

УДК 551.583

ЗИМНИЕ АТМОСФЕРНЫЕ БЛОКИРОВАНИЯ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПОСЛЕДНИХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ (1980–2018 гг.)

© 2023 г. Академик РАН И. И. Мохов^{1,*}

Поступило 03.10.2022 г.

После доработки 05.10.2022 г.

Принято к публикации 07.10.2022 г.

Проведен анализ зимних атмосферных блокирований в Северном полушарии (СП) при климатических изменениях в 1980–2018 гг. Результаты анализа свидетельствуют о значимом увеличении общей продолжительности зимних атмосферных блокирований τ в СП в последние десятилетия. Отмеченная тенденция выявлена на фоне быстрого увеличения приповерхностной температуры СП T в зимние сезоны. Оценен параметр чувствительности продолжительности зимних атмосферных блокирований к изменению приповерхностной температуры СП в зимние сезоны для периода 1980–2018 гг. Полученная статистически значимая оценка означает увеличение τ более чем в полтора раза при увеличении среднезимней приповерхностной температуры СП на 1К. Более значимая связь с T получена для значений τ выше среднего значения τ_c для периода 1980–2018 гг., тогда как при $\tau < \tau_c$ связь получена статистически незначимой. Отмеченные особенности связаны с различиями в разных фазах ключевых мод климатической изменчивости. В частности, среднее значение приповерхностной температуры СП зимой в положительной фазе Атлантической мультидесятилетней осцилляции (АМО) в пределах анализируемого периода 1980–2018 гг. значительно превышало соответствующее среднее значение T в отрицательной фазе АМО. При этом получено, что среднее значение продолжительности зимних атмосферных блокирований в СП положительной фазе АМО в полтора раза больше, чем в отрицательной фазе АМО. Для зимних сезонов получены также оценки связи τ с интенсивностью Арктического антициклонического ЦДА, зависящие от фазы АМО.

Ключевые слова: зимние атмосферные блокирования, изменения климата, моды климатической изменчивости, Атлантическая мультидесятилетняя осцилляция, Арктический центр действия атмосферы

DOI: 10.31857/S268673972260206X, EDN: PCLVTF

ВВЕДЕНИЕ

На фоне глобального потепления в последние десятилетия наиболее быстрые изменения климата и сильная климатическая изменчивость отмечаются в высоких широтах (Арктическое усиление) [1, 2]. При этом проявляется значимый рост погодно-климатических аномалий, в частности в российских регионах (<http://www.meteorf.ru>). Число опасных явлений в России с 1998 по 2019 г. увеличивалось в среднем более, чем на два десятка событий в год [3]. Наряду с летними волнами тепла отмечаются зимние волны холода. Их проявлению способствует усиление извилисто-

сти струйных течений в атмосфере при потеплении с увеличением вероятности вторжений в средние широты холодного северного воздуха или теплого из южных широт и формирование продолжительных атмосферных блокирований (блокингов) с соответствующими внутрисезонными температурными аномалиями.

Следует отметить, что при общем потеплении зональная циркуляция в тропосфере в средних широтах может усиливаться в связи с выхолаживанием стратосферы и мезосферы, способствующим усилению струйных течений. В последние десятилетия, в частности в Северном полушарии (СП), проявляются тенденции изменения интенсивности субтропического струйного течения, в том числе некоторого усиления летом и более сильного ослабления зимой. При этом летом межгодовая изменчивость интенсивности струйного течения значительно меньше, чем зимой. Особенности связи с изменениями атмосферного струйного течения сезонной активности блоки-

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: mokhov@ifaran.ru

рований отмечены в [4]. Согласно оценкам [5], около 80% летних волн тепла и около 60% зимних волн холода в Северном полушарии (СП) связаны с атмосферными блокировками.

Одна из климатических проблем последних лет связана с исследованиями процессов формирования холодных зимних режимов над континентальными регионами в СП (в частности, в Евразии), на фоне глобального потепления. На их формирование влияют разные процессы, определяющие региональную климатическую изменчивость на фоне более долгопериодных изменений. В том числе многочисленные исследования посвящены анализу связи зимних температурных аномалий в средних широтах с наиболее сильным потеплением в арктических широтах и отрицательными аномалиями протяженности морских льдов в арктическом бассейне [1, 2] (см. также [6–8]).

