© Стонт Ж. И., Капустина М. В., 2026, Океанологические исследования, 2026, Том 54, № 3, С. 95–128

УДК 551.582 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2026.54(3).6

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 1848–2024 гг.

Ж. И. Стонт, М. В. Капустина

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: ocean_stont@mail.ru

В статье представлена оценка изменчивости температуры воздуха, определяющей условия в прибрежной зоне юго-восточной части Балтийского моря. Анализ временных рядов основан на исторических ежемесячных данных о средней температуре воздуха для метеостанции в г. Калининграде (Кенигсберге) (1848–2024 гг.). Проводится сопоставление с температурой приводного воздуха по данным реанализа ERA5 для Юго-Восточной Балтики за период 1950–2024 гг. Полученные статистические характеристики и расчетные линейные тренды позволили выделить в регионе 3 периода, характеризующие температурный режим: 1) снижение температуры во второй половине XIX в.; 2) «вековую» стагнацию на протяжении XX в. и 3) устойчивый рост (тренд 0.35 ºС/10 лет), начиная с 1988 г., который особенно явно проявился в конце первой четверти XXI в. Это свидетельствует о временной неоднородности, обусловленной сезонными трендами. Сравнение сезонных температур с аналогичными за стандартный климатический период (1961–1990 гг.) показало, что в период интенсивного роста отмечено только 3 зимы с температурой ниже стандартного периода, а средняя температура лета превышала стандартные значения, причем максимальные аномалии до +2.7 ºС характерны в последние годы периода исследования. Проявлениями изменений в сезонной изменчивости температуры воздуха являются увеличения вегетационного периода, сокращение числа морозных дней, уменьшение суровости зим. Усиление климатических изменений привело к более частым проявлениям экстремальных погодных явлений (например, волны тепла). За более короткий временной период (1940–2024 гг.) среднегодовая температура над акваторией юго-восточной части Балтики на 0.4 °С выше, чем над примыкающей сушей. Внутригодовой ход среднемесячных температур воздуха более сглаженный над морем. Об этом свидетельствует размах колебаний 20.4 ºС над сушей и 17.6 ºС над морем, а также сдвиг на месяц максимальной среднемесячной температуры: над сушей это июль (17.8 ºС) и август (17.7 ºС) над морем. Десятилетний тренд (тренд °С/10 лет) за этот период над морем превысил тренд над сушей в 1.7 раза, что обусловлено максимальным приращением по тренду в Калининграде зимой (4.7 ºС февраль/период), а над морем – летом 4.4 ºС/период. В прибрежной зоне юго-восточной части Балтийского моря отмечено увеличение продолжительности климатического летнего сезона и частоты возникновения волн тепла, особенно в мае–июне, а также уменьшение суровости и продолжительности зим.

Ключевые слова: климатический тренд, сезонный тренд, экстремальные явления, волны «тепла», суровость зим, Юго-Восточная Балтика, Калининградская область

Введение

Климатические изменения приобретают во всем мире все более глобальные масштабы. Проявляясь на региональном уровне в виде экстремальных явлений, они напрямую затрагивают, а зачастую и создают угрозу условиям жизни людей. Происходящие изменения характеристик климата в юго-восточной части Балтийского моря обусловлены комплексом гидрометеорологических факторов: циркуляционным режимом, который определяет изменения ветрового и волнового режимов у побережья и стока рек; повышением температуры воды за счет изменения температуры воздуха и атмосферной циркуляции.

Южная и западная части Балтийского моря относятся к среднеевропейской зоне мягкого климата с западной циркуляцией. Изменчивость климатических условий обусловлена противоположным воздействием умеренных морских воздушных масс северной части Атлантического океана и воздушных масс евразийского континентального климата. Климат региона Балтийского моря находится под сильным влиянием крупномасштабной атмосферной изменчивости (Omstedt and Chen, 2001; Andersson, 2002; Lehmann et al., 2002; Kniebusch et al., 2019; Börgel et al., 2020). Ключевую роль среди них играет Североатлантическое колебание (САК), которое является доминирующим фактором изменчивости приповерхностного давления над Северной Атлантикой (Wills et al., 2018), особенно в зимний сезон (Hurrell et al., 2003; Kauker and Meier, 2003). Помимо САК, на климат региона также влияет блокирование западного переноса. Важное значение имеет и Атлантическое многодесятилетнее колебание (АМО) – колебание температуры поверхности океана в Северной Атлантике с периодом 50–90 лет (Knight et al., 2006). Было обнаружено, что АМО способно изменять зональное положение САК и, как следствие, влиять на его региональные проявления в районе Балтийского моря (Börgel et al., 2018; Börgel et al., 2020).

Исключительное значение для региона Балтийского моря, в том числе и для его юго-восточной части, имеют крупномасштабные изменения климата, особенно в Северной Атлантике и Арктике. В Балтийском регионе, как и в других регионах Европы, в последние годы очевидна изменчивость гидрометеорологических условий. Климат прибрежной зоны Балтийского моря становится теплее, частота экстремальных гидрометеорологических явлений увеличивается. Эти факторы определяют изменения в природной среде и ограничивают потенциал развития прибрежной зоны (Tylkowski, Hojan, 2019). Климатические изменения приобретают во всем мире все более глобальные масштабы. Калининградская область, расположенная в прибрежной зоне Балтийского моря, является особенно уязвимой к воздействию климатических изменений. Для побережья Калининградской области ранее детально изучена динамика гидрометеорологических параметров (температуры, осадков и уровня моря) с использованием метода скользящего 30-летнего «окна» с шагом в 10 лет на длинном временном ряду (1901–2018 гг.) (Стонт и др., 2020б).

В докладе (Доклад об особенностях климата…, 2025) отмечено, что на территории РФ в 2024 г. средняя температура оказалась на 1.21 °С выше климатической нормы за

период 1991–2020 гг. Повторяемость опасных метеорологических явлений оказалась выше нормы: сильных осадков – на 19 %, очень сильного ветра – на 4 %, жаркой погоды – на 24 %.

Цель исследования – установить закономерности многолетней изменчивости температурных условий Калининградского побережья и рассчитать скорость их трансформации на сверхдлинном временном ряду с 1848 по 2024 гг. Выводы работы могут быть использованы при формировании программ адаптации Калининградской области к климатическим изменениям.

Используемые данные и методика

Для получения оценок изменчивости температуры воздуха в районе побережья юго-восточной части Балтийского моря (рисунок 1) использовались следующие данные.

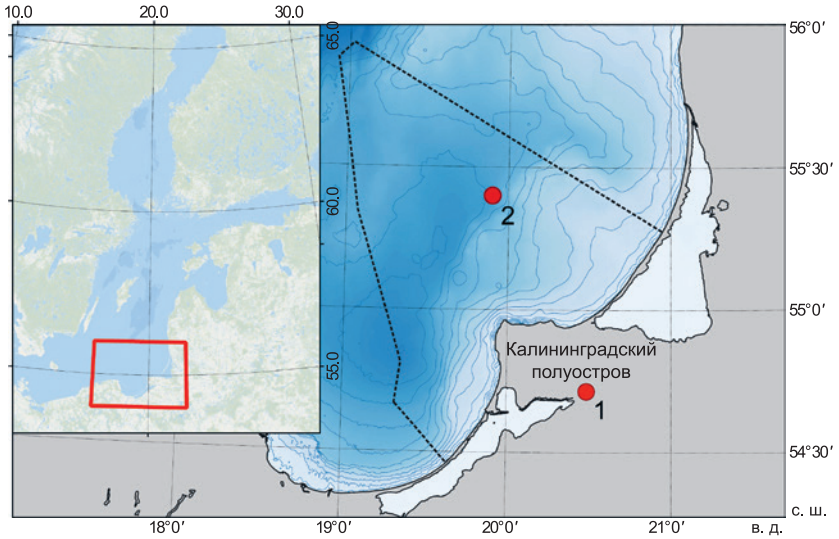


Рис. 1– Район исследования в Балтийском море. Точки 1 и 2 – расположение станций наблюдений: 1 – метеостанция г. Калининград, 54.73º с. ш., 20.56º в. д.; 2 – точка реанализа ERA5 (ECMWF), 55.40º с. ш., 19.90º в. д.

1. Исторические среднемесячные значения температуры воздуха в г. Калининград за период усреднения 1848–2024 гг. рассчитаны по сведениям погодного сайта (www.pogodaiklimat.ru), где использовались данные регулярных измерений, а также по литературным источникам. Пропуски данных, начиная с 2010 г., дополнены значениями по усредненным 8-срочным стандартным наблюдениям, получаемым на метеорологической станции #26607 UMKK (www.rp5.ru) Калининграда (широта – 54.73º с. ш., долгота – 20.56º в. д., высота над уровнем моря – 19 м).

2. Длительность метеорологического лета, характеристики безморозного периода и суровости зим за период с 1971 по 2024 гг. для Калининграда получены на основе климатических данных, представленных на сайте www.pogodaiklimat.ru.

3. Повторяемость волн тепла рассчитывалась по показателям температуры воздуха из двух источников: NOAA, полученным по данным метеостанции Храброво (широта – 54.89º с. ш., долгота – 20.59º в. д.) за 1955–2024 гг. с разной дискретностью (от ежечасных до 4-срочных измерений) (https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/noaa/isd-lite/isd-lite-format.txt) и по данным атмосферного реанализа ERA5.

4. Данные атмосферного реанализа ERA5 (ECMWF) (температура воздуха) в координатах 55.40º с. ш., 19.90º в. д. взяты за период 1940–2024 гг. Использовались данные как со среднесуточным осреднением, так и почасовые. Пространственное разрешение около 31 км (0.25°×0.25°) (Hersbach et al., 2020).

Анализ данных основан на методах одномерного и многомерного статистического анализа (Малинин, 2008). Расчеты производились средствами Microsoft Excel. Был произведен расчет следующих статистических характеристик для выбранных данных: среднее значение, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, минимальное и максимальное значения.

Оценка линейного тренда временного ряда выполнена с использованием метода наименьших квадратов (МНК). Коэффициент наклона тренда b определялся по формуле:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})}{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2},$$

где x_i – год наблюдения, y_i – среднегодовая температура, $\overline{x}$ и $\overline{y}$ – средние арифметические соответствующих рядов, N – общее количество наблюдений.

Стандартная ошибка коэффициента тренда $SE(b)$ рассчитывалась с поправкой на эффективный объем выборки N_{eff}, учитывающий автокорреляцию остатков регрессии:

$$SE(b) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{(N_{\text{eff}} - 2)\cdot\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}},$$

где $\hat{y}_i$ – значения, предсказанные по уравнению тренда.

Эффективное число независимых наблюдений определялось по формуле (Wilks, 2011):

$$N_{\text{eff}} = N \cdot \frac{1 - r_1}{1 + r_1},$$

где r_1 – коэффициент автокорреляции первого порядка остатков регрессионной модели:

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N-1}(\varepsilon_i - \overline{\varepsilon})(\varepsilon_{i+1} - \overline{\varepsilon})}{\sum_{i=1}^{N}(\varepsilon_i - \overline{\varepsilon})^2},$$

$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$ – остатки регрессии.

Для анализируемого ряда среднегодовых температур воздуха за период с 1848 по 2024 гг. получены следующие значения: $N = 177$, $r_1 = 0.1458$, следовательно, $N_{eff} = 132$.

Проверка статистической значимости тренда выполнялась с использованием критерия Стьюдента. Нулевая гипотеза H_0:$b = 0$ проверялась с помощью статистики:

$$t = \frac{b}{SE(b)},$$

распределенной по закону Стьюдента с числом степеней свободы $v = N_{eff} – 2$.

Для полученных данных: $b = 0.0104$ ºС/год, $SE(b) = 0.001576$ ºС/год, следовательно:

$$t = 0.0104/0.001576 = 6.60,\ v = 132 – 2 = 130.$$

Достигнутый уровень значимости (p-value) рассчитывался как вероятность получить значение статистики, по модулю превосходящее наблюдаемое, при условии справедливости нулевой гипотезы:

$$p = 2 \cdot P(T_v \geq |t|) = 2 \cdot [1 – F_v(|t|)],$$

где T_v – случайная величина, распределенная по закону Стьюдента с v степенями свободы, F_v – функция распределения Стьюдента.

Для рассматриваемого случая:

$$p = 2 \cdot P(T_{130} \geq 6.60) = 0.0000005 \cdot (5 \times 10^{-7}).$$

Достигнутый уровень значимости (p-value) составил $p < 0.001$, что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии тренда на высоком уровне значимости.

В соответствии с рекомендацией Всемирной метеорологической организации, климатические нормы – это средние или суммарные данные наблюдений за 30-летние периоды, годы которых оканчиваются на «0» и, соответственно, обновляются каждое десятилетие (WMO, 2017). Тридцатилетний период 1991–2020 гг. сейчас принимается как базовый для расчета «стандартной» или «текущей» климатической нормы, которая используется для характеристики временных тенденций метеорологических параметров. В данной работе для оценки климатических изменений за базовый был выбран период 1961–1990 гг.

Анализ *межвековой изменчивости* проводился за период 1848–2024 гг. на основе среднегодовых температур воздуха в пределах 30-летних периодов. Первый (1848–1870 гг.) и последний (2021–2024 гг.) анализируемые периоды получились «неполными» (23 и 4 года соответственно). Анализ *межгодовой изменчивости* проводился за период с 1940 по 2024 гг.

Длительность *метеорологического лета* определялась как продолжительность части года, когда среднесуточная температура воздуха была выше 15 °С. Дополнительно по данным о температуре воздуха исследовалась продолжительность *безморозного*

периода, который определялся как период года, когда непрерывно сохранялась температура воздуха выше 0 °С. Были получены ежегодные характеристики каждого параметра.

Волны тепла. Существует несколько методик для определения периодов экстремальной жары (холода), которые можно разделить на абсолютные (например, 5 или 7 °С от пороговой температуры) и относительные (процентили функции распределения) отклонения (Ревич, Григорьева, 2021). В данной работе для определения экстремально жаркой погоды как опасного явления использовалась скорректированная методика из (Росгидромет, 2008). Периоды жаркой погоды отмечались в период с апреля по сентябрь. Для определения начала и конца волны тепла необходимо задать пороговое значение температуры, при превышении которого температура будет считаться аномальной. Были отмечены дни со значением среднесуточной температуры воздуха выше климатической нормы на 5 °С и более в течение не менее 5 суток (Ревич, 2011), где под нормой понималась среднесуточная для данной календарной даты температура за базовый период. Дополнительно за период волны отмечены максимальная среднесуточная температура и абсолютный максимум за волну и продолжительность непрерывного периода волны.

