

МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-1-35-51>

УДК 551.583



Внутрисезонные изменения и пространственные паттерны влияния арктического потепления на циркуляционные и температурные аномалии в Евразии

О.С. Зоркальцева¹✉, О.Ю. Антохина^{1,2}, Е.Н. Юргина¹

¹ Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН,
Иркутск, Россия

² Институт оптики атмосферы им. В.И. Зуева Сибирского отделения РАН,
Томск, Россия

✉ olgak@iszf.irk.ru

ORCID: 0000-0002-2007-3595; OIA: 0000-0002-2120-3574; ENJO: 0009-0007-9883-5004

Аннотация. Феномен «теплая Арктика — холодная Евразия» (TAXE) является проявлением влияния арктического усиления на климат средних широт. Несмотря на активное изучение, многие аспекты, в частности внутрисезонная динамика и точная роль атмосферного блокирования в формировании этого паттерна, остаются дискуссионными. В данном исследовании на основе данных реанализа ERA5 за 1979–2023 гг. проведен комплексный анализ пространственно-временной изменчивости режима TAXE и его связи с блокирующими антициклонами. Установлено, что с начала 2000-х гг. произошла устойчивая перестройка режима циркуляции, выражающаяся в значительном росте индекса TAXE в осенне-зимний период (тренд 1,4 °C/10 лет для зимы) и смене его сезонной динамики. В начале холодного сезона (октябрь-ноябрь) паттерн TAXE тесно связан преимущественно с северным режимом блокирования, причем максимум корреляции между индексом TAXE и интенсивностью северного блокирования смещен в сектор Западной Сибири (70–90° в. д.), а не к Уралу (60–70° в. д.). Это указывает на трансформацию ведущего механизма формирования TAXE после 2000 г., который стал в значительной степени определяться процессами высокоширотного блокирования. Обнаруженная особенность находится в соответствии с тенденциями арктического усиления и уменьшения площади морского льда. Полученные результаты важны для понимания изменений в сезонной циркуляции и совершенствования прогнозов экстремальных погодных явлений в Евразии.

Ключевые слова: арктическое усиление, теплая Арктика — холодная Евразия (TAXE), атмосферное блокирование, циркуляция, климатические аномалии

© Авторы, 2026

© Authors, 2026

Для цитирования: Зоркальцева О.С., Антохина О.Ю., Юргина Е.Н. Внутрисезонные изменения и пространственные паттерны влияния арктического потепления на циркуляционные и температурные аномалии в Евразии. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2026;72(1):35–51. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-1-35-51>

Поступила 21.10.2025

После переработки 18.11.2025

Принята 09.12.2025


Intraseasonal changes and spatial patterns of Arctic warming influence on circulation and temperature anomalies in Eurasia

Olga S. Zorkaltseva[✉], Olga Yu. Antokhina^{1,2}, Elena N. Yurgina¹

¹ Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

² V.I. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

[✉]olgak@iszf.irk.ru

 OSZ, 0000-0002-2007-3595; ENY, 0000-0002-2120-3574; OYA, 0009-0007-9883-5004

Abstract. The “Warm Arctic — Cold Eurasia” (WACE) pattern is a manifestation of Arctic amplification's influence on mid-latitude climate. Despite extensive research, crucial aspects such as its intraseasonal dynamics and the precise role of atmospheric blocking remain highly debated. This study presents a comprehensive analysis of the spatiotemporal variability of the WACE pattern and its connection to blocking anticyclones using ERA5 reanalysis data (1979–2023) on a $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ grid. We employed two independent methods to calculate the WACE index — based on temperature anomaly differences between the Barents-Kara Seas (BKS) and Central Eurasia (CE) and via Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis, which objectively identified the WACE pattern as the second leading mode of temperature variability, explaining $\sim 17\%$ of the variance. Atmospheric blocking was diagnosed using the GHGS index at the 500 hPa level, distinguishing between northern ($50\text{--}70^\circ\text{N}$) and southern ($40\text{--}60^\circ\text{N}$) regimes to account for the seasonal shifts in the blocking latitude. Our analysis reveals a sustained restructuring of atmospheric circulation since the early 2000s, marked by a statistically significant intensification of the WACE pattern in the autumn-winter period (a trend of 1.4°C per decade for December-February) and a fundamental shift in its seasonal progression. It has been found that in the early cold season (October–November), the WACE pattern is most strongly correlated with the northern blocking events. The longitudinal focus of this correlation has shifted eastward, with its peak located over the Western Siberian sector ($70\text{--}90^\circ\text{E}$), rather than the traditional Ural Mountains. The correlation coefficients in this sector for the northern regime reach 0.7 in October, underscoring a robust linkage. This points to a transformation of the primary mechanism behind WACE formation after the year 2000, which is now governed by high-latitude blocking over the increasingly ice-free Kara Sea. The observed systemic shift towards high-latitude, “Rex”-type dipole blocks effectively shortens the transitional autumn period, leading to an earlier and more abrupt establishment of winter-like circulation. These findings are important for understanding fundamental changes in seasonal circulation over Eurasia and for improving the predictability of extreme cold weather events.

Keywords: Arctic amplification, Warm Arctic — Cold Eurasia (WACE), atmospheric blocking, circulation, climate anomalies

For citation: Zorkaltseva O.S., Antokhina O.Yu., Yurgina E.N. Intraseasonal changes and spatial patterns of Arctic warming influence on circulation and temperature anomalies in Eurasia. *Arctic and Antarctic Research*. 2026;72(1):35–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-1-35-51>

Received 21.10.2025

Revised 18.11.2025

Accepted 09.12.2025

Введение

Современное глобальное потепление характеризуется выраженной пространственной неоднородностью [1], наиболее ярким проявлением которой является феномен арктического усиления (АУ) — более быстрое повышение температуры в Арктике по сравнению со среднемировыми показателями [2–4].

Теоретическая основа феномена была заложена в 1896 г. Сванте Аррениусом, который предсказал наиболее интенсивное потепление в полярных регионах от роста CO_2 [5]. Качественный скачок в понимании произошел с развитием климатического моделирования. В 1969 г. Михаил Будыко с помощью модели энергетического баланса показал, что сокращение ледяного покрова ведет к дополнительному поглощению радиации и ускоренному потеплению [6], в это же время аналогичные выводы сделал Уильям Селлерс [7]. Окончательное подтверждение гипотезы пришло с появлением трехмерных моделей общей циркуляции, что было однозначно продемонстрировано в работе Сюкуро Манабе и Ричарда Везеральда в 1975 г. [8].

Механизмы, ответственные за АУ, носят комплексный характер и включают в себя ряд положительных обратных связей. Сокращение площади снега и льда приводит к увеличению поглощения солнечной радиации темной поверхностью океана, что усиливает потепление и дальнейшее таяние [9]. Открытые воды аккумулируют тепло в летний период и активно отдают его в атмосферу в осенне-зимний сезон, что приводит к аномальному повышению температуры приземного воздуха и увеличению влагосодержания атмосферы [10]. Усиление испарения с поверхности океана ведет к росту облачности, которая, в зависимости от высоты и фазового состава, может как усиливать потепление (увеличивая парниковый эффект), так и ослаблять его (отражая солнечную радиацию) [11].

