + \left[\sum_{m=1}^{M(nb)} (t_{nb,m} - T_{nb-1})(T_{nb} - t_{nb,m}) \right] y_{nb} =$$

$$= \Delta \sum_{m=1}^{M(nb)} (T_{nb} - t_{nb,m}) x_{nb,m};$$

– в результате приравнивания к 0 производной F по y_n для $nb < n < ne$ получаем

$$\left[\sum_{m=1}^{M(n)} (T_n - t_{n,m})(t_{n,m} - T_{n-1}) \right] y_{n-1} + \left[\sum_{m=1}^{M(n)} (t_{n,m} - T_{n-1})^2 + \right.$$

$$\left. + \sum_{m=1}^{M(n+1)} (T_{n+1} - t_{n+1,m})^2 \right] y_n + \left[\sum_{m=1}^{M(n+1)} (t_{n+1,m} - T_n)(T_{n+1} - t_{n+1,m}) \right] y_{n+1} =$$

$$= \Delta \left\{ \left[\sum_{m=1}^{M(n)} (t_{n,m} - T_{n-1}) x_{n,m} \right] + \left[\sum_{m=1}^{M(n+1)} (T_{n+1} - t_{n+1,m}) x_{n+1,m} \right] \right\};$$

– в результате приравнивания к 0 производной F по y_{ne} получаем

$$\left[\sum_{m=1}^{M(ne)} (T_{ne} - t_{ne,m})(t_{ne,m} - T_{ne-1}) \right] y_{ne-1} + \left[\sum_{m=1}^{M(ne)} (t_{ne,m} - T_{ne-1})^2 \right] y_{ne} =$$

$$= \Delta \sum_{m=1}^{M(ne)} (t_{ne,m} - T_{ne-1}) x_{ne,m}.$$

Значения y_n , $n = (nb-1), nb, \dots, ne$, вычисляются при решении этой системы линейных уравнений. Это выполняется для каждого комплекса отдельно. Для каждого комплекса найденные значения используются:

– для вычисления тренда

$$k_n = (y_n - y_{n-1}) / \Delta$$

в данных на каждом отрезке $n = nb, \dots, ne$;

– для построения кусочно-линейной функции времени τ , которая на n -том отрезке принимает значения

$$\varphi(n, \tau) = [(T_n - \tau)y_{n-1} + (\tau - T_{n-1})y_n] / \Delta, n = nb, \dots, ne;$$

эта функция представляет медленные изменения в данных, долговременный тренд;

– для построения совокупности Z остатков

$$z_{n,m} = x_{n,m} - \varphi(n, t_{n,m}), n = nb, \dots, ne; m = 1, \dots, M(n),$$

характеризующих быстрые изменения;

– для вычисления среднеквадратичных отклонений (СКО) остатков на отдельных отрезках

$$s(n) = \sqrt{\frac{1}{M(n)} \sum_{m=1}^{M(n)} z_{n,m}^2}, n = nb, \dots, ne.$$

Демонстрационные результаты приложения метода

В качестве примера приложения изложенного метода анализируются данные HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 об аномалиях среднегодовой температуры в приповерхностном слое. Рассматриваются три ряда, содержащие соответственно следующие данные: средние по Земному шару (т.е. глобальные), средние по Северному и Южному полушариям. Эти данные представлены на сайте <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>. Они подготовлены Отделом исследования климата Университета Восточной Англии (Великобритания). Описание дано в работе (Morice et al., 2021). Данные систематически обновляются и в данный момент характеризуют 1850-2025 гг. Значения для 2025 г. вычислены только по данным за январь и февраль, поэтому данные за 2025 г. не использовались.

Для эмпирического анализа рядов данных о среднегодовой температуре использовалась совокупность 18 последовательных десятилетий 1851-1860 гг., 1861-1870 гг., ..., 2021-2030 гг. Эта совокупность есть комплекс, состоящий из 18 отрезков. Каждый из отрезков 1-17 представлен 10 данными, а 18-й – лишь четырьмя данными.