Суровость зимы. Из различных количественных показателей степени суровости зимы (Еремина и др., 2016) были рассчитаны следующие показатели: 1) средняя ($T_{ср}$), средняя минимальная ($T_{ср.мин}$) и средняя максимальная ($T_{ср.макс}$) температура воздуха за весь холодный период года; 2) сумма всех средних температур воздуха за холодный период года ($T_{общ}$). Для Калининграда в исследовании к холодному периоду были отнесены месяцы с ноября по март.

Межвековые изменения температуры воздуха над поверхностью суши (Калининград): 1848–2024 гг.

За период 1848–2024 гг. ход температуры демонстрировал чередования периодов роста и падения. Заметное падение среднегодовой (сглаженной) температуры воздуха отмечено в начале наблюдений – период 1857–1883 гг. Скорость падения температуры воздуха –0.16 °С/10 лет (таблица 1). В последующее столетие наблюдался период относительной стагнации – тренд +0.015 °С/10 лет. Так, за 1871–1900 гг. повышение составило почти 1 °С, затем период с начала XX в. до 1930 г. – относительная стагнация (–0.05 °С/30 лет). За период 1931–1960 гг. понижение температуры воздуха составило –0.5 °С. Отрицательные тренды наблюдались в XX в. только в годы, предшествующие периоду стандартной климатической нормы (1961–1990 гг.). В постиндустриальный период (с середины XX века) отчетливо проявляется смена отрицательных трендов на положительные, показывая постепенный устойчивый рост, довольно заметный уже в климатический период 1961–1990 гг. (+0.32 °С/10 лет), усилившийся в 1991–2020 гг. (+0.51 °С/10 лет) и продолжившийся в 2021–2024 гг. За последние 4 года среднегодовая температура выросла от +8.0 °С (2021) до +10.2 °С (2024).

Табл. 1 – Средние за 30-летние периоды значения среднегодовых температур воздуха, их линейные тренды в эти периоды и изменения (в соответствии с трендом); минимальные и максимальные среднемесячные температуры по периодам в Калининграде с 1848 по 2024 гг.

Годы	Температура воздуха, °C						
	Среднегодовая ± s	Доверительный интервал (95%)	Среднемесячная			Приращение °C/период	Тренд °C/10 лет
			мин	макс	размах		
1848–2024	7.3 ± 0.98	7.2–7.4	–13.7	21.3	35.0	1.84	0.104
1848–1870*	6.7 ± 0.92	6.3–7.1	–13.2	20.1	33.3	–0.72	–0.314
1871–1900	6.8 ± 0.87	6.5–7.1	–12.9	19.6	32.5	0.98	0.325
1901–1930	7.1 ± 0.81	6.8–7.4	–12.4	21.3	33.7	–0.05	–0.016
1931–1960	7.2 ± 0.95	6.9–7.5	–12.5	21.2	33.7	–0.46	–0.152
1961–1990	7.2 ± 0.98	6.9–7.5	–13.7	19.8	33.5	0.96	0.319
1991–2020	8.3 ± 0.80	8.0–8.6	–8.1	21.2	29.3	1.53	0.511
2021–2024*	9.0 ± 0.92	7.5–10.5	–3.5	21.3	24.8	2.84	0.71 °C/год

* неполные климатические периоды.

В целом ход среднегодовых температур воздуха с середины XIX в. и до настоящего времени имеет устойчивый положительный тренд – приращение температуры по тренду +1.8 °C. Коэффициент детерминации (R^2) составляет 0.249 для несглаженного ряда температуры и 0.627 для ряда с 10-летним сглаживанием (рисунок 2а). Это свидетельствует о том, что в случае сглаженного ряда характеристики температуры описывают происходящие процессы с более высокой степенью достоверности.

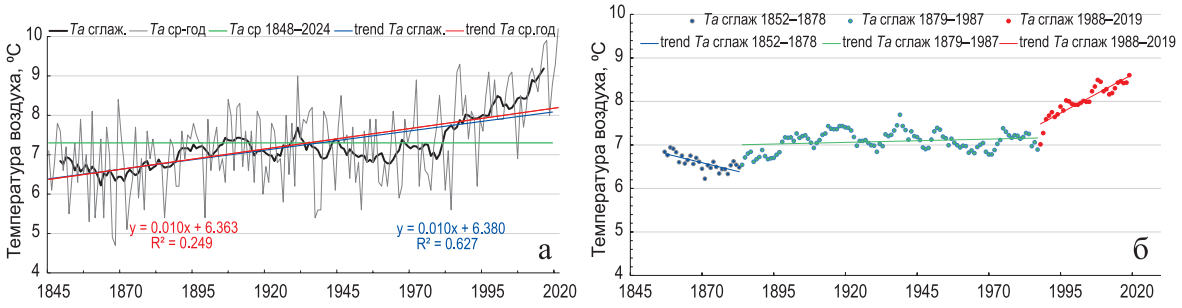


Рис. 2 – Временная изменчивость температуры воздуха для Калининграда: **а** – среднегодовая и с 10-летним сглаживанием значений, линейные тренды за период 1848–2024 гг.; **б** – сглаженная с отдельными периодами падения (1852–1878 гг.), стагнации (1879–1987 гг.) и активного роста (1988–2019 гг.) и их линейные тренды

Выделено 3 периода по сглаженному ряду: 1) падение температуры 1852–1878 гг. (тренд –0.16 °C/10 лет); 2) «вековая» стагнация 1879–1987 гг. (тренд +0.015 °C/10 лет); 3) устойчивый рост 1988–2019 гг. (тренд +0.35 °C/10 лет), особенно усилившийся в последние 4 года, когда наблюдались максимальные среднегодовые температуры (2024 г. +10.2 °C) за весь период наблюдений (рисунок 2б).

Статистические оценки (стандартная ошибка наклона, *t*-статистика, *p*-value) трендов рядов температуры воздуха Калининграда (среднегодовая и с 10-летним

сглаживанием значений, а также по выделенным периодам) подтвердили значимость трендов ($p < 0.05$) для следующих периодов: 1848–2024 гг. (среднегодовые значения, сглаженные) и периода 1991–2020 гг. с 10-летним шагом (таблица 2, рисунок 2а). Анализ также выявил неоднородность динамики: для сглаженной температуры воздуха выделены отдельные периоды – падения (1852–1878 гг.), стагнации (1879–1987 гг.) и активного роста (1988–2019 гг.), тренды которых также значимы (рисунок 2б).

Табл. 2 – Сводные оценки трендов температуры воздуха в разные периоды для г. Калининграда и Юго-Восточной Балтики (тренд значим при *p*-value < 0.05)

Показатель	**Тренд °С/10 лет**	**Стандартная ошибка наклона**	***t*-статистика**	***p*-value**	**Значимость**
Среднегодовая температура воздуха г. Калининград (1848 по 2024 гг.)					
1848–2024	0.104	0.0014	7.62	1.5e-12	Значим
1848–1870*	–0.314	0.028	–1.089	0.28	Не значим
1871–1900	0.325	0.017	1.844	0.07	Не значим
1901–1930	–0.016	0.017	–0.089	0.92	Не значим
1931–1960	–0.152	0.02	–0.752	0.45	Не значим
1961–1990	0.319	0.02	1.577	0.12	Не значим
1991–2020	0.511	0.014	3.578	0.001	Значим
2021–2024*	0.71	0.05	13.660	0.005	Значим
Температура воздуха (среднегодовая, годовая максимальная и минимальная среднемесячная) г. Калининград (1848 по 2024 гг.)					
Ср.год	0.104	0.001	7.623	1.5e-12	Значим
Ta max	0.077	0.002	4.084	0.0001	Значим
Ta min	0.117	0.004	2.604	0.01	Значим
Среднегодовая температура с 10-летним сглаживанием г.Калининград (1852–2019 гг.)					
1852–2019	0.097	0.001	16.71	0	Значим
1852–1878	–0.160	0.003	–5.15	2.5e-05	Значим
1879–1987	0.015	0.000	2.11	0.04	Значим
1988–2019	0.350	0.004	11.14	4.6e-13	Значим
Среднегодовая температура по сезонам г. Калининград (1848–2024 гг.)					
Зима	0.135	0.003	4.27	3.1e-05	Значим
Весна	0.131	0.000	6.67	3.1e-10	Значим
Лето	0.073	0.001	5.06	1.06e-06	Значим
Осень	0.076	0.001	4.96	1.6e-06	Значим
Среднегодовая температура г. Калининград (1940–2024 гг.)					
Ср.год (1940–2024)	0.029	0.004	7.650	3e-11	Значим
Ср.год (1940–1987)	0.005	0.009	0.512	0.61	Не значим
Ср.год (1988–2024)	0.028	0.012	2.2699	0.029	Значим
Ср.год (сглаж) (1940–1987)	–0.000	0.001	–0.084	0.93	Не значим
Ср.год (сглаж) (1988–2024)	0.038	0.002	15.398	0.000	Значим

Продолжение табл. 1

Показатель	Тренд °C/10 лет	Стандартная ошибка наклона	*t*-статистика	*p*-value	Значимость
Среднегодовая температура по модельным данным Юго-Восточная Балтика (1940–2024 гг.)					
Ср.год (1940–2024)	0.033	0.004	9.103	4e-14	Значим
Ср.год (1940–1987)	0.006	0.008	0.624	0.530	Не значим
Ср.год (1988–2024)	0.039	0.009	3.938	0.0004	Значим
Ср.год (сглаж) (1940–1987)	0.010	0.005	2.033	0.048	Значим
Ср.год (сглаж) (1988–2024)	0.048	0.003	16.846	0.000	Значим
Среднемесячная температура г. Калининград (1940–2024 гг.)					
Январь	0.046	0.016	2.911	4.623e-03	Значим
Февраль	0.059	0.016	3.660	4.421e-04	Значим
Март	0.050	0.010	4.851	5.662e-06	Значим
Апрель	0.031	0.006	4.904	4.596e-06	Значим
Май	0.024	0.007	3.659	4.433e-04	Значим
Июнь	0.020	0.006	3.684	4.078e-04	Значим
Июль	0.020	0.006	3.122	2.473e-03	Значим
Август	0.020	0.005	4.383	3.407e-05	Значим
Сентябрь	0.013	0.006	2.155	3.404e-02	Значим
Октябрь	0.012	0.006	1.871	6.487e-02	Не значим
Ноябрь	0.022	0.008	2.731	7.714e-03	Значим
Декабрь	0.019	0.011	1.697	9.344e-02	Не значим
Среднемесячная температура по модельным данным Юго-Восточная Балтика (1940–2024 гг.)					
Январь	0.044	0.010	4.488	2.295e-05	Значим
Февраль	0.043	0.010	4.060	1.104e-04	Значим
Март	0.034	0.007	5.159	1.663e-06	Значим
Апрель	0.023	0.004	5.249	1.156e-06	Значим
Май	0.044	0.006	7.598	4.088e-11	Значим
Июнь	0.052	0.007	7.161	2.969e-10	Значим
Июль	0.022	0.006	3.678	4.163e-04	Значим
Август	0.022	0.005	4.521	2.024e-05	Значим
Сентябрь	0.016	0.005	3.000	3.564e-03	Значим
Октябрь	0.037	0.006	6.459	6.769e-09	Значим
Ноябрь	0.035	0.006	5.575	3.012e-07	Значим
Декабрь	0.029	0.007	3.824	2.533e-04	Значим

* неполный период.

Временная изменчивость среднегодовой температуры, а также максимальных и минимальных среднемесячных значений температуры воздуха (рисунок 3), характеризуется положительными линейными трендами от 0.08 (T_{max} среднемесячная) до 0.12 (T_{min} среднемесячная) °C/10 лет за временной интервал 1848–2024 гг. Статистические оценки изменчивости температурных рядов (среднегодовой, годовых максимальных и минимальных среднемесячных значений) подтвердили значимость трендов ($p < 0.05$) (таблица 2). В течение этого интервала наблюдаются самые высокие темпы роста

минимальных среднемесячных температур воздуха (тренд 0.12 °С/10 лет; приращение по тренду 2.12 °С/период). Темпы роста среднегодовой и максимальной среднемесячных температур несколько ниже и сопоставимы между собой (тренд 0.08 и 0.10 °С/10 лет соответственно; приращение по тренду 1.42 и 1.77 °С за этот интервал). Положительная динамика среднегодовой температуры воздуха в основном обусловлена уменьшением контрастности между сезонами за счет повышения минимальных среднемесячных температур, особенно в зимний период. За анализируемый период среднегодовая температура достигала своего минимума (4.7 °С) в 1871 г. и максимума (10.4 °С) в 2024 г. Максимальная среднемесячная температура 21.3° наблюдалась в июле 1914 г. и 2023 г. Минимальная среднемесячная температура –13.7° отмечена в январе 1987 г.

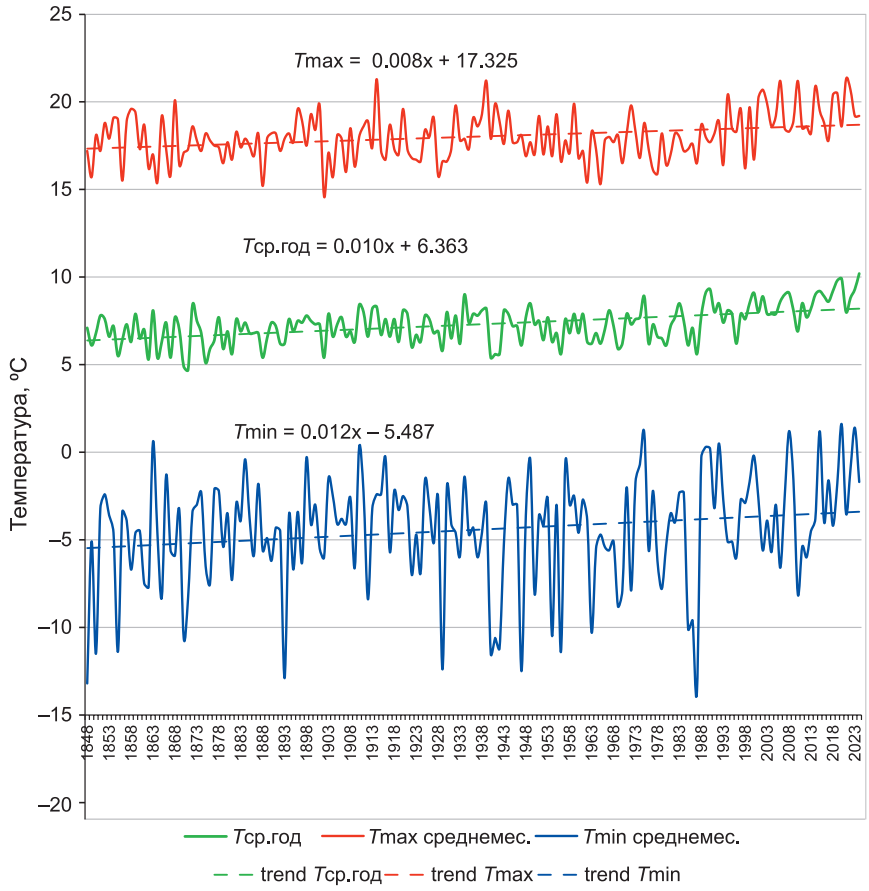


Рис. 3 – Временной ход температуры воздуха (среднегодовой, годовых максимальных и минимальных среднемесячных значений) и соответствующие линейные тренды для станции в г. Калининград (#26702 UMKK) с 1848 по 2024 гг.