Потепление Арктики снижает разницу температур между полюсом и экватором. Это ведет к ослаблению западного переноса в средних широтах, что способствует усилению меридиональных процессов и блокирующих процессов [12, 13]. Данное явление выступает как фактор крупномасштабных перестроек в атмосферной циркуляции Северного полушария [14]. Ослабленный зональный перенос способствует формированию атмосферных блокировок, таких как Уральский блокинг (УБ) — квазистационарный антициклон в районе Урала [15–17]. Тепловые потоки от безледной воды в Арктике возмущают планетарный волновой поток, способствуя возникновению и поддержанию таких блокингов [18, 19]. Наиболее ярким последствием УБ является формирование дипольной аномалии теплая Арктика — холодная Евразия (ТАХЕ): блокинг отклоняет арктические воздушные массы на юг, вызывая потепление в Арктике (особенно над Баренцевым и Карским морями) и аномальные холода в центральных регионах Евразии [15, 20]. Для реализации ТАХЕ-паттерна важен волновой отклик, вызванный как прямым воздействием сокращения морского льда в Баренцевом море, так и удаленными тепловыми аномалиями в Северной Атлантике, в частности в районе Гольфстрима [21]. Многие экстремально холодные зимы в Евразии совпадали с рекордным таянием льда и положительной фазой ТАХЕ [22, 23].

При положительной фазе ТАХЕ происходит раннее формирование снежного покрова в Сибири [24]. Аномалии циркуляции, вызывающие это, являются частью волновой цепочки, распространяющейся из Северной Атлантики [25]. Отрицательные температурные аномалии, связанные со снежным покровом, могут поддерживать и усиливать волновую активность над Евразией [26], что способствует вертикальному

распространению волн Россби в стратосферу [16]. Таким образом, влияние усиления Арктики выходит за пределы тропосферы, а понимание связей между таянием льда, Уральским блокингом, снежным покровом и стратосферными процессами критически важно для сезонных прогнозов и оценки климатических рисков в Евразии.

Несмотря на значительный прогресс, некоторые аспекты феномена TAXE остаются дискуссионными. Во-первых, сохраняется научная полемика о силе и природе связи между арктическим усилением и экстремальными зимами в Евразии. Существуют противоречивые свидетельства о влиянии УБ и степени этой связи [27, 28]. Так, анализ более длинных рядов данных показывает, что статистическая связь ослабевает при учете внутренней изменчивости атмосферы, что ставит под сомнение ее причинно-следственный характер [29]. В современных исследованиях преобладает гипотеза о том, что внутренняя изменчивость атмосферы, вероятно, является доминирующим фактором в формировании температурных аномалий в Евразии, а влияние Арктики может быть слабее, чем предполагалось ранее, и перекрываться естественными колебаниями климатической системы [30]. Во-вторых, необходима более детальная оценка того, как именно интенсивность и положение центра УБ модулируют амплитуду и географическую локализацию аномалий холода над Евразией.

В настоящем исследовании для количественной оценки силы и устойчивости связи между арктическим потеплением и блокирующими антициклонами будет проведен корреляционный анализ между индексом TAXE и индексом интенсивности блокирования, рассчитанным как для северного ($50\text{--}70^\circ$ с. ш.), так и для южного ($40\text{--}60^\circ$ с. ш.) режимов блокирований в диапазоне от $0\text{--}120^\circ$ в. д. Такой подход позволяет не просто констатировать наличие связи, но и точно оценить ее силу и статистическую значимость для конкретного географического района, наиболее релевантного для формирования погодных аномалий в Евразии.

Данные и методы

Для анализа режима TAXE были использованы данные о приземной температуре воздуха (ПТВ) реанализа ERA5 на сетке $2,5 \times 2,5$ градуса [31]. Аналогично работе [32] были рассчитаны разности аномалий приземной температуры воздуха между регионом Баренцева и Карского морей (БКМ) и Центральной Евразией (ЦЕ) (рис. 1).

Для каждого месяца рассчитывались средние взвешенные по площади температуры для Арктического и Евразийского регионов. На основе базового периода 1979–2023 гг. были определены климатические нормы для каждого календарного месяца отдельно по регионам. Для каждого месяца вычислялись аномалии температуры относительно соответствующей нормы, процедура детрендрования не проводилась. Индекс TAXE рассчитывался как разность между арктической и евразийской аномалиями согласно формуле (1):

$$\text{TAXE}_T = T'_{60\text{--}85^\circ N, 30\text{--}90^\circ E} - T'_{40\text{--}60^\circ N, 60\text{--}120^\circ E} \quad (1)$$

Для оценки индекса TAXE также были рассчитаны эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) для температуры в области $0\text{--}180^\circ$ в. д., $20\text{--}90^\circ$ с. ш. за период 1979–2023 гг. с октября по март, когда сигнал TAXE наиболее выражен [20]. Для каждого месяца были рассчитаны поля месячных аномалий приземной температуры, по значениям которых были найдены преобладающие пространственные моды (ЭОФ). Известно, что зимние колебания ПТВ над Евразией тесно связаны с Арктическим колебанием (АО), которое доминирует в атмосферной циркуляции над Северным

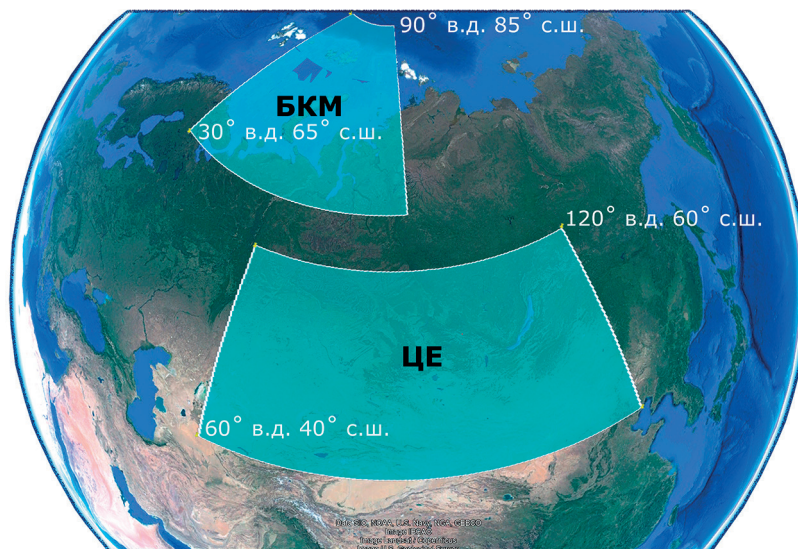


Рис. 1. Карта-схема регионов для расчетов аномалий температуры. Арктика (30–90° в. д., 65–85° с. ш.) (БКМ), Евразия (60–120° в. д., 40–60° с. ш.) (ЦЕ)