Проявление в последние десятилетия холодных зим в среднеширотных регионах при потеплении связано с ранее полученными эмпирическими и модельными оценками изменений условий формирования атмосферных блокировок (блокингов) [9–11]. Согласно оценкам, полученным в [10] по многолетним данным, при приповерхностном потеплении СП увеличивается характерное время жизни атмосферных блокировок в средних широтах, следствием которых являются, в частности, летние засухи и экстремальные морозы. Отмеченной эмпирической тенденции в [9, 10] дано качественное объяснение с использованием простого модельного подхода (см. также [12]) с оценкой параметра чувствительности характерной продолжительности блокингов τ к изменению температуры T в виде

$$\frac{1}{\tau} \frac{d\tau}{dT} \sim \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} - \frac{1}{U} \frac{dU}{dT}.$$

Здесь U – характерная скорость ветра, L – характерный размер блокирующего антициклона. При простейшей оценке размера блокингов L масштабом Обухова для баротропной атмосферы $L_0 \sim T^{1/2}$ их протяженность должна расти при потеплении ($dL/dT = dL_0/dT > 0$). При потеплении с уменьшением межширотного температурного градиента и ослаблением зональной циркуляции (геострофической скорости ветра) в тропосфере средних широт следует ожидать увеличения продолжительности блокингов [9, 10]. В [11] на основе численных расчетов с использованием климатической модели общей циркуляции получено, что при потеплении в связи с увеличением содержания CO_2 в атмосфере увеличиваются количество и общая продолжительность атмосферных блокировок в СП, наиболее сильное в зимние и весенние месяцы над континентами и для евроатлантического сектора. Это соответствует увели-

чению риска зимних морозов над континентальными регионами, как проявления климатической изменчивости, на фоне общего потепления.

Согласно модельным оценкам, глобальное потепление в 21 веке при разных сценариях антропогенных воздействий сопровождается понижением приповерхностного давления в арктических регионах, более значимым (особенно зимой) при более сильных антропогенных воздействиях [13]. Следует ожидать, что подобное понижение приповерхностного давления с соответствующим ослаблением Арктического антициклонического центра действия атмосферы (ЦДА) на фоне глобального потепления будет способствовать не только усилению потепления в арктических широтах, но и изменению условий формирования и устойчивости режимов атмосферных блокировок в средних широтах.

В [14] проведен анализ устойчивости стационарных режимов, необходимых для проявления атмосферных блокировок, в рамках исследования динамики сингулярных вихрей на вращающейся сфере (см. также [15, 16]). В том числе получены аналитические условия устойчивости подобных стационарных режимов в зависимости от интенсивности полярного вихря. В связи с этим следует ожидать зависимость от интенсивности Арктического антициклонического ЦДА продолжительности атмосферных блокировок в СП.

На фоне региональных особенностей блокинговой активности из-за долгопериодных изменений климата отмечаются также региональные особенности, связанные с ключевыми модами естественной межгодовой и междесятилетней климатической изменчивости, такими как явления Эль-Ниньо/Южное колебание, Северо-Атлантическое колебание, Арктическое колебание, Атлантическая мультдесятилетняя осцилляция, Тихоокеанская десятилетняя осцилляция и др. [17–20]. Влияние мод естественной климатической изменчивости проявляется также в режимах ЦДА, в том числе Арктического антициклонического ЦДА [21] (см. также [22]).

В данной работе представлены результаты анализа связи повторяемости зимних атмосферных блокировок в Северном полушарии при климатических изменениях последних десятилетий, в том числе в Арктике.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

При анализе использовались данные GCCG (<http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>) для характеристик атмосферных блокингов для периода 1980–2018 гг. [18].

Для количественной оценки температурного режима Северного полушария использовались данные CRU для аномалий (относительно перио-

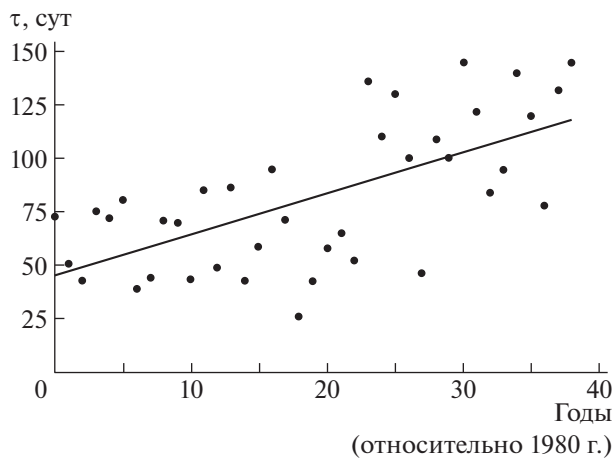


Рис. 1. Общая продолжительность зимних атмосферных блокирований τ [сут] в СП в зависимости от времени t (годы относительно 1980 г.) для периода 1980–2018 гг. Прямая линия соответствует линейной регрессии.