На рис. 2, 3 и 4 для каждого из рассматриваемых рядов представлена собственно исходная совокупность аномалий среднегодовой температуры за 1851-2024 гг. $\{x_{n,m}\}$, $n = 1, \dots, 18$, $m = 1, \dots, M(n)$, и результат её наилучшей аппроксимации кусочно-линейной функцией $\varphi(n, \tau)$, $n = 1, \dots, 18$ (см. раздел **Метод**), производные которой могут изменяться в конце каждого из упомянутых отрезков. На этих рисунках представлена также совокупность остатков $\{z_{n,m}\}$, $n = 1, \dots, 18$, $m = 1, \dots, M(n)$.

На рис. 2а, 3а и 4а построенные линии тренда указывают на то, что до 1970-х годов XX века средняя скорость изменения температуры в рассматриваемые десятилетия была весьма изменчива – периоды роста и спада сменяли друг друга. Однако, начиная с 1970-х годов, и глобально, и в среднем по полушариям в рассматриваемые десятилетия средняя скорость положительна, т.е.

имеет место устойчивый рост температуры. Это подтверждает целесообразность решения, принятого для подготовки ежегодного «Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации» (2025, с. 13), см. http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2024_with_cover.pdf: изменения климата оцениваются, начиная с даты 1976 г., которая принята за начало существенного антропогенного потепления климата Земли.

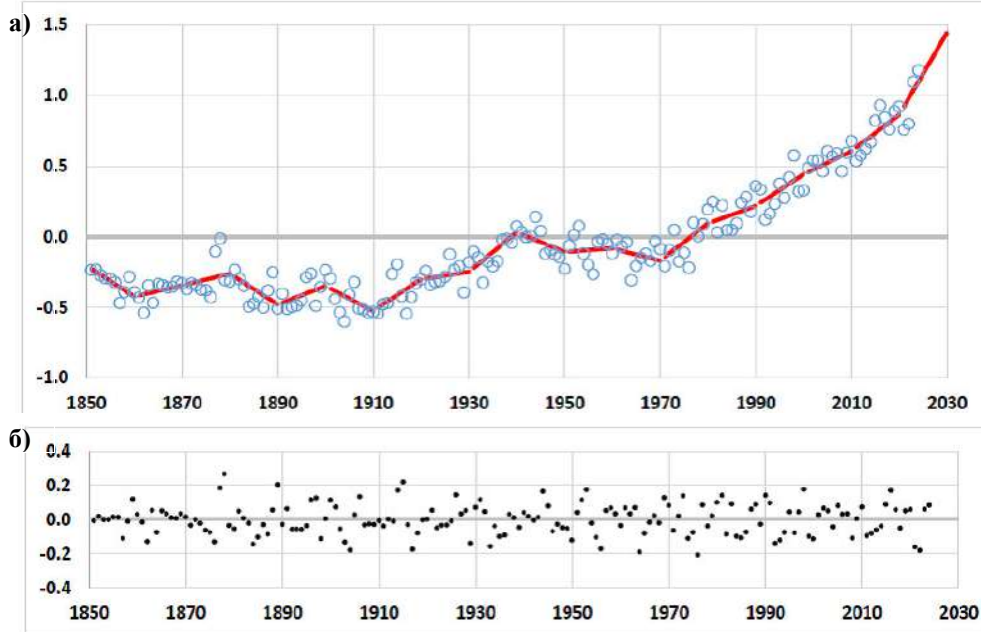
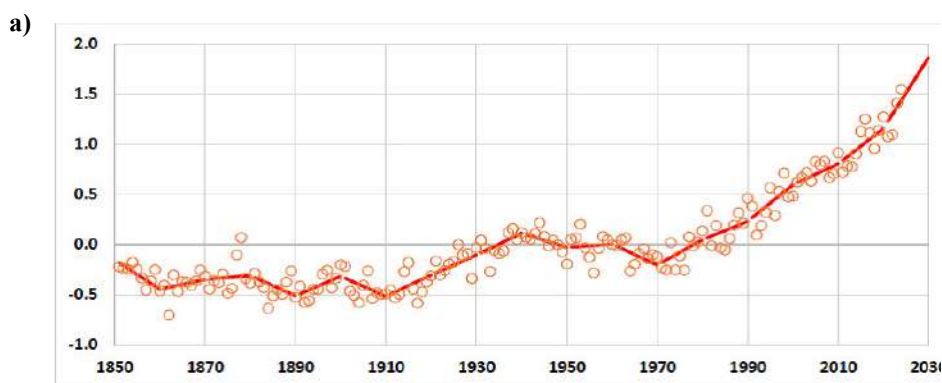