Fig. 1. Map of the regions where temperature anomalies were calculated. Arctic (30–90° E, 65–85° N) (БКМ — BKS), Eurasia (60–120° E, 40–60° N) (ЦЕ — CE)

полушарием [33]. Как отмечено в работе [20], эта связь отражена в первой ЭОФ. Вторая главная мода (ЭОФ) показывает четкие дипольные температурные аномалии, охватывающие районы северных морей и Евразию (рис. 2), соответствующие ТАСЕ-паттерну. Как по результатам других исследований [20], так и по нашим расчетам главная компонента (ГК) 2 внесла вклад в общую изменчивость аномалий температуры порядка 17 %, а ГК1 ~30 %. В дальнейшем вариации ГК2 будут использованы в качестве индекса $TAXE_{ЭОФ}$. Пространственная структура для фазы положительной второй моды ЭОФ (ГК2), визуально близка к структуре, выявленной с помощью композитного анализа для лет с положительной фазой $TAXE_T$. Суммарная доля дисперсии, описываемая первыми двумя ЭОФ, составляет около 47 %. Важно подчеркнуть, что метод ЭОФ ранжирует моды по степени пространственной когерентности, а не только по вкладу в общую дисперсию. Таким образом, первые моды эффективно фильтруют крупномасштабный устойчивый сигнал от менее организованной изменчивости и шума. Высокая корреляция (см. рис. 4) между индексами $TAXE_{ЭОФ}$ и $TAXE_T$ свидетельствует о том, что выделенная компонента является физически значимой и наиболее тесно связанной с исследуемым паттерном, несмотря на невысокую долю объясненной дисперсии. Метод ЭОФ объективно выявляет доминирующие паттерны изменчивости (моды) без задания априорных гипотез и количественно оценивает вклад каждой моды в общую дисперсию поля температуры. С другой стороны, расчет $TAXE_T$ позволяет оценить физическую амплитуду аномалий в °С, показывая, насколько сильными бывают отклонения температуры в те или иные годы.

Традиционно значения $TAXE$ усредняют за зимний период года [20, 27], мы расширили диапазон исследования на осенние и весенние месяцы, поскольку, как

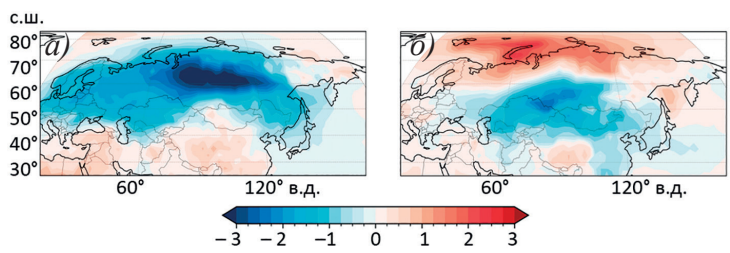


Рис. 2. Пространственная структура поля ГК1 (а) и ГК2 (б) для аномалий приземной температуры в январе за период с 1979 по 2023 г. Главные компоненты являются безразмерными величинами, заливкой показаны стандартизованные отклонения от средней пространственной структуры

Fig. 2. Spatial structure of PC1 (a) and PC2 (b) for surface temperature anomalies in January for the period from 1979 to 2023. The principal components are dimensionless quantities; the color shading represents standardized deviations from the mean spatial pattern

было отмечено выше, режим TAXE чувствителен к началу формирования снежного покрова, который нередко наблюдается на территории Сибири в октябре. Март был включен в анализ, поскольку стратосферные процессы еще активны в марте, а, как упоминалось во введении, стратосферно-тропосферные взаимодействия также играют существенную роль в формировании режима TAXE (рис. 3, 4).

В работе для анализа блокирующих процессов был использован индекс GHGS (*geopotential height gradient south*) (формула 2). Впервые индекс был предложен в [34], затем модернизирован на основе работы [35] для сетки 2,5°. GHGS пропорционален зональной геострофической составляющей ветра и характеризует интенсивность зонального потока на выбранной долготе (λ) [35]. Долгота считается заблокированной, если значение $\text{GHGS} > 0 \text{ м}^\circ\text{ф}$.

Исследование взаимосвязи атмосферного блокирования и температуры воздуха проводилось на основании методики, предложенной в работах [36, 37]. Метод основан на предположении о смещении блокирующих антициклонов в зимний период к северу [37]. С учетом возможных сдвигов в положении блокирования были рассчитаны два варианта индекса GHGS с разностью между 40 и 60° с. ш. и между 50 и 70° с. ш., обозначенные соответственно южным (S) и северным (N) режимами блокирования. Расчет проводился по данным геопотенциала на уровне 500 гПа из реанализа ECMWF ERA5 [31] для долгот от 0 до 120° в. д. Северного полушария за период с 1979 по 2023 г.

$$\text{GHGS} = \frac{Z(\lambda, \varphi_0) - Z(\lambda, \varphi_s)}{\varphi_0 - \varphi_s}, \tag{2}$$

где GHGS — южный градиент геопотенциала; Z — высота изобарической поверхности 500 гПа на широте φ и долготе λ ; $\varphi_0 = 60^\circ$ (S), 70° (N) с. ш. $\pm \Delta$; $\varphi_s = 40^\circ$ (S), 50° (N), с. ш. $\pm \Delta$; $\Delta = -5, 0, -2, 5, 0, 2, 5, 5, 0$. В рамках заданной долготы расчет GHGS производится для всех возможных комбинаций широтных пар (φ_0, φ_s) и их смещений (Δ), указанных выше. Критерий блокирования считается выполненным, если условие $\text{GHGS} > 0$ соблюдается хотя бы для одной из этих комбинаций. В работе будет использован индекс мгновенного блокирования (ИМБ) (от англ. Instantaneous Blocking Frequency) — это метрика, которая

определяет вероятность обнаружения атмосферного блокирования в конкретный момент времени (по данным за определенный день) в заданной географической точке или области.

Результаты

Пространственно-временные закономерности изменения индекса TAXE и его корреляций с блокированием

Сравнение индексов TAXE, полученных разными методами, выявило их высокую согласованность (коэффициент корреляции временных рядов $TAXE_{ЭОФ}$ и $TAXE_T$ составляет 0,95, рис. 3). Анализ долгосрочной динамики указывает не на простой линейный тренд, а на качественное изменение режима циркуляции — переход индекса TAXE преимущественно в положительную фазу, устойчиво наблюдаемую с начала 2004 г. Данный результат, свидетельствующий о перестройке климатической системы, согласуется с выводами других исследователей [38].

