

## Области экстремумов десятилетних тенденций изменения температуры в приповерхностном слое в 1900-1970 гг.

*К.М. Кутузова*

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

Адрес для переписки: *kkutuzova@gmail.com*

**Реферат.** Изменения температуры в приповерхностном слое происходят в различных временных масштабах: межгодовые изменения, декадные, вековые. При исследовании постепенных изменений средних значений гидрометеорологических величин наиболее важны масштабы времени от десятилетия и больше. Работа посвящена актуальной задаче оценки пространственного распределения десятилетних тенденций изменения среднегодовой температуры в приповерхностном слое ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) для последовательных десятилетий с 1901 по 1970 гг. Источник исходных данных – ряды суша+море архива HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0, характеризующие широтно-долготные боксы  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ . На построенных картах пространственного распределения тенденций выявлены области потепления и похолодания линейных размеров более 1000 км, для которых скорость изменения по абсолютной величине превышала  $0.1^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . Это значение втрое превосходит среднеполушарные оценки. Такие значения в статье называются экстремальными. Во многих случаях они приурочены к Арктической зоне. Наличие таких областей в 1901-1970 гг. – следствие естественных факторов изменчивости климатической системы, поскольку в этот период антропогенные воздействия на нее было еще невелики.

**Ключевые слова.** Среднегодовая температура, приповерхностный слой, изменения, десятилетние тенденции, глобальное пространственное распределение, естественная изменчивость, экстремумы.

## Regions of extremes of decadal surface temperature trends in 1900-1970

*K.M. Kutuzova*

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

Correspondence address: *kkutuzova@gmail.com*

**Abstract.** Surface layer temperature changes occur on various time scales: interannual, decadal, secular. Decades and longer periods are the most important time scales for studying gradual changes in mean hydrometeorological values. This paper is dedicated to assessing the spatial distribution of decadal trends in mean

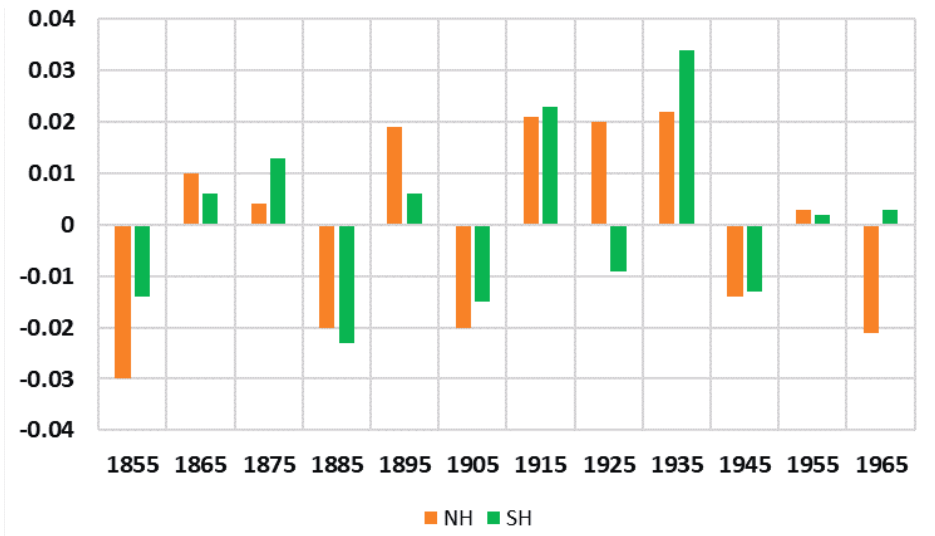
annual surface layer temperature ( $^{\circ}\text{C}/\text{yr}$ ) for successive decades from 1901 to 1970. The source of the initial data is the land+sea series from the HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0 archive, characterizing  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  latitude-longitude boxes. The resulting maps of the spatial distribution of trends revealed warming and cooling areas with linear dimensions greater than 1000 km, for which the absolute rate of change exceeded  $0.1^{\circ}\text{C}/\text{yr}$ . This value is three times higher than the hemispheric average estimates. Such values are referred to as extreme in the paper. In many cases, they are confined to the Arctic zone. The presence of such areas from 1901 to 1970 is a consequence of natural variability in the climate system, as anthropogenic impacts on it were still minor during this period.