Рассмотрим вклад каждого сезона в процесс повышения температуры за временной период 1848–2024 гг. Выделенные сезоны соответствовали календарным. За этот интервал наблюдалось максимальное повышение средней зимней температуры (тренд составил 0.135 °С/10 лет, приращение – 2.4 °С/период) (таблица 3, рисунок 4). Близки к этому показателю и характеристики весны – тренд +0.132 °С/10 лет. Тенденция увеличения средних летней и осенней (0.073 и 0.076 °С/10 лет соответственно) температур

воздуха в 1.8 раза ниже, чем зимней и весенней. Тренды значений температуры воздуха по сезонам для Калининграда за период 1848–2024 гг. статистически значимы ($p < 0.05$) (таблица 2).

Таким образом, основной вклад в повышение средней температуры воздуха за более, чем 170 лет, внесли зимние температуры, что выражается в увеличении безморозного периода, частых оттепелях, приводящих к отсутствию устойчивого снежного покрова (Климат…, 2001).

Табл. 3 – Сезонные значения, линейные тренды и приращение (по тренду) температуры воздуха *Ta* (°C) для Калининграда за период 1848–2024 гг. по данным сайта http://www.pogodaiklimat.ru/climate.php?id=26607

Период / Характеристики	1848–2024	1848–1870*	1871–1900	1901–1930	1931–1960	1961–1990	1991–2020	2021–2024**
Зима								
Ta ср.	–1.9	–2.8	–2.4	–1.9	–2.3	–2.1	–0.4	0.5
СКО	2.2	2.4	1.9	1.6	2.2	2.6	2.0	2.0
Ta max	5.0	2.7	2.8	3.2	2.8	5.3	5.9	3.9
Ta min	–13.7	–13.2	–12.9	–12.4	–12.5	–13.7	–8.1	–3.5
Приращение, °C/период	2.39	–0.13	1.28	–0.50	0.42	**2.31**	1.11	5.39
Тренд °C/год	0.014	–0.006	0.043	–0.017	0.014	0.077	0.037	1.35
Весна								
Ta ср.	6.3	5.5	5.6	6.5	6.0	6.3	7.7	7.9
СКО	1.5	1.2	1.4	1.6	1.4	1.3	1.0	1.6
Ta max	16.4	13.7	15.6	14.7	15.4	14.0	16.4	15.8
Ta min	–5.6	–3.6	–5.2	–4.3	–5.6	–3.6	–-2.2	2.5
Приращение, °C/период	2.30	–0.92	**1.80**	0.06	–1.33	1.65	1.40	4.53
Тренд °C/год	0.013	–0.040	0.060	0.002	–0.044	0.055	0.049	1.13
Лето								
Ta ср.	16.7	16.4	16.3	16.2	16.7	16.4	17.6	18.4
СКО	1.1	1.2	0.8	1.1	0.8	0.8	0.9	0.3
Ta max	21.3	20.1	19.6	21.3	21.2	19.8	21.2	21.3
Ta min	11.2	11.2	12.3	11.2	13.2	12.4	14.1	17.0
Приращение, °C/период	1.29	–1.40	0.29	–0.75	–0.41	0.04	**1.28**	–0.51
Тренд °C/год	0.007	–0.061	0.010	–0.025	–0.014	0.001	0.042	–0.13
Осень								
Ta ср.	8.0	7.6	7.7	7.7	8.1	8.2	8.6	9.4
СКО	1.1	0.8	1.2	1.2	1.1	0.8	1.1	0.7
Ta max	18.6	15.7	18.6	14.9	16.2	15.8	15.4	17.0
Ta min	–3.3	–2.6	–3.2	–3.3	–1.3	–1.5	–2.9	2.8
Приращение, °C/период	1.34	–0.48	0.56	0.88	0.47	–0.18	**2.28**	1.91
Тренд °C/год	0.008	–0.021	0.019	0.029	0.016	–0.006	0.076	0.48

* «неполный» стандартный период (23 года);
** «неполный» период (4 года), для которых рассчитаны характеристики; жирным шрифтом выделено максимальное приращение за период для сезона.

Среднегодовая температура характеризуется значительными межгодовыми колебаниями, которые отражаются в характеристиках изменчивости температуры в пределах фиксированных климатических периодов продолжительностью 30 лет

(см. таблицу 3). За отсчет взят временной интервал 1961–1990 гг., от временных рамок которого и отсчитывались периоды.

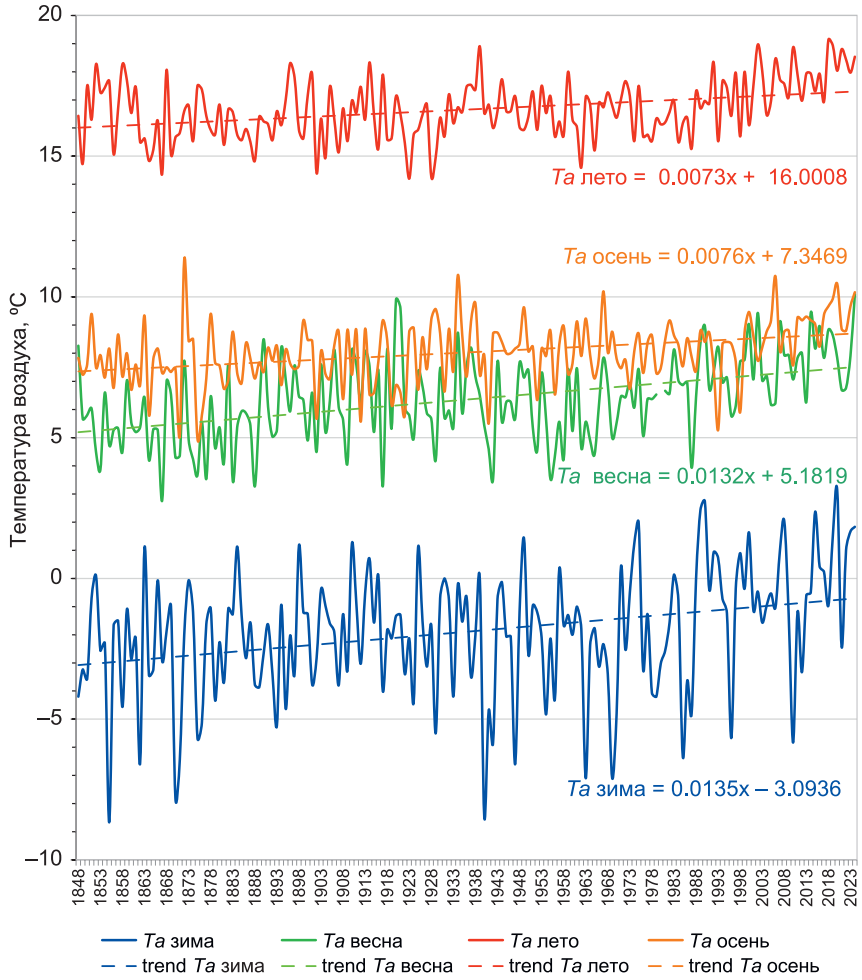


Рис. 4 – Временная изменчивость среднегодовых значений температуры воздуха по сезонам и их линейные тренды для г. Калининград (#26702 UMKK) за период 1848–2024 гг.

В первый (неполный период) во все сезоны наблюдалось похолодание. Минимальное приращение по тренду составило –1.4 °С за летний период. В следующий стандартный период 1871–1900 гг. приращение температуры воздуха показывало устойчивый рост от 0.29 °С (лето) до 1.80 °С (весна).

В сезонной изменчивости до 60-х годов XX в. наблюдалось чередование трендов разных знаков. Приращение по тренду в целом за 1901–1930 гг. составило –0.05 °С, падение среднегодовой температуры ускорилось за 1931–1960 гг., когда приращение по тренду составило –0.46 °С/период (см. таблицу 1).

Повышение температуры воздуха начинает проявляться с 60-х годов прошлого столетия, когда среднегодовая температура составила 7.2±7.6 °С за период 1961–1990 гг. (см. таблицу 1). Значительный вклад в величину тренда внес зимний сезон – приращение по тренду составило +2.31 °С/период. Это максимальная скорость роста температуры зимой за весь период наблюдений. Скорость роста температуры весной была несколько

меньше (0.55 °С/10 лет), что тоже является одной из максимальных скоростей роста и сравнимо с периодом 1871–1900 гг. В летний и осенний периоды наблюдалась стагнация температуры (соответствующие тренды 0.01 и –0.014 °С/10 лет) (см. таблицу 2).

Стандартный климатический период (1991–2020 гг.) характеризуется хорошо выраженным повышением среднегодовой температуры 8.3±7.3 °С; тренд составил +0.51 °С/10 лет и приращение +1.53 °С/период (см. таблицу 1). По сезонам наблюдался положительный тренд: осенью +2.28 °С (максимум), летом +1.28 °С, весной +1.40 °С и зимой +1.11 °С/период. Зимой тенденция повышения температуры замедляется более, чем в 2 раза, по сравнению с предыдущим периодом (+0.77 °С и 0.37 °С/10 лет). В конце исследуемого периода (2011–2024 гг.) скорость приращения зимой и весной значительно возросла по сравнению с предыдущим периодом. Но наметилась тенденция замедления роста температуры осенью и особенно летом (см. таблицу 3).

Межгодовые изменения температуры воздуха над поверхностью суши (Калининград) и поверхностью моря (Юго-Восточная Балтика) в 1940–2024 гг.

Анализ температурных рядов за период 1940–2024 гг. (рисунок 5) дает представление об особенностях изменчивости характеристик воздуха в умеренной зоне над Калининградом, находящимся в ~ 30 км от береговой черты, и над морской поверхностью, удаленной от берега на ~ 40 км. Средняя годовая температура воздуха за весь период достаточно высока: 7.6±1.1 °С в г. Калининграде и 8.0±1.2 °С над акваторией юго-восточной части Балтийского моря. Среднеквадратичное отклонение меняется незначительно. Максимальная среднегодовая температура воздуха отмечена в 2024 г: 10.2 °С в Калининграде и 10.5 °С над морем; минимальная среднегодовая температура 5.4 °С (1940 г.) над сушей и 5.9 °С (1956 г.) над морем. Среднегодовая температура воздуха оказалась ниже среднемноголетней над сушей в 46 % и над морем в 48 % всех случаев. На рассматриваемом временном интервале в районе исследования минимальные среднегодовые температуры отмечены для середины XX в., максимальные – в первой четверти XXI в. С конца 80-х годов XX в. в Калининграде и над юго-восточной частью Балтийского моря среднее 10-летнее скользящее превышало среднемноголетнее (рисунок 5).

Известно, что над поверхностью Балтийского моря тренды температуры воздуха были меньше, чем над сушей (Kniebusch et al., 2019). В период 1856–2005 гг. приземная температура воздуха над Балтийским морем повышалась на 0.06 °С за десятилетие в центральной части Балтийского моря. Статистический анализ среднегодовой температуры воздуха по историческим данным в г. Калининграде и по модельным данным над юго-восточной частью Балтийского моря (ЮВБ) для 1940–2024 гг. показал значимость линейных трендов ($p < 0.05$) (см. таблицу 2).

На рубеже 80–90-х годов XX в. заканчивается период стагнации, когда тренд среднегодовой температуры воздуха близок к 0 °С, и начинается период активного роста, причем над морем приращение происходит более сглажено: над сушей 0.45 °С и над морем 0.39 °С/10 лет (рисунок 6).

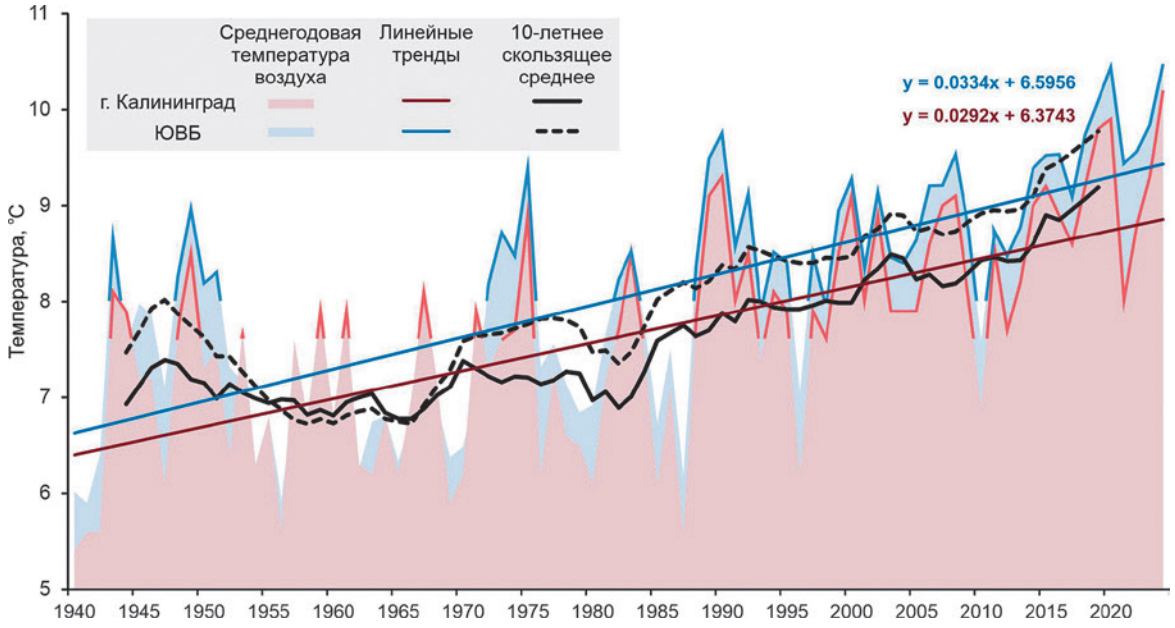


Рис. 5 – Изменчивость среднегодовой температуры воздуха по историческим данным в г. Калининграде и по модельным данным над юго-восточной частью Балтийского моря (ЮВБ) и их линейные тренды для 1940–2024 гг. (прямая жирная линия соответствующего цвета). Значения, превышающие усредненное среднегодовое значение за весь период для данного набора данных, обозначены кривой, очерчивающей заливку. Черной жирной кривой показано 10-летнее скользящее среднее

Несмотря на устойчивое потепление, наблюдается межгодовая изменчивость его темпов. Так, стагнация произошла в период с 1990-х по 2010-е годы. Известно, что после аномально жаркого 1998 г. (под влиянием мощного Эль-Ниньо), скорость роста глобально усредненной температуры поверхности замедлилась или остановилась (Meehl et al., 2011). Это незначительное замедление в указанный период отмечено и в Прибалтике (см. рисунок 6). Подобные десятилетние периоды замедления потепления могут повториться и в будущем, многолетняя тенденция к потеплению, по всей вероятности, продолжится с увеличением концентрации парниковых газов (Kosaka, Xie, 2013). Тренды температуры воздуха в г. Калининграде и ЮВБ – период стагнации 1940–1987 гг. и активный рост 1988–2024 гг. статистически значимы ($p < 0.05$), кроме трех периодов стагнации: ЮВБ (среднегодовая) и Калининград (сглаженная и среднегодовая) (таблица 2).