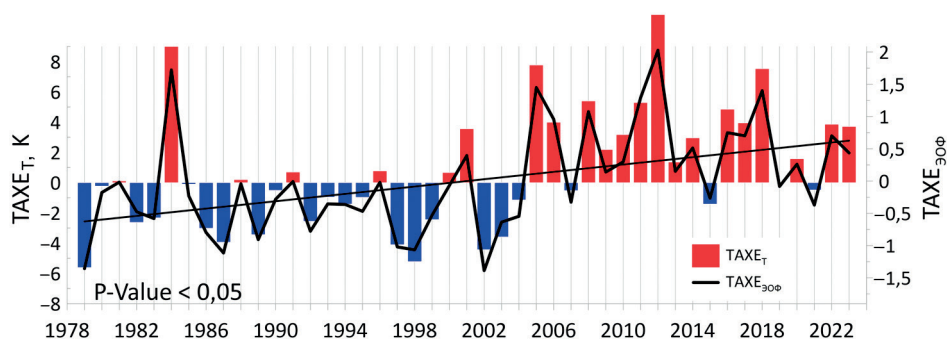


Рис. 3. Вариации индексов $TAXE_T$ (заливка) и $TAXE_{ЭОФ}$ (черная кривая), усредненных за период с декабря по февраль. Черная прямая — линейный тренд $TAXE_{ЭОФ}$. P-Value — уровень значимости
Fig. 3. Variations of the $WACE_T$ (fill) and $WACE_{EOF}$ (black line) indices averaged over the period from December to February. The black line is the linear trend of the $WACE_{EOF}$. P-Value is the significance level

В то время как средний за зимний период индекс TAXE демонстрирует устойчивый рост, отчетливо выраженный с 2004 г. (рис. 3), более детальный анализ за каждый месяц выявляет существенно более раннее начало изменений (рис. 4). Если в марте наблюдается выраженный спад повторяемости паттерна, то уже в октябре-декабре положительные фазы TAXE стали учащаться начиная с рубежа 1990–2000-х гг., то есть на несколько лет раньше, чем это фиксируется усредненным зимним показателем. Таким образом, противопоставление общей зимней тенденции и помесечной динамики позволяет сделать вывод о том, что перестройка режима циркуляции, связанная с феноменом теплая Арктика — холодная Евразия, начала зарождаться в осенние месяцы еще до того, как ее влияние стало доминирующим на протяжении всей зимы.

Таблица 1 показывает, что вариации двух соседних месяцев в осенне-зимний период коррелированы, в то время как изменчивость TAXE в марте оказывается не связанной с другими месяцами. Это указывает на то, что к марту цепочка атмосферных процессов, определявших режим TAXE на протяжении осенне-зимнего сезона, прерывается и формирование аномалий начинает подчиняться, вероятно, иным механизмам.

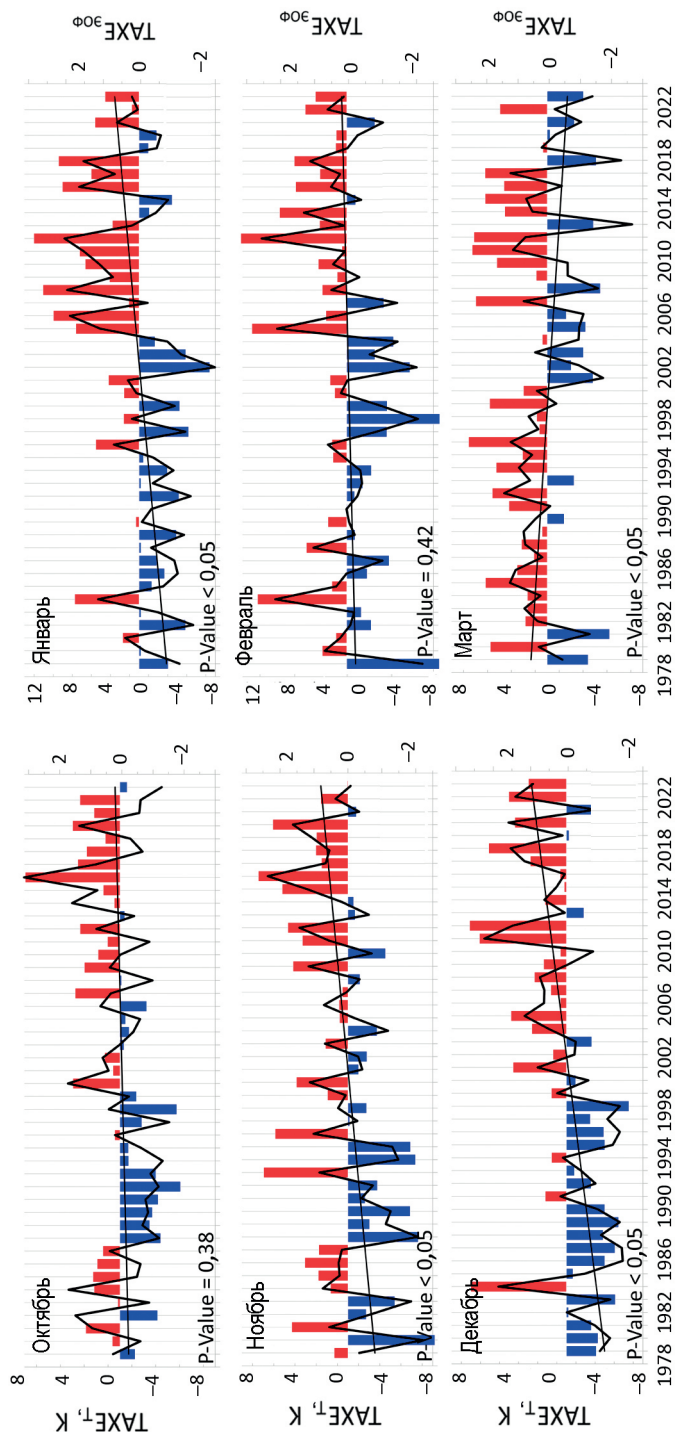


Рис. 4. Внутрисезонные вариации индексов $TAXE_{T_i}$ (заливка) и $TAXE_{FOF}$ (черная линия) в октябре, ноябре, декабре, январе, феврале и марте. Черная линия — линейный тренд $TAXE_{FOF}$. P-Value — уровень значимости

Fig. 4. Intraseasonal variations of the $WACE_{T_i}$ (fill) and $WACE_{FOF}$ (black line) indices in October, November, December, January, February and March. The black line is the linear trend of the $WACE_{FOF}$. P-Value is the significance level

Таблица 1

Внутрисезонные значения коэффициентов корреляции индекса $TAXE_{\text{ЭОФ}}$ со сдвигами от 1 до 5 месяцев внутри одного сезона

Table 1

Intraseasonal values of the correlation coefficients of the $WACE_{\text{ЭОФ}}$ index with shifts from 1 to 5 months during one season

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Октябрь	1	0,6	0,2	0,2	0,1	0
Ноябрь		1	0,4	0,4	0,1	0
Декабрь			1	0,5	0,4	-0,3
Январь				1	0,6	-0,1
Февраль					1	0
Март						1

Таблица 2 показывает коэффициенты корреляции между индексом $TAXE$ и индексами блокирования (ИМБ) двух типов — S (южный критерий блокирования) и N (северный критерий блокирования). Анализ проводится по месяцам холодного сезона (октябрь–март) и по разным долготным секторам (0–110° в. д., с шагом 10°, а также усредненный сектор 60–90° в. д.), цветом отмечены ячейки с максимальными значениями корреляции среди всех долготных секторов.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции временных рядов ИМБ и $TAXE_{\text{ЭОФ}}$ с 1979 по 2023 г.