да 1961–1990 гг.) приповерхностной температуры для периода 1980–2018 гг. (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/HadCRUT5.0Analysis_nh.txt).

Для оценки роли различных мод естественной климатической изменчивости использовались индексы, характеризующие Атлантическую мультисекундарную осцилляцию (Atlantic Multidecadal Oscillation – AMO), Тихоокеанскую десятилетнюю осцилляцию (Pacific Decadal Oscillation – PDO), Северо-Атлантическую осцилляцию (North Atlantic Oscillation – NAO), Арктическую осцилляцию (Arctic Oscillation – AO) и явления Эль-Ниньо/Южное колебание (El-Nino/Southern Oscillation – ENSO) (<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/>).

При анализе использовались также спутниковые данные NSIDC (<http://nsidc.org>) для протяженности (площади) арктических морских льдов с 1979 г.

Для Арктического антициклонического ЦДА для периода 1980–2018 гг. использовались характеристики, полученные по данным реанализа ERA5 (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>) (см. [23], а также [21]).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлены межгодовые изменения общей продолжительности зимних атмосферных блокирований τ в СП для периода 1980–2018 гг. по данным GCCG (<http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>) [18]. Согласно рис. 1, значения τ существенно увеличились в последние десятилетия – до начала 21 века они не превышали 90–100 сут, в отличие от зим в последние годы.

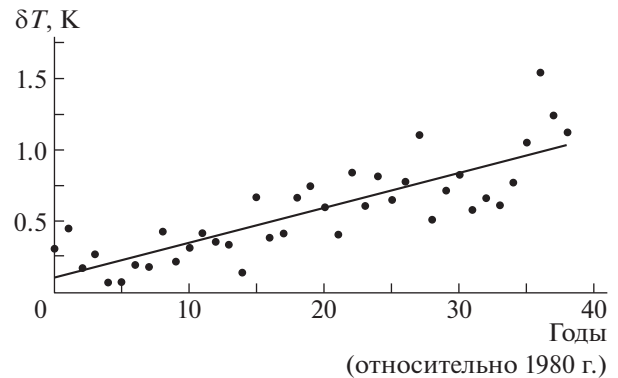


Рис. 2. Аномалии (относительно базового периода 1961–1990 гг.) зимней приповерхностной температуры СП T [K] в СП в зависимости от времени t (годы относительно 1980 г.) для периода 1980–2018 гг. Прямая линия соответствует линейной регрессии.

По данным для периода 1980–2018 гг. оценен значимый положительный тренд общей продолжительности зимних атмосферных блокирований $d\tau/dt = 19 (\pm 0.4)$ сут/10 лет при коэффициенте корреляции $r = 0.64$, что соответствует увеличению τ на 23% за 10 лет. В скобках отмечено среднеквадратическое отклонение (СКО).

Значимый рост общей продолжительности атмосферных блокирований τ в СП зимой отмечается на фоне быстрого потепления в последние десятилетия. По данным CRU (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/HadCRUT5.0Analysis_nh.txt) среднезимняя приповерхностная температура СП T увеличивалась в 1980–2018 гг. со скоростью $dT/dt = 0.24 (\pm 0.03)$ K/10 лет (рис. 2). Этим линейным трендом объясняется 2/3 межгодовой дисперсии T (коэффициент корреляции $r = 0.82$). В полтора раза медленнее увеличивалась в 1980–2018 гг. температура поверхности океанов СП – со скоростью $0.16 (\pm 0.02)$ K/10 лет (с коэффициентом корреляции $r = 0.86$).

Потепление последних десятилетий сопровождается быстрым уменьшением общей протяженности (площади) морских льдов в Арктике S – этому способствует Арктическое усиление с более сильными температурными изменениями в высоких широтах. Согласно результатам анализа данных NSIDC для периода 1980–2018 гг. величина S уменьшается зимой со скоростью $dS/dt = -0.47 (\pm 0.03)$ млн км²/10 лет. Линейным трендом объясняется почти 90% межгодовой дисперсии зимних вариаций S . При этом по данным для периода 1980–2018 гг. отмечена высокая корреляция ($r = 0.80$) изменений зимних значений S и T с оценкой на основе соответствующей линейной регрессии параметра чувствительности S к изменению T : $dS/dT = -1.3 (\pm 0.2)$ млн км²/K.

