

УДК 551.583

## ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЛЕТНИХ АТМОСФЕРНЫХ БЛОКИРОВАНИЙ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ В РАЗНЫХ ФАЗАХ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЬ-НИНЬО, ТИХООКЕАНСКОЙ ДЕСЯТИЛЕТНЕЙ И АТЛАНТИЧЕСКОЙ МУЛЬТИДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ОСЦИЛЛЯЦИЙ

© 2022 г. И. И. Мохов<sup>a, b, \*</sup>, А. В. Тимажев<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер., 3, Москва, 119017 Россия

<sup>b</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
ГСП-1, Ленинские горы, 1, с. 2, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Поступила в редакцию 09.01.2022 г.

После доработки 01.02.2022 г.

Принята к публикации 09.02.2022 г.

Представлены оценки региональных аномалий повторяемости атмосферных блокирований в Северном полушарии, диагностированных по данным реанализа с 1979 г. при разных фазовых переходах явлений Эль-Ниньо в различных фазах Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультисекоплетней осцилляций. В том числе получены количественные оценки аномальных значений региональной повторяемости летних блокирований, связанных с положительными и отрицательными фазами явлений Эль-Ниньо и переходами между ними. Отмечены существенные различия для явлений Эль-Ниньо, диагностированных с использованием разных индексов, характеризующих процессы разного типа.

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

**DOI:** 10.31857/S0002351522030099

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно Шестому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1] изменения климата, связанные с антропогенными воздействиями, уже влияют на многие экстремальные погодные-климатические явления во всех регионах Земли. Отмечено, что после опубликования Пятого доклада МГЭИК в 2013 г. [2] все больше свидетельств наблюдаемых изменений экстремальных явлений, таких как волны тепла, сильные осадки, засухи, и оснований для их связи с антропогенным влиянием.

Количество опасных метеорологических явлений в России по данным Росгидромета (<http://www.meteorf.ru>) за последние два десятилетия с конца XX века троекратно увеличилось на фоне быстрого потепления в России. Существенно, что наибольшее количество гидрометеорологических аномалий отмечается в теплые месяцы – чаще летом. По данным метеорологических наблюдений количество опасных явлений в России с конца XX века увеличивалось в среднем более, чем два десятка событий в год, при этом число экстремальных явлений летом (составляющих 40% об-

щего количества за год) увеличивалось в среднем на 10 событий в год [3].

Сильнейшие региональные погодные-климатические аномалии в средних широтах связаны с атмосферными блокированиями (блокингами). При этом блокинги характеризуются слабой предсказуемостью 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 [4–48]. Особенности различных методов детектирования атмосферных блокирований, отмечены, в частности, в [30, 43].

На характеристики блокинговой активности существенно влияют ключевые моды естественной климатической изменчивости, такие как явления Эль-Ниньо/Южная осцилляция, Северо-Атлантическая осцилляция, Атлантическая мультисекоплетняя осцилляция, Тихоокеанская десятилетняя осцилляция и др. [37, 42, 44].

Согласно [37] повторяемость летних атмосферных блокирований (доля дней с блокированием) в средних широтах европейской части России заметно меньше в годы, начинающиеся в нейтральной фазе Эль-Ниньо ( $N$ ) с относительно слабыми аномалиями температуры поверхности в экваториальных широтах Тихого океана сравнению с годами, начинающимися в фазе Ла-Нинья ( $L$ ) (как в 2021 г.) и в фазе Эль-Ниньо ( $E$ ) со значимыми отрицательными и положительными температурными аномалиями, соответственно. При этом повторяемость блокирований в европейских российских регионах заметно выше в годы, заканчивающиеся в фазе Ла-Нинья или нейтральной (весной 2021 г. эти фазы оценивались как наиболее вероятные для конца этого года) [47]. Значительные вариации повторяемости летних атмосферных блокирований в зависимости от фаз явлений Эль-Ниньо проявляются к востоку от Байкала, причем этот эффект в восточной части Азии существенно заметнее в годы, начинающиеся в фазе Эль-Ниньо, а также в годы, заканчивающиеся в фазе Ла-Нинья или нейтральной фазе. Наибольшая вероятность экстремально высокой приповерхностной температуры и засухи в весенне-летние месяцы в регионах европейской части территории России отмечена в годы, начинающиеся в фазе Эль-Ниньо и заканчивающиеся в фазе Ла-Нинья [42], как, в частности, летом 2010 г. (с аномальной жарой и сильнейшими пожарами на европейской территории России). Для среднеширотных регионов в азиатской части России (без Дальнего Востока) подобные процессы отмечены при продолжающейся фазе Эль-Ниньо с начала до конца года (как, например, в 2015 г.). Выявлена значимая связь с явлениями Эль-Ниньо гидрологического режима в бассейне Каспийского моря, в том числе его уровня [49].