Table 2

Correlation coefficients of IBF and $WACE_T$ and $WACE_{\text{ЭОФ}}$ time series from 1979 to 2023

Месяц	Тип	Долготный сектор, градусы											Среднее 50–90	
		0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100	100–110		110–120
Октябрь	S	0,2	0,3	0,2	-0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0	-0,1	0,1
	N	0,5	0,6	0,5	-0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6
Ноябрь	S	-0,1	0	0,1	-0,1	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1	0,4
	N	0,2	0,1	0,1	-0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
Декабрь	S	-0,1	0	0	-0,1	0,3	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5
	N	0,2	0,2	0,2	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
Январь	S	0	0,1	0,2	-0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6
	N	0,3	0,3	0,4	-0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7
Февраль	S	0,3	0,3	0,3	-0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6
	N	0,3	0,4	0,3	-0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5
Март	S	0,2	0,4	0,5	-0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,2	-0,2	-0,4	0,4
	N	0	0,2	0,2	-0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	-0,1	-0,1	0,3

Примечание. Красным цветом отмечены ячейки с максимальными значениями корреляции среди всех долготных секторов, синим — минимальные.

Note. Red cells highlight the maximum correlation values across all longitudinal sectors; blue cells highlight the minimum values.

Вопреки распространенному в литературе представлению об Уральском блокинге ($60\text{--}70^\circ$ в. д.), наш анализ корреляций для различных долготных секторов в октябре–январе выявляет более тесную связь паттерна TAXE с блокирующим антициклоном, очаг которого смещен в район Западной Сибири ($70\text{--}90^\circ$ в. д.). Это различие принципиально, так как оно прямо указывает на механизм влияния: безледное состояние Карского моря ($\sim 70\text{--}100^\circ$ в. д.) может выступать фактором стационарирования антициклона именно над этим регионом [38]. В феврале-марте область высоких корреляций смещается в район Урала.

В осенний период (октябрь–ноябрь) мы видим, что режим TAXE имеет высокую степень связи с блокированием режима N, корреляции с режимом S отсутствуют. Это позволяет предположить в начале осенне-зимнего периода разные по конфигурации блокирующие ситуации (дипольный — Рекс и монополярный — Омега) либо же смещение блокинга к северу. В декабре-январе связь TAXE и ИМБ остается очень сильной для критерия N (средние значения 0,6). Критерий S также демонстрирует растущую корреляцию с индексом TAXE, достигая максимума в январе (0,6). Это указывает на то, что в разгар зимы формирование TAXE связано с обоими типами блокирующих процессов. Наблюдаемый паттерн позволяет предположить, что в середине холодного сезона пространственные характеристики и воздействие северного и южного режимов блокирования на меридиональный перенос становятся менее контрастными по сравнению с осенним периодом.

Наблюдаемое в начале осенне-зимнего сезона усиление корреляции TAXE с северным режимом блокирования имеет принципиальное значение. Данная связь объясняется ролью опрокидывания волн Россби (ОВР) как основного механизма формирования блокингов [39]. Если летом обрушение волн Россби в высоких широтах может не иметь столь значительных последствий, то в условиях уменьшающейся инсоляции этот же процесс способен запускать аномальные сценарии развития циркуляции. Критичность начала осенне-зимнего сезона заключается в переходном состоянии атмосферной системы, в этот период возможность опрокидывания планетарных волн, характерная для летнего режима, еще сохраняется, однако уже начинает формироваться и нарастать интенсивная осенняя полярная циркуляция. Это создает «окно уязвимости», когда взаимодействие тропосферы и стратосферы способствует проникновению стратосферного воздуха в тропосферу, которое может изменять сезонность зимней циркуляции. Наблюдаемое изменение сезонности и интенсивности формирования снежного покрова [40] может являться следствием нарушения традиционного сезонного цикла атмосферной циркуляции. Полученные нами результаты позволяют предположить, что основным механизмом этого нарушения является сокращение переходного осеннего периода, когда летний режим циркуляции практически сразу сменяется зимним. Такой «фазовый скачок» становится возможным вследствие интенсификации планетарных волн Россби в начале осенне-зимнего сезона, которые, опрокидываясь в высоких широтах, могут возмущать стратосферный вихрь и способствовать формированию меридионального типа циркуляции в тропосфере. Таким образом, аномально раннее и интенсивное установление зимнего режима циркуляции, регистрируемое через усиление TAXE-паттерна с октября, создает условия для преждевременного и устойчивого формирования снежного покрова, замыкая положительную обратную связь в климатической системе.

Изменение пространственного отклика приземной температуры воздуха на вариации блокирования в октябре

В работе [37] нами было показано, что начиная с 2000-х гг. в ноябре, декабре, феврале наблюдается устойчивый перекося в сторону северного режима блокирования (рис. 2 [37]), в том числе это лучше всего видно для начала зимы — ноября и декабря. Для данного режима характерно смещение блокирующих антициклонов в высокоширотные области, что сопровождается формированием устойчивого отрицательного сигнала в поле приземной температуры над обширными территориями Евразийского континента. В данном разделе мы ставим задачу исследовать, наблюдается ли аналогичная перестройка режимов в более ранний, октябрьский период — самый начальный этап осенне-зимнего сезона. Т. е. задача состояла в оценке изменений интенсивности и вклада северного и южного режимов блокирования в формирование циркуляционных и температурных аномалий в октябре на протяжении последних десятилетий.

Анализируя пространственное распределение коэффициентов корреляции для октября между ИМБ над Уралом (60–70° в. д.) и Западной Сибирью (70–90° в. д.) с вариациями приземной температуры (рис. 5) за периоды до и после арктического усиления, можно заметить, что в первый период прослеживается слабая структура ТАХЕ (рис. 5а, б, д, е), причем она имеет более выраженную структуру для S-критерия (рис. 5д). После 2000 г. наблюдается значительное усиление корреляций с обширным снижением температуры над большей частью Евразии и повышением над северными морями, но только для N-критерия (рис. 5з, з). Полученный результат может являться следствием того, что до арктического усиления блокирующие антициклоны формировались южнее, в средних широтах. Их влияние на температуру было