**Keywords.** Annual mean temperature, surface layer, changes, decadal trends, global spatial distribution, natural variability, extremes.

## Введение

В современных исследованиях в области статистической климатологии одним из основных предметов изучения являются аномалии гидрометеорологических переменных. Этому, в частности, посвящены Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации – см., например, (Доклад..., 2024). Уделяется также внимание тенденциям изменения. Эти тенденции обычно характеризуются значениями линейных трендов. Тренды оцениваются для различных по продолжительности промежутков времени – десятилетие и более – и для различных частей земной поверхности – см., например, (Алексеев, 2023; Бокучава, Семенов, 2018; Малинин, Вайновский, 2018; Gulev et al., 2021; Hartmann et al., 2013). В данной статье представлен первичный анализ глобального пространственного распределения десятилетних тенденций среднегодовой температуры в приповерхностном слое. Для исследования выбран промежуток времени 1901-1970 гг., в пределах которого антропогенное воздействие на климат было еще невелико. Тем самым обнаруженные особенности пространственного распределения обусловлены, в основном, естественными факторами.

В работе (Семенов, Кутузова, 2025) предложен метод приближения временного ряда данных с помощью функции времени, которая является непрерывной и линейной на каждом из последовательных отрезков времени. Способ приближения реализует процедуру минимизации суммы квадратов разностей элементов ряда и результатов их аппроксимации (то есть это – построение МНК-оценки). Значения скорости изменения получаемой при этом кусочно-линейной функции времени можно интерпретировать как оценки тенденций изменения исследуемой переменной в масштабе времени, соответствующем продолжительности последовательных отрезков времени, применяемых для такого анализа данных. В работе (Семенов, Кутузова, 2025) этот метод был применен в исследовании глобальных рядов среднегодовой температуры в приповерхностном слое. Исследовались глобальные средние значения температуры, а также средние по Северному и Южному полушариям. Результаты по Северному и Южному полушариям представлены на рис. 1.



**Рисунок 1.** Десятилетние тенденции изменения температуры ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) в приповерхностном слое в Северном (NH) и Южном (SH) полушариях: 1855 маркирует десятилетие 1851-1960 гг., 1865 маркирует десятилетие 1861-1970 гг. и т.д.

**Figure 1.** Decadal trends in surface temperature ( $^{\circ}\text{C}/\text{yr}$ ) in the Northern (NH) and Southern (SH) hemispheres: 1855 marks the decade 1851-1960, 1865 marks the decade 1861-1970, etc.

Как можно заметить на рис. 1, для обоих полушарий в 11 случаях из 12 оценки десятилетних тенденций изменения температуры практически находятся в пределах диапазона от  $-0.023$  до  $+0.023^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . Для Северного полушария лишь для отрезка времени 1851-1860 гг. оценка находится вне этого диапазона, а именно равна  $-0.033^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . Для Южного полушария оценка достигает  $+0.034^{\circ}\text{C}/\text{год}$  для 1831-1940 гг. На рис. 1 видно, что десятилетние периоды с тенденцией роста температуры перемежаются периодами с тенденцией ее уменьшения. Также хорошо заметен длительный период потепления 1911-1940 гг., когда в течение 30-летия для Северного полушария сохранялась тенденция роста температуры примерно со скоростью примерно  $0.02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

Отметив эти особенности десятилетних тенденций изменения во времени средней по полушариям среднегодовой приповерхностной температуры, естественно сформулировать вопрос о пространственных особенностях этих изменений. Цель данной статьи – рассмотреть эти особенности, анализируя глобальное пространственное распределение десятилетних тенденций. Для анализа выбран период 1901-1970 гг., для которого, с одной стороны, уже существуют достаточно представительные глобальные данные о температуре, а с другой стороны – антропогенное усиление парникового эффекта было еще незначительное.

