

УДК 551.583

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЗИМНИХ АТМОСФЕРНЫХ БЛОКИРОВАНИЙ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗАХ ЭЛЬ-НИНЬО, ТИХООКЕАНСКОЙ ДЕСЯТИЛЕТНЕЙ И АТЛАНТИЧЕСКОЙ МУЛЬТИДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ОСЦИЛЛЯЦИЙ

© 2024 г. И. И. Мохов^{a, b, *}, А. В. Тимажев^a

^aИнститут физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Пыжевский пер., д. 3, Москва, 119017, Россия

^bМосковский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, д. 1, Москва, 119992, Россия

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Поступила в редакцию 24.01.2024 г.

После доработки 15.06.2024 г.

Принята к публикации 10.07.2024 г.

Представлены оценки региональных аномалий повторяемости зимних атмосферных блокирований в Северном полушарии, диагностированных по данным реанализа для периода 1979–2018 гг. при разных фазах Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляций. В том числе получены количественные оценки региональной повторяемости зимних блокирований при Эль-Ниньо разного типа, характеризующихся, в частности, индексами Nino3 и Nino4. При нейтральной фазе явлений Эль-Ниньо в положительной фазе Тихоокеанской десятилетней осцилляции отмечено значимое превышение средних значений повторяемости зимних атмосферных блокирований для 40-летнего периода над Евро-Атлантическим и Тихоокеанским секторами. В фазе Эль-Ниньо отмечено существенное увеличение повторяемости атмосферных блокирований в отрицательной фазе Тихоокеанской десятилетней осцилляции, а также в положительной фазе Атлантической мультидесятилетней осцилляции, в частности, над Тихим и Атлантическим океанами. В фазе Ла-Нинья при использовании индекса Nino4 выявлено значительное увеличение повторяемости атмосферных блокирований зимой в области Уральских гор в положительной фазе Тихоокеанской десятилетней осцилляции и отрицательной фазе Атлантической мультидесятилетней осцилляции.

Ключевые слова: зимние атмосферные блокирования, данные реанализа, явления Эль-Ниньо, Атлантическая мультидесятилетняя осцилляция, Тихоокеанская десятилетняя осцилляция

DOI: 10.31857/S0002351524050076 EDN: HXVTJU

1. ВВЕДЕНИЕ

Все больше свидетельств наблюдаемых изменений экстремальных явлений, таких как волны тепла, сильные осадки, засухи, и оснований их связи с антропогенным влиянием [Climate Change, 2021]. Согласно Шестому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата изменения климата [Climate Change, 2021], связанные с антропогенными воздействиями, уже влияют на многие экстремальные погодно-климатические явления во всех регионах Земли. По данным Росгидромета (<http://www.meteorf.ru>) количество опасных метеорологических явлений

в России значительно увеличилось за последние два десятилетия на фоне быстрого потепления в России — с конца 20 века оно увеличивалось в среднем примерно на два десятка событий в год [Мохов, 2022а; Мохов, 2023].

Сильнейшие региональные погодно-климатические аномалии, в том числе экстремальные морозы, связаны с атмосферными блокировками (блокинками) зонального переноса в тропосфере средних широт, определяемого геострофическим балансом силы Кориолиса и градиента давления. При трехъячейковой меридиональной циркуляции в тропосфере с повышенным давле-

нием в субтропических широтах и пониженным в субполярных широтах геострофический ветер в тропосфере средних широт направлен с запада на восток. Режим блокирования в таком зональном потоке соответствует отсутствию меридионального градиента давления. Это достигается, когда в более высоких широтах находится блокирующий антициклон, а в более низких — циклон. Подобный вихревой диполь характеризует блокирование расщепляющего типа. Другой тип блокирования — омега-блокирование — с одним антициклоном и двумя циклонами. Есть еще блокирование меридионального типа, которое связано с обтеканием Уральских и Скалистых гор [Обухов и др., 1984].

Для блокингов характерна слабая предсказуемость и результаты модельных оценок тенденций изменения блокинговой активности при изменениях климата сильно различаются. Неопределенности количественных характеристик атмосферных блокингов связаны с разными их проявлениями, различием критериев их выделения и чувствительностью к сезонным особенностям региональных и глобальных климатических условий [Бардин, 2007; Груза, Коровкина, 1991а,б; Клещенко, Ранькова, 2021; Лупо и др., 2007; Мохов, Петухов, 1997; Мохов, Семенов, 2016; Мохов, Тимажев, 2022; Обухов и др., 1984; Тищенко и др., 2013; Antokhina et al., 2018; Bacer et al., 2022; Bardin2005; Barnes et al., 2014; Barnes et al., 2012; Barriopedro et al., 2006; Croci-Maspoli et al., 2007; Diao et al., 2006; Dole, Gordon, 1983; Dunn-Sigouin, Son, 2013; Hansen, Sutera, 1983; Kwon et al., 2020; Luo et al., 2010; Masato et al., 2014; Pelly, Hoskins, 2003; Rex, 1950a,b; Scherer et al., 2006; Timazhev, Mokhov, 2021; Tyrlis, Hoskins, 2008]. Особенности различных методов детектирования атмосферных блокингов, отмечены, в частности, в [Антохина и др., 2017; Мохов, Тимажев, 2019; Шакина, Иванова, 2010; Лупо, 2021].

В последние десятилетия на фоне глобального потепления отмечены холодные зимние режимы над континентами в Северном полушарии, связанные с атмосферными блокированиями. На их формирование влияют разные климатические процессы, определяющие межгодовую региональную изменчивость на фоне более долгопериодных изменений. Согласно оценкам, полученным в [Мохов, Петухов, 1997] по многолетним данным, при приповерхностном потеплении Северно-

го полушария увеличивается характерное время жизни атмосферных блокирований в средних широтах, следствием которых являются, в частности, летние засухи и экстремальные морозы. Отмеченной эмпирической тенденции в [Мохов, Петухов, 1997] дано объяснение с использованием простого модельного подхода с оценкой параметра чувствительности характерной продолжительности блокингов τ к изменению температуры T в виде

$$\frac{1}{\tau} \frac{d\tau}{dT} \sim \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} - \frac{1}{U} \frac{dU}{dT}, \quad (1)$$

где U — характерная скорость ветра, L — характерный размер блокирующего антициклона. При простейшей оценке размера блокингов L масштабом Обухова для баротропной атмосферы $L_o \sim T^{1/2}$ их протяженность должна расти при потеплении ($dL/dT = dL_o/dT > 0$). При этом время жизни блокингов больше в более теплой тропосфере при более слабой зональной циркуляции в тропосфере. Это следует ожидать в связи с уменьшением меридионального температурного градиента и геострофической скорости ветра в тропосфере средних широт из-за более сильного потепления в арктических (полярных) широтах.

С полученными в [Мохов, Петухов, 1997] эмпирическими оценками в целом согласуются результаты расчетов с использованием климатической модели общей циркуляции при потеплении в связи с увеличением содержания CO_2 в атмосфере [Лупо et al., 1997]. По модельным расчетам было получено сильное увеличение количества и общей продолжительности атмосферных блокингов в зимние и весенние месяцы в Северном полушарии, в том числе над континентами и для евро-атлантического сектора. Это свидетельствует, в частности, об увеличении риска зимних морозов над континентальными регионами, как проявления климатической изменчивости, на фоне общего потепления.

Ослабление зональной циркуляции в тропосфере средних широт с увеличением извилистости струйного течения [Fransis, Vavrus, 2015] способствует увеличению риска прорыва холодных масс воздуха из Арктики и теплого воздуха из субтропиков и увеличению региональной изменчивости («нервозности») климата [Мохов, 2011]. Наряду с этим при общем потеплении зональная циркуляция в тропосфере в средних широтах может усиливаться в связи с выхолаживанием страто-

мезосферы, способствующим усилению струйного течения. В последние десятилетия 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 сезонной активности блокирований с изменениями атмосферного струйного течения отмечены в [deVies et al., 2013].