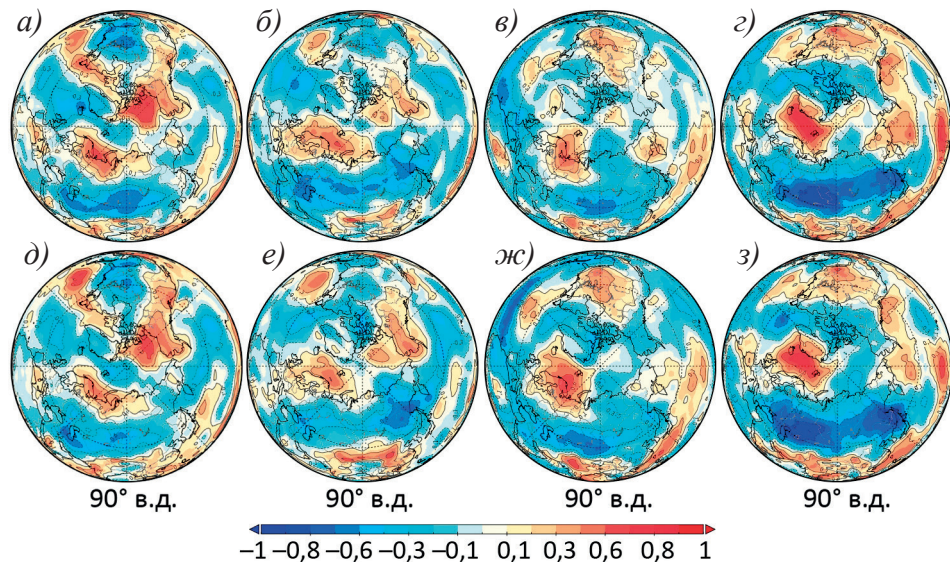


Рис. 5. Распределение коэффициентов корреляции между ИМБ (S — южный режим (а, в, д, ж), N — северный режим (б, в, е, з)) над Западной Сибирью (а–в) / Уралом (д–ж) и приземной температурой воздуха в октябре с 1979 по 1999 г. (а, б, д, е) и с 2000 по 2023 г. (в, в, ж, з)

Fig. 5. Distribution of correlation coefficients between the IBF (S — southern mode (a, в, д, ж), N — northern mode (б, в, е, з)) over the dynamics of West Siberia (а–в) / Urals (д–ж) and surface air temperature in October from 1979 to 1999 (a, б, д, е) and from 2000 to 2023 (в, в, ж, з)

менее устойчивым, паттерн TAXE проявлялся слабо. После начала 2000-х произошла «привязка» механизма TAXE к северному блокингу. Это означает, что очаг блокирующего антициклона теперь чаще формируется или смещается непосредственно над акваторией Карского моря и прилегающими арктическими районами. Такой сдвиг создает условия для реализации сценария TAXE, N-блокинг способствует адвекции теплых воздушных масс с океана в Арктику и препятствует выносу холода оттуда. Более того, он усиливает прямой нагрев от поверхности, которая теперь значительно дольше свободна ото льда. Этот же антициклон «запирает» западный перенос, вынуждая холодные арктические или континентальные воздушные массы скапливаться и стационаривать над территорией Евразии к югу от него. Смена доминирующего механизма блокирования после 2000 г. с S-режима на N — это, вероятно, не случайность, а климатический тренд. Это свидетельство того, что арктическое усиление перешло от простого повышения температуры к активному изменению крупномасштабных атмосферных процессов, делая режим TAXE более устойчивым и доминирующим фактором в формировании погоды Евразии в осенне-зимний период.

Пространственная конфигурация блокирования для периодов аномального развития TAXE

В качестве итога показана пространственная конфигурация часто упоминаемого в литературе [15–17] Уральского блокинга. Кроме того, демонстрируется, как выглядел этот блокинг в свои самые мощные моменты — в те октябрь и ноябрь,

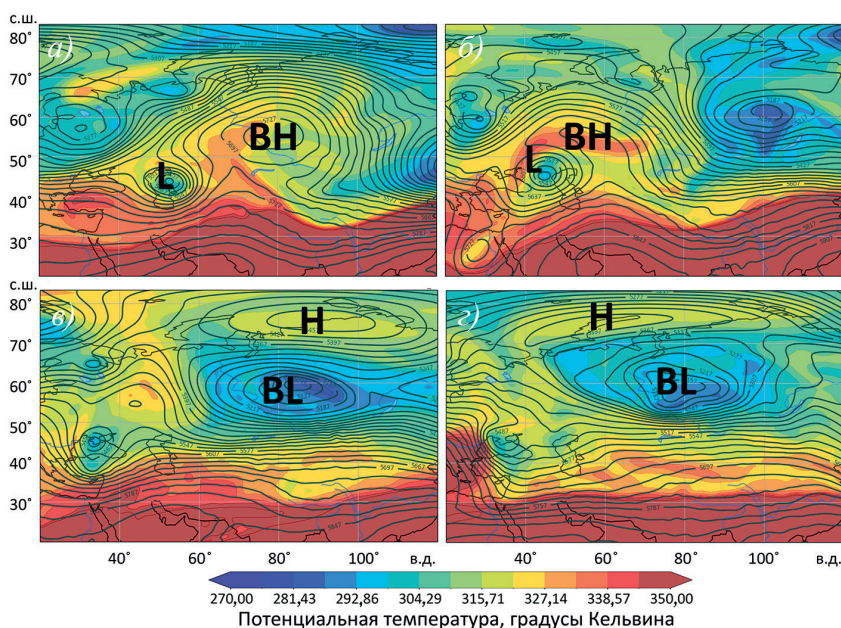


Рис. 6. Схемы блокирования, соответствующие монополюсному Омега-блокингу (а, б) и дипольному Рекс-блокингу (в, г). Изолинии — высота геопотенциала на 500 гПа, заливка — потенциальная температура на динамической тропопаузе (синий — холодные воздушные массы, красный — теплые). Н — антициклон, Л — циклон, В — блокинг

Fig. 6. Blocking schemes for monopole omega blocking (a, b) and dipole Rex blocking (v, z). The isolines are the height of the geopotential at 500 hPa, the fill is the potential temperature at the dynamic tropopause (blue — cold air masses, red — warm). H — anticyclone, L — cyclone, B — blocking

когда режим TAXE проявлялся наиболее ярко. Эта демонстрация наглядно показывает механизм, связывающий устойчивый антициклон над северными морями с экстремальными похолоданиями на континенте.

На рис. 6 представлены две принципиально различные схемы блокирования: монополюсное Омега-блокирование с антициклоном (рис. 6а, б) и дипольное Рекс-блокирование с блокирующим (отсеченным) циклоном (рис. 6в, г). Основное различие между ними заключается в том, что конфигурации с блокирующим циклоном не идентифицируются по S-критерию ($40\text{--}60^\circ$ с. ш.), но уверенно обнаруживаются по N-критерию ($50\text{--}70^\circ$ с. ш., см. формулу 2). Чем больше таких структур наблюдается в конкретный период, тем выше корреляция температурного поля с N-режимом. Полученные результаты свидетельствуют о системном изменении структуры блокирующих процессов в начале XXI в., а именно: увеличение доли дипольных конфигураций с блокирующими циклонами отражает переход к новой климатической реальности, где доминирующей становится высокоширотная форма блокингов.