Рисунок 2. Аномалии среднеглобальной среднегодовой температуры в приповерхностном слое: а) данные HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>) и аппроксимация кусочно-линейной функцией (линия тренда); б) отклонения от линии тренда (остатки)

Figure 2. Anomalies of globally averaged annual mean air temperature in the surface layer: а) data from HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>) and the approximation by piecewise linear function (trend line); б) deviations from the trend line (residuals)



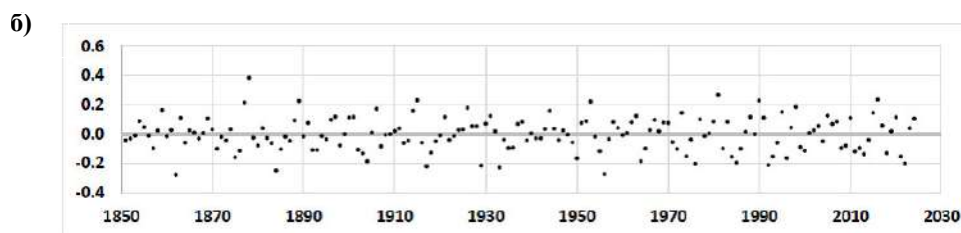


Рисунок 3. Аномалии средней по Северному полушарию среднегодовой температуры в приповерхностном слое: а) данные HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>) и аппроксимация кусочно-линейной функцией (линия тренда); б) отклонения от линии тренда (остатки)

Figure 3. Anomalies of annual mean air temperature in the surface layer averaged by the Northern Hemisphere: a) data from HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>) and the approximation by piecewise linear function (trend line); b) deviations from the trend line (residuals)

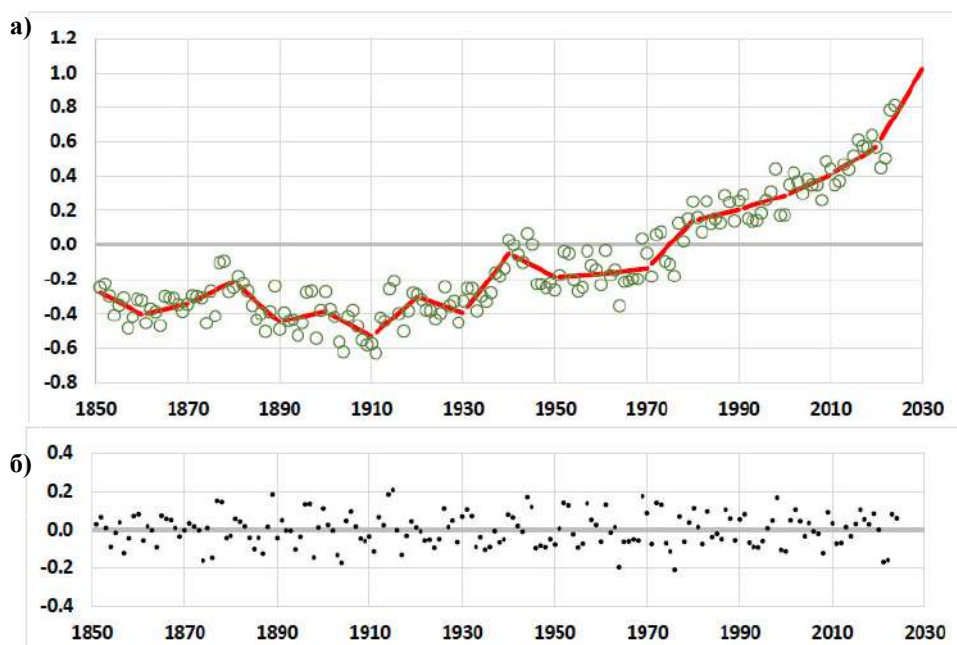


Рисунок 4. Аномалии средней по Южному полушарию среднегодовой температуры в приповерхностном слое: а) данные HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>) и аппроксимация кусочно-линейной функцией (линия тренда); б) отклонения от линии тренда (остатки)