Следует отметить, что при глобальном потеплении возможно усиление региональных эффектов в связи с тенденцией усиления и учащения квазициклических процессов типа Эль-Ниньо [50]. Рекордное амурское наводнение 2013 г. было связано с продолжительными осадками в бассейне Амура в сезон дальневосточного муссона на фоне аномально высокой температуры поверхности океана в западной части Тихого океана в отрицательной фазе Тихоокеанской десятилетней осцилляции [37, 47]. Формированию рекордного наводнения способствовало и повышенное влагосодержание почвы в речном бассейне вследствие увеличения зимнего снегозапаса в дальневосточном регионе. Рост зимнего снегозапаса, отмеченный на территории России в последние десятилетия, связан с ростом влагоемкости атмосферы и увеличением количества зимних осадков при потеплении. При этом исходно рекордная гидрологическая аномалия в бассейне Амура была инициирована продолжи-

тельным летним атмосферным блокированием над Тихим океаном [37] (см. также [47, 51]).

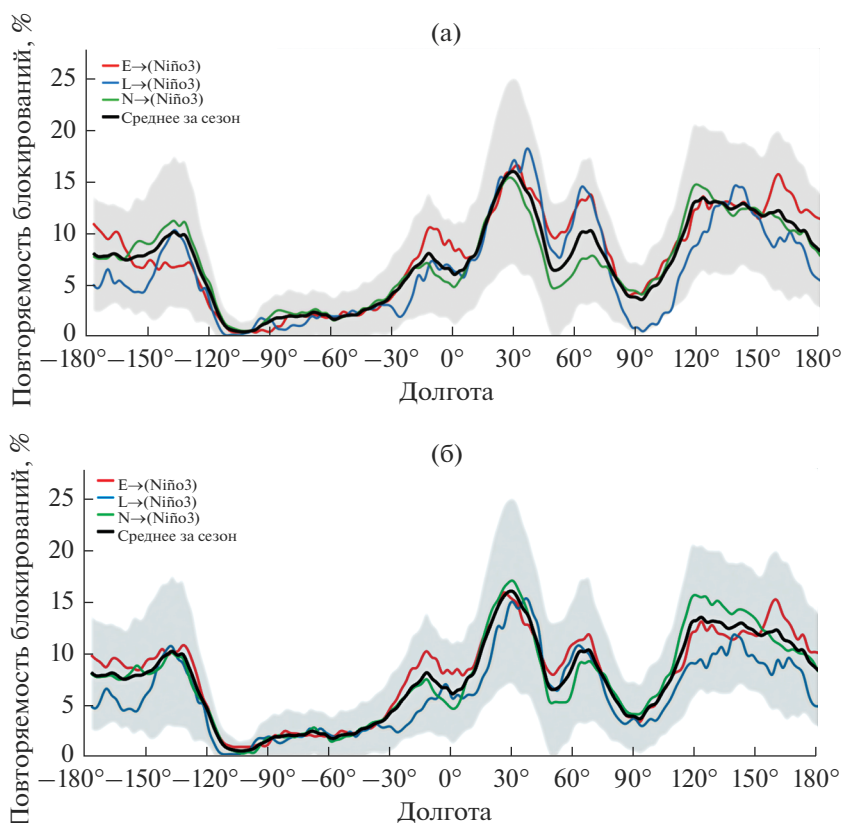
В данной работе анализируется повторяемость летних атмосферных блокирований в Северном полушарии при разных фазовых переходах явлений Эль-Ниньо в различных фазах Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляции для периода 1979–2019 гг. При анализе повторяемости летних атмосферных блокирований в Северном полушарии в разных (положительных и отрицательных) фазах Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляции более детально оценивались особенности, связанные с экстремальными фазами явлений Эль-Ниньо и переходами между ними.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В данной работе использовались данные реанализа ERA-Interim [52] для периода 1979–2019 гг. Доля дней с атмосферным блокированием (повторяемость блокингов) определялась аналогично [19, 41, 43, 44] на основе подхода Леженаса–Окланда [8]. В частности, анализировался зональный индекс блокирования, определяемый разностью геопотенциальных высот на уровне 500 гПа между субтропическими и субполярными широтами (между  $40^\circ$  и  $60^\circ$  с. ш.). Атмосферное блокирование диагностировалось при изменении знака индекса блокирования с положительного (при геострофическом западном переносе в средних широтах) на отрицательный в достаточно протяженном диапазоне долгот (не менее  $30^\circ$ ) в течение не менее 5 сут.