## Метод

В данной работе метод аппроксимации временного ряда данных кусочно-линейной функцией, предложенный в работе (Семенов, Кутузова,

2025), был применен к каждому из рядов аномалий среднегодовой температуры в массиве суша+море HadCRUT5 Analysis version 5.0.2.0. Эти ряды характеризуют широтно-долготные боксы  $5^\circ \times 5^\circ$ . Аномалии – относительно базового периода 1961-1990 гг. Данные находятся в интернете по адресу <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow>. Они подготовлены Отделом исследования климата Университета Восточной Англии (Великобритания) и описаны в источнике (Morice et al., 2021). Данные обновляются и сейчас характеризуют 1850-2025 гг. Надо отметить, что массив HadCRUT5 доступен в двух вариантах: HadCRUT5 Non-Infilled, включающий только те боксы, в которых есть хотя бы минимальные данные метеостанций; и HadCRUT5 Analysis, пространственное покрытие которого увеличено с помощью методов интерполяции, чтобы заполнить данными боксы, в которых данные станций отсутствуют. Причем авторы (Morice et al., 2021) отмечают, что в некоторых регионах, особенно в ранние периоды наблюдений, данные станций настолько скудны, что надежная реконструкция невозможна. Таким образом, массив все же содержит «белые пятна», весьма обширные, например, в антарктической и субантарктической области до 1960-х годов. Мы пользовались вторым из вариантов, HadCRUT5 Analysis, понимая, что хотя географическое покрытие его полнее, но репрезентативность его данных в областях с ограниченным количеством станций – хуже.

Пространственное распределение полученных оценок десятилетней тенденции изменения температуры нанесено нами на карты (рис. 2(a-g)) отдельно для последовательных десятилетних периодов: а) 1901-1910 гг., б) 1911-1920 гг., ..., г) 1961-1970 гг. Если для заданных бокса и десятилетнего периода менее чем 5 лет из 10 обеспечены данными, то оценка не производилась (на картах отмечалось, что «нет оценки» – см. легенду). Построение карт выполнено с использованием пакета QGIS.