Figure 4. Anomalies of annual mean air temperature in the surface layer averaged by the Southern Hemisphere: a) data from HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>) and the approximation by piecewise linear function (trend line); b) deviations from the trend line (residuals)

Напротив, представленные на рис. 2б, 3б и 4б отклонения от линии тренда (остатки) не показывают какой-либо устойчивой по последовательным десятилетиям тенденции – не заметно ни роста, ни уменьшения разброса. Представленные на рис. 5 значения СКО для десятилетий – $s(1), \dots, s(18)$ под-

тверждают отсутствие определенного направления изменений в 1851-2024 гг. Для лучшей визуализации на графике эти значения представлены не отдельными точками, а сплошными линиями.

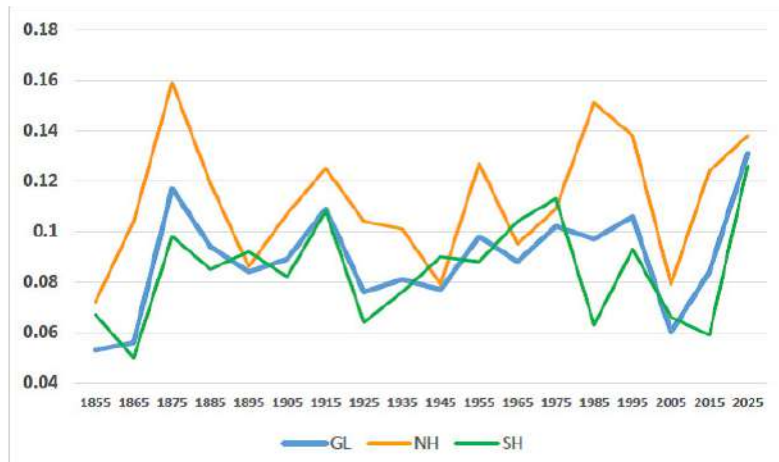


Рисунок 5. Значения s – СКО для среднегодовой температуры в приповерхностном слое, рассчитанное для последовательных 18-ти десятилетий 1851-1860, ..., 2021-2030 гг. GL – среднеглобальные значения, NH – средние по Северному полушарию, SH – средние по Южному полушарию. На оси абсцисс приведен «маркерный год» – вспомогательная величина, которая указывает на десятилетие и вычисляется как полуразность последнего и первого года десятилетия минус 1

Figure 5. Standard deviation s of annual mean air temperature in the surface layer, calculated for 18 consecutive decades 1851-1860, ..., 2021-2030
 GL – global average values, NH – average for the Northern Hemisphere, SH – average for the Southern Hemisphere. The abscissa axis shows the «marker year», i.e. an auxiliary value that indicates the decade and is calculated as the half-difference between the last and first years of the decade minus 1

Заметим, что, хотя в некоторых случаях линии, представленные на рис. 5, ведут себя похоже (см., например, пик 1875 г.), в целом они не демонстрируют сходного поведения. Напротив, значения средней скорости изменения температуры $k_n = (y_n - y_{n-1})/\Delta$ для десятилетий $n = 1, \dots, 18$ демонстрируют значительное сходство знаков. На рис. 6 видно, что для всех рядов – среднеглобальной температуры (GL), средней по Северному полушарию (NH) и средней по Южному полушарию (SH) – знаки этой величины совпадают, за исключением двух десятилетий – 1921-1930 гг. и 1961-1970 гг. Это означает, что долговременные изменения среднегодовой температуры (масштаба десятилетия и более) определяются в основном глобальными факторами, имеющими сходное проявление в Северном и Южном полушариях.

Что касается быстрых изменений временного масштаба менее 10 лет, то в Северном и Южном полушариях они также имеют некоторое сходство. На рис. 7 представлены отклонения от линии тренда (остатки) для Южного полушария (ось ординат) и Северного полушария (ось абсцисс). Они оказываются пропорциональны с коэффициентом 0.46, но коэффициент детерминации невелик – всего 0.37. Это означает, что 37% дисперсии остатков Южного полушария можно объяснить изменчивостью остатков Северного полушария. Остальная часть объясняется факторами, индивидуальными для Южного

полушария. То, что коэффициент линейной связи существенно меньше 1, вполне ожидаемо. Ведь океан занимает гораздо большую долю поверхности в Южном полушарии, чем в Северном полушарии, а океан – весьма инерционная в термическом отношении часть климатической системы Земли.