Выводы

Проведенное исследование пространственно-временных особенностей влияния арктического потепления на циркуляционные и температурные аномалии в Евразии позволило сформулировать ряд выводов:

1. Анализ эволюции индекса TAXE (теплая Арктика — холодная Евразия), рассчитанного двумя независимыми методами — как разность аномалий температуры между регионами Баренцева и Карского морей и Центральной Евразии (TAXE_T) и на основе анализа второй ведущей компоненты эмпирических ортогональных функций ($\text{TAXE}_{\text{оф}}$), — выявил их высокую согласованность (коэффициент корреляции 0,95) и подтвердил надежность используемых подходов.

2. За период с 1979 по 2023 г. для зимнего сезона (декабрь–февраль) обнаружен статистически значимый рост индекса TAXE со скоростью $1,4^\circ\text{C}/10$ лет, причем с 2004 г. наблюдается устойчивый переход его значений в положительную область, что согласуется с фазой арктического усиления.

3. Сезонный анализ выявил существенную неоднородность этой тенденции. В то время как в осенние месяцы (октябрь–ноябрь), так же как и в зимние месяцы, наблюдается учащение случаев реализации положительной фазы TAXE, хотя и с менее выраженным трендом на фоне сильной межгодовой изменчивости, для марта характерна противоположная тенденция к уменьшению частоты положительной фазы TAXE. Это указывает на масштабную перестройку сезонных режимов атмосферной циркуляции в Арктике и Евразии.

4. Обнаружена положительная связь между значениями индекса TAXE в соседние месяцы осенне-зимнего сезона (октябрь–февраль), в то время как март оказывается статистически изолированным от других месяцев, что подчеркивает его уникальность в сезонном цикле и, вероятно, связь с иными, возможно стратосферными, процессами, активными в это время.

5. Центральным результатом работы является количественная оценка роли атмосферного блокирования как ключевого механизма, связывающего арктическое потепление с евразийскими холодами. Корреляционный анализ между индексом TAXE и ИМБ, рассчитанными для южного (S) и северного (N) типов блокирования в различных долготных секторах, позволил выявить четкую пространственно-временную структуру этой связи. Вопреки устоявшемуся представлению об Ураль-

ском блокинге (60–70° в. д.) как о главном агенте TAXE, установлено, что в начале холодного сезона (октябрь–январь) максимум корреляции наблюдается в секторе 70–90° в. д., т. е. смещен в район Западной Сибири. Лишь в феврале-марте область наиболее тесной связи смещается к Уралу. Кроме того, выявлена зависимость от типа блокирования: в раннеосенний период (октябрь–ноябрь) режим TAXE демонстрирует сильную связь с N-режимом блокирования, в то время как корреляции с S отсутствуют или слабы. Это указывает на то, что в начале сезона формируется принципиально иная, смещенная к высоким широтам конфигурация блокирующего антициклона, которая эффективно обеспечивает адвекцию тепла в Арктику и вынос холода на континент. В середине зимы (декабрь–январь) связь TAXE с блокированием остается сильной и для критерия N, и для критерия S, что свидетельствует о вовлеченности обоих типов блокирующих процессов в поддержание дипольной аномалии. К марту связь ослабевает, особенно для северного режима.

6. Выявлена смена доминирующего типа блокирования, связанного с TAXE, после рубежа 2000-х гг. Сравнительный анализ пространственных корреляций между ИМБ и приземной температурой в октябре за периоды 1979–1999 гг. и 2000–2023 гг. показал кардинальные различия. В первый период связь между индексами блокирования и приземной температурой была слабой и в равной степени проявлялась для обоих критериев блокирования. После 2000 г. картина резко изменилась: для N-критерия сформировался четкий и устойчивый паттерн TAXE с сильным потеплением в Арктике и похолоданием над Евразией, в то время как для S такая связь практически исчезла. Это свидетельствует о фундаментальной перестройке атмосферной циркуляции, заключающейся в «привязке» механизма TAXE к высокоширотному блокированию. Такой сдвиг создает условия для реализации данного сценария: антициклон, располагаясь над акваторией Карского моря, способствует дополнительному нагреву от безледной поверхности океана и одновременно «запирает» западный перенос, способствуя стационарированию холодных воздушных масс над Евразией. Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что феномен арктического усиления не ограничивается простым ростом температур в высоких широтах, а ведет к качественной перестройке крупномасштабных атмосферных процессов над Евразией. Наблюдаемое усиление и более раннее (с октября) проявление режима TAXE, его тесная связь со смещенным к северу типом блокирования после 2000 г., а также противоположные тренды в марте указывают на сокращение переходного осеннего периода и «скачок» в сезонной эволюции циркуляции.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10008-П). Хранение данных осуществлялось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (субсидия № 075-ГЗ/С3569/278).

Вклад авторов. Концептуализация, методология и администрирование проекта — ОЗ и ОА; программное обеспечение, анализ и визуализация данных — ЕЮ, ОА и ОЗ; написание, рецензирование и редактирование — ОА и ОЗ. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность ЕЦСПП за доступ к данным ERA5.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Financing. This research was funded by the Russian Science Foundation, Project no. 22-77-10008-П. The data storage were financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Subsidy No.075-GZ/C3569/278).

Authors contribution. Conceptualization, methodology and project administration, OZ and OA; software, data analysis and visualization, EYu, OZ and OA; writing—review and editing, OA and OZ. All the authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgments. The authors would like to thank ECMWF for access to ERA5 data.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Mokhov I.I., Semenov V.A. Weather and climate anomalies in Russian regions related to global climate change. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2016;41:84–92. <https://doi.org/10.3103/S1068373916020023>
2. Semenov V.A. Modern Arctic climate research: progress, change of concepts, and urgent problems. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2021;57(1):21–33. <https://doi.org/10.1134/S0001433821010114>
3. *IPCC Special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Pörtner H.O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegria A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2019. 755 p.
4. Лис Н.А., Чернявская Е.А., Лебедев Н.В., Тимохов Л.А. Пространственно-временная изменчивость теплоемкости в Северо-Европейском бассейне по данным реанализа ORAS5. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2025;71(3):256–276. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-3-256-276>
Lis N.A., Cherniavskaia E.A., Lebedev N.V., Timokhov L.A. Space-time variability of heat content in the North European Basin based on ORAS5 reanalysis. *Arctic and Antarctic Research*. 2025;71(3):256–276. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-3-256-276>
5. Arrhenius S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*. 1896; 41(251):237–276.
6. Budyko M.I. The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. *Tellus*. 1969;21(5):611–619.
7. Sellers W. D. A Global climatic model based on the energy balance of the Earth-atmosphere system. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1969;8(3):392–400.
8. Manabe S., Wetherald R.T. The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1975;32(1):3–15.
9. Screen J.A., Simmonds I. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature*. 2010;464(7293):1334–1337. <https://doi:10.1038/nature09051>
10. Park H.-S., Lee S., Son S.-W., Feldstein S. B., Kosaka Y. The impact of poleward moisture and sensible heat flux on Arctic winter sea ice variability. *Journal of Climate*. 2015;28(13):5030–5040. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0074.1>
11. Francis J.A., Hunter E., Key J.R. Clues to variability in Arctic minimum sea ice extent. *Geophysical Research Letters*. 2005;32(21):L21501. <https://doi:10.1029/2005GL024376>
12. Newson R.L. Response of a general circulation model of the atmosphere to removal of the Arctic ice-cap. *Nature*. 1973;241(5385):39–40. <https://doi:10.1038/241039b0>
13. Murray R.J., Simmonds I. Responses of climate and cyclones to reductions in Arctic winter sea ice. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1995;100(D3):4791–4806. <https://doi:10.1029/94JC02206>
14. Hwang Y.T., Frierson D.M.W. Increasing atmospheric poleward energy transport with global warming. *Geophysical Research Letters*. 2010;37:L24807. <https://doi:10.1029/2010GL045440>