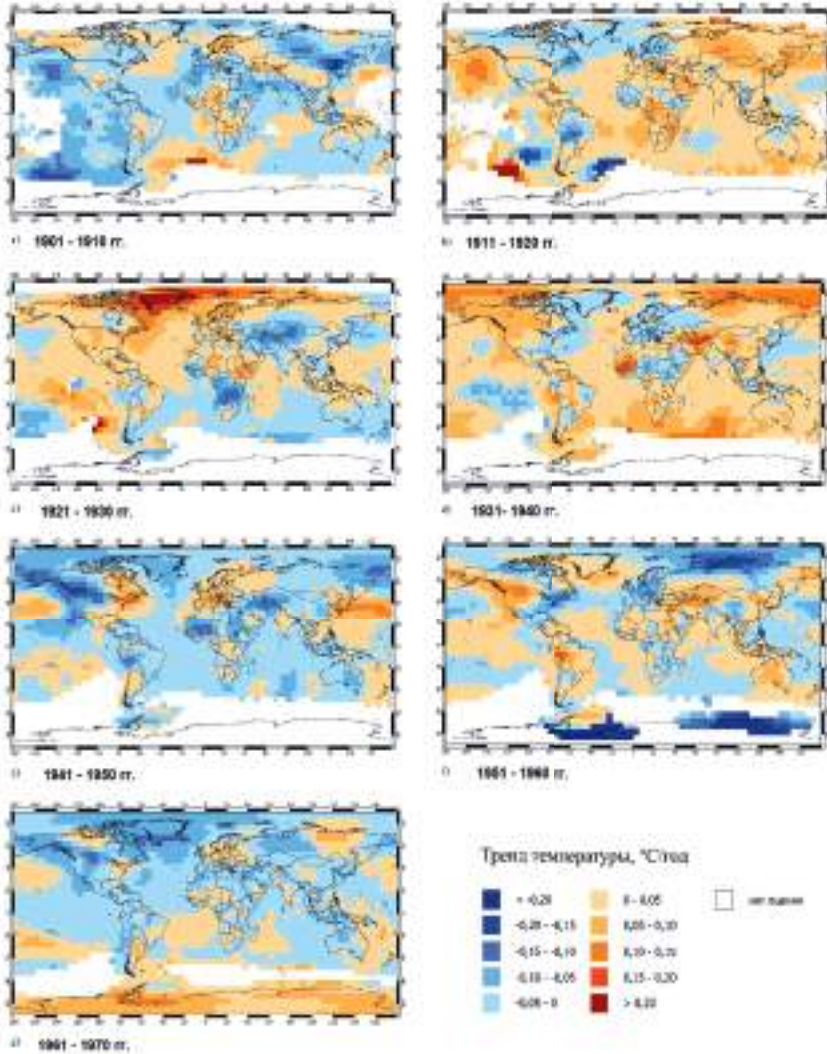
## Результаты и обсуждение

Как видно на картах, представленных на рис. 2(a-g), пространственное распределение десятилетних тенденций изменения температуры весьма неоднородно. На каждой из карт имеются обширные части географического пространства, в которых отмечается как рост температуры, так и уменьшение.

В дальнейших комментариях к этим картам основное внимание будет уделено тем областям пространства, в которых скорость изменения температуры по модулю превосходит  $0.1^\circ\text{C}/\text{год}$ . Это соответствует изменению температуры на  $1^\circ\text{C}$  и более за 10 лет. Такие значения будут далее рассматриваться как экстремальные. Они практически втрое и более превосходят максимум абсолютной величины оценки для скорости изменения средней по полушариям температуры (см. рис. 1 и комментарии к нему).

Далее для каждого из рассматриваемых 7 десятилетий укажем те области, где достигаются экстремальные значения, – «области потепления» и «области похолодания». При этом будут указываться лишь области значительных линейных размеров – от 1000 км. Напомним, что белые пятна на картах могут иметь

двойное происхождение. Это либо области (боксы  $5^\circ \times 5^\circ$ ), для которых отсутствуют данные исходного массива HadCRUT5 Analysis, либо боксы, в которых данные наличествуют менее чем для 5 лет из выбранного 10-летия – в этом случае, алгоритм расчета тренда дает результат «нет оценки».



**Рисунок 2.** Пространственное распределение оценок десятилетней тенденции изменения среднегодовой температуры ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) для последовательных десятилетних периодов: а) 1901-1910 гг., б) 1911-1920 гг., в) 1921-1930 гг., д) 1931-1940 гг., е) 1941-1950 гг., г) 1951-1960 гг., г) 1961-1970 гг.

**Figure 2.** Spatial distribution of estimates of the decadal annual mean temperature ( $^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ) for successive decadal periods: а) 1901-1910, б) 1911-1920, в) 1921-1930, д) 1931-1940, е) 1941-1950, ф) 1951-1960, г) 1961-1970

В период 1901-1910 гг. (рис. 2а) выделялись две области похолодания в Тихом океане – в умеренных широтах Северного и Южного полушарий. В Восточном полушарии две такие области расположены на северо-востоке

Китая и на юге Средней Сибири. Область потепления находилась на юге Атлантического океана, в умеренных широтах.

В 1911-1920 гг. (рис. 2b) в Южном полушарии находились две области похолодания, обе в умеренных широтах в Тихом и Атлантическом океанах. В Северном полушарии области потепления были расположены в умеренных широтах в Тихом океане, а также на юге Западной Сибири.

В 1921-1930 гг. (рис. 2c) в Северном полушарии область потепления охватывала большую часть Гренландии и прилегающей акватории, а область похолодания была расположена на юге Центральной Азии. В Южном полушарии область похолодания примыкала к параллели  $20^{\circ}$  ю.ш. на юге Африки, а область потепления находилась в умеренных широтах в Тихом океане.