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 Эль-Ниньо / Южное колебание, Северо-Атлантическое колебание, Арктическое колебание, Атлантическая мультдесятилетняя осцилляция, Тихоокеанская десятилетняя осцилляция и др. [Мохов, 2020; Мохов, Медведев, 2022; Мохов, Тимажев, 2022; Barriopedro, Calvo, 2014; Li et al., 2018; Luo et al., 2022; Lupo et al., 2019; Mokhov, Smirnov, 2022; Mokhov, Timazhev, 2022; Renwick, Wallace, 1996; Wazneh et al., 2021; Wiedenmann et al., 2002].

В [Renwick, Wallace, 1996], в частности, по данным для 44 зим (1950–1994 гг.) получено, что повторяемость атмосферных блокирований зимой над Тихим океаном в Северном полушарии существенно больше в фазе Ла-Нинья, чем в фазе Эль-Ниньо. Учитывался также эффект Тихоокеанско-Североамериканского колебания (моды). Общая продолжительность атмосферных блокирований за год в Северном полушарии в целом, а также над Тихоокеанским сектором, согласно оценкам, полученным в [Wiedenmann et al., 2002] по данным реанализа для периода 1968–1998 гг., наибольшая в годы Ла-Нинья, а наименьшая в годы Эль-Ниньо (см. также [Мохов, 2006]). При этом над континентами в целом общая продолжительность атмосферных блокирований за год наибольшая при нейтральной фазе, тогда как над атлантическим сектором — минимальная.

В [Barriopedro, Calvo, 2014] представлены результаты анализа влияния явлений Эль-Ниньо на активность атмосферных блокирований в Северном полушарии как предвестников внезапных стратосферных потеплений в зимние сезоны с использованием данных реанализа для периода

1958–2010 гг. Получено, в частности, что зимние атмосферные блокирования над евро-атлантическими регионами обычно предшествуют внезапным стратосферным потеплениям во время Эль-Ниньо, а блокирования над восточной частью Тихого океана и азиатскими регионами чаще предшествуют внезапным стратосферным потеплениям во время Ла-Нинья.

Согласно [Chen, Yoon, 2002] заметное влияние на блокинговую активность связано с Тихоокеанским десятилетним колебанием, в частности над Тихим океаном в Северном полушарии (см. также [Мохов, 2021]). В [Li et al., 2018] отмечена связь атмосферных блокирований с Атлантической мультдесятилетней осцилляцией. С использованием данных реанализа для периода 1968–2018 гг. в [Lupo et al., 2019] отмечены сезонные особенности характеристик атмосферных блокирований (повторяемости, средней и общей продолжительности, интенсивности) в Северном и Южном полушариях, в том числе для Атлантического и Тихоокеанского секторов и над континентами в целом в разных фазах Эль-Ниньо с учетом фаз других ключевых мод климатической изменчивости, включая Северо-Атлантическое колебание, Атлантическую мультдесятилетнюю и Тихоокеанскую десятилетнюю осцилляции.

Отмеченные особенности характеристик атмосферных блокирований связаны, в том числе, с влиянием событий Эль-Ниньо на субтропическое струйное течение — с увеличением интенсивности струйного течения в фазе Эль-Ниньо и ослабления в противоположной фазе Ла-Нинья. Существенно, что ядро субтропического струйного течения зимой смещается в средние широты, в которых проявляются атмосферные блокирования зонального переноса. В [Мохов, 2011] отмечено, что с точки зрения момента импульса блокирование в тропосфере способствует компенсации эффекта интенсификации струйного течения (выше по потоку относительно области формирования блокинга). В связи с этим есть перспективы более адекватного учета процессов, характеристики которых могут быть предикторами для формирования блокингов, при сохранении суммарного углового момента системы Земля—атмосфера полезными индикаторами являются угловая скорость вращения Земли и суммарный момент импульса атмосферы [Мохов, 2011].

В [Luo et al., 2021] отмечены особенности формирования режимов аномальных зимних морозов в среднеширотных азиатских регионах по данным для периода 1950–2019 гг. в связи с влиянием событий Эль-Ниньо на режим атмосферных блокирований над Уральскими горами. В [Luo et al., 2022] проведен анализ причин междесятилетних вариаций региональных аномалий с дипольной структурой, характеризующейся аномально холодными режимами над континентальными регионами при потеплении в арктических регионах (см. также [Мелешко и др., 2018; Семенов и др., 2012; Blackport, Screen, 2020; Luo et al., 2022]). Отмечены особенности связи этих аномалий с Атлантической мультдесятилетней и Тихоокеанской десятилетней осцилляциями.

В связи с блокировками формируются аномалии атмосферных составляющих, в частности содержания озона в атмосфере — озоновые «мини-дыры» (ОМД) [Ситнов, Мохов, 2021; Barriopedro et al., 2010; Peters et al., 1995]. Согласно [Barriopedro et al., 2010] половина ОМД над европейскими регионами проявляется в условиях атмосферных блокирований, при этом связанные с блокинками ОМД отличаются наибольшей глубиной и устойчивостью. В связи с глобальным потеплением, на фоне увеличения вероятности более длительных атмосферных блокирований [Мохов и др., 2013; Мохов, Тимажев, 2019], в Евро-Атлантическом секторе ожидается учащение зимних ОМД [Barriopedro et al., 2010].

Анализ повторяемости атмосферных блокирований с учетом влияния ключевых мод естественной климатической изменчивости на фоне вековых тенденций с использованием данных наблюдений, реанализа и модельных расчетов необходим для оценки потенциальной предсказуемости региональных погодно-климатических аномалий и формирования и развития соответствующей системы прогностического оценивания возможных рисков и последствий.

С атмосферными блокировками связаны сильнейшие региональные погодно-климатические аномалии со значимыми социально-экономическими и экологическими последствиями. Для российских регионов с использованием спутниковых данных и данных реанализа для последних десятилетий получены оценки значимой связи с атмосферными блокировками площади природных пожаров и вызванных ими

эмиссий в воздушную среду продуктов горения [Мохов и др., 2020]. С процессами атмосферного блокирования связана рекордная жара на европейской территории России летом 2010 года и рекордное наводнение на Амуре 2013 года. При этом вероятность атмосферных блокирований и риск погодно-климатических аномалий зависит от амплитуд и фаз ключевых мод климатической изменчивости, в частности явлений Эль-Ниньо. В [Мохов, 2023] по данным для последних десятилетий отмечено, что общая продолжительность атмосферных блокирований в Северном полушарии в положительной фазе АМО была существенно больше, чем в отрицательной. Формированию рекордного амурского наводнения 2013 года и камчатского «красного прилива» в 2020 году способствовали положительные аномалии температуры в западной части Тихого океана, соответствующие отрицательной фазе PDO [Мохов, 2021]. Согласно модельным оценкам при потеплении в связи с увеличением содержания CO_2 в атмосфере можно ожидать усиление интегрального действия блокингов в Северном полушарии, особенно над континентами в холодные месяцы года [Мохов, 2006] (см. также [Мохов, Тимажев, 2019]). При этом сильные зимние морозы над континентами в средних широтах не только не противостоят глобальному потеплению, но и могут быть его региональными индикаторами.

В данной работе анализируются режимы зимних атмосферных блокирований в Северном полушарии при совместном учете разных фаз явлений Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультдесятилетней осцилляций для периода 1979–2018 гг. В том числе существенно, что анализируются вариации повторяемости атмосферных блокирований в зависимости от долготы при разных типах Эль-Ниньо с различной повторяемостью и частотой межфазовых переходов [Мохов, 2022б].