На основе линейной регрессии

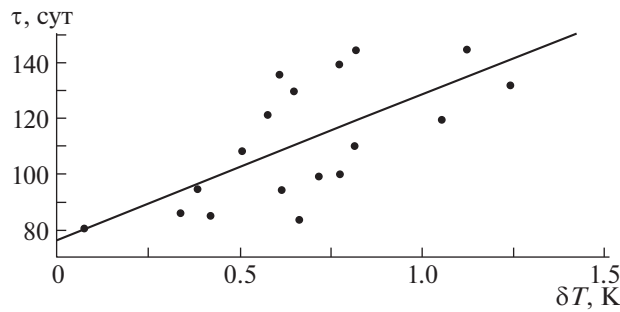


Рис. 3. Общая продолжительность атмосферных блокирований τ [сут] в СП более 80 сут/сезон в зависимости от аномалий (относительно базового периода 1961–1990 гг.) приповерхностной температуры СП δT [K] для зимних сезонов в 1980–2018 гг. Прямая линия соответствует линейной регрессии.

$$\tau = a_0 + a_1 T$$

по среднезимним данным для периода 1980–2018 гг. оценен коэффициент a_1 , характеризующий параметр чувствительности τ к изменению T : $d\tau/dT = 42 (\pm 15)$ сут/К. Отмеченная связь характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0.42$. При средней величине $\tau_c = 81$ сут полученная оценка чувствительности означает, что при увеличении среднезимней приповерхностной температуры СП на 1 К общая продолжительность атмосферных блокирований в СП зимой увеличивается более чем в полтора раза. Отмечено также, что связь τ_w с температурой поверхности океана T_o в СП получена более значимой, чем с T – с коэффициентом корреляции $r = 0.52$. При этом соответствующий параметр чувствительности $d\tau/dT_o$ оценен вдвое большим: $83 (\pm 22)$ сут/К.

Для связи τ с T проявляются различные особенности при $\tau > \tau_c$ и $\tau < \tau_c$. На рис. 3 приведена зависимость общей продолжительности атмосферных блокирований τ более 80 сут/сезон ($\tau > \tau_c$) в зависимости от аномалий (относительно базового периода 1961–1990 гг.) приповерхностной температуры СП δT для зимних сезонов в 1980–2018 гг. При этом на основе соответствующей линейной регрессии оценен параметр чувствительности τ к изменению T для зимних сезонов с повышенной продолжительностью атмосферных блокирований: $d\tau/dT = 51 (\pm 14)$ сут/К. Отмечен-

ная связь (с коэффициентом корреляции $r = 0.67$) статистически значима на уровне 99%. При $\tau < \tau_c$ связь τ с T статистически незначима ($r = 0.06$, $d\tau/dT = 3 (\pm 9)$ сут/К).

Отмеченные особенности зависимости зимней продолжительности атмосферных блокирований от вариаций температурного режима в СП связаны с влиянием ключевых мод климатической изменчивости. В табл. 1 представлены средние значения τ и δT (τ_c и δT_c) для зимних сезонов в СП в положительной (АМО₊) и отрицательной (АМО₋) фазах АМО в сопоставлении с соответствующими средними значениями для всего анализируемого периода 1980–2018 гг. В скобках отмечены СКО, характеризующие межгодовую изменчивость зимних значений τ и T .

Согласно табл. 1, температурные режимы СП в разных фазах АМО существенно различаются. Среднее значение δT_c (АМО₊) превышает среднее значение δT_c (АМО₋) более, чем на 0.5 К. При этом среднее значение τ_c (АМО₊) в полтора раза больше среднего значения τ_c (АМО₋) – более чем на месяц. В то же время СКО τ_c (АМО₊) почти в два с половиной раза больше СКО τ_c (АМО₋).