Использовались также данные для индексов, характеризующих квазициклические явления 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/](https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/)).

Фазы Эль-Ниньо ( $E$ ) и Ла-Нинья ( $L$ ) выделялись, в частности, с использованием 5-месячного скользящего осреднения значений аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальной части Тихого океана, характеризующейся индексами Ниньо-3 и Ниньо-4. Фаза Эль-Ниньо (теплая фаза) и фаза Ла-Нинья (холодная фаза) определялись, соответственно, значениями аномалий ТПО не менее  $0.5$  К или не более  $-0.5$  К в течение 6 месяцев подряд, включая декабрь. Остальные случаи характеризовались как нейтральная фаза ( $N$ ). Соответственно для лет, начинающихся в фазе  $E$ , возможны 3 перехода в течение года:  $E \rightarrow E$ ,  $E \rightarrow L$  и  $E \rightarrow N$ , а для лет с нача-



**Рис. 1.** Повторяемость летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в Северном полушарии по данным для периода 1979–2019 гг. в годы, начинающиеся в фазе Эль-Ниньо (*E*, красный цвет), Ла-Нинья (*L*, синий цвет) и в нейтральной фазе (*N*, зеленый цвет), при использовании индекса Niño3 (а) и Niño4 (б). Черные кривые характеризуют средние значения летней повторяемости блокирований для периода 1979–2019 гг. с заштрихованным диапазоном СКО.

лом в фазе *L*:  $L \rightarrow E$ ,  $L \rightarrow L$  и  $L \rightarrow N$ . Следует отметить, что случаи  $E \rightarrow E$  и  $L \rightarrow L$  с одной той фазой Эль-Ниньо в начале и в конце года не обязательно означают сохранение соответствующей фазы в течение года. Возможно ослабление аномалий ТПО в области формирования Эль-Ниньо в течение года с последующим их усилением к концу года. В связи с этим случаи  $E \rightarrow E$  и  $L \rightarrow L$  в данной работе также называются переходами, как и случаи с изменением фазы.

Индекс АМО определяется температурой поверхности Северной Атлантики в широтном поясе 20–70° с.ш. с вариациями с характерным периодом около шести десятилетий. Индекс PDO определяется температурой поверхности Тихого океана севернее 20° с.ш. с вариациями с характерным периодом около двух десятилетий. Для АМО и PDO выделялись положительные и отрицательные фазы с соответствующими среднегодовыми аномалиями индексов относительно многолетних средних значений.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

На рис. 1 представлены оценки повторяемости *p* летних атмосферных блокирований (доли дней с