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В данной работе использовались данные реанализа ERA-Interim [Dee et al., 2011] для периода 1979–2019 гг. Доля дней с атмосферными блокировками (повторяемость блокингов) определялась аналогично [Мохов, Тимажев, 2019; Luo et al., 2019; 63MTL2014; Wiedenmann et al., 2002] с использованием подхода, предложенно-

го в [Lejenäs, Øakland, 1983] (см. также [Tibaldi, Molteni, 1990]). Подобный подход использовался также в [Wiedenmann et al., 2002]. Атмосферные блокирования западного переноса в тропосфере средних широт достаточно просто диагностируются с использованием индекса I , характеризующего для каждой долготы λ разность значений геопотенциальной высоты H на уровне 500 гПа между субтропическими (40° с.ш.) и субполярными (60° с.ш.) широтами:

$$I(\lambda) = H(\lambda)_{40^\circ\text{N}} - H(\lambda)_{60^\circ\text{N}}. \quad (2)$$

Области атмосферного блокирования с характерным масштабом порядка масштаба Обухова для баротропной атмосферы проявляются при выполнении условий

$$\begin{aligned} I(\lambda) &< 0, \\ I(\lambda - 15^\circ) + I(\lambda) + I(\lambda + 15^\circ) &< 0 \end{aligned} \quad (3)$$

в диапазоне долгот не менее 30° от $(\lambda - 15^\circ)$ до $(\lambda + 15^\circ)$ в течение не менее 5 суток. Особенности этого метода в сопоставлении с другими методами отмечены, в частности, в [Мохов, Тимажев, 2019; Мохов, Тимажев, 2022; Lupo, 2021] (см. также [Bardin et al., 2005; Lejenäs, Øakland, 1983; Pelly, Hoskins, 2003; Scherer et al., 2006; Wiedenmann et al., 2002]).

Использовались также данные для индексов, характеризующих квазициклические Эль-Ниньо / Южное колебание (El-Nino / Southern Oscillation — ENSO), Тихоокеанскую десятилетнюю осцилляцию (Pacific Decadal Oscillation — PDO) и Атлантическую мультидесятилетнюю осцилляцию (Atlantic Multidecadal Oscillation — AMO) (https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/) [Enfield et al., 2001; Mantua et al., 1997; Rayner et al., 2003]. При этом учитывались явления Эль-Ниньо, детектируемые разными индексами.

Фазы Эль-Ниньо (E) и Ла-Нинья (L) выделялись, в частности, с использованием 5-месячного скользящего осреднения значений аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальных широтах Тихого океана (5° с.ш. — 5° ю.ш.) — в восточной области Nino3 (150° з.д. — 90° з.д.) и центральной области Nino4 (160° в.д. — 150° з.д.). Фаза Эль-Ниньо (теплая фаза) и фаза Ла-Нинья (холодная фаза) определялись, соответственно, значениями аномалий ТПО не ме-

нее 0.5 К или не более -0.5 К в течение 6 месяцев подряд. Остальные случаи характеризовались как нейтральная фаза (N). Для анализируемого временного интервала 1979–2018 гг. было выделено 10 E -фаз, 6 L -фаз, 24 N -фазы при использовании индекса Nino3 и 15 E -фаз, 7 L -фаз, 18 N -фаз при использовании индекса Nino4.

Индекс АМО (I_{AMO}) определяется температурой поверхности Северной Атлантики в широтном поясе $0-70^\circ$ с.ш. с вариациями с характерным периодом около шести десятилетий. Индекс PDO (I_{PDO}) определяется температурой поверхности Тихого океана севернее 20° с.ш. с вариациями с характерным периодом около двух десятилетий. Для АМО и PDO выделялись положительные (АМО+ и PDO+) и отрицательные (АМО- и PDO-) фазы с соответствующими зимними и среднегодовыми аномалиями индексов относительно многолетних средних значений. Подобные индексы, характеризующие ключевые квазициклические моды климатической изменчивости, использовались, в частности, в [Мохов, Тимажев, 2022; Lupo et al., 2019]. В данной работе предлагается выделять фазы АМО+ при $I_{\text{AMO}} > I_{\text{AMO+}} = 0.5$ и АМО- при $I_{\text{AMO}} < I_{\text{AMO-}} = -0.5$, а также фазы PDO+ при $I_{\text{PDO}} > I_{\text{PDO+}} = 0.1$ и PDO- при $I_{\text{PDO}} < I_{\text{PDO-}} = -0.1$. Величина $I_{\text{AMO+}} = -I_{\text{AMO-}}$ соответствует $3/4$ среднеквадратического отклонения (СКО) межгодовых вариаций I_{AMO} . Величина $I_{\text{PDO+}} = -I_{\text{PDO-}}$ соответствует $1/2$ СКО межгодовых вариаций I_{PDO} .

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица характеризует число зимних сезонов (с декабря по февраль) — вариант I, а также число предшествующих лет (с января по декабрь) — вариант II, в фазах Эль-Ниньо (E), Ла-Нинья (L) и нейтральной (N) при использовании индексов Nino3 и Nino4 в зависимости от фаз АМО (АМО+ и АМО-) и PDO (PDO+ и PDO-) по данным для периода 1979–2018 гг. На фоне доминирующих зим в нейтральной фазе для периода 1979–2018 гг. E -фаза отмечалась более часто, чем L -фаза. При этом не отмечено зимних режимов в E -фазе при фазе PDO-, а также зимних режимов L -фазы при фазе PDO+ для зимнего сезона и предыдущего года.

На рис. 1–4 представлены оценки повторяемости p зимних атмосферных блокирований (доли

Таблица. Число зимних сезонов (с декабря по февраль) — вариант I, а также число предшествующих лет (с января по декабрь) — вариант II, в фазах Эль-Ниньо (*E*), Ла-Нинья (*L*) и нейтральной (*N*) при использовании индексов Nino3 и Nino4 в зависимости от фаз AMO (AMO+ и AMO-) и PDO (PDO+ и PDO-) по данным для периода 1979–2018 гг.

Моды климатической изменчивости			<i>N</i>		<i>E</i>		<i>L</i>	
			I	II	I	II	I	II
Nino3	AMO	AMO+	10	9	5	5	2	2
		AMO-	8	8	4	4	1	1
	PDO	PDO+	8	10	6	5	0	0
		PDO-	7	6	0	2	5	2
Nino4	AMO	AMO+	8	7	7	7	2	2
		AMO-	5	5	5	5	3	3
	PDO	PDO+	5	6	7	7	2	2
		PDO-	5	6	2	2	5	2

дней с блокированием) в средних широтах Северного полушария в зависимости от долготы — средние значения (черная кривая) и диапазон межгодовой изменчивости, характеризуемый СКО, по данным для периода 1979–2018 гг. Диапазон СКО приводится для оценки статистической значимости различий между разными фазами. Наибольшие значения средней повторяемости и межгодовой изменчивости зимних атмосферных блокирований отмечаются над европейскими регионами, а также над среднеширотными акваториями Тихого океана. Проявляется также увеличение повторяемости зимних блокирований над Уральскими горами. Пониженные значения *p* отмечаются для внутриконтинентальных регионов.