За исторический период 1940–2024 гг. рассчитаны основные характеристики температуры воздуха для рассматриваемого района: Калининград по данным погодного сайта (www.pogodaiklimat.ru); точка ЮВ Балтики (55.4º с. ш., 19.9º в. д.) по данным атмосферного реанализа ERA5 (ECMWF) (таблица 4).Среднегодовая температура воздуха за этот период над морем была выше на 0.4 °C, чем над сушей. Ход более сглаженный: амплитуда колебаний среднемесячных значений 17.6 °C над морем против 20.4 °C над сушей, что обусловлено континентальным местоположением г. Калининграда. Наиболее холодными месяцами в районе исследований можно

считать январь и февраль, когда среднемесячные температуры колеблются около 0 °С (таблица 4). Зимой над морем среднемесячные температуры выше 0 °С и находятся в диапазоне от +0.1 (февраль) до +2.8 °С (декабрь). В Калининграде среднемесячные зимние температуры воздуха отрицательные, самый холодный месяц – январь (–2.6 °С). Начиная с апреля, температура воздуха над морем несколько ниже, чем над сушей. Максимальная среднемесячная температура сдвинута на месяц: над сушей в июле (17.8 °С) и над морем в августе (17.7 °С), когда наблюдается максимальный прогрев Балтийского моря.

Скорость приращения температуры воздуха над морем в 1.7 раза превышает тренд над сушей (0.33 против 0.19 °С/10 лет соответственно). Максимальное приращение по тренду за 1940–2024 гг. отмечалось в Калининграде зимой (4.7 °С/период – февраль), а над морем летом (4.4 °С/период – июнь).

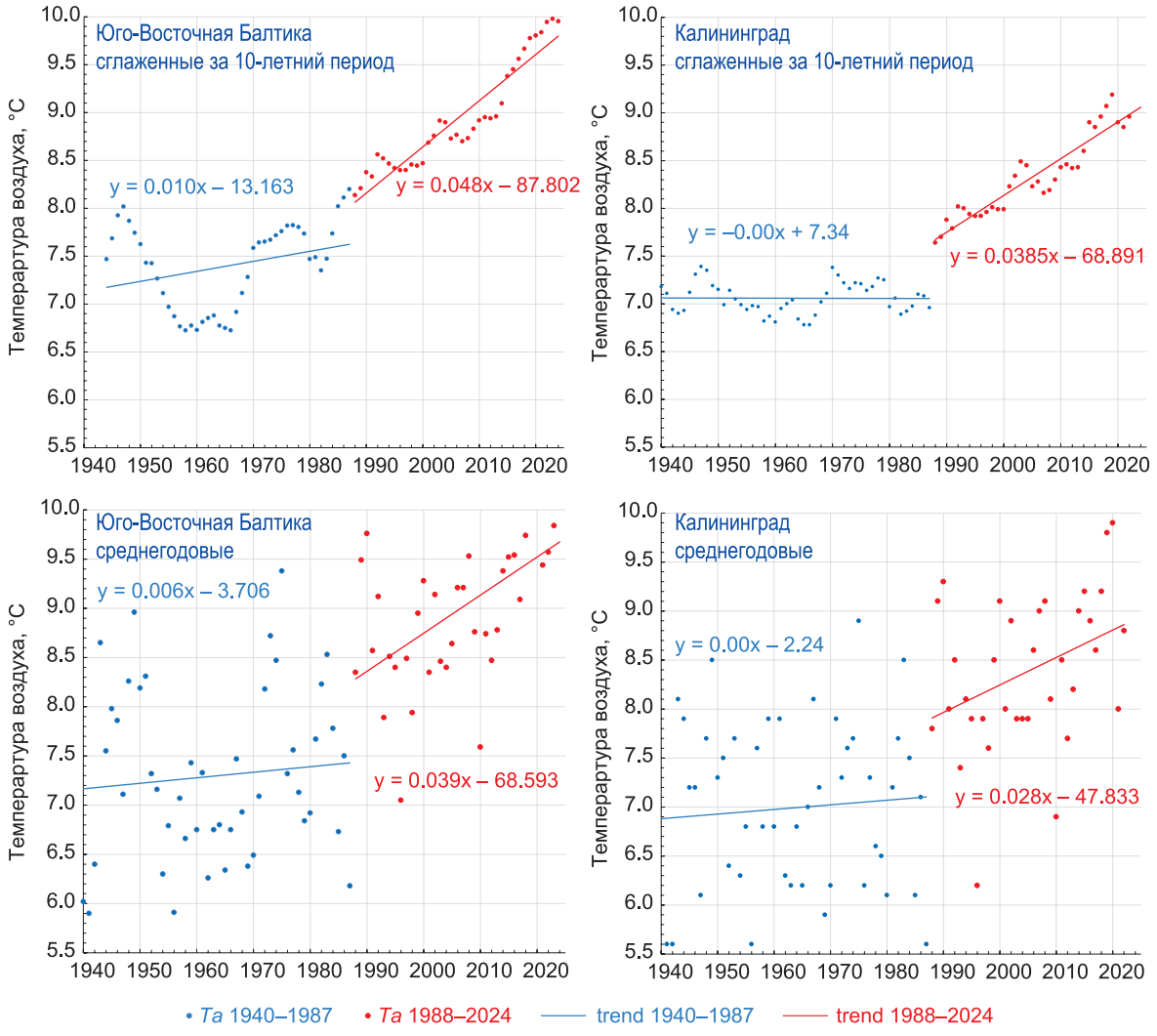


Рис. 6 – Динамика среднегодовой температуры воздуха – период стагнации 1940–1987 гг. и активный рост 1988–2024 гг. в г. Калининграде и ЮВБ.
Сплошные линии – линейные тренды с уравнением

Табл. 4 – Характеристики температуры воздуха (среднемесячные температуры, СКО, тренд/10 лет и соответствующее приращение по тренду) за период 1940–2024 гг. в Калининграде и в ЮВ Балтике (55.4º с. ш., 19.9º в. д.)

Месяц / Характеристики	янв.	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сент.	окт.	нояб.	дек.	ср.год
Калининград													
Ср.мес., °С	–2.6	–1.9	1.3	6.8	12.1	15.8	17.8	17.3	13.2	8.3	3.5	–0.1	7.6
СКО	3.8	3.9	2.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4	1.9	2.6	1.1
Max, °С	3.9	5.3	6.2	11.0	16.4	20.5	21.3	20.7	17.0	11.0	6.7	5.9	10.2
Min, °С	–13.7	–12.5	–5.6	3.2	8.5	13.2	14.6	14.2	10.6	4.9	–2.9	–8.8	5.4
Размах, °С	17.6	17.8	11.8	7.8	7.9	7.3	6.7	6.5	6.4	6.1	9.6	14.7	4.8
Тренд, °С/10 лет	0.55	0.59	0.50	0.31	0.24	0.21	0.20	0.19	0.24	0.13*	0.12	0.22*	0.19
Приращ./период	4.4	4.7	4.0	2.5	1.9	1.7	1.6	1.5	1.9	1.0	1.0	1.8	1.6
Юго-Восточная Балтика													
Ср. мес., °С	0.5	0.1	1.6	4.5	8.5	13.0	17.1	17.7	14.9	10.0	5.8	2.8	8.0
СКО	2.5	2.5	1.7	1.1	1.7	2.1	1.4	1.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.2
Max, °С	5.5	5.1	4.7	7.1	12.8	17.8	21.8	20.9	18.4	13.3	9.4	6.9	10.5
Min, °С	–5.9	–6.0	–3.7	1.3	5.7	8.2	14.6	14.9	12.2	7.0	1.4	–2.4	5.9
Размах, °С	10.5	11.1	8.4	5.8	7.1	9.6	7.2	6.0	6.2	6.3	8.0	9.3	5.5
Тренд, °С/10 лет	0.44	0.42	0.34	0.23	0.44	0.52	0.22	0.22	0.16	0.37	0.35	0.29	0.33
Приращ./период	3.7	3.6	2.9	2.0	3.7	4.4	1.9	1.9	1.4	3.1	3.0	2.5	2.8

* тренд не значим ($p < 0.05$) (таблица 2).

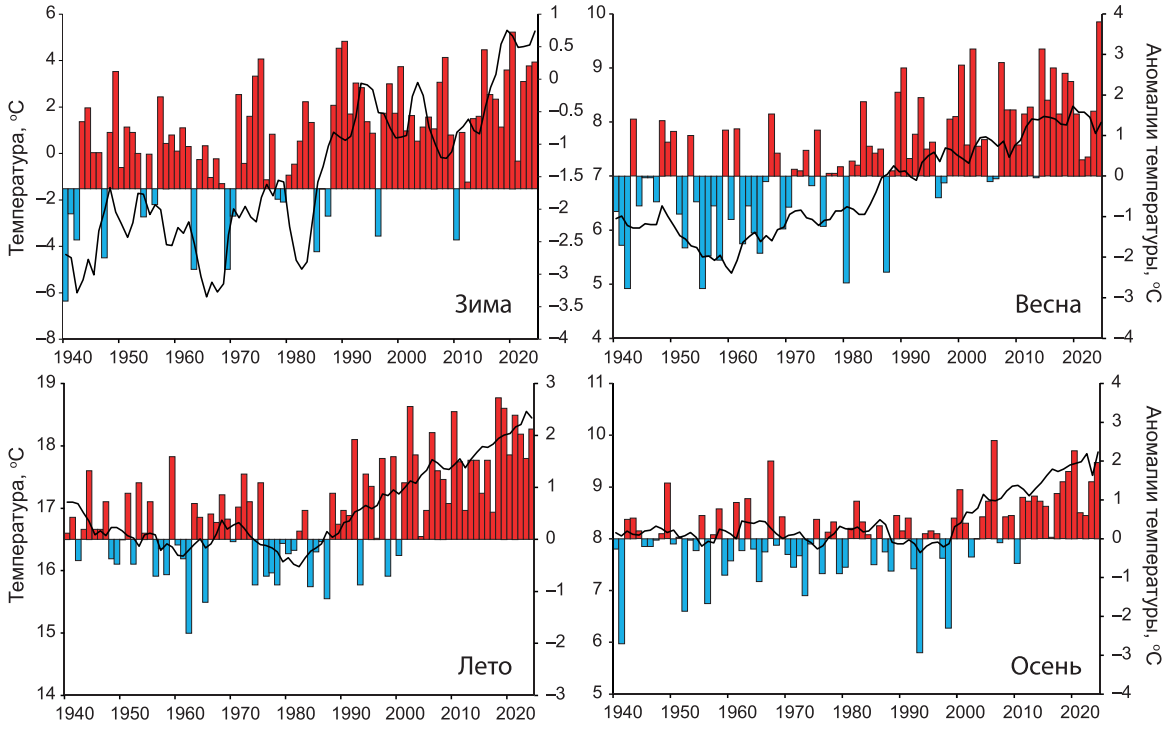


Рис. 7 – Усредненная сезонная температура в г. Калининграде за 1940–2024 гг. Красным и синим цветами отмечены отклонения сезонной температуры от среднего значения за базисный период 1961–1990 гг. Черная кривая – сезонное 10-летнее скользящее среднее воздуха

Ход среднегодовых температур воздуха во второй половине XX в., особенно в первой четверти текущего столетия, демонстрирует устойчивый положительный тренд. Основной вклад вносит рост зимних и весенних температур (рисунок 7). Наблюдалось всего 15 холодных зим с температурой ниже стандартного периода (1961–1990 гг.), из них только 3 (1996, 2010, 2012) – в период интенсивного роста с конца 80-х годов. Начиная с 1990 г., средняя температура лета превышала стандартные значения, причем максимальные аномалии до +2.7 °С характерны в последние годы периода исследования. Вклад температур в процесс повышения существенно замедляется осенью.

Влияние потепления на изменчивость экстремальных условий г. Калининграда и Юго-Восточной Балтики (1971–2024 гг.)

Климатическое лето. В Калининградской области (г. Калининград, 1971–2024 гг.) климатическое лето в среднем начиналось 2 июня и заканчивалось 5 сентября. Таким образом, общая продолжительность летнего периода составляла 94±14 дней. Максимальная продолжительность составила 136 дней в 2018 г., минимальная – 68 дней в 1977 г. За исследуемый период переход через 15 °С (наступление лета) происходил в следующие даты: самая ранняя дата – 8 мая 2018 г., самая поздняя – 24 июня 1976 г. Окончание лета: самая ранняя дата – 15 августа 1977 г., самая поздняя – 3 октября 2023 г.

В Юго-Восточной Балтике (по данным за 1940–2024 гг.) климатическое лето в среднем начинается и заканчивается несколько позже – 17 июня и 24 сентября, соответственно. Его продолжительность составляет в среднем 100±17 дней. Максимальная продолжительность календарного лета была отмечена в 2024 г. и составила 142 дня. В этот год впервые переход через отметку 15 °С был отмечен 22 мая, последний день с такой температурой – 10 октября. Непрерывно период климатического лета в 2024 г. наблюдался 96 дней – с 24 июня по 27 сентября. Минимальная продолжительность климатического лета (63 дня) была отмечена в 1941 и 1962 гг. – тогда переход через отметку 15 °С был отмечен 4 и 10 июля, и календарное лето продлилось до 4 и 10 сентября. Стоит отметить лето 1987 г., когда среднесуточные температуры редко достигали значений более 15 °С (всего 25 дней за год). Даты перехода через отметку 15 °С за весь исследуемый период следующие: самое раннее начало – 18 мая 2013 г.; самая поздняя дата начала летнего периода – 11 июля 1984 г., самое раннее окончание – 21 августа 1993 г.; самая поздняя дата летнего периода в году – 16 октября 1967 г.