15. Luo D. Impact of Ural blocking on winter warm Arctic–cold Eurasian anomalies. Part I: Blocking-induced amplification. *Journal of Climate*. 2016;29(11):3925–3947. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0611.1>
16. Tyrlis E., Manzini E., Bader J., Ukita J., Nakamura H., Matei D. Ural blocking driving extreme Arctic sea ice loss, cold Eurasia, and stratospheric vortex weakening in autumn and early winter 2016–2017. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2019;124(21):11313–11329. <https://doi.org/10.1029/2019JD031085>
17. Peings Y. Ural blocking as a driver of early-winter stratospheric warmings. *Geophysical Research Letters*. 2019;46(10):5460–5468. <https://doi.org/10.1029/2019GL082097>
18. Honda M., Inoue J., Yamane S. Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophysical Research Letters*. 2009;36(8):L08707. <https://doi.org/10.1029/2008GL037079>
19. Petoukhov V., Semenov V.A. A link between reduced Barents–Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents. *Journal of Geophysical Research*. 2010;115(D21):D21111. <https://doi.org/10.1029/2009JD013568>
20. Mori M., Watanabe M., Shiogama H., Inoue J., Kimoto M. Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. *Nature Geoscience*. 2014;7(12):869–873. <https://doi.org/10.1038/ngeo2277>
21. Nakanowatari T., Sato K., Inoue J. Predictability of the Barents Sea ice in early winter: Remote effects of oceanic and atmospheric thermal conditions from the North Atlantic. *Journal of Climate*. 2014;27(23):8884–8901. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00125>
22. Zhang X., Lu C., Guan Z. Weakened cyclones, intensified anticyclones and recent extreme cold winter weather events in Eurasia. *Environ. Res. Lett.* 2012;7:1–7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044044>
23. Tang Q., Zhang X., Yang X., Francis J. A. Cold winter extremes in northern continents linked to Arctic sea ice loss. *Environ. Res. Lett.* 2013;8:1–6. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014036>
24. Wegmann M., Orsolini Y., Dutra E., Vázquez M., Gimeno L., Nieto R., Bulygina O., Sterin A., Jaiser R., Handorf D., Rinke A., Dethloff K., Sterin A., Brönnimann S. Arctic moisture source for Eurasian snow cover variations in autumn. *Environ. Res. Lett.* 2015;10(5):1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054015>
25. Song L., Wu R. Processes for occurrence of strong cold events over Eastern China. *Journal of Climate*. 2017;30(22):9247–9266. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0857.1>
26. Inoue J., Hori M. E., Takaya K. The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track and emergence of a Warm-Arctic Cold-Siberian Anomaly. *Journal of Climate*. 2012;25(7):2561–2568. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00449.1>
27. Cohen J., Screen J. A., Furtado J. C., Barlow M., Whittleston D., Coumou D., Jennifer Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J., Jones J. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*. 2014;7(9):627–637. <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>
28. Screen J.A., Blackport R. Is sea-ice-driven Eurasian cooling too weak in models? *Nature Climate Change*. 2019;9(12):934–936. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0635-1>
29. Blackport R., Screen J.A. Weakened evidence for mid-latitude impacts of Arctic warming. *Nature Climate Change*. 2020;10(12):1065–1066. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00954-y>
30. Cohen J., Zhang X., Francis J., Jung T., Kwok R., Overland J., Ballinger T.J., Bhatt U.S., Chen H.W., Coumou D., Feldstein S., Gu H., Handorf D., Henderson G., Ionita M., Kretschmer M., Laliberte F., Lee S., Linderholm H.W., Maslowski W., Peings Y., Pfeiffer K., Rigor I., Semmler T., Stroeve J., Taylor P.C., Vavrus S., Vihma T., Wang S., Wendisch M., Wu Y., Yoon J. Divergent consensus on Arctic amplification influence on midlatitude severe winter weather. *Nature Climate Change*. 2020;10(1):20–29. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0662-y>

31. Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. The ERA5 Global Reanalysis. *Q. J. R. Meteorological Society*. 2020;146(730):1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
32. Gong H., Wang L., Scream J., Chen W., Cohen J., Wu R. Teleconnection from Arctic warming suppresses long-term warming in central Eurasia. *Sci. Adv.* 2025;11(12):1–9. <https://doi:10.1126/sciadv.adq9461>
33. Thompson D.W., Wallace J.M. The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.* 1998;25(9):1297–1300. <https://doi.org/10.1029/98GL00950>
34. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking. *Tellus*. 1990;42(3):343–365. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0870.1990.t01-2-00003.x>
35. Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R., Hernandez E. A climatology of Northern hemisphere blocking. *Journal of Climate*. 2006;19(6):1042–1063. <https://doi.org/10.1175/JCLI3678.1>
36. Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Devyatova E.V., Martynova Yu.V. Atmospheric blockings in western Siberia. Part 2. Long-term variations in blocking frequency and their relation with climatic variability over Asia. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2018;43(3):143–151. <https://doi.org/10.3103/S1068373918030020>
37. Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Zorkal'tseva O.S., Martynova Yu.V., Gochakov A., Mordvinov V.I. The autumn–winter response of air temperature to the blocking frequency in the Atlantic–Eurasian sector. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2023;48:919–930. <https://doi.org/10.3103/S1068373923110018>
38. Semenov V.A., Latif M. Nonlinear winter atmospheric circulation response to Arctic sea ice concentration anomalies for different periods during 1966–2012. *Environ. Res. Lett.* 2015;10(5):054020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054020>
39. Gochakov A.V., Antokhina O.Yu., Krupchatnikov V.N., Martynova Yu.V. Long-term variability of Rossby wave breaking in the subtropical jet stream area. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2022;47(2):79–88. <https://doi:10.3103/S1068373922020017>
40. Martynova Yu.V., Krupchatnikov V.N., Gochakova A.V., Antokhina O.Yu. Relationship between anomalies of the rate of snow cover formation in western Siberia and atmospheric dynamics in the Northern Hemisphere in the autumn–winter season. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2022;58(1):95–109. <https://doi:10.31857/S0002351522010072>