На фоне средних значений для повторяемости атмосферных блокирований в средних широтах

Северного полушария на рис. 1а,б представлены оценки для зим в *E*-фазе, *L*-фазе и *N*-фазе с использованием индексов Nino3 (а) и Nino4 (б) для периода 1979–2018 гг. Согласно рис. 1а максимальные значения повторяемости зимних атмосферных блокирований проявляются над евроатлантическими регионами, а также над Тихим океаном при нейтральной фазе, диагностированной с использованием индекса Nino3. При этом наименьшие значения в области максимума *p* над евроатлантическими регионами отмечаются в фазе Ла-Нинья. В фазе Эль-Ниньо для максимума *p* над евроатлантическими регионами отмечено смещение на запад по сравнению с долготным положением максимума в нейтральной фазе и в фазе Ла-Нинья. Для максимума повторяемости атмосферных блокирований зимой над Тихим океаном в фазе Эль-Ниньо, наоборот, отмечено

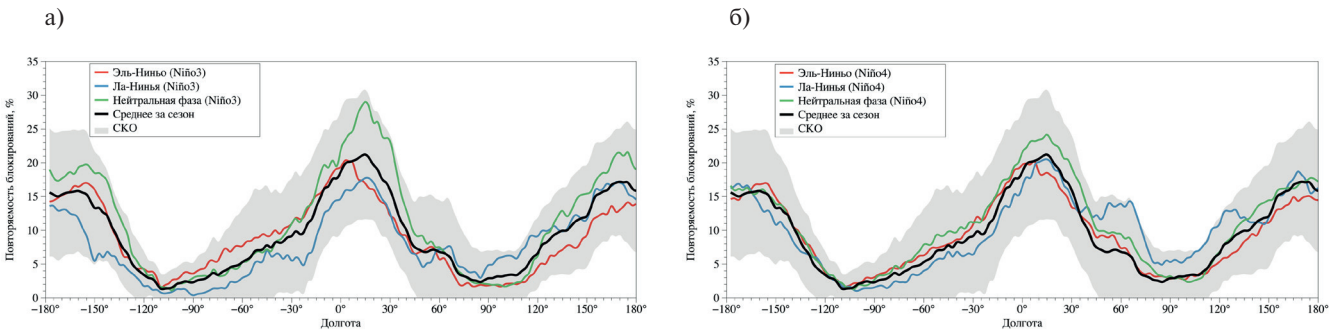


Рис. 1. Повторяемость зимних атмосферных блокирований (доли дней с блокированием) в средних широтах Северного полушария в зависимости от долготы — средние значения (черная кривая) и диапазон межгодовой изменчивости, характеризуемый среднеквадратическими отклонениями (заштриховано), по данным для периода 1979–2018 гг. Представлены также оценки в фазах Эль-Ниньо (красный цвет), Ла-Нинья (синий цвет) и нейтральной фазе (зеленый цвет) с использованием индексов Nino3 (а) и Nino4 (б).

смещение на восток относительно долготного положения максимума в нейтральной фазе, тогда как в фазе Ла-Нинья — на запад. В целом, за исключением центрально-европейских и восточно-европейских регионов, значения p в фазе Эль-Ниньо больше, чем в фазе Ла-Нинья, для западного полушария и наоборот — для восточного. Минимальные значения p зимой проявляются над североамериканскими и азиатскими регионами.

Для особенностей повторяемости зимних блокирований для разных фаз явлений Эль-Ниньо при использовании индекса Nino4 (рис. 1б) наряду с общими с полученными при использовании индекса Nino3 (рис. 1а) отмечены существенные различия. В частности, при использовании индекса Nino4 на рис. 1б в фазе Ла-Нинья существенно более значимо проявляется локальный максимум p в области Уральских гор. Как и при использовании индекса Nino3, при использовании Nino4 в фазе Эль-Ниньо по сравнению с нейтральной фазой и фазой Ла-Нинья проявляется смещение максимума значений p на запад в евроатлантическом секторе и наоборот — в тихоокеанском секторе.

На рис. 2 представлены соответствующие оценки повторяемости зимних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария в нейтральной фазе (N) для явлений Эль-Ниньо с использованием индексов Nino3 и Nino4, при разных фазах АМО (а,б) и PDO (в,г) в вариантах I (а,в) и II (б,г) на фоне средних значений p для всего периода 1979–2018 гг. Согласно рис. 2а значения p в нейтральной фазе Эль-Ниньо (при использовании индекса Nino3, и индекса Nino4) наиболее сильно различаются в фазах АМО+ и АМО- над Тихим океаном и восточными азиатскими регионами: максимальные значения в фазе АМО- существенно выше, чем максимальные значения для среднего распределения p (около 15%) и заметно ниже — в фазе АМО+. Отмечены заметные вариации значений p в районе Уральских гор в фазе АМО- — с более высокими значениями при использовании индекса Nino3 и пониженными — при использовании индекса Nino4. Можно также отметить, что над большей частью Евразии значения p в фазе АМО- при использовании индекса Nino3 больше средних значений для всего периода 1979–

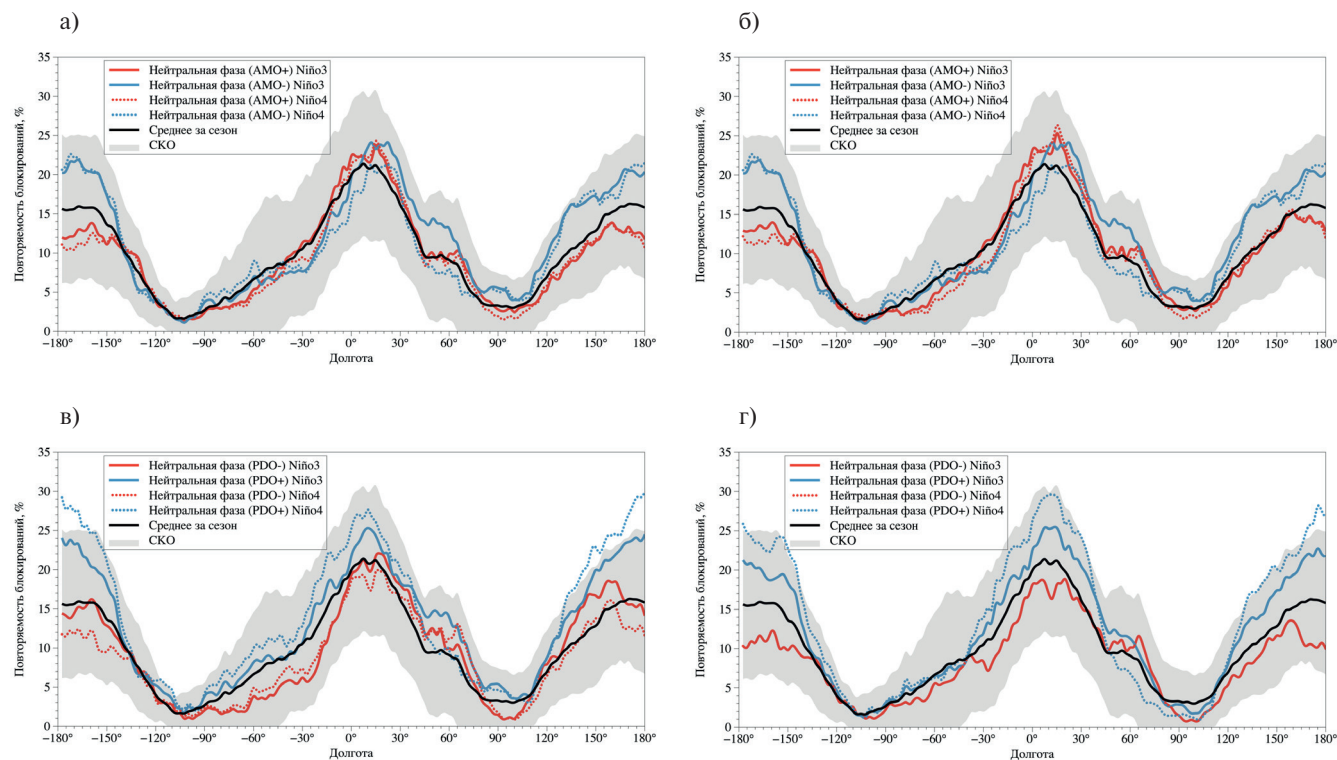


Рис. 2. Повторяемость зимних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария в нейтральной фазе (N) Эль-Ниньо с использованием индексов Nino3 и Nino4, при разных фазах АМО (а,б) и PDO (в,г) в вариантах I (а,в) и II (б,г) на фоне средних значений (с заштрихованным диапазоном СКО) для всего периода 1979–2018 гг.