блокированием) в средних широтах в Северного полушария в зависимости от долготы – средние значения (черная кривая) и диапазон межгодовой изменчивости, характеризуемый среднеквадратическими отклонениями (СКО), по данным для периода 1979–2019 гг. Наибольшие значения средней повторяемости и межгодовой изменчивости летних атмосферных блокирований отмечаются в средних широтах над европейскими регионами с максимумом около 30° в.д., высокие значения *p* связаны с прибрежными регионами, в том числе на востоке Азии и западе Тихого океана, на востоке Тихого океана и западе Северной Америки, в области Уральских гор. Повышенные средние значения *p* отмечаются в прибрежных регионах на востоке Атлантического океана и западе Европы. Слабое увеличение значений повторяемости блокирований проявляется в средних широтах для прибрежных регионов на западе Атлантического океана и востоке Северной Америки. Пониженные значения *p* в средних широтах отмечаются для внутриконтинентальных регионов (с наиболее низкими средними значениями и более слабой межгодовой изменчивостью над Северной Америкой) и акваторий в центральных областях Тихого и Атлантического океанов (с наиболее

низкими средними значениями и более слабой межгодовой изменчивостью над Атлантическим океаном).

На фоне средних значений для повторяемости летних атмосферных блокирований в средних широтах Северного полушария на рис. 1 представлены оценки для лет, начинающиеся в разных фазах явлений Эль-Ниньо — фазе Эль-Ниньо ( $E$ ), Ла-Нинья ( $L$ ) и в нейтральной фазе ( $N$ ), при использовании индексов Nino3 (а) и Nino4 (б). Согласно рис. 1а, 1б аномалии значений  $p$  различаются при диагностированных с использованием индексов Nino3 и Nino4 разных типах явлений Эль-Ниньо.

При использовании индекса Nino3 отмечены заметные вариации  $p$  в средних широтах в окрестности Уральских гор — со значениями  $p$  в годы, начинающиеся в нейтральной фазе, существенно меньшими, чем в годы, начинающиеся в фазах Эль-Нино и Ла-Нинья. При этом в годы, начинающиеся в фазе Ла-Нинья проявляются наименьшие значения  $p$  для внутриконтинентальных среднеширотных регионов в Азии, а также пониженные значения над Тихим океаном. В прибрежных регионах на востоке Атлантического океана и западе Европы повторяемость летних блокирований в целом повышена в годы, начинающиеся в фазе Эль-Нино, и понижена в годы, начинающиеся в фазе Ла-Нинья.

При использовании индекса Nino4 проявляется повышенная повторяемость летних блокирований для лет, начинающихся в нейтральной фазе Эль-Ниньо в средних широтах на востоке Азии и на западе Тихого океана. При этом отмечено уменьшение повторяемости атмосферных блокирований для лет, начинающихся в фазе Ла-Нинья, в частности для азиатских среднеширотных регионов и над Тихим океаном. Как и с использованием индекса Nino3, в прибрежных среднеширотных регионах на востоке Атлантического океана и на западе Европы повторяемость летних блокирований в целом повышена в годы, начинающиеся в фазе Эль-Нино, и понижена в годы, начинающиеся в фазе Ла-Нинья.

Отмеченные на рис. 1 аномалии повторяемости летних блокирований, выделяемые только по фазе явлений Эль-Ниньо в начале года, находятся в диапазоне межгодовых вариаций, характеризующих СКО. Более детальный анализ можно провести для разных фазовых переходов явлений Эль-Ниньо, в том числе с выделением разных фаз ключевых долгопериодных (междесятилетних) мод естественной климатической изменчивости. На рис. 2—4 на фоне средних значений для повторяемости летних атмосферных блокирований (с диапазоном межгодовой изменчивости, характеризующимися СКО) в средних широтах Северного полушария представлены оценки  $p$  по данным

для периода 1979—2019 гг. при переходах между экстремальными фазами явлений Эль-Ниньо в положительных и отрицательных фазах PDO и АМО.