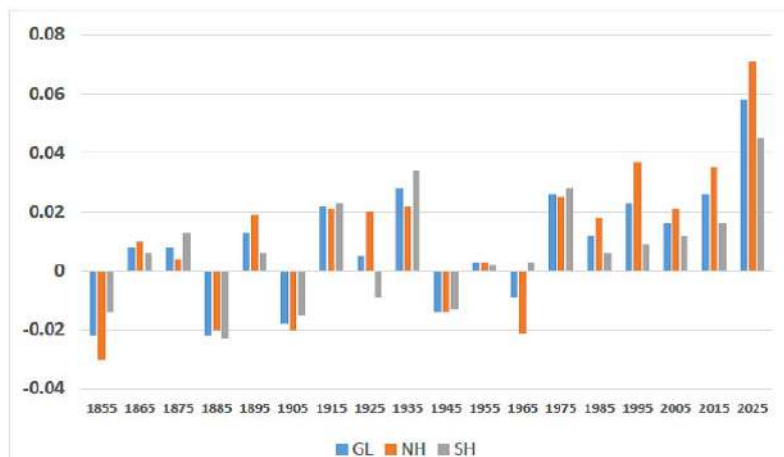


Рисунок 6. Средняя скорость изменения среднегодовой температуры в приповерхностном слое ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) для последовательных 18-ти десятилетий 1851-1860, ..., 2021-2030 гг. для среднеглобальной температуры (GL), средней по Северному полушарию (NH) и средней по Южному полушарию (SH)

На оси абсцисс приведен «маркерный год» – вспомогательная величина, которая указывает на десятилетие и вычисляется как полуразность последнего и первого года десятилетия минус 1

Figure 6. Average rate of change of annual mean air temperature in the surface layer ($^{\circ}\text{C}/\text{year}$) for 18 consecutive decades 1851-1860, ..., 2021-2030 for the globally averaged temperature (GL), the Northern Hemisphere average (NH) and the Southern Hemisphere average (SH)

The abscissa axis shows the «marker year»

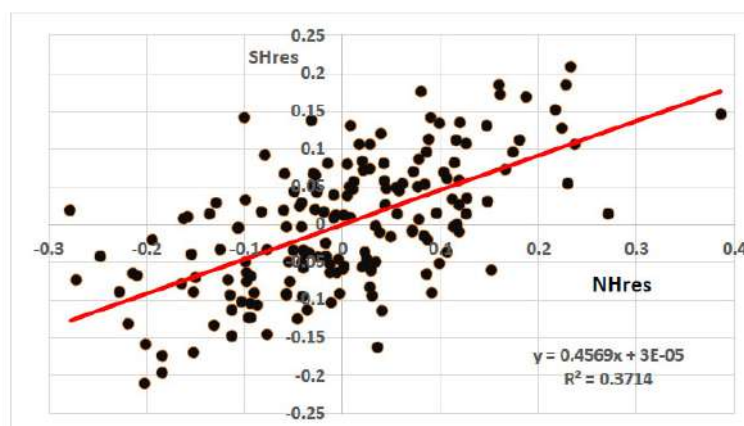


Рисунок 7. Отклонения от линии тренда (остатки) для среднегодовой температуры в приповерхностном слое

По оси абсцисс – для средней по Северному полушарию, по оси ординат – для средней по Южному полушарию. Красным цветом обозначена линия регрессии

Figure 7. Deviations from the trend line (residuals) for the annual mean air temperature in the surface layer

Along the abscissa axis – for the average over the Northern Hemisphere, along the ordinate axis – for the average over the Southern Hemisphere. The regression line is shown in red

Для выявления взаимозависимости отклонений от линии тренда (остатков) в различные годы были рассчитаны значения автокорреляционной функции. Они представлены на рис. 8. Как видно на рисунке, значения остатков нельзя считать совершенно независимыми, поскольку в некоторых случаях корреляции заметны – они меняются в пределах от -0.27 до $+0.24$. Но все же в отношении вклада в изменчивость друг друга они невелики – их вклад в пределах 7%.