2018 гг., а над значительной частью Северной Атлантики и регионами Западной Европы — меньше (в том числе и при использовании индекса Nino4). Отмеченные особенности в целом характерны и для рис. 2б.

Более существенные различия значений p в нейтральной фазе Эль-Ниньо (при использовании индексов Nino3 и Nino4) проявляются в фазах PDO+ и PDO- (рис. 2в,г), особенно над Тихим океаном: максимальные значения в фазе PDO+ существенно выше, чем максимальные значения для среднего распределения p и в фазе PDO-. При этом более контрастно проявляются различия p в фазах PDO+ и PDO- на рис. 2г не только над Тихим океаном, но и в области максимальных значений p над регионами западной части Европы и восточной частью Северной Атлантики — с более высокой, чем в среднем, повторяемостью блокирований в фазе PDO+ и более низкой — в фазе PDO-. Следует отметить, что на рис. 2в более протяженная по долготе область с более низкими значениями p в фазе PDO- и более высокими значениями в фазе PDO- — не только над Северной Атлантикой, но и над восточными регионами Северной Америки.

Аналогично, на рис. 3 приведены оценки повторяемости зимних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария в фазе Эль-Ниньо (E) с использованием индексов Nino3 и Nino4, при разных фазах АМО (а,б) и PDO (в,г) в вариантах I (а,в) и II (б,г) на фоне средних значений p для всего периода 1979–2018 гг. В фазе Эль-Ниньо, как и в нейтральной фазе, отмечаются большие различия в фазах АМО+ и АМО- над Тихим океаном. В частности максимальные значения p в фазе АМО+ существенно больше, чем в фазе АМО-, особенно при канонических событиях, характеризуемых индексом Nino3 (рис. 3а,б). При этом в фазе АМО+ в условиях Эль-Ниньо повторяемость атмосферных блокирований заметно больше, чем в фазе АМО- и над значительной частью Атлантики и Северной Америки. В то же время в области максимальных значений p над регионами западной части Европы и над восточной частью Атлантики повторяемость атмосферных блокирований в фазе АМО- больше, чем в фазе АМО+.

Еще более существенные различия значений p в фазе Эль-Ниньо проявляются в фазах PDO+ и PDO- (рис. 3в,г). Следует учитывать, что собы-

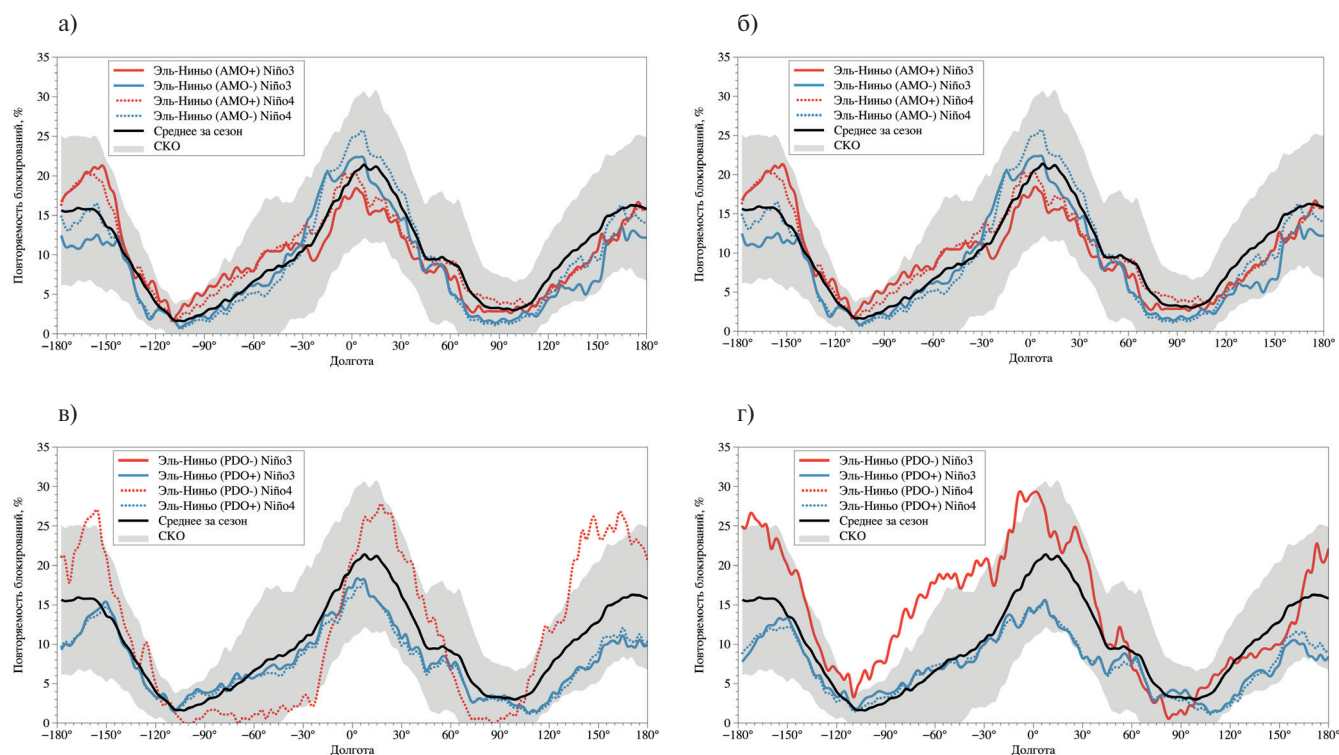


Рис. 3. Повторяемость зимних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария в фазе Эль-Ниньо с использованием индексов Nino3 и Nino4, при разных фазах АМО (а,б) и PDO (в,г) в вариантах I (а,в) и II (б,г) на фоне средних значений (с заштрихованным диапазоном СКО) для всего периода 1979–2018 гг.

тия Эль-Ниньо в фазе PDO- были отмечены только дважды в варианте II, а в варианте I не были выявлены ни разу при использовании индекса Nino3. При этом отмечены экстремально большие значения p в областях максимумов повторяемости атмосферных блокирований в Евро-Атлантическом и Тихоокеанских секторах в фазе PDO- и пониженных соответствующих значений повторяемости блокирований в PDO+. В фазе PDO- проявились противоположные аномалии значений p в вариантах I (рис. 3в) и II (рис. 3г) над Атлантическим океаном, а также над восточными регионами Северной Америки — с экстремально большими оценками повторяемости атмосферных блокирований для варианта II и экстремально низкими для варианта I. Наряду с этим, в фазе PDO- в варианте I при событиях Эль-Ниньо, характеризуемых индексом Nino4, повторяемость атмосферных блокирований экстремально высокая над восточными регионами Азии и западной частью Тихого океана, тогда как при выделении явлений Эль-Ниньо по индексу Nino3 значения p близки к средним значениям для периода 1979–2018 гг.

На рис. 4 представлены соответствующие оценки повторяемости зимних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария в фазе Ла-Нинья (с использованием индексов Nino3 и Nino4) при разных фазах АМО (а,б) и PDO (в,г) в вариантах I (а,в) и II (б,г) на фоне средних значений p для всего периода 1979–2018 гг. Проявляется очень большой диапазон вариаций повторяемости атмосферных блокирований при Ла-Нинья в разных фазах АМО и PDO. Это связано, в том числе, и с низкой частотой проявления отмеченных режимов — только для режимов Ла-Нинья в фазе PDO- выявлено 5 событий (рис. 4в), в остальных случаях не больше 3 событий в зависимости от фазы АМО и не больше 2 событий в зависимости от фазы PDO. А в фазе PDO+ не было отмечено ни одного канонического события Ла-Нинья (характеризуемого индексом Nino3).