Аналогичный анализ проведен для других мод естественной климатической изменчивости, в том числе для PDO, NAO, AO и явлений Эль-Ниньо. В табл. 2 представлены средние значения τ и δT для зимних сезонов в СП в положительной (PDO₊) и отрицательной (PDO₋) фазах PDO в сопоставлении с соответствующими средними значениями для всего анализируемого периода 1980–2018 гг. Согласно табл. 2, температурные режимы СП в разных фазах PDO различаются менее существенно, чем в разных фазах АМО. При этом и средние значения τ в разных фазах PDO различаются менее существенно, чем в разных фазах АМО.

Проведен также анализ связи общей продолжительности атмосферных блокирований в СП с

Таблица 1. Средние значения τ и δT для зимних сезонов в СП в положительной (АМО₊) и отрицательной (АМО₋) фазах АМО и в целом для периода 1980–2018 гг. В скобках отмечены СКО, n – число анализируемых зимних сезонов

	АМО ₊ $n = 15$	АМО ₋ $n = 22$	1980–2018 гг. $n = 39$
τ [сут]	95 (± 38)	63 (± 16)	81 (± 33)
δT [K]	0.86 (± 0.28)	0.33 (± 0.18)	0.57 (± 0.33)

Таблица 2. Средние значения τ и δT для зимних сезонов в СП в положительной (PDO₊) и отрицательной (PDO₋) фазах PDO и в целом по для периода 1980–2018 гг. В скобках отмечены СКО, n – число анализируемых зимних сезонов

	PDO ₊ $n = 23$	PDO ₋ $n = 11$	1980–2018 гг. $n = 39$
τ [сут]	81 (± 35)	79 (± 25)	81 (± 33)
δT [K]	0.57 (± 0.41)	0.53 (± 0.16)	0.57 (± 0.33)

протяженностью морских льдов в арктическом бассейне с использованием линейной регрессии

$$\tau = b_0 + b_1 S$$

по среднезимним данным для периода 1980–2018 гг. Отмеченная связь оценена статистически значимой (с коэффициентом корреляции $r = -0.69$). При этом коэффициент b_1 характеризует параметр чувствительности τ к изменению S : $d\tau/dS = -41 (\pm 7)$ сут/К. При средней величине $\tau_c = 81$ сут полученная оценка параметра чувствительности означает, что при увеличении среднезимней приповерхностной температуры СП на 1 К общая продолжительность атмосферных блокирований в СП зимой увеличивается более чем в полтора раза.

Получены оценки связи τ с интенсивностью Арктического антициклонического ЦДА I . Наличие подобной связи следует ожидать, в частности, в соответствии с полученными в [14] аналитическими условиями устойчивости стационарных режимов, необходимых для проявления атмосферных блокирований (см. также [15, 16]). С использованием соответствующей линейной регрессии по данным для всех зим для периода 1980–2018 гг. их корреляция получена положительной, но статистически незначимой ($r = 0.12$) с оценкой параметра $d\tau/dI = 1.2 (\pm 1.5)$ сут / гПа. Более значимые результаты были получены при учете ключевых мод климатической изменчивости, в разных фазах которых результаты оценок различались вплоть до знака. В частности, при положительной фазе АМО получена оценка $d\tau/dI = 3.1 (\pm 3.0)$ сут / гПа (при коэффициенте корреляции $r = 0.28$), а при отрицательной фазе АМО $d\tau/dI = -1.7 (\pm 1.0)$ сут./гПа (при коэффициенте корреляции $r = 0.35$). Согласно полученным результатам корреляция τ с I разного знака в положительной (АМО₊) и отрицательной (АМО₋) фазах АМО. Средние зимние значения I в фазе АМО₊ больше, чем в фазе АМО₋ на 1.2 гПа. Следует отметить, что статистически значимой связи I с T для зимних сезонов по данным для периода 1980–2018 гг. не выявлено. При этом отмечена их статистически значимая связь (с коэффициентом корреляции $r = -0.45$) при $\delta T > 0.5$ К с оценкой параметра чувствительности $dI/dT = -5.3$

(± 2.5) гПа/К. Полученная оценка соответствует ослаблению Арктического антициклонического ЦДА при увеличении приповерхностной температуры СП на 1 К на величину, составляющую более половины (58%) среднего диапазона вариаций I между зимой и летом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о значимом увеличении общей продолжительности зимних атмосферных блокирований в СП τ в последние десятилетия – на 19 сут за 10 лет – почти на четверть средней продолжительности $\tau_c = 81$ сут для периода 1980–2018 гг. Отмеченная тенденция выявлена на фоне быстрого увеличения приповерхностной температуры СП T в зимние сезоны со скоростью $0.24 (\pm 0.03)$ К за десятилетие. На основе соответствующей линейной регрессии оценен параметр чувствительности продолжительности зимних атмосферных блокирований к изменению приповерхностной температуры СП в зимние сезоны для периода 1980–2018 гг.: $d\tau/dT = 42$ сут/К. Полученная статистически значимая оценка означает увеличение τ более чем в полтора раза при увеличении среднезимней приповерхностной температуры СП на 1 К.