Значения СКО для рядов остатков, вычисленные как корень квадратный из оценки автоковариации в точке 0, равны 0.114 и 0.086 соответственно для Северного и Южного полушарий. Таким образом, изменчивость остатков в Южном полушарии несколько меньше, чем в Северном.

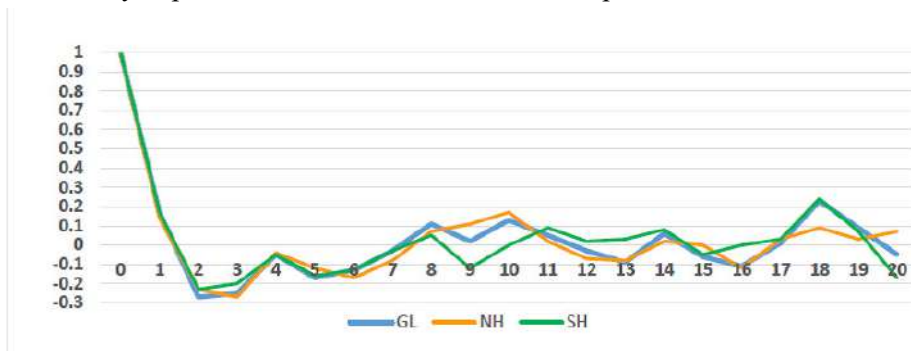


Рисунок 8. Автокорреляционные функции для рядов отклонение от линии тренда (остатков)

Figure 8. Autocorrelation functions for series of deviations from the trend line (residuals)

Заключение

Предложенный в данной работе способ анализа климатических временных рядов – инструмент первичного анализа. Именно поэтому в названии статьи присутствует словосочетание «эмпирический анализ». Предложенный способ предназначен в основном для первичного, быстрого анализа, по результатам которого можно определить целесообразность дальнейшего, более глубокого исследования статистическими средствами. Такие статистические средства опираются на основополагающие работы отечественных климатологов (см., в первую очередь, (Груза, Ранькова, 1980)). Они успешно применяются при представлении результатов мониторинга климата (см., например, (Доклад..., 2025; Ранькова и др., 2024)).

В качестве примера практической полезности предложенного в данной работе метода эмпирического анализа упомянем следующее:

– для разделения медленных и быстрых изменений в рядах климатических данных часто используется полиномиальная аппроксимация; коэффициенты таких полиномиальных зависимостей трудно интерпретировать, в то время как кусочно-линейные функции, предложенные для аппроксимации в данной работе, характеризуют вполне ясные свойства процесса изменения изучаемой переменной, а именно: средние скорости изменения на последовательных отрезках времени;

– данные об отклонениях от линии тренда, представленные на рис. 2-5, указывают на то, что заметной тенденции их разброса со временем – уменьшения или же увеличения – не наблюдается; таким образом, ни уменьшения, ни увеличения экстремальности среднегодовых температур в среднем глобально и по Северному, и Южному полушариям в отдельности в этом понижении не наблюдается; имеет место лишь постепенное потепление за счет медленной составляющей процесса изменения.

Практика применения предложенного метода в анализе изменений региональных климатов, прежде всего, температурного режима, покажет направления дальнейшего развития метода.

Благодарности

Авторы признательны за поддержку данной работы Институтом географии РАН в части методологии эмпирического анализа данных (тема Государственного задания ИГ РАН FMWS-2024-0001 «Изменения климата, их причины и последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России») и Росгидромету (госзадание ФГБУ «ИГКЭ» № 169-00034-25-00, тема 3.2) в части проведения расчетов и анализа результатов.

Список литературы

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год (2025) Москва, 135 с., ISBN 978-5-906099-58-7.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (1980) *Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария*, Ленинград, Гидрометеиздат, 72 с.

Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф., Антипина, У.И., Смирнов, В.Д. (2024) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2023 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 2, с. 288-323, doi:10.21513/2410-8758-2024-2-288-323.