В фазе Ла-Нинья, согласно рис. 4, наряду с максимумами p над Евро-Атлантическим и Тихоокеанскими секторами проявляются экстремально высокие значения повторяемости атмосферных блокирований в области Уральских гор. Это от-

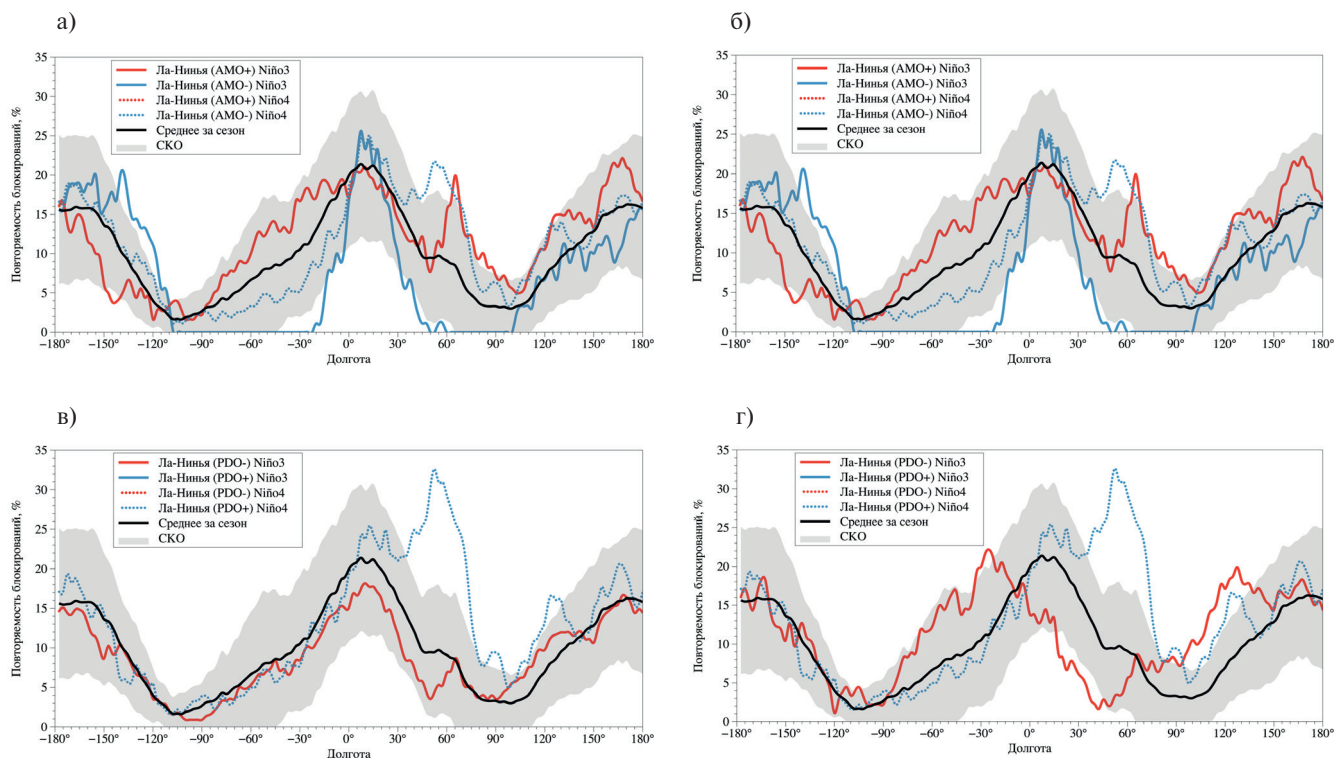


Рис. 4. Повторяемость зимних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария в фазе Ла-Нинья с использованием индексов Nino3 и Nino4, при разных фазах АМО (а,б) и PDO (в,г) в вариантах I (а,в) и II (б,г) на фоне средних значений (с заштрихованным диапазоном SKO) для всего периода 1979–2018 гг.

мечено в обоих вариантах I и II для фаз АМО+ и АМО-, а также для фазы PDO+ (при Ла-Нинья, диагностированным с использованием индекса Nino4).

В западном полушарии во время Ла-Нинья в фазе АМО+ оценки p над Атлантикой и восточными регионами Северной Америки существенно больше, чем в фазе АМО-, и больше средних значений p для периода 1979–2018 гг., а над восточной частью Тихого океана — наоборот (рис. 4а,б). В восточном полушарии соответствующие оценки p в фазе АМО+ больше средних значений повторяемости атмосферных блокирований над азиатскими регионами и западной частью Тихого океана, а также в целом больше, чем в фазе АМО-. При этом в области максимальных значений p над западно-европейскими регионами повторяемость атмосферных блокирований в фазе АМО- больше, чем в фазе АМО+ (и больше средних оценок p). Соответствующие оценки p в фазе АМО+ над восточно-европейскими регионами и значительной частью азиатских регионов при Ла-Нинья, детектируемых индексом Nino4, существенно больше, чем при использовании индекса Nino3.

Сильнейшие различия оценок p при Ла-Нинья получены для разных фаз PDO (рис. 4в,г). Во время Ла-Нинья, детектированных с использованием индекса Nino4, получены экстремально большие оценки повторяемости атмосферных блокирований в фазе PDO+ в области Уральских гор — значительно больше средних значений и оценок для фазы PDO-. Большие значения p отмечены в фазе PDO+ также в области максимума в Евро-Атлантическом секторе — больше средних значений и оценок для фазы PDO- (в варианте I). Значительно отличаются оценки p при Ла-Нинья для фазы PDO- в варианте II по сравнению с вариантом I. В частности, в варианте II оценки p в фазе PDO- существенно больше, чем в варианте I, над Атлантикой и восточными регионами Северной Америки, а также над азиатскими регионами.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты выявили значительные региональные аномалии повторяемости зимних атмосферных блокирований в Северном полушарии при разных фазах явлений Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической

мультидесятилетней осцилляций по данным для последних десятилетий. В том числе отмечены особенности при разных индексах детектирования явлений Эль-Ниньо на фоне среднего распределения повторяемости зимних атмосферных блокирований для 40-летнего периода 1979–2018 гг. с максимумами в Евро-Атлантическом и Тихоокеанском секторах.

Отмечено, что в нейтральной фазе Эль-Ниньо повторяемость атмосферных блокирований в области зимних максимумов в Евро-Атлантическом и Тихоокеанском секторах существенно больше средних значений для периода 1979–2018 гг. при положительной фазе PDO, а также в области зимнего максимума в Тихоокеанском секторе при отрицательной фазе АМО. В фазе Эль-Ниньо отмечено, в частности, существенное увеличение повторяемости атмосферных блокирований над Тихим и Атлантическим океанами в отрицательной фазе Тихоокеанской десятилетней осцилляции, а также в положительной фазе Атлантической мультидесятилетней осцилляции. Значительное увеличение повторяемости атмосферных блокирований зимой отмечено в фазе Ла-Нинья (при использовании индекса Nino4) в области Уральских гор в положительной фазе PDO и отрицательной фазе АМО.

Результаты проведенного анализа межгодовой изменчивости повторяемости зимних режимов атмосферных блокирований при совместном учете эффектов Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляций необходимы для детализации оценок предсказуемости формирования экстремальных региональных режимов в зависимости от фаз ключевых мод межгодовой и мультидесятилетней климатической изменчивости. Полученные оценки для 40-летнего периода наряду с более статистически значимыми эффектами выявили региональные сезонные режимы с повышенной изменчивостью в разных фазах Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляций.