Как по данным наблюдений в г. Калининград, так и по данным реанализа, наблюдается тенденция к более раннему переходу температуры через отметку 15 °С и более позднему переходу в сторону понижения, т. е. наблюдается процесс увеличения летнего климатического сезона.

Волны тепла. По данным метеостанции Калининград (Храброво), за 1955–2024 гг. в регионе было отмечено 44 волны тепла (дни со значением среднесуточной[1] температуры воздуха выше климатической нормы на 5 °С и более в течение не менее 5 суток).

[1] Среднесуточная для данной календарной даты температура за период 1961–1990 гг.

Средняя продолжительность волн составила 6 дней, максимальная продолжительность – 12 дней (волна, отмеченная в июле–августе 1994 г.). Подавляющее большинство волн тепла кратковременны (5–6 дней). Более длительные волны (7 дней и более) являются относительно редкими событиями.

Наибольшее количество волн тепла отмечалось в весенний период (13 и 14 волн в апреле и мае, соответственно) и в июле (8 волн). Это периоды, когда климатическая норма еще невысока, и поэтому резкое потепление приводит к рекордным аномалиям. Самые значительные аномалии (превышение температуры над климатической нормой) зафиксированы в апреле в последние десятилетия: в 2024 г. аномалия составила ~14 °С (абсолютный рекорд за весь период наблюдений), в 2000 г. – около 13 °С и ~12 °С в 2019 и 1993 гг. Летние волны тепла, хотя и достигают более высоких абсолютных значений, часто имеют меньшую аномалию, так как норма в это время года уже высокая.

Над акваторией ЮВБ волны тепла отмечаются значительно реже: за период исследования было отмечено 36 волн тепла средней продолжительностью 8 дней. Большая часть волн длится от 5 до 8 дней, наиболее продолжительные волны зафиксированы в 2024 г. (22 дня, май), 1992 г. (17 дней, май–июнь) и 2019 г. (13 дней, июнь). Аномалия температуры в день максимальной температуры, отмеченной за волну, составляет ~8 °С. Наибольших значений аномалии достигали в июне 2019 г. (~12 °С), мае 2014 г. (10.4 °С) и июне 2021 г. (10.1 °С). События последних лет (2018, 2019, 2021, 2022, 2024 гг.) часто характеризуются либо рекордной продолжительностью, либо исключительно высокими значениями температуры и аномалии.

Суровость зимы. Некоторые количественные показатели степени суровости зим приведены в таблице 4. По данным за 1971–2024 гг. в январе и феврале среднемесячные температуры отрицательные, наиболее холодный месяц – январь (–1.6±3.65 °С) при максимальном СКО, что связано с частыми оттепелями. Видно, что сумма всех температур воздуха за холодный период года ($T_{общ}$) принимает отрицательные значения в январе и феврале (–84.0) и (–57.9) °С соответственно.

Табл. 5 – Характеристики холодного периода в Калининграде за период 1971–2024 гг., где $T_{ср}$, $T_{ср.мин}$ и $T_{ср.макс}$ среднемесячные, суммы Σ среднемесячных температур $T_{общ}$ за период

Месяц	Температура, °С			Σ температур
	$T_{ср}$±СКО (мин÷макс)	$T_{ср.мин}$±СКО (мин÷макс)	$T_{ср.макс}$±СКО (мин÷макс)	$T_{общ}$
Ноябрь	3.7±1.98 –2.9÷6.7	6.0±1.88 –0.7÷8.7	1.5±2.10 –5.2÷5.2	196.0
Декабрь	0.2±2.62 –6.4÷5.9	2.3±2.40 –3.7÷7.9	–2.0±2.90 -9.9÷3.8	10.6
Январь	–1.6±3.65 –13.7÷3.9	0.7±3.30 –9.9÷5.9	–3.9±4.08 –18.3÷1.8	–84.0
Февраль	–1.1±3.54 –9.6÷5.6	1.6±3.29 –6.4÷8.0	–3.6±3.98 –13.3÷3.1	–57.9
Март	2.4±2.27 –3.6÷6.2	5.9±2.47 0.5÷10.4	–1.1±2.40 –8.1÷3.3	113.3
Весь период	0.7±3.48 –13.7÷5.3	3.3±3.48 –9.9÷10.4	–1.8±3.72 –18.3÷5.2	178.0

Над акваторией ЮВ Балтики зимние температуры выше. Среднемесячные температуры положительные и составляют: в ноябре – 5.9±2.84 °С, декабре – 2.8±2.97 °С, январе – 0.5±3.5 °С, феврале – 0.2±3.41 °С, марте – 1.5±2.36 °С. За весь холодный период температура в среднем составляет 2.2±3.7 °С.

Безморозный период. За период 1971–2024 гг. в среднем первые заморозки осенью наблюдались в конце октября, самый ранний срок – 1 октября 2002 г. Осенние заморозки в отдельные годы отсутствуют. Так, в 2020 г. первые отрицательные температуры отмечены 18 декабря, что одновременно характеризует начало зимнего периода. Средний срок наступления весенних заморозков – 24 апреля, среднее квадратическое отклонение – 11 дней. Временной период возможного наступления заморозков – от 28 марта (1973 г.) до 14 мая (1978, 2000 гг.).

Характерной особенностью климата Калининградской области является длинный безморозный период, средняя продолжительность которого составляет 187±19 дней, наименьшая – 140 дней (1978 г.), наибольшая – 226 дней (1977 г.).

В акватории ЮВБ безморозный период ожидаемо значительно дольше. Его средняя продолжительность составляет 275±33 дня, наименьшая – 201 день (1966 г.), в отдельные годы (2020 г.) отрицательных температур не отмечалось. По данным реанализа, среднегодовая температура в 2020 г. над акваторией ЮВБ составила 10.4 °С, варьируя от 1.5 до 21.4 °С во внутригодовом ходе.

Обсуждение

Межвековая изменчивость. Известно, что в регионе Балтийского моря с 1871 г. среднегодовая температура воздуха увеличивается со скоростью 0.11 °С за 10 лет севернее 60º с. ш. и 0.08 °С южнее 60º с. ш. В то же время за 1861–2000 гг. рост глобальной температуры составил всего 0.05 °С за десятилетие (HELCOM, 2013). В Калининграде значимый линейный тренд среднегодовой температуры воздуха за период 1848–2024 гг. соответственно составил, по результатам нашего анализа, +0.10 °С/10 лет.

За этот временной отрезок (1848–2024 гг.) повышение температуры не было монотонным, а сопровождалось междесятилетними вариациями. Используемые для анализа инструментальные данные позволили выделить три ключевых периода: 1) конец периода похолодания, завершившийся в конце XIX века (тренд –0.16 °С/10 лет); 2) «вековая» стагнация с конца 1880-х до 1980-х годов XX века (тренд +0.015 °С/10 лет); период интенсивного потепления, отражающий устойчивую долгосрочную тенденцию глобальных климатических изменений. В это время наблюдается резкий рост температуры (тренд +0.35 °С/10 лет), который особенно усилился в последние четыре года. Максимальное среднегодовое значение за весь период наблюдений было зафиксировано в 2024 г. и составило +10.2 °С.

XX век, в основном относящийся к этапу «вековой» стагнации, можно разделить на следующие фазы: 1) незначительное похолодание (–0.05 °С за период) с начала века

до 1930-х годов; 2) ускоренное падение среднегодовой температуры в 1931–1960 гг., когда приращение по тренду составило –0.46 °С за период.

В то же время за период 1940–2024 гг. скорость потепления увеличилась почти в два раза, достигнув 0.19 °С/10 лет с общим приращением по тренду 1.6 °С. Еще быстрее этот процесс идет над поверхностью юго-восточной части Балтийского моря – 0.33 °С/10 лет (приращение по тренду +2.8 °С за период).

Полученные нами для Калининграда характеристики тренда оказались ниже значений для польского побережья Балтийского моря (0.3 °С/10 лет), приводимых в работе Я. Тыльковского (Tylkowski, 2013). При этом тренд для польского побережья сопоставим с показателями над Юго-Восточной Балтикой. Подобное расхождение, по-видимому, связано с тем, что рассматриваемый в статье период пришелся на фазу активного роста температуры, предшествовавшую некоторой стагнации в первом десятилетии XXI века.

Динамика и факторы температурных изменений. Повышение температуры воздуха в регионе Калининградского побережья, по нашим оценкам, начинает проявляться с 1960-х годов. Так, за период 1961–1990 гг. среднегодовая температура составила 7.2±0.98 °С. Отчетливое потепление отмечается с конца 1980-х годов, а в 2020-х годах XXI в. оно существенно усилилось. В районе побережья юго-восточной части Балтийского моря начался устойчивый активный рост температуры воздуха со скоростью до 0.7 °С/10 лет (BACC I, 2008; Michalska, 2011; Tylkowski, 2013; Stont, Bukanova, 2019; Tylkowski, Hojan, 2019; Стонт и др., 2020а, Стонт и др., 2020б). Значительное повышение приземной температуры воздуха в Балтийском регионе за последнее столетие также было подробно описано в ряде более ранних работ (BACC I, 2008; Rutgersson et al., 2014; BACC II, 2015).

В качестве важных факторов роста температуры исследователи выделяют такие внешние воздействия, как солнечная активность, динамика озонового слоя, а также вулканические и антропогенные аэрозоли (Watanabe, Tatebe, 2019; Mann et al., 2020, 2021). Одной из непосредственных причин потепления называют увеличение количества солнечной радиации, достигающей поверхности Земли (Wild et al., 2005). Согласно глобальным климатическим моделям, прирост приземной солнечной радиации был максимальным над югом Европы, тогда как над Балтийским морем отмечалось лишь незначительное его увеличение (Bartók et al., 2017; Müller et al., 2019). При этом некоторые региональные модели прогнозировали зимнее снижение поверхностной солнечной радиации примерно на 10 % на большей части водосборного бассейна (Bartók et al., 2017; Christensen et al., 2022). По сведениям Мирового центра данных по индексу солнечных пятен и долгосрочным солнечным наблюдениям (Мировой центр…, 2025), активность Солнца прошла свой пик в конце лета 2024 г., после чего число солнечных пятен начало уменьшаться.

Изменения температуры воздуха над Балтийским морем и его водосборным бассейном более выражены зимой, чем летом. Из-за близости к Арктике Балтийский регион (включая сушу и акваторию) в целом нагревается быстрее, чем планета в среднем (Gröger et al., 2021; Christensen et al., 2022). При этом суша прогревается быстрее,

чем море: над сухопутной территорией региона потепление превышает показатели непосредственно над водной поверхностью примерно на 0.1–0.2 °C (Christensen et al., 2022).

Межгодовая изменчивость. Среднегодовая температура воздуха в районе исследования за 2021–2024 гг. составила по нашим оценкам 9.0 °C, что на 1.8 °C выше значений 1961–1990 гг. и на 0.7 °C превышает норму 1991–2020 гг. В 2024 г. данный показатель достиг 10.2 °C, став абсолютным максимумом за весь период наблюдений. Ускорение темпов потепления отмечается многими исследователями как на глобальном уровне (BACC II, 2015), так и для территории России (Доклад…, 2025; Мохов, 2013).

Изменения температурного режима в интервале 1960–2018 гг. подтверждаются более ранними исследованиями (Стонт и др., 2020б). В работе отмечались однонаправленные положительные линейные тренды, которые различались по своей интенсивности. Близкую скорость роста демонстрировали среднегодовая температура и годовой минимум среднемесячных значений, причем этот показатель превышал темпы роста годового максимума. Позитивная тенденция среднегодовой температуры воздуха обусловлена преимущественно потеплением в зимний и весенний периоды, что привело к сглаживанию межсезонной контрастности.

Особенности сезонов и экстремальных событий. Проведенный нами анализ линейных трендов аномалий среднесезонной температуры демонстрирует высокую межгодовую изменчивость. Согласно выполненным расчетам, за период 1848–2024 гг. максимальный прирост температуры происходил зимой и весной, в то время как летом и осенью скорость потепления замедлялась почти в два раза. На рубеже XX–XXI вв. на побережье Балтийского моря экстремально высокими температурами отличались не только отдельные месяцы, но и летние сезоны в целом (Twardosz, Kossowska-Cezak, 2013). Рост минимальной температуры воздуха сопровождался незначительным увеличением ее максимумов, что привело к уменьшению суточной амплитуды. Установлено, что данные изменения тесно коррелируют с режимом облачности, а резкие температурные колебания (особенно зимой и весной) обусловлены интенсивностью Северо-Атлантического колебания (Wibig, Głowicki, 2002). В Прибалтийском регионе (в частности, в Латвии) наблюдается существенное сокращение числа экстремально холодных дней и опасных гидрометеорологических явлений, характерных для зимы. При этом возросло количество экстремально жарких дней, а также частота и интенсивность ливневых осадков (Avotniece, 2018).

Проведенный анализ выявил устойчивую тенденцию к увеличению продолжительности климатического лета в Калининградской области и над акваторией Юго-Восточной Балтики. Рекордные по длительности летние сезоны (2018 и 2024 гг.), а также рекордно поздние даты окончания лета (2023 г.), зафиксированы в последнее десятилетие, что служит ярким индикатором текущих климатических изменений в регионе.

Направленный тренд к увеличению частоты волн тепла, особенно заметный с 1990-х годов, фиксируется как в самом регионе, так и над акваторией Юго-Восточной Балтики (Rutgersson et al., 2022). Наблюдается выраженная тенденция к росту

повторяемости периодов экстремальной жары и усилению их интенсивности (увеличению температурных аномалий). Отмеченные в исследовании рекордные температурные показатели в апреле–мае 2024 г. указывают на вероятное ускорение этих процессов в последнее время. Примечательно, что большинство наиболее интенсивных и продолжительных волн тепла синхронно регистрируются как по данным береговой метеостанции Калининграда (аэропорт Храброво), так и непосредственно в акватории ЮВ Балтики. При этом материковая метеостанция ожидаемо фиксирует более высокие абсолютные значения температур.

Данные процессы согласуются с общемировыми тенденциями и несут в себе серьезные угрозы, увеличивая риски для здоровья населения, создавая дефицит в сельском хозяйстве и водных ресурсах, а также повышая пожароопасность.

Ослабление традиционного западного переноса и изменение траектории среднеширотных циклонов происходит в результате атмосферного блокирования, что приводит к развитию таких опасных метеорологических явлений, как интенсивные осадки (Lenggenhager, Martius, 2019) или засухи (Schubert et al., 2014). В качестве одной из ключевых причин усиления волн тепла ряд исследователей рассматривает дефицит почвенной влаги (Seneviratne et al., 2020; Whan et al., 2015; Teuling, 2018). Общее потепление климата и рост повторяемости блокирующих антициклонов обусловливают не только увеличение частоты волн тепла, но и способствуют более глубокому проникновению арктических воздушных масс в низкие широты (Чернокульский и др., 2022).