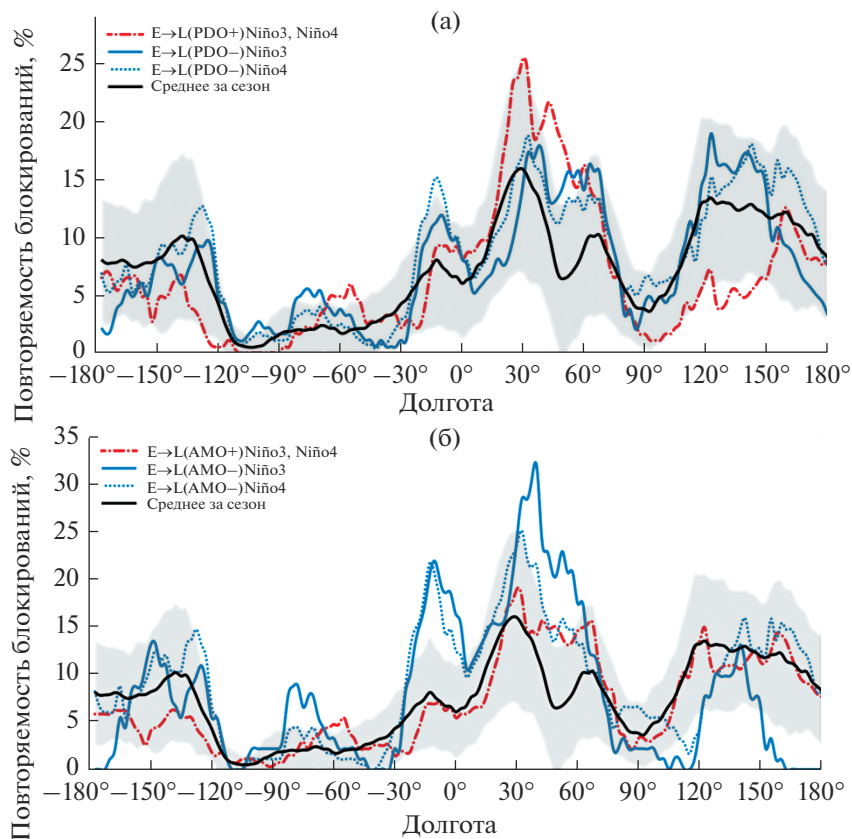
На рис. 2 на фоне средних значений для повторяемости летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в средних широтах Северного полушария для периода 1979—2019 гг. представлены оценки  $p$  для фазовых переходов  $E \rightarrow L$  при использовании индекса Nino3 и Nino4 в положительных и отрицательных фазах PDO (а) и АМО (б). Согласно рис. 2а, б аномалии значений  $p$  существенно различаются как при использовании разных индексов Эль-Ниньо, так и в разных фазах АМО и PDO.

Согласно рис. 2а при переходе  $E \rightarrow L$  значения повторяемости  $p$  летних атмосферных блокирований максимальны (с превышением средних многолетних значений более, чем на СКО) над восточной Европой при использовании обоих индексов Эль-Ниньо в отрицательной фазе PDO. С 1979 г. отмечено два таких перехода — в 2007 г. и в 2010 г. Рекордная жара и пожары летом 2010 г. на европейской территории России были связаны с рекордно длительным режимом атмосферного блокирования — около 2 месяцев [32, 34]. При этом над значительной азиатской территорией и областями Тихого океана в средних широтах значения  $p$  при переходе  $E \rightarrow L$  при отрицательной фазе PDO получены значительно меньшими средних многолетних значений. Соответствующие оценки  $p$  при положительной фазе PDO существенно отличаются от полученных при отрицательной фазе PDO.

В положительной фазе PDO с 1979 г. отмечены два перехода  $E \rightarrow L$  (в 1988 и 1998 гг.), диагностированные с использованием обоих индексов Эль-Ниньо, еще один переход  $E \rightarrow L$  (в 1983 г.) был диагностирован только с использованием индекса Nino4. При этом в положительной фазе PDO по сравнению со средними многолетними значениями отмечено значительное увеличение повторяемости летних блокирований на востоке Евразии и западе Тихого океана, а также заметное увеличение  $p$  у западного побережья Европы. В то же время отмечено существенное уменьшение  $p$  в восточно-европейских регионах по сравнению с отрицательной фазой PDO.

В положительной фазе АМО с 1979 г. отмечены три перехода  $E \rightarrow L$  (в 1998 г., 2007 г. и в 2010 г.), диагностированные с использованием обоих индексов Эль-Ниньо (рис. 2б). При этом аномалии повторяемости летних блокирований в зависимости от долготы в целом находятся в диапазоне СКО относительно средних многолетних значений  $p$ .