Для исследования возможности получения более статистически значимых оценок с обоснованием механизмов формирования выявленных особенностей необходим соответствующий анализ для больших временных интервалов с использованием различных данных и модельных расчетов. При анализе доступных данных не стоит

пренебрегать статистически незначимыми оценками — с редкими сочетаниями фаз Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультidesятилетней осцилляций могут быть связаны экстремальные региональные климатические режимы. Особого внимания требуют оценки формирования режимов с потенциально большим риском негативных последствий, даже статистически незначимые по доступным данным.

Следует учитывать, что при изменениях климата изменяются и особенности естественной климатической изменчивости, в том числе проявления Эль-Ниньо, АМО и PDO, по-разному изменяются процессы формирования Эль-Ниньо различного типа [Мохов, 2022; Мохов и др., 2000; Mokhov et al., 2004; Мохов, 2022б; Мохов, Медведев, 2022]. Соответственно, следует ожидать изменений потенциала предсказуемости климатических аномалий в связи с этими модами. Наряду с региональными режимами со значимой повторяемостью атмосферных блокирований и значимыми ее вариациями значение имеют соответствующие режимы с устойчиво низкой повторяемостью блокирований.

Данная работа выполнена в соответствии с тематикой проекта РНФ 24-17-00211 с использованием результатов, полученных в рамках проекта РНФ 23-47-00104 и соглашения № 075-15-2021-577 Министерства науки и высшего образования РФ с ИФА им. А.М. Обухова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Зоркальцева О.С., Девятова Е.В. Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Ч. 1. Особенности обнаружения, объективные критерии и их сравнение // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 34–45.
- Бардин М.Ю. Антициклоническая квазистационарная циркуляция и ее влияние на аномалии и экстремумы температуры воздуха в западных областях России // Метеорология и гидрология. 2007. № 2. С. 5–18.
- Груза Г.В., Коровкина Л.В. Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991а. № 3. С. 108–110.
- Груза Г.В., Коровкина Л.В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991б. № 8. С. 11–18.
- Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я. Индексы блокирования в Северном полушарии: оценки для 2020 года и тенденции многолетних изменений // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. № 2. С. 81–98.
- Луно А.Р. и др. Оценка влияния на распад блокингов процессов планетарного масштаба с анализом фазовых траекторий и энтропии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 1. С. 3–17.
- Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М. и др. Существует ли связь между сокращением морского льда в Арктике и ростом повторяемости аномально холодных зим в Евразии и Северной Америке? Синтез современных исследований // Метеорология и гидрология. 2018. Т. 11. С. 49–67.
- Мохов И.И. Действие как интегральная характеристика климатических структур: Оценки для атмосферных блокингов // Доклады АН. 2006. Т. 409. № 3. С. 403–406.
- Мохов И.И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 709–716.
- Мохов И.И. Аномальные зимы в регионах Северной Евразии в разных фазах явлений Эль-Ниньо // ДАН. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 2. С. 93–98.
- Мохов И.И. Экстремальные атмосферные и гидрологические явления в российских регионах: связь с Тихоокеанской десятилетней осцилляцией // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 2. С. 183–188.
- Мохов И.И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022а. Т. 92. № 1. С. 3–14.
- Мохов И.И. Изменения частот фазовых переходов разных типов явлений Эль-Ниньо в последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022б. Т. 58. № 1. С. 3–10.
- Мохов И.И. Сезонные особенности изменений повторяемости экстремальных погодно-климатических явлений в российских регионах в последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2023. № 11. С. 50–64.
- Мохов И.И. Зимние атмосферные блокирования в Северном полушарии при климатических изменениях последних десятилетий (1980–2018 гг.) // ДАН. Науки о Земле. 2023. Т. 508. № 1. С. 132–138.
- Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А. и др. Блокинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // Доклады АН. 2013. Т. 449. № 5. С. 582–586.

- Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостьянов Д.В. Эволюция характеристик климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36. № 6. С. 741–751.
- Мохов И.И., Медведев Н.Н. Амплитудно-частотные особенности явлений Эль-Ниньо разного типа и их изменения в последние десятилетия // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика и астрономия. 2022. № 3. С. 51–57.
- Мохов И.И., Петухов В.К. Блокинг и тенденции их изменения // Доклады АН. 1997. Т. 357. № 5. С. 687–689.
- 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.
- Мохов И.И., Тимажев А.В. Атмосферные блокирования и изменения их повторяемости в XXI веке по расчетам с ансамблем климатических моделей // Метеорология и гидрология. 2019. № 6. С. 5–16.
- Мохов И.И., Тимажев А.В. Повторяемость летних атмосферных блокирований в Северном полушарии в разных фазах явлений Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультideсятилетней осцилляций // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 3. С. 239–249.
- Мохов И.И., Тимажев А.В. Интегральный индекс активности атмосферных блокирований в Северном полушарии в последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 6. С. 638–647.
- Обухов А.М., Курганский М.В., Татарская М.С. Динамические условия возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий // Метеорология и гидрология. 1984. № 10. С. 5–13.
- Семенов В.А. и др. Влияние температуры поверхности океана и границ морского льда на изменение регионального климата в Евразии за последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 4. С. 403–421.
- Ситнов С.А., Мохов И.И. Связь озоновой «минидыры» над Сибирью в январе 2016 г. с атмосферным блокированием // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 1. С. 90–95.
- Тищенко В.А., Хан В.М., Вильфанд Р.М., Рожет Е. Исследование развития атмосферных процессов блокирования и квазистационарирования антициклонов в Атлантико-Европейском секторе // Метеорология и гидрология. 2013. № 7. С. 15–30.
- Шакина Н.П., Иванова А.Р. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 5–18.
- Antokhina O. Yu., Antokhin P.N., Devyatova E.V., Martynova Yu.V. 2004–2016 wintertime atmospheric blocking events over Western Siberia and their effect on surface temperature anomalies // Atmosphere. 2018. V. 9. P. 72, doi:10.3390/atmos9020072
- Bacer S., Jomaa F., Julien Beaumet J. et al. Impact of climate change on wintertime European atmospheric blocking // Wea. Clim. Dyn. 2022. V. 3. P. 377–389.
- Bardin M., Gruza G.V., Lupo A.R., et al. Quasi-stationary anticyclones in the Northern Hemisphere: An analysis of interannual and interdecadal variability and long-term trends at 1000 hPa and 500 hPa using geometric definition // Proc. 16th Symp. on Global Change and Climate Variation. 85th Ann. Meet. AMS. 2005. P. 9–13.
- Barnes E.A., Dunn-Sigouin E., Masato G., Woollings T. Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41, P. 638–644.
- Barnes E.A., Slingo J., Woollings T. A methodology for the comparison of blocking climatologies across indices, models and climate scenarios // Clim. Dyn. 2012, V. 38. P. 2467–2481.
- Barriopedro D., Anto M., Garcia J.A. Atmospheric blocking signatures in total ozone and ozone miniholes // J. Clim. 2010. V. 23. P. 3967–3983.
- Barriopedro D., Calvo N. On the relationship between ENSO, stratospheric sudden warmings, and blocking // J. Clim. 2014. V. 27. P. 4704–4720.
- Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R., Hernandez E. A climatology of Northern Hemisphere blocking // J. Clim. 2006. V. 19. P. 1042–1063.
- Blackport R., Screen J. Weekend evidence for mid-latitude impacts of Arctic warming. – Nat. Clim. Change. 2020. V. 10. P. 1065–1066.
- Chen T.-C., Yoon J.-h. Interdecadal variation of the North Pacific wintertime blocking // Mon. Wea. Rev. 2002. V. 130. P. 3136–3143.
- 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.
- Croci-Maspoli M., Schwierz C., Davies H.C. A multifaceted climatology of atmospheric blocking and its recent linear trend // J. Clim. 2007. V. 20. P. 633–649.
- Dee D. P., Uppala S.M., Simmons A. J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2011. V. 137. P. 553–597.