Трансформация температурного режима напрямую влияет на характеристики безморозного периода и суровость зим. На основе данных наблюдений и результатов численного моделирования установлено, что на фоне более частых и продолжительных волн тепла фиксируется сокращение повторяемости, длительности и интенсивности волн холода (Sillmann et al., 2013; Easterling et al., 2016). Рост летних температур способствовал увеличению продолжительности вегетационного периода, тогда как пролонгация безморозного периода во многом связана со смягчением экстремальных минимумов в зимний сезон (Avotniece et al., 2010). Потепление также обусловило преобладание мягких зим и сокращение продолжительности ледового сезона (Dailidienė et al., 2011). В Южной Балтике рост зимних температур дополнительно связывается с наблюдаемым смещением траекторий штормов к северу (BACC II, 2015).

Для безморозного периода по данным метеостанции г. Калининграда характерна высокая межгодовая изменчивость. В отдельные годы даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °C существенно отклоняются от климатической нормы. Из-за трансформирующего влияния Атлантического океана начало термической зимы (периода устойчивых отрицательных температур) может сдвигаться на несколько недель, увеличивая длительность предзимья. Среднеквадратичное отклонение дат перехода среднесуточной температуры через 0 °C составляет для Прибалтики 16–18 дней, а с периодичностью один раз в 20 лет оно может достигать 40–50 дней (Климат…, 2001). При этом переход к устойчивым отрицательным температурам происходит не ежегодно. Так, за рассматриваемый период устойчивый зимний режим полностью отсутствовал в календарные зимы 1974–1975 и 2019–2020 гг. В такие годы

зимний период в декабре ограничивался несколькими днями до наступления оттепели, а возврат к отрицательным температурам если и происходил, то смещался на январь – февраль или даже март.

Суровость зим непосредственным образом определяет площадь ледообразования, толщину ледяного покрова, а также сроки его формирования и разрушения. Начиная с 1987 г., в регионе не фиксировались суровые и экстремально суровые ледовые условия, а с 2012 г. отмечаются исключительно средние, мягкие и экстремально мягкие зимы. Последний тридцатилетний период (1991–2020 гг.) признан наиболее мягким за всю историю наблюдений с 1720 г. (Uotila et al., 2015). Современные ледовые условия столь существенно отличаются от исторических аналогов, что авторы работы (Rjazin, Pärn, 2020), опираясь на анализ ледовитости и температуры воздуха в Балтийском море за 1982–2016 гг., охарактеризовали эти изменения как режимный сдвиг в сторону устойчивого смягчения ледовой обстановки. За последние два десятилетия частота суровых зим значительно снизилась, при этом периоды с почти полным ледовым покрытием акватории отсутствуют уже более 35 лет (Балтийское море, 2016). Вследствие устойчивого роста температуры приземного воздуха и поверхностного слоя моря, закономерно сокращается площадь морского льда, регистрируемого в юго-восточной части Балтики (Крек и др., 2020).

Рост температуры воздуха обусловил выраженные сезонные перестройки. В частности, за период 1965–2016 гг. продолжительность вегетационного периода увеличивалась со скоростью примерно 5 дней за десятилетие (Cornes et al., 2019), что указывает на сокращение холодного сезона.

Выводы

Анализ длительных рядов метеорологических наблюдений (1848–2024 гг.) и данных атмосферного реанализа ERA5 позволил выявить устойчивую тенденцию к повышению приповерхностной температуры воздуха в прибрежной зоне и над акваторией юго-восточной части Балтийского моря. На основе полученных результатов сформулированы следующие основные выводы.

1. *Многолетняя изменчивость и ускорение потепления.* Потепление климата является математически доказанным и статистически значимым фактом для всего исследуемого периода (1848–2024 гг.). Тренды увеличения среднегодовых, а также годовых максимальных и минимальных среднемесячных температур обладают высокой степенью значимости.

Динамика изменений температур неоднородна во времени. В рассматриваемом ряду отчетливо выделяются три периода: фаза похолодания (тренд –0.16 ºС/10 лет), период «вековой» стагнации (тренд +0.015 ºС/10 лет) и фаза устойчивого, интенсивного роста (тренд +0.35 ºС/10 лет). В период относительной стагнации (1870–1990 гг.) повышение температуры воздуха является статистически незначимым. В период с 1991 г. по 2020 г. наблюдался выраженный и статистически подтвержденный рост температур.

При этом все сезоны, кроме зимы, оказали существенное влияние на данную тенденцию.

2. *Региональные особенности (г. Калининград и Юго-Восточная Балтика).* Тренды изменчивости среднегодовой температуры воздуха в Калининграде (по историческим данным) и над юго-восточной частью Балтийского моря (по модельным данным) являются статистически значимыми. Анализ динамики среднегодовой температуры в Калининграде и в акватории ЮВБ выявил статистическую значимость изменений в двух периодах: в фазе стагнации (1940–1987 гг.) и в фазе активного роста (1988–2024 гг.). При этом для средних температур в Калининграде и сглаженных значений в ЮВБ за период 1940–1987 гг. статистическая значимость не подтверждена.

Термический режим над акваторией юго-восточной части Балтийского моря существенно отличается от режима над прибрежной сушей (г. Калининград) в период с 1940 по 2024 годы. Среднегодовая температура над морем в среднем на 0.4 °C выше, чем над сушей: +8.0 °C против +7.6 °C. При этом внутригодовой ход температур над морем отличается большей плавностью – амплитуда колебаний составляет 17.6 °C, тогда как над сушей она достигает 20.4 °C. Скорость потепления над морской акваторией в 1.7 раза превышает аналогичный показатель над сушей: 0.3 °C/10 лет против 0.2 °C/10 лет.

Из-за тепловой инерции водной массы наблюдается сдвиг максимума среднемесячных температур: над сушей он приходится на июль (17.8 °C), а над морем – на август (17.7 °C), что связано с максимальным прогревом Балтийского моря в этот период.

3. *Сезонная неравномерность климатических изменений.* Устойчивая тенденция к росту температур реализуется неравномерно во внутригодовом ходе. Основной вклад в общее повышение среднегодовых значений вносит значительный рост зимних и весенних температур. С конца 1980-х годов зафиксировано лишь 3 зимы (1996, 2010, 2012 гг.) с температурой ниже стандартной климатической нормы (1961–1990 гг.). В то же время, начиная с 1990 г., средние летние температуры стабильно превышают норму (с положительными аномалиями до +2.7 ºС в последние годы), тогда как в осенний период процессы потепления существенно замедляются.

4. *Интенсификация экстремальных погодных явлений*. Наблюдаемые изменения в сезонном температурном режиме являются причиной трансформации окружающей среды. Следствием потепления стало увеличение продолжительности вегетационного и летнего климатического периодов, а также резкое сокращение числа морозных дней и снижение суровости зим. Вместе с тем, возросшая интенсивность климатических процессов приводит к опасному увеличению частоты и продолжительности экстремальных явлений, в первую очередь – волн тепла.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2024 год. Москва, 2025. 135 с. ISBN: 978-5-906099-58-7. http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2024_with_cover.pdf
2. Климат России. Монография / Под ред. Н. В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 655 с. ISBN: 5-286-01409-7. https://djvu.online/file/AEZegMvuVkoVZ
3. *Еремина Т. Р., Волощук Е. В., Исаев А. В., Рябченко В. А., Максимов А. А.* Балтийское море в настоящем и будущем – климатические изменения и антропогенное воздействие. СПб., 2016. 152 с. ISBN: 978-5-00105-102-2 (в обл). EDN: XZGNKN
4. *Крек Е. В., Стонт Ж. И., Буканова Т. В.* Распространение морского льда в юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым радиолокационным данным (2004–2019 гг.) // Океанологические исследования. 2020. Т. 48. № 2. С. 18–33. EDN: IEEOGI. https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(2).2
5. *Малинин В. Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник. СПб.: РГГМУ, 2008. 408 с. ISBN: 978-5-86813-213-1. EDN: QKIFPF
6. Мировой центр данных по солнечно-земной физике. 2025. http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar_cycles.ru.html
7. *Мохов И. И.* Результаты российских исследований климата в 2007–2010 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 1. С. 3–18. EDN: PNQJHT. https://doi.org/10.7868/S0002351513010069
8. *Ревич Б. А.* Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения европейской части России летом 2010 года: результаты предварительной оценки // Экология человека. 2011. № 7. С. 3–9. EDN: NXVVRJ
9. *Ревич Б. А., Григорьева Е. А.* Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Часть 1: Волны жары и холода // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 12–33. EDN: KAETME. https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
10. Росгидромет. РД 52.88699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения опасных природных процессов. 2008. https://docs.cntd.ru/document/1200105083
11. *Стонт Ж. И., Буканова Т. В., Крек Е. В.* Изменчивость климатических характеристик прибрежной части Юго-Восточной Балтики в начале XXI века // Вестник БФУ им. Канта. 2020а. № 1. С. 81–94. EDN: CYZSPJ
12. *Стонт Ж. И., Навроцкая С. Е., Чубаренко Б. В.* Многолетние тенденции изменчивости гидрометеорологических характеристик в Калининградском регионе // Океанологические исследования. 2020б. Т. 48. № 1. С. 45–61. EDN: VEUTPN. https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(1)
13. *Чернокульский А. В., Елисеев А. В., Козлов Ф. А., Коршунова Н. Н., Курганский М. В., Мохов И. И., Семенов В. А., Швець Н. В., Шихов А. Н., Ярынич Ю. И.* Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным // Метеорология и гидрология. 2022. № 5. С. 27–41. EDN: LXTPLQ. https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-5-27-41
14. *Andersson H. C.* Influence of long-term regional and large-scale atmospheric circulation on the Baltic sea level // Tellus A. 2002. Vol. 54. P. 76–88. https://doi.org/10.3402/tellusa.v54i1.12125
15. *Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Kļaviņš M.* Trends in the frequency of extreme climate events in Latvia // Baltica. 2010. Vol. 23. No. 2. P. 135–148. EDN: ONNABD
16. *Avotniece Z.* Characteristics and long-term changes of extreme climate events and hazardous hydrometeorological phenomena in Latvia. 2018. https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/45342/298-67083-Avotniece_Zanita_za06002.pdf

17. BACC I Author Team. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Berlin: Springer-Verlag, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72786-6
18. BACC II Author Team. Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies. Cham: Springer International Publishing, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1
19. *Bartók B., Wild M., Folini D., Lthi D., Kotlarski S., Schr C., Vautard R., Jerez S., Imecs Z.* Projected changes in surface solar radiation in CMIP5 global climate models and in EUROCORDEX regional climate models for Europe // Clim. Dyn. 2017. Vol. 49. No. 7–8. P. 2665–2683. EDN: YFDPUI. https://doi.org/10.1007/s00382-016-3471-2
20. *Börgel F., Frauen C., Neumann T., Meier H. E. M.* The Atlantic Multidecadal Oscillation controls the impact of the North Atlantic Oscillation on North European climate // Environ. Res. Lett. 2020. Vol. 15. No. 10. P. 104025. EDN: ESMCJL. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba925
21. *Börgel F., Frauen C., Neumann T., Schimanke S., Meier H. E. M.* Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on Baltic Sea Variability // Geophys. Res. Lett. 2018. Vol. 45. No. 18. P. 9880–9888. EDN: CASNDE. https://doi.org/10.1029/2018GL078943
22. *Christensen O. B., Kjellstrm E., Dieterich C., Gröger M., Meier H. E. M.* Atmospheric regional climate projections for the Baltic Sea region until 2100 // Earth Syst. Dynam. 2022. Vol. 13. No. 1. P. 133–157. EDN: CSPMWH. https://doi.org/10.5194/esd-13-133-2022
23. *Cornes R. C., van der Schrier G., Squintu A. A.* A reappraisal of the thermal growing season length across Europe // Int. J. Climatol. 2019. Vol. 39. No. 3. P. 1787–1795. EDN: QASDBQ. https://doi.org/10.1002/joc.5913
24. *Dailidienė I., Baudler H., Chubarenko B., Navrotskaya S.* Long term water level and surface temperature changes in the lagoons of the southern and eastern Baltic // Oceanology. 2011. Vol. 53. No. 1. P. 293–308. EDN: UZTKZP. https://doi.org/10.5697/oc.53-1-TI.293
25. *Easterling D. R., Kunkel K. E., Wehner M. F., Sun L.* Detection and attribution of climate extremes in the observed record // Weather. Clim. Extremes. 2016. Vol. 11. P. 17–27. EDN: YDAHLV. https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.01.001
26. *Gröger M., Dieterich C., Meier H. E. M.* Is interactive air sea coupling relevant for simulating the future climate of Europe? // Clim. Dyn. 2021. Vol. 56. No. 1–2. P. 491–514. EDN: XSDWZD. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05489-8
27. HELCOM. Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013 // Baltic Sea Environment Proceedings. 2013. No. 137. 66 p. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/10/BSEP137.pdf
28. *Hersbach H. et al.* The ERA5 global reanalysis // Quarterly journal of the royal meteorological society. 2020. Vol. 146. No. 730. P. 1999–2049. EDN: DKXYTO. https://doi.org/10.1002/qj.3803
29. *Hurrell J. W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M.* An overview of the North Atlantic oscillation // Geophys. Monogr. Ser. 2003. Vol. 134. P. 1–35. EDN: YECBNJ. https://doi.org/10.1029/134GM01
30. *Kauker F., Meier H. E. M.* Modeling decadal variability of the Baltic Sea: 1. Reconstructing atmospheric surface data for the period 1902–1998 // J. Geophys. Res.-Oceans. 2003. Vol. 108. P. 3268. https://doi.org/10.1029/2003JC001797
31. *Kniebusch M., Meier H. E. M., Neumann T., Brgel F.* Temperature Variability of the Baltic Sea Since 1850 and Attribution to Atmospheric Forcing Variables // J. Geophys. Res.-Oceans. 2019. Vol. 124. No. 6. P. 4168–4187. EDN: XYQOBT. https://doi.org/10.1029/2018jc013948
32. *Knight J. R., Folland C. K., Scaife A. A.* Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation // Geophys. Res. Lett. 2006. Vol. 33. L17706. https://doi.org/10.1029/2006gl026242
33. *Kosaka Y., Xie S-P.* Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling // Nature. 2013. No. 501. P. 403–407. https://doi.org/10.1038/nature12534