В 1931-1940 гг. (рис. 2d) в Северном полушарии весьма протяженная область потепления находилась в Арктике. Она простиралась к востоку от  $70^{\circ}$  в.д. в Восточном полушарии и к западу от  $90^{\circ}$  з.д. в Западном полушарии, примыкая к широтной полосе  $70-80^{\circ}$  с.ш. В Северном полушарии были еще две гораздо меньшие области потепления: в регионе Памира и в тропической части Западной Африки. В Южном полушарии область потепления была расположена в южной части Индийского океана. Областей похолодания в этот период не было.

В 1941-1950 гг. (рис. 2e) было широко распространено похолодание. В Северном полушарии похолодание охватывало большую часть территории полуостровов Аляска и Чукотка вместе с некоторыми прилегающими акваториями, обширную область, примыкающую к западному побережью Канады и к западной части границы между Канадой и США; область, примыкающую к побережью Калифорнии; область к востоку от Каспийского моря (территории Узбекистана, Туркмении и северо-восточного Ирана) в Евразии, а также тропическую область Западной Африки. В Южном полушарии небольшая область похолодания выделялась в западной части Южной Америки, около  $20^{\circ}$  ю.ш. Потепление наблюдалось на западе Тихого океана в довольно узкой широтной полосе, примыкающей с юга к параллели  $40^{\circ}$  с.ш., а также в восточной части Северной Америки к югу от п-ова Лабрадор.

В 1951-1960 гг. (рис. 2f) в Северном полушарии обширная область похолодания образовалась в Арктике. Эта область примыкала к арктическому побережью России и располагалась к востоку от  $50^{\circ}$  в.д. и западнее  $135^{\circ}$  в.д. Существенно меньшая область похолодания располагалась в умеренных широтах и примыкала к восточному побережью США. Потепление наблюдалось в узкой области, примыкающей к западному побережью Канады и границе между Канадой и США, а также на территории Узбекистана и в Южном полушарии – в западной части Южной Америки, на стыке границ Перу, Боливии и Бразилии. Две обширные области экстремальных скоростей похолодания ( $> 0.2^{\circ}\text{C}$  в год) выделяются в Антарктиде. Однако в виду того, что регулярные метеонаблюдения в этих областях были фактически только начаты в этом десятилетии, а прилегающие территории еще оставались вовсе не охвачены наблюдениями, выделение этих «областей похолодания» по имеющимся метеоданным требует дополнительного осмысления.

В 1961-1970 гг. (рис. 2г) в Северном полушарии небольшие области похолодания наблюдались в Северной Америке. Одна примыкает к западному побережью Канады и границе между Канадой и штатом Аляска (США). Другая примыкает к границе между США и Канадой в ее центральной части. Еще одна область похолодания была расположена на юге Гренландии и в проливе Дэвиса. Материковая область потепления, примыкающая к Арктическому побережью, была расположена в Восточной Сибири. В Южном полушарии область потепления расположена в Антарктиде к востоку от Антарктического полуострова.

## **Заключение**

Исследование семи последовательных десятилетних периодов времени с 1901 по 1970 г. позволило получить первичное представление о глобальном распределении десятилетних тенденций – скорости изменения температуры в приповерхностном слое для этих периодов ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). Эти распределения существенно неоднородны в пространстве и изменчивы во времени. Особенности этих распределений и их изменения во времени, по-видимому, определяются естественными факторами, поскольку в 1901-1970 гг. антропогенное воздействие на климатическую систему Земли было еще невелико.

На обширных частях географического пространства – с линейными размерами 1000 км и более – скорость изменения можно охарактеризовать как экстремальную. А именно, потепление или похолодание происходило со скоростью большей  $0.1^{\circ}\text{C}/\text{год}$  (т.е.  $1^{\circ}\text{C}$  в 10 лет), что втрое превышает максимум абсолютной величины среднеполушарных оценок. Такие области встречаются, в том числе, в Арктике, в особенности в регионах Берингова пролива, в прибрежной зоне на западе Канады и США, в регионе Гренландии, в российской Арктике в прибрежной зоне (на море и на материке) от Карского моря до моря Лаптевых, на юге Сибири, на северо-востоке Китая, в регионе Памира, в тропической части западной и центральной Африки, в Антарктиде к востоку от Антарктического полуострова, в ряде областей Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Отметим, что на построенных картах хорошо заметен значительный темп потепления в Арктике в 1921-1940 гг.