В отрицательной фазе АМО с использованием обоих индексов Эль-Ниньо отмечен только один переход  $E \rightarrow L$  (в 1988 г.). Еще один переход  $E \rightarrow L$  выявлен с использованием только одного индек-



**Рис. 2.** Повторяемость летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в Северном полушарии по данным для периода 1979–2019 гг. при фазовых переходах  $E \rightarrow L$  при использовании индекса Niño3 (сплошные линии) и Niño4 (пунктир): (а) в положительной (синий цвет) и отрицательной (красный цвет) фазах PDO и (б) в положительной (красный цвет) и отрицательной (синий цвет) фазах AMO. Черные кривые характеризуют средние значения летней повторяемости блокирований для периода 1979–2019 гг. с заштрихованным диапазоном среднеквадратических отклонений.

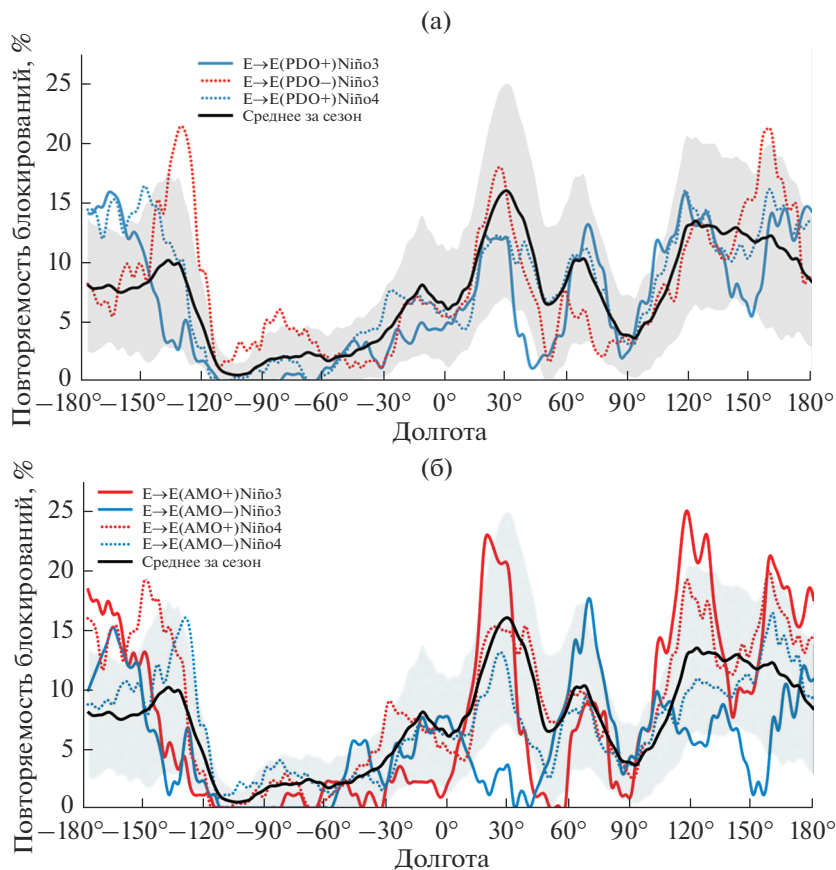
са Эль-Ниньо – индекса Niño4 (в 1983 г.). Эти переходы в 1980-х гг. характеризуются на рис. 2б значительными аномалиями оценок  $p$  с максимальными значениями для регионов на востоке Европы, а также в области Уральских гор и для регионов у западного побережья Европы. В частности, экстремально высокие оценки  $p$  получены при переходе  $E \rightarrow L$  в 1988 г. для восточно-европейских регионов, вплоть до Зауралья. Повышенные значения  $p$  проявились также в областях у восточных и западных побережий Северной Америки. При этом отмечены минимальные значения для оценок повторяемости блокирований в восточных азиатских регионах и в центральных областях Тихого океана.

Рисунок 3 характеризует оценки повторяемости летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в средних широтах Северного полушария при фазовых переходах  $E \rightarrow E$  при использовании индекса Niño3 и Niño4 в положительных и отрицательных фазах PDO (а) и AMO (б) на фоне средних значений повторяемости для периода 1979–2019 гг. Рисунки 3а, 3б свидетельствуют

о значимых различиях аномалий значений  $p$  при использовании разных индексов Эль-Ниньо и в разных фазах AMO и PDO.