- de Vries H., Woolings T., Anstey et al. Atmospheric blocking and its relation to jet changes in a future climate // *Clim. Dyn.* 2013. V. 41. P. 2643–2654.
- Diao Y., Li J., Luo D. A new blocking index and its application: Blocking action in the Northern Hemisphere // *J. Clim.* 2006. V. 19. P. 4819–4839.
- Dole R., Gordon N. Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical-distribution and regional persistence characteristics // *Mon. Wea. Rev.* 1983. V. 111 (8). P. 1567–1586.
- Dunn–Sigouin E., Son S.-W. Northern Hemisphere blocking frequency and duration in the CMIP5 models // *J. Geophys. Res.* 2013. V. 118. P. 1179–1188.
- Enfield D.B., Mestas-Nunez A.M., Trimble P.J. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 28. P. 2077–2080.
- Francis J.A., Vavrus S.J. Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming // *Environ. Res. Lett.* 2015. V. 10, 014005.
- Hansen A.R., Sutera A. A comparison between planetary-wave flow regimes and blocking // *Tellus A.* 1993. V. 45A. P. 281–288.
- Kwon Y.-O., Seo H., Ummenhofer C. C., Joyce T.M. Impact of multidecadal variability in Atlantic SST on winter atmospheric blocking // *J. Clim.* 2020. V. 33. P. 867–892.
- Lejenäs H., Øakland H. Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from long time series of observational data // *Tellus.* 1983. V. 35A. P. 350–362.
- Li F., Orsolini Y.J., Wang H., Gao Y., He S. Atlantic multidecadal oscillation modulates the impacts of Arctic sea ice decline // *Geophys. Res. Lett.* 2018. V. 45. P. 2497–2506.
- Luo D., Liu J., Li J. Interaction between planetary-scale diffuent flow and synoptic-scale waves during the life cycle of blocking // *Adv. Atmos. Sci.* 2010. V. 27 (4). P. 807–831.
- Luo B., Luo D., Dai A. et al. A connection of winter Eurasian cold anomaly to the modulation of Ural blocking by ENSO // *Geophys. Res. Lett.* 2021. V. 48, e2021GL094304. <https://doi.org/10.1029/2021GL094304>
- Luo B., Luo D., Dai A. et al. Decadal variability of winter warm Arctic-cold Eurasia dipole patterns modulated by Pacific Decadal Oscillation and Atlantic Multidecadal Oscillation // *Earth's Fut.* 2022. V. 10, e2021EF002351. <https://doi.org/10.1029/2021EF002351>
- Lupo A.R. Atmospheric blocking events: a review // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2021. V. 1504. P. 5–24.
- Lupo A.R. et al. Changes in global blocking character during recent decades // *Atmosphere.* 2019. V. 10 (2). P. 92, <https://doi.org/10.3390/atmos10020092>
- Lupo A.R. et al. 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.
- Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1997. V. 78. P. 1069–1079.
- Masato G., Woolings T., Hoskins B. Structure and impact of atmospheric blocking over the Euro-Atlantic region in present-day and future simulations // *Geophys. Res. Lett.* 2014. V. 41. P. 1051–1058.
- Mokhov I.I., Khvorostyanov D.V., Eliseev A.V. Decadal and longer term changes in El Nino — Southern Oscillation characteristics // *Intern. J. Climatol.* 2004. V. 24. P. 401–414.
- Mokhov I.I., Smirnov A.V. Contributions to surface air temperature trends estimated from climate time series: Medium-term causalities // *Chaos.* 2022. V. 32, 063128, <https://doi.org/10.1063/5.0088042>
- Mokhov I.I., Timazhev A.V., Lupo A.R. Changes in atmospheric blocking characteristics within Euro-Atlantic region and Northern Hemisphere as a whole in the 21st century from model simulations using RCP anthropogenic scenarios // *Glob. Planet. Change.* 2014. V. 122. P. 265–270.
- Mokhov I.I., Timazhev A.V. Seasonal hydrometeorological extremes in the Northern Eurasian regions depending on ENSO phase transitions // *Atmosphere.* 2022. V. 13 (2). 249, <https://doi.org/10.3390/atmos13020249>
- Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // *J. Atmos. Sci.* 2003. V. 60. P. 743–755.
- Peters D., Egger J., Entzian G. Dynamical aspects of ozone mini-hole formation // *Meteorol. Atmos. Phys.* 1995. V. 55. P. 205–214.
- Rayner N. A., Parker D. E., Horton E. B. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108 (D14), 4407, doi:10.1029/2002JD002670.
- Renwick J.A., Wallace J.M. Relationships between North Pacific wintertime blocking, El Nino, and PNA pattern // *Mon. Wea. Rev.* 1996. V. 124. P. 2071–2076.
- Rex D.F. Blocking action in the middle troposphere and its effect on regional climate. Part I: An aerological study of blocking action // *Tellus.* 1950a. V. 2. P. 196–211.
- Rex D.F. Blocking action in the middle troposphere and its effect on regional climate. Part II: The climatology of blocking action // *Tellus.* 1950b. V. 2. P. 275–301.

- Scherer S.C., Croci-Maspoli M., Schwierz C., Appenzeller C.* Two-dimensional indices of atmospheric blocking and their statistical relationship with winter climate patterns in the Euro-Atlantic region // *Intern. J. Climatol.* 2006. V. 26. P. 233–249.
- Tibaldi S., Molteni F.* On the operational predictability of blocking // *Tellus.* 1990. V. 42A. P. 343–365.
- 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. 25–26.
- Tyrllis E., Hoskins B.J.* Aspects of a Northern Hemisphere atmospheric blocking climatology // *J. Atmos. Sci.* 2008. V. 65. P. 1638–1652.
- Wazneh H., Gachon P., Laprise R. et al.* Atmospheric blocking events in the North Atlantic: trends and links to climate anomalies and teleconnections // *Clim. Dyn.* 2021. V. 56 (11–12), DOI:10.1007/s00382-020-05583-x
- Wiedenmann J.M. et al.* The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostic // *J. Clim.* 2002. V. 15 (23). P. 3459–3473.

FREQUENCY OF WINTER ATMOSPHERIC BLOCKINGS IN THE NORTHERN HEMISPHERE IN DIFFERENT PHASES OF EL NIÑO, PACIFIC DECADAL AND ATLANTIC MULTIDECADAL OSCILLATIONS

I. I. Mokhov^{1, 2, *}, A. V. Timazhev¹

¹*Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Science,
Pyzhevskii per., 3, Moscow, 119017, Russia*

²*Lomonosov Moscow State University Leninskie Gory 1, Moscow, 119991, Russia*

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Estimates of regional anomalies in the frequency of winter atmospheric blockings in the Northern Hemisphere, diagnosed using reanalysis data for the period 1979–2018, are presented. at different phases of the El Niño, Pacific Decadal and Atlantic Multidecadal Oscillations. In particular, quantitative estimates were obtained of the regional frequency of winter blockings during El Niño of various types, characterized, in particular, by the Nino3 and Nino4 indices. In particular, during the neutral phase of El Niño phenomena in the positive phase of the Pacific decadal oscillation, a significant excess of the average frequency values of winter atmospheric blockings for a 40-year period over the Euro-Atlantic and Pacific sectors was noted. During the El Niño phase, a significant increase in the frequency of atmospheric blockings was noted in the negative phase of the Pacific Decadal Oscillation, as well as in the positive phase of the Atlantic Multidecadal Oscillation, in particular over the Pacific and Atlantic oceans. In the La Niña phase, using the Nino4 index, a significant increase in the frequency of atmospheric blocking in winter in the Ural Mountains region was revealed in the positive phase of the Pacific decadal oscillation and the negative phase of the Atlantic multidecadal oscillation.

Keywords: winter atmospheric blockings, reanalysis data, El Niño phenomena, Atlantic Multidecadal Oscillation, Pacific Decadal Oscillation