34. *Lehmann A., Krau W., Hinrichsen H.-H.* Effects of remote and local atmospheric forcing on circulation and upwelling in the Baltic Sea // Tellus A. 2002. Vol. 54 (3). P. 299–316. https://doi.org/10.3402/tellusa.v54i3.12138
35. *Lenggenhager S., Martius O.* Atmospheric blocks modulate the odds of heavy precipitation events in Europe // Clim. Dyn. 2019. Vol. 53. No. 7–8. P. 4155–4171. EDN: RXLOZH. https://doi.org/10.1007/s00382-019-04779-0
36. *Mann M. E., Steinman B. A., Miller S. K.* Absence of internal multidecadal and interdecadal oscillations in climate model simulations // Nat. Commun. 2020. Vol. 11. No. 1. P. 49. EDN: UDKYTN. https://doi.org/10.1038/s41467-019-13823-w
37. *Mann M. E., Steinman B. A., Brouillette D. J., Miller S. K.* Multidecadal climate oscillations during the past millennium driven by volcanic forcing // Science. 2021. Vol. 371. No. 6533. P. 1014. EDN: ZVGJNO. https://doi.org/10.1126/science.abc5810
38. *Meehl G. A., Arblaster J. M., Fasullo J. T., Hu A., & Trenberth K. E.* Model-Based Evidence of Deep-Ocean Heat Uptake during Surface-Temperature Hiatus Periods // Nature Climate Change. 2011. 1. P. 360–364. https://doi.org/10.1038/nclimate1229
39. *Michalska B.* Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce // Prace i Studia Geograficzne. 2011. Vol. 47. P. 67–75. https://bibliotekanauki.pl/articles/2084512 (дата обращения: 20.04.2026).
40. *Müller J., Folini D., Wild M., Pfenninger S.* CMIP-5 models project photovoltaics are a no-regrets investment in Europe irrespective of climate change // Energy. 2019. Vol. 171. P. 135–148. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.139
41. Northern Hemisphere Teleconnection Patterns. 2022. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml
42. *Omstedt A., Chen D.* Influence of atmospheric circulation on the maximum ice extent in the Baltic Sea // J. Geophys. Res.-Oceans. 2001. Vol. 106. Iss. C3. P. 4493–4500. https://doi.org/10.1029/1999JC000173
43. *Rjazin J., Parn O.* Determining the Regime Shift of the Baltic Sea Ice Seasons during 1982–2016. Naše more. 2020. Vol. 67. No. 1. P. 53–59. EDN: XEITJN. https://doi.org/10.17818/NM/2020/1.8
44. *Rutgersson A., Jaagus J., Schenk F., Stendel M.* Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic Sea region during the last 200 years // Clim. Res. 2014. Vol. 61. No. 2. P. 177–190. EDN: URTAMV. https://doi.org/10.3354/cr01244
45. *Rutgersson A., Kjellstrm E., Haapala J., Stendel M., Danilovich I., Drews M., Jylh K., Kujala P., Larsn X. G., Halsns K., Lehtonen I., Luomaranta A., Nilsson E., Olsson T., Srkk J., Tuomi L., Wasmund N.* Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region // Earth Syst. Dynam. 2022. Vol. 13. No. 1. P. 251–301. EDN: NXFVLX. https://doi.org/10.5194/esd-13-251-2022
46. *Schubert S. D., Wang H., Koster R. D., Suarez M. J., Groisman P. Y.* Northern Eurasian Heat Waves and Droughts // J. Climate. 2014. Vol. 27. No. 9. P. 3169–3207. EDN: SOVSTJ. https://doi.org/10.1175/jcli-d-13-00360.1
47. *Seneviratne S. I., Hauser M.* Regional Climate Sensitivity of Climate Extremes in CMIP6 Versus CMIP5 Multimodel Ensembles // Earths Future. 2020. Vol. 8. No. 9. e2019EF001474. EDN: OESRAA. https://doi.org/10.1029/2019EF001474
48. *Sillmann J., Kharin V. V., Zwiers F. W., Zhang X., Bronaugh D.* Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections // J. Geophys. Res.-Atmos. 2013. Vol. 118. No. 6. P. 2473–2493. EDN: VUSKGC. https://doi.org/10.1002/jgrd.50188
49. *Stont Z. I., Bukanova T. V.* General features of air temperature over coastal waters of the south-eastern Baltic Sea for 2004–2017 // Russian Journal of Earth Sciences. 2019. Vol. 19. No. 3. EDN: DJZVQE. https://doi.org/10.2205/2019ES000657
50. *Teuling A. J.* A hot future for European droughts // Nat. Clim. Change. 2018. Vol. 8. P. 364–365. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0154-5

51. *Twardosz R., Kossowska-Cezak U.* Exceptionally hot summers in central and eastern Europe (1951–2010) // Theoretical and Applied Climatology. 2013. Vol. 112. No. 3–4. P. 617–628. EDN: RHNHUZ. https://doi.org/10.1007/s00704-012-0757-0
52. *Tylkowski J.* Temporal and spatial variability of air temperature and precipitation at the Polish coastal zone of the southern Baltic Sea // Baltica. 2013. Vol. 26. No. 1. P. 83–94. https://doi.org/10.5200/baltica.2013.26.09
53. *Tylkowski J., Hojan M.* Time Decomposition and Short-Term Forecasting of Hydrometeorological Conditions in the South Baltic Coastal Zone of Poland // Geosciences. 2019. Vol. 9. No. 2. P. 68. https://doi.org/10.3390/geosciences9020068
54. United Nations Climate Change. Paris Agreement. 2015. 27 p. https://unfccc.int/documents/37107
55. *Uotila P., Vihma T., Haapala J.* Atmospheric and oceanic conditions and the extremely low Bothnian Bay sea ice extent in 2014/2015 // Geophys. Res. Lett. 2015. Vol. 42. Iss. 18. P. 7740–7749. https://doi.org/10.1002/2015GL064901
56. *Watanabe M., Tatebe H.* Reconciling roles of sulphate aerosol forcing and internal variability in Atlantic multidecadal climate changes // Clim. Dyn. 2019. Vol. 53. No. 7. P. 4651–4665. EDN: JPQTPT. https://doi.org/10.1007/s00382-019-04811-3
57. *Whan K., Zscheischler J., Orth R., Shongwe M., Rahimi M., Asare E. O., Seneviratne S. I.* Impact of soil moisture on extreme maximum temperatures in Europe // Weather. Clim. Extremes. 2015. Vol. 9. P. 57–67. EDN: VFOBFN. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.05.001
58. *Wibig J., Głowicki B.* Trends of minimum and maximum temperature in Poland // Climate Research. 2002. Vol. 20. P. 123–133. https://doi.org/10.3354/cr020123
59. *Wild M., Gilgen H., Roesch A., Ohmura A., Long C., Dutton E., Forgan B., Kallis A., Russak V., Tsvetkov A.* From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at Earth's surface // Science. 2005. Vol. 308. No. 5723. P. 847–850. EDN: LJCXTZ. https://doi.org/10.1126/science.1103215
60. *Wilks D. S.* Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 3rd Edition, Academic Press, Oxford. 2011. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385022-5.00001-4
61. *Wills R. C. J., Armour K. C., Battisti D. S., Hartmann D. L.* Ocean-Atmosphere Dynamical Coupling Fundamental to the Atlantic Multidecadal Oscillation // J. Climate. 2018. Vol. 32. No. 1. P. 251–272. EDN: KGZGVT. https://doi.org/10.1175/jcli-d-18-0269.1
62. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO. No. 1203. World Meteorological Organization, 2017. 18 p. ISBN 978-92-63-11203-3. https://library.wmo.int/idurl/4/55797

Статья поступила в редакцию 20.05.2026, одобрена к печати 30.07.2026.
Для цитирования: *Стонт Ж. И., Капустина М. В.* Изменчивость температуры воздуха в прибрежной зоне Калининградской области за период 1848–2024 гг. // Океанологические исследования. 2026. Т. 54. № 3. С. 95–128. https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2026.54(3).6

ISSN (online): 2587-9634 / ISSN (print): 1564-2291
Океанологические исследования. 2026. Том 54. № 3. С. 95–128

AIR TEMPERATURE VARIABILITY IN THE COASTAL ZONE OF THE KALININGRAD REGION FOR THE PERIOD 1848–2024

Zh. I. Stont, M. V. Kapustina

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: ocean_stont@mail.ru

The article presents an analysis of time series of air temperatures that determine the behavior of the natural environment in the coastal zone of the Southeastern Baltic Sea. The analysis is based on historical monthly data on the average air temperature for the weather station in Kaliningrad (Königsberg) (1848–2024). A comparison is made with the surface air temperature according to the ERA5 reanalysis data for the Southeastern Baltic for the period 1950–2024. The obtained statistical characteristics and calculated linear trends made it possible to distinguish three periods in the region that characterize the temperature regime: 1) a decrease in temperature in the second half of the 19th century; 2) "secular" stagnation throughout the 20th century; and 3) a steady increase (trend 0.35 ºC/decade), starting from 1988, which was especially pronounced at the end of the first quarter of the 21st century. This indicates temporal heterogeneity due to seasonal trends. A comparison of seasonal temperatures with those during the standard climate period (1961–1990) revealed that during the period of intensive growth, only three winters were recorded with temperatures below the standard period, while the average summer temperature exceeded standard values, with maximum anomalies of up to +2.7 °C characteristic of the final years of the study period. Changes in seasonal air temperature variability include an extension of the growing season, a reduction in the number of frost days, and a decrease in winter severity. The intensity of the climate process has increased, resulting in an increased frequency of extreme events (e.g., heat waves). Over a shorter period (1940–2024), the average annual temperature over the southeastern Baltic Sea is 0.4°C higher than over the adjacent land. The intra-annual variation in average monthly air temperatures is smoother over the sea. This is evidenced by the range of fluctuations of 20.4 °C over land and 17.6 °C over the sea, as well as the monthly shift in the maximum average monthly temperature: July (17.8 °C) over land and August (17.7 °C) over the sea. The decadal trend (°C/10-year trend) over this period over the sea exceeded the trend over land by 1.7 times, driven by the maximum trend increase in Kaliningrad in winter (4.7 °C/February/period), and over the sea – 4.4 °C/period in summer. In the coastal zone of the Southeastern Baltic Sea, an increase in the duration of the summer climatic season and the frequency of heat waves, particularly in May–June, were observed, as well as a decrease in the severity and duration of winters.

Keywords: climate trend, seasonal trend, extreme events, heat waves, winter severity, Southeastern Baltic Sea, Kaliningrad Oblast

Acknowledgements: The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for IO RAS (theme No. FMWE-2024-0025).

References

1. Andersson, H. C., 2002: Influence of long-term regional and large-scale atmospheric circulation on the Baltic Sea level. *Tellus A*, **54**, 76–88, https://doi.org/10.3402/tellusa.v54i1.12125
2. Avotniece, Z., V. Rodinov, L. Lizuma, A. Briede, and M. Kļaviņš, 2010: Trends in the frequency of extreme climate events in Latvia. *Baltica*, **23** (2), 135–148, EDN: ONNABD
3. Avotniece, Z., 2018: *Characteristics and long-term changes of extreme climate events and hazardous hydrometeorological phenomena in Latvi*a, https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/45342/298-67083-Avotniece_Zanita_za06002.pdf.
4. *BACC I Author Team*, 2008: Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer-Verlag, Berlin, https://doi.org/10.1007/978-3-540-72786-6
5. *BACC II Author Team*, 2015: Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies, Springer International Publishing, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1
6. Bartók, B., M. Wild, D. Folini, D. Lthi, S. Kotlarski, C. Schr, R. Vautard, S. Jerez, and Z. Imecs, 2017: Projected changes in surface solar radiation in CMIP5 global climate models and in EUROCORDEX regional climate models for Europe. *Clim. Dyn*., **49** (7–8), 2665–2683, EDN: YFDPUI, https://doi.org/10.1007/s00382-016-3471-2
7. Börgel, F., C. Frauen, T. Neumann, and H. E. M. Meier, 2020: The Atlantic Multidecadal Oscillation controls the impact of the North Atlantic Oscillation on North European climate. *Environ. Res. Lett.*, **15** (10), 104025, EDN: ESMCJL, https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba925
8. Börgel, F., C. Frauen, T. Neumann, S. Schimanke, and H. E. M. Meier, 2018: Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on Baltic Sea Variability. *Geophys. Res. Lett.,* **45** (18), 9880–9888, EDN: CASNDE, https://doi.org/10.1029/2018GL078943
9. Chernokulsky, A. V., A. V. Eliseev, F. A. Kozlov, N. N. Korshunova, M. V. Kurgansky, I. I. Mokhov, V. A. Semenov, N. V. Shvets, A. N. Shikhov, and Yu. I. Yarynich, 2022: Opasnye atmosfernye yavleniya konvektivnogo kharaktera v Rossii: nablyudaemye izmeneniya po razlichnym dannym (Dangerous atmospheric phenomena of convective character in Russia: observed changes according to various data). *Meteorologiya i gidrologiya*, **5**, 27–41, EDN: LXTPLQ, https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-5-27-41
10. Christensen, O. B., E. Kjellstrm, C. Dieterich, M. Grger, and H. E. M. Meier, 2022: Atmospheric regional climate projections for the Baltic Sea region until 2100. *Earth Syst. Dynam*., **13** (1), 133–157, EDN: CSPMWH, https://doi.org/10.5194/esd-13-133-2022
11. Cornes, R. C., G. van der Schrier, and A. A. Squintu, 2019: A reappraisal of the thermal growing season length across Europe. *Int. J. Climatol*., **39** (3), 1787–1795, EDN: QASDBQ, https://doi.org/10.1002/joc.5913
12. Dailidienė, I., H. Baudler, B. Chubarenko, and S. Navrotskaya, 2011: Long term water level and surface temperature changes in the lagoons of the southern and eastern Baltic. *Oceanology*, **53** (1), 293–308, EDN: UZTKZP, https://doi.org/10.5697/oc.53-1-TI.293
13. Easterling, D. R., K. E. Kunkel, M. F. Wehner, and L. Sun, 2016: Detection and attribution of climate extremes in the observed record. Weather. *Clim. Extremes*, **11**, 17–27, EDN: YDAHLV, https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.01.001
14. Eremina, T. R. (Ed.), 2016: *Baltiyskoe more v nastoyashchem i budushchem – klimaticheskie izmeneniya i antropogennoe vozdeystvie (The Baltic Sea in the present and future – climate change and anthropogenic impact*), St. Petersburg, 152 p., ISBN: 978-5-00105-102-2, EDN: XZGNKN
15. Gröger, M., C. Dieterich, and H. E. M. Meier, 2021: Is interactive air sea coupling relevant for simulating the future climate of Europe? *Clim. Dyn*., **56** (1–2), 491–514, EDN: XSDWZD, https://doi.org/10.1007/s00382-020-05489-8