При этом для связи τ с T отмечены различные особенности при $\tau > \tau_c$ и $\tau < \tau_c$. Для соответствующего параметра чувствительности для зимних сезонов с повышенной продолжительностью ($\tau > \tau_c$) атмосферных блокирований получена оценка $d\tau/dT = 51$ сут/К, тогда как при $\tau < \tau_c$ связь τ с T статистически незначима. Отмеченные особенности связаны с различиями в разных фазах ключевых мод климатической изменчивости. В частности, среднее значение приповерхностной температуры СП зимой в положительной фазе АМО в пределах анализируемого периода 1980–2018 гг. значимо превышало соответствующее среднее значение T в отрицательной фазе АМО – более, чем на 0.5 К. При этом получено, что среднее значение продолжительности зимних атмосферных блокирований в СП положительной фазе АМО в полтора раза больше (более чем на месяц), чем в отрицательной фазе АМО. Еще сильнее (почти в два с половиной раза) различаются соответствующие СКО τ .

Для зимних сезонов получены также оценки связи τ с интенсивностью Арктического антициклонического ЦДА I , для которой отмечена статистически значимая отрицательная корреляция только с более сильными положительными аномалиями приповерхностной температуры СП. Полученная оценка соответствует ослаблению Арктического антициклонического ЦДА более, чем на половину среднего диапазона вариаций I между зимой и летом, при увеличении при-

поверхностной температуры СП на 1 К. Проведенный анализ выявил существенные различия, вплоть до знака, связи τ с I в разных фазах ключевых мод климатической изменчивости. В частности, при положительной фазе АМО получена их положительная корреляция, а при отрицательной фазе АМО — отрицательная.