## **Благодарности**

Автор благодарит ФГБУ «ИГКЭ» за поддержку данной работы (госзадание № 169-00034-25-00).

## **Список литературы**

Алексеев, Г.В. (2023) Потепление климата Арктики: расхождения между глобальными моделями климата и наблюдениями и возможные причины, *Гидрометеорология и экология*, № 71, с. 207-230, doi:1033933/2713-3001-2023-71-207-230.

---

Бокучава, Д.Д., Семенов, В.А. (2018) Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 28-51, doi:10.21513/2410-8758-2018-1-28-51.

*Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год* (2025) Москва, 135 с.

Малинин, В.Н., Вайновский, П.А. (2018) О причинах первого потепления Арктики в XX столетии, *Ученые записки РГГМУ*, № 53, с. 34-55.

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.

Gulev, S.K., Thorne, P.W., Ahn, J., Dentener, F.J., Domingues, C.M., Gerland, S., Gong, D., Kaufman, D.S., Namche, H.C., Quaas, J., Rivera, J.A., Sathyendranath, S., Smith, S.L., Trewin, B., von Schuckmann, K., Vose, R.S. (2021) *Changing State of the Climate System. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Páan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekzi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 287-422, doi:10.1017/9781009157896.004.

Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., Zhai, P.M. (2013): *Observations: Atmosphere and Surface. In: 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, doi:10.1029/2019JD032361.

## References

Alekseev, G.V. (2023) Poteplenije klimata Arktiki: rashozhdenija mezhdu global'nymi modeljami klimata I nabljudenijami I vozmozhnyje prichiny [Arctic climate warming: discrepancies between global climate models and observations and possible causes], *Gidrometeorologija I ekologija*, vol. 71, pp. 207-230, doi:10.33933/2713-3001-2023-71-207-230.

Bokuchava, D.D., Semenov, V.A. (2018) Analiz anomalij prizemnoj temperatury vozduha v Severnom polusharii v techenie XX veka po dannym nabljudenij I reanalizov [Analysis of surface air temperature anomalies in the Northern Hemisphere in the 20th century using observational and reanalysis data], *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 1, pp. 28-51, doi:10.21513/2410-8758-2018-1-28-51.

*Doklad ob ossobenostyah 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.

Malinin, V.N., Vainovsky, P.A. (2018) O prichinah pervogo poteplenija v Arktike v XX stoletii [On the causes of the first warming of the Arctic in the 20<sup>th</sup> century], *Uchenyje zapiski RGGMU*, vol 53, pp. 34-55.

Semenov, S.M., Kutuzova, K.M. (2025) Ispolzovanije approksimacii kusochno-linejnymi funkcijami v empiricheskom analize izmenenij I izmenchivosti ryadov klimaticeskikh dannyh [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.

Gulev, S.K., Thorne, P.W., Ahn, J., Dentener, F.J., Domingues, C.M., Gerland, S., Gong, D., Kaufman, D.S., Namche, H.C., Quaas, J., Rivera, J.A., Sathyendranath, S., Smith, S.L., Trewin, B., von Schuckmann, K., Vose, R.S. (2021) *Changing State of the Climate System. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Pïan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yeleksi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 287-422, doi:10.1017/9781009157896.004.

Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., Zhai, P.M. (2013): *Observations: Atmosphere and Surface. In: 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, doi:10.1029/2019JD032361.

Статья поступила в редакцию (Received): 19.01.2026.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 10.02.2026.

Принята к публикации (Accepted): 17.02.2026.

### **Для цитирования For citation:**

Кутузова, К.М. (2026) Области экстремумов десятилетних тенденций изменения температуры в приповерхностном слое в 1900-1970 гг., *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 12, № 1, с. 130-139, doi:10.21513/2410-8758-2026-1-130-139.

Kutuzova, K.M. (2026) Regions of extremes of decadal surface temperature trends in 1900-1970, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 12, no. 1, pp. 130-139, doi:10.21513/2410-8758-2026-1-130-139.