16. HELCOM, 2013: Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. *Baltic Sea Environment Proceedings*, **137**, 66 p., https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/10/BSEP137.pdf
17. Hersbach, H. et al., 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, **146** (730), 1999–2049, EDN: DKXYTO, https://doi.org/10.1002/qj.3803
18. Hurrell, J. W., Y. Kushnir, G. Ottersen, and M. Visbeck, 2003: *An overview of the North Atlantic oscillation*. Geophys. Monogr. Ser., **134**, 1–35, EDN: YECBNJ, https://doi.org/10.1029/134GM01
19. Kauker, F. and H. E. M. Meier, 2003: Modeling decadal variability of the Baltic Sea: 1. Reconstructing atmospheric surface data for the period 1902–1998. *J. Geophys. Res.-Oceans*, **108**, 3268, https://doi.org/10.1029/2003JC001797
20. *Klimat Rossii*. Monografiya (Climate of Russia. Monograph). 2001. Kobysheva, N. V. (Ed.). St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 655 p., ISBN: 5-286-01409-7, https://djvu.online/file/AEZegMvuVkoVZ
21. Kniebusch, M., H. E. M. Meier, T. Neumann, and F. Brgel, 2019: Temperature Variability of the Baltic Sea Since 1850 and Attribution to Atmospheric Forcing Variables. *J. Geophys. Res.-Oceans*, **124**, No. 6, 4168–4187, EDN: XYQOBT, https://doi.org/10.1029/2018jc013948
22. Knight, J. R., C. K. Folland, and A. A. Scaife, 2006: Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophys. Res. Lett*., **33**, L17706, https://doi.org/10.1029/2006gl026242
23. Kosaka, Y. and S-P. Xie, 2013: Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature,* 501 (7467), 403–407, https://doi.org/10.1038/nature12534
24. Krek, E. V., Z. I. Stont, and T. V. Bukanova, 2020: Ice conditions in the South-East Baltic Sea from satellite data (2004–2019). *Journal of Oceanological Research*, **48** (2), 18–33, EDN: IEEOGI, https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(2).2
25. Lehmann, A., W. Krau, and H.-H. Hinrichsen, 2002: Effects of remote and local atmospheric forcing on circulation and upwelling in the Baltic Sea. *Tellus A*, **54** (3), 299–316, https://doi.org/10.3402/tellusa.v54i3.12138
26. Lenggenhager, S. and O. Martius, 2019: Atmospheric blocks modulate the odds of heavy precipitation events in Europe. *Clim. Dyn*., **53** (7–8), 4155–4171, EDN: RXLOZH, https://doi.org/10.1007/s00382-019-04779-0
27. Malinin, V. N., 2008*: Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii*: uchebnik (Statistical methods of hydrometeorological information analysis: textbook). St. Petersburg, RGGMU, 408 p., ISBN: 978-5-86813-213-1, EDN: QKIFPF
28. Mann, M. E., B. A. Steinman, and S. K. Miller, 2020: Absence of internal multidecadal and interdecadal oscillations in climate model simulations. *Nat. Commun*., **11** (1), 49, EDN: UDKYTN, https://doi.org/10.1038/s41467-019-13823-w
29. Mann, M. E., B. A. Steinman, D. J. Brouillette, and S. K. Miller, 2021: Multidecadal climate oscillations during the past millennium driven by volcanic forcing. *Science*, **371** (6533), 1014, EDN: ZVGJNO, https://doi.org/10.1126/science.abc5810
30. Meehl, G. A., J. M. Arblaster, J. T. Fasullo, A. Hu, and K. E. Trenberth, 2011: Model-Based Evidence of Deep-Ocean Heat Uptake during Surface-Temperature Hiatus Periods. *Nature Climate Change,* **1**, 360–364, https://doi.org/10.1038/nclimate1229
31. Michalska, B., 2011: Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne*, **47**, 67–75, https://bibliotekanauki.pl/articles/2084512 (дата обращения: 20.04.2026).
32. Müller, J., D. Folini, M. Wild, and S. Pfenninger, 2019: CMIP-5 models project photovoltaics are a no-regrets investment in Europe irrespective of climate change. *Energy*, **171**, 135–148, https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.139
33. Mokhov, I. I., 2013: Rezul'taty rossiyskikh issledovaniy klimata v 2007–2010 gg. (Results of Russian climate research in 2007–2010). *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana*, **49** (1), 3–18, EDN: PNQJHT, https://doi.org/10.7868/S0002351513010069

34. *Northern Hemisphere Teleconnection Patterns*, 2022: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml
35. Omstedt, A. and D. Chen, 2001: Influence of atmospheric circulation on the maximum ice extent in the Baltic Sea. *J. Geophys. Res.-Oceans*, **106**, Iss. C3, 4493–4500, https://doi.org/10.1029/1999JC000173
36. Rjazin, J. and O. Parn, 2020: Determining the Regime Shift of the Baltic Sea Ice Seasons during 1982–2016. *Naše more*, **67** (1), 53–59, EDN: XEITJN, https://doi.org/10.17818/NM/2020/1.8
37. *Report on climate features on the territory of the Russian Federation for 2024,* 2025: Moscow, 104 p., ISBN: 978-5-906099-58-7, http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2024_with_cover.pdf
38. Revich, B. A., 2011: Volny zhary, kachestvo atmosfernogo vozdukha i smertnost' naseleniya evropeyskoy chasti Rossii letom 2010 goda: rezul'taty predvaritel'noy otsenki (Heat waves, air quality and mortality of the population of the European part of Russia in the summer of 2010: preliminary assessment results). *Ekologiya cheloveka*, **7**, 3–9, EDN: NXVVRJ
39. Revich, B. A. and E. A. Grigoryeva, 2021: Riski zdorov'yu rossiyskogo naseleniya ot pogodnykh ekstremumov v nachale XXI v. Chast' 1. Volny zhary i kholoda (Health risks of the Russian population from weather extremes at the beginning of the 21st century. Part 1: Heat and cold waves). *Problemy analiza riska*, **18** (2), 12–33, EDN: KAETME, https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
40. Roshydromet, 2008: RD 52.88699-2008. *Polozhenie o poryadke deystviy uchrezhdeniy i organizatsiy pri ugroze vozniknoveniya opasnykh prirodnykh protsessov (Regulation on the procedure of actions of institutions and organizations in the event of a threat of dangerous natural processes).* https://docs.cntd.ru/document/1200105083
41. Rutgersson, A., J. Jaagus, F. Schenk, and M. Stendel, 2014: Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic Sea region during the last 200 years. *Clim. Res.*, **61** (2), 177–190, EDN: URTAMV, https://doi.org/10.3354/cr01244
42. Rutgersson, A., E. Kjellstrm, J. Haapala, M. Stendel, I. Danilovich, M. Drews, K. Jylh, P. Kujala, X. G. Larsn, K. Halsns, I. Lehtonen, A. Luomaranta, E. Nilsson, T. Olsson, J. Srkk, L. Tuomi, and N. Wasmund, 2022: Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region. *Earth Syst. Dynam.,* **13** (1), 251–301, EDN: NXFVLX, https://doi.org/10.5194/esd-13-251-2022
43. Schubert, S. D., H. Wang, R. D. Koster, M. J. Suarez, and P. Y. Groisman, 2014: Northern Eurasian Heat Waves and Droughts. *J. Climate*, **27** (9), 3169–3207, EDN: SOVSTJ, https://doi.org/10.1175/jcli-d-13-00360.1
44. Seneviratne, S. I. and M. Hauser, 2020: Regional Climate Sensitivity of Climate Extremes in CMIP6 Versus CMIP5 Multimodel Ensembles. *Earths Future*, **8** (9), e2019EF001474, EDN: OESRAA, https://doi.org/10.1029/2019EF001474
45. Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, and D. Bronaugh, 2013: Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **118** (6), 2473–2493, EDN: VUSKGC, https://doi.org/10.1002/jgrd.50188
46. Stont, Z. I. and T. V. Bukanova, 2019: General features of air temperature over coastal waters of the south-eastern Baltic Sea for 2004–2017. *Russian Journal of Earth Sciences*, **19** (3), EDN: DJZVQE, https://doi.org/10.2205/2019ES000657
47. Stont, Z. I., T. V. Bukanova, and E. V. Krek, 2020a: Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik pribrezhnoy chasti Yugo-Vostochnoy Baltiki v nachale XXI veka (Variability of climatic characteristics of the coastal part of the South-Eastern Baltic at the beginning of the XXI century). *Vestnik BFU im. Kanta*, **1**, 81–94, EDN: CYZSPJ
48. Stont, Z. I., S. E. Navrotskaya, and B. V. Chubarenko, 2020b: Mnogoletnie tendentsii izmenchivosti gidrometeorologicheskikh kharakteristik v Kaliningradskom regione (Long-term trends of

variability of hydrometeorological characteristics in the Kaliningrad region). *Journal of Oceanological Reserch*, **48** (1), 45–61, EDN: VEUTPN, https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(1)

49. Teuling, A. J., 2018: A hot future for European droughts. *Nat. Clim. Change*, **8**, 364–365, https://doi.org/10.1038/s41558-018-0154-5
50. Twardosz, R. and U. Kossowska-Cezak, 2013: Exceptionally hot summers in central and eastern Europe (1951–2010). *Theoretical and Applied Climatology*, **112** (3–4), 617–628, EDN: RHNHUZ, https://doi.org/10.1007/s00704-012-0757-0
51. Tylkowski, J., 2013: Temporal and spatial variability of air temperature and precipitation at the Polish coastal zone of the southern Baltic Sea. *Baltica*, **26** (1**)**, 83–94, https://doi.org/10.5200/baltica.2013.26.09
52. Tylkowski, J. and M. Hojan, 2019: Time Decomposition and Short-Term Forecasting of Hydrometeorological Conditions in the South Baltic Coastal Zone of Poland. *Geosciences*, **9** (2), 68, https://doi.org/10.3390/geosciences9020068
53. *United Nations Climate Change*, 2015: Paris Agreement. 27 p., https://unfccc.int/documents/37107
54. Uotila, P., T. Vihma, and J. Haapala, 2015: Atmospheric and oceanic conditions and the extremely low Bothnian Bay sea ice extent in 2014/2015. *Geophys. Res. Lett*., **42** (18), 7740–7749, https://doi.org/10.1002/2015GL064901
55. Watanabe, M. and H. Tatebe, 2019: Reconciling roles of sulphate aerosol forcing and internal variability in Atlantic multidecadal climate changes. *Clim. Dyn*., **53** (7), 4651–4665, EDN: JPQTPT, https://doi.org/10.1007/s00382-019-04811-3
56. Whan, K., J. Zscheischler, R. Orth, M. Shongwe, M. Rahimi, E. O. Asare, and S. I. Seneviratne, 2015: Impact of soil moisture on extreme maximum temperatures in Europe. Weather. *Clim. Extremes*, **9**, 57–67, EDN: VFOBFN, https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.05.001
57. Wibig, J. and B. Głowicki, 2002: Trends of minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research*, **20**, 123–133, https://doi.org/10.3354/cr020123
58. Wild, M., H. Gilgen, A. Roesch, A. Ohmura, C. Long, E. Dutton, B. Forgan, A. Kallis, V. Russak, and A. Tsvetkov, 2005: From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at Earth's surface. *Science*, **308** (5723), 847–850, EDN: LJCXTZ, https://doi.org/10.1126/science.1103215
59. Wilks, D. S., 2011: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3rd Edition, Academic Press, Oxford, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385022-5.00001-4
60. Wills, R. C. J., K. C. Armour, D. S. Battisti, and D. L. Hartmann, 2018: Ocean-Atmosphere Dynamical Coupling Fundamental to the Atlantic Multidecadal Oscillation. *J. Climate*, **32** (1), 251–272, EDN: KGZGVT, https://doi.org/10.1175/jcli-d-18-0269.1
61. *WMO*, 2017: WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO. No. 1203. World Meteorological Organization, 18 p., https://library.wmo.int/idurl/4/55797
62. *World Central Diameters (MCD) data system*, http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar_cycles.ru.html

Submitted 20.05.2026, accepted 30.07.2026.
For citation: Stont, Zh. I. and M. V. Kapustina, 2026: Air temperature variability in the coastal zone of the Kaliningrad Region for the period 1848–2024. *Journal of Oceanological Research*, **54** (3), 95–128, https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2026.54(3).6

加里宁格勒州沿岸地区1848–2024年气温变化

Zh. I. Stont, M. V. Kapustina

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 邮编 : *117997, Russia,*
电子邮件 : *ocean_stont@mail.ru*

本文评估了决定波罗的海东南部沿岸带状况的气温变化。时间序列分析基于加里宁格勒 (柯尼斯堡) 气象站的历史月平均气温数据 (1848–2024年)。同时将结果与1950–2024年东南波罗的海ERA5再分析资料的海面气温进行了对比。所获得的统计特征和计算线性趋势揭示出该地区气温变化的三个时期 : 1) 19世纪下半叶气温下降 ; 2) 20世纪的 “世纪性” 停滞 ; 3) 自1988年开始的持续升温 (趋势为0.35°C/10年) , 该趋势在21世纪第一季度末尤为显著。这表明了由季节性趋势引起的非均一性。将季节性气温与标准气候期 (1961–1990年) 进行对比发现 , 在强烈升温期仅有三个冬季气温低于标准期 , 而夏季平均气温均高于标准值 , 且研究期最后几年最大正距平达+2.7°C。气温季节变化的表现包括 : 生长期延长、冰冻日数减少、冬季严寒程度降低。气候变化的加剧导致了极端天气现象 (如热浪) 的频发。在较短时段内 (1940–2024年) , 东南波罗的海海域的年平均气温比相邻陆地高出0.4°C。月平均气温的年变化在海洋上空更为平缓 , 陆地上气温年较差为20.4°C , 海洋上为17.6°C ; 月平均最高气温在陆地上出现在7月 (17.8°C) , 在海洋上出现在8月 (17.7°C)。该时段内十年趋势 (°C/10年) 在海洋上空是陆地上空的1.7倍 , 这是由于加里宁格勒冬季增温最大 (2月为4.7°C/期) , 而海洋上夏季增温最大 (4.4°C/期)。在波罗的海东南部沿岸带 , 气候夏季延长 , 热浪事件 (尤其是5–6月) 频率增加 , 同时冬季的严寒程度和持续时间均有所降低。

关键词 : 气候趋势 , 季节趋势 , 极端现象 , 热浪 , 冬季严寒程度 , 东南波罗的海 , 加里宁格勒州

致谢 : 本研究在俄罗斯联邦科学与高等教育部下达给 Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences 的国家任务 (课题编号 : FMWE-2024-0025) 框架内完成。