Согласно полученным оценкам, общая продолжительность зимних атмосферных блокирований, а при этом и повторяемость связанных с ними региональных морозов, увеличивается при увеличении приповерхностной температуры СП.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данная работа выполнена в рамках проекта РНФ 19-17-00240.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, 2021.
2. Климат Арктики: процессы и изменения. Под ред. И.И. Мохова, В.А. Семенова. М.: Физматкнига. 2022. 360 с.
3. *Мохов И.И.* Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 1. С. 3–14.
4. *de Vies H., Woolings T., Anstey J., et al.* Atmospheric blocking and its relation to jet changes in a future climate // *Clim. Dyn.* 2013. V. 41. P. 2643–2654.
5. *Timazhev A.V., Mokhov I.I.* Heat and cold waves formation in association with atmospheric blockings in the Northern Hemisphere // *Research Activities in Earth System Modelling*. E. Astakhova (ed.). 2021. Rep. 51. S. 2. P. 23–24.
6. *Honda M., Inoue J., Yamane S.* Influence of low Arctic sea-ice minima on wintertime Eurasian coldness // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. P. L08707.
7. *Байдин А.В., Мелешко В.П.* Реакция атмосферы высоких и умеренных широт на сокращение площади морского льда и повышение температуры поверхности океанов // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 6. С. 5–18.
8. *Мохов И.И., Семенов В.А.* Погодно-климатические аномалии в российских регионах в связи с глобальными изменениями климата // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 2. С. 16–28.
9. *Mokhov I.I., Petukhov V.K., Senatorsky A.O.* Sensitivity of storm track activity and blockings to global climatic changes: Diagnostics and modelling // *Publ. Acad. Finland. Painatuskaskus*. 1995. V. 6/95. P. 438–441.
10. *Мохов И.И., Петухов В.К.* Блокинг и тенденции их изменения // *ДАН*. 1997. Т. 357. № 5. С. 687–689.
11. *Lupo A.R., Oglesby R.J., Mokhov I.I.* Climatological features of blocking anticyclones: a study of Northern Hemisphere CCM1 model blocking events in present-day and double CO₂ concentration atmospheres // *Clim. Dyn.* 1997. V. 13. P. 181–195.
12. *Мохов И.И.* Атмосферные блокинг и связанные с ними климатические аномалии / В: *Нелинейные волны* 2016. Нижний Новгород. ИПФ РАН. 2017. С. 111–124.
13. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T. F. Stocker, et al. (eds.). — Cambridge Univ. Press. 2013, 1535 p.*
14. *Мохов И.И., Чефранов С.Г., Чефранов А.Г.* Динамика δ -сингулярных вихрей на вращающейся сфере и устойчивость парных центров действия атмосферы // *ДАН*. 2010. Т. 433. № 2. С. 248–253.
15. *Mokhov I.I., Chefranov S.G., Chefranov A.G.* Interaction of global-scale atmospheric vortices: Modeling based on Hamiltonian dynamic system of antipodal point vortices on rotating sphere // *Procedia IUTAM*. 2013. V. 8. P. 176–185.
16. *Mokhov I.I., Chefranov S.G., Chefranov A.G.* Point vortices dynamics on a rotating sphere and modeling of global atmospheric vortices interactions // *Phys. Fluids*. 2020. V. 32. 106605. <https://doi.org/10.1063/5.0026014>
17. *Mokhov I.I., Smirnov D.A.* Contributions to surface air temperature trends estimated from climate time series: Medium-term causalities // *Chaos*. 2022. V. 32. P. 063128. <https://doi.org/10.1063/5.0088042>
18. *Lupo A.R., Jensen A.D., Mokhov I.I., et al.* Changes in global blocking character during recent decades // *Atmosphere*. 2019. V. 10 (2). P. 92. <https://doi.org/10.3390/atmos10020092>
19. *Мохов И.И.* Аномальные зимы в регионах Северной Евразии в разных фазах явлений Эль-Ниньо // *ДАН*. 2020. Т. 493. № 2. С. 93–98.
20. *Мохов И.И., Тимажев А.В.* Повторяемость летних атмосферных блокирований в Северном полушарии в разных фазах явлений Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляций // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2022. Т. 58. № 3. С. 1–11.
21. *Интенсивные атмосферные вихри и их динамика*. Под ред. И.И. Мохова, М.В. Курганского, О.Г. Чехтиани. М.: ГЕОС, 2018. 482 с.
22. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Осипов А.М.* Центры действия атмосферы Северного и Южного полушарий: особенности и изменчивость // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 11. С. 5–23.
23. *Мохов И.И., Осипов А.М., Чернокульский А.В.* Центры действия атмосферы в Северном полушарии: современные особенности и ожидаемые изменения в 21 веке по расчетам с ансамблями климатических моделей CMIP5 и CMIP6 // *ДАН. Науки о Земле*. 2022. Т. 507. № 2. С. 174–182.

WINTER ATMOSPHERIC BLOCKINGS IN THE NORTHERN HEMISPHERE UNDER CLIMATE CHANGES IN RECENT DECADES (1980–2018)

Academician of the RAS I. I. Mokhov^{a,b,#}

^a*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: mokhov@ifaran.ru*

The analysis of winter atmospheric blockings in the Northern Hemisphere (NH) under climate changes in 1980–2018 was carried out. The results of the analysis indicate a significant increase in the total duration of winter atmospheric blockings τ in the NH in recent decades. The noted trend was revealed against the background of a rapid increase in the NH surface air temperature T in winter seasons. The parameter of sensitivity of the atmospheric blockings duration to changes in the NH surface air temperature in winter seasons for the period 1980–2018 was estimated. The statistically significant estimate obtained means an increase in τ by more than one and a half times with an increase in the mean winter surface air temperature of the NH by 1K. A more significant relationship with T was obtained for values of τ above the average value of τ_c for the period 1980–2018, while at $\tau < \tau_c$, the relationship was found to be statistically insignificant. The noted features are associated with differences in different phases of the key modes of climatic variability. In particular, the mean value of the surface air temperature of the NH in winter in the positive phase of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) within the analyzed period of 1980–2018 significantly exceeded the corresponding mean value of T in the negative phase of AMO. At the same time, it was found that the mean value of the winter blockings duration in the NH in the positive AMO phase is one and a half times longer than in the negative AMO phase. For winter seasons, the estimates of the relationship between τ and the intensity of the Arctic anticyclonic center of action depending on the AMO phase were obtained.

Keywords: winter atmospheric blockings, climate changes, climate variability modes, Atlantic Multidecadal Oscillation, Arctic atmospheric centre of action