IPCC (2013) *Summary for Policymakers, Climate Change 2013, The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Winn, J.P., Hogan, E., Killick, R.E., Dunn, R.J.H., Osborn, T.J., Jones, P.D., Simpson, I.R. (2021) An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset, *Journal of Geophysical Research*, vol. 126, e2019JD032361, doi:10.1029/2019JD032361.

References

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2024 god [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2024] (2025) Moscow, Russia, 135 p., ISBN 978-5-906099-58-7.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (1980) *Struktura i izmenchivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozduha Severnogo polushariya* [Structure and variability of the observed climate. Air temperature of the Northern Hemisphere], Leningrad, Russia, 72 p.

Rankova, E.Ya., Samohina, O.F., Antipina, U.I., Smirnov, V.D. (2024) *Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2023 godu* [Features of the temperature regime at the surface of the globe in 2023], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 10, no. 2, pp. 288-323, doi:10.21513/2410-8758-2024-2-288-323.

IPCC (2013) *Summary for Policymakers, Climate Change 2013, The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Winn, J.P., Hogan, E., Killick, R.E., Dunn, R.J.H., Osborn, T.J., Jones, P.D., Simpson, I.R. (2021) An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset, *Journal of Geophysical Research*, vol. 126, e2019JD032361, doi:10.1029/2019JD032361.

Статья поступила в редакцию (Received): 13.07.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 29.07.2025.

Принята к публикации (Accepted): 04.08.2025.

Для цитирования / For citation:

Семенов, С.М., Кутузова, К.М. (2025) Использование аппроксимации кусочно-линейными функциями в эмпирическом анализе изменений и изменчивости рядов климатических данных, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 3, с. 441-453, doi:10.21513/2410-8758-2025-3-441-453.

Semenov, S.M., Kutuzova, K.M. (2025) Using approximation by piecewise linear functions in empirical analysis of changes and variability of climate data series, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 3, pp. 441-453, doi:10.21513/2410-8758-2025-3-441-453.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Полное библиографическое описание всех статей журнала представлено в Научной электронной библиотеке **elibrary.ru** с целью формирования Российского индекса научного цитирования (**РИНЦ**).

Журнал входит в **ПЕРЕЧЕНЬ ВАК** рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Все публикуемые статьи рецензируются. В среднем период рассмотрения статей при однократном рецензировании составляет 4 месяца.

Осуществляется анонимное рецензирование одним-двумя рецензентами как из числа членов редколлегии журнала, так и внешними рецензентами. Все публикуемые статьи проходят проверку на плагиат с помощью <https://www.antiplagiat.ru/>, результаты которой документируются и хранятся в архиве.

Редакция журнала «Фундаментальная и прикладная климатология» признает обязательными для соблюдения авторами, рецензентами, членами редколлегии и сотрудниками редакции требования «**Кодекса этики научных публикаций**», разработанного и утвержденного Комитетом по этике научных публикаций, а также заявляет об отсутствии злоупотреблений служебным положением в деятельности редакции.

Публикация в журнале бесплатная.

веб-страница: <https://fa-climatology.ru>.

FUNDAMENTAL AND APPLIED CLIMATOLOGY

Full bibliographic description of all articles published in the journal is presented in the Scientific Electronic Library (elibrary.ru) for the formation of the Russian Science Citation Index (RSCI).

The journal is included into the List of Peer-reviewed Scientific Journals (compiled by Supreme Qualification Council), where basic scientific results of PhD and DSc dissertations must be published.

All papers submitted are peer-reviewed. The average review period for a single review is 4 months.

Anonymous review is carried out by one or two reviewers from among the members of the Editorial Board of the journal, as well as by external reviewers. All published articles are checked for plagiarism using <https://www.antiplagiat.ru/>, the results of which are documented and stored in the archive.

The Editorial Office of "Fundamental and applied climatology" finds it obligatory for authors, reviewers, editorial board members and editorial staff to meet requirements of the "Code of Ethics for Scientific Publications", developed and approved by the Committee on Scientific Publications Ethics as well as declares no conflicts of interest in the activities of the Editorial Board.

Publication in the journal is free of charge.

web-page: <https://fa-climatology.ru>.