В отрицательной фазе PDO переход  $E \rightarrow E$  при использовании только одного индекса Эль-Ниньо (индекса Niño4) по данным с 1979 г. был отмечен дважды (в 1991 и 1994 гг.). При этом максимальные оценки повторяемости летних блокирований (вне диапазона СКО относительно среднего многолетнего режима) отмечены около западного побережья Северной Америки и на западе Тихого океана вблизи восточного побережья Евразии. Отмечено также заметное увеличение повторяемости летних блокирований над регионами Северной Америки с низкими средними многолетними значениями  $p$ .

В положительной фазе PDO переход  $E \rightarrow E$ , диагностированный с использованием обоих индексов Эль-Ниньо, отмечен дважды с 1979 г. (в 1987 и 2015 гг.). Наряду с этим переход  $E \rightarrow E$  отмечен еще дважды (в 2003 и 2004 гг.) с использованием только одного индекса Эль-Ниньо – ин-



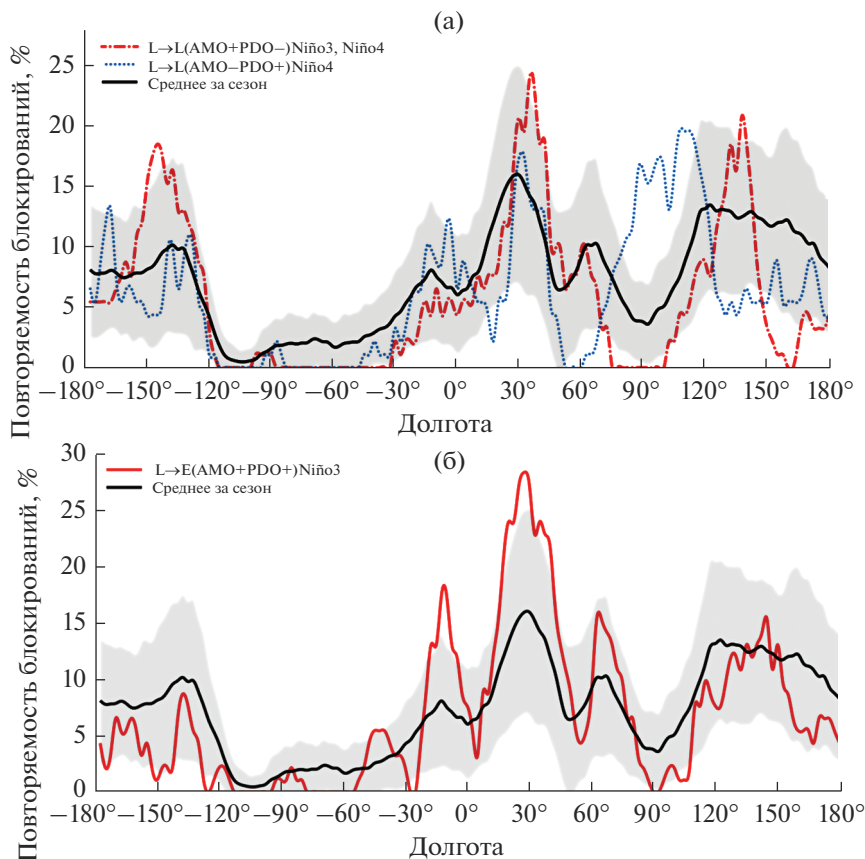
**Рис. 3.** Повторяемость летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в Северном полушарии по данным для периода 1979–2019 гг. при фазовых переходах  $E \rightarrow E$  при использовании индекса Niño3 (сплошные линии) и Niño4 (пунктир): (а) в положительной (синий цвет) и отрицательной (красный цвет) фазах PDO и (б) в положительной (красный цвет) и отрицательной (синий цвет) фазах АМО. Черные кривые характеризуют средние значения летней повторяемости блокирований для периода 1979–2019 гг. с заштрихованным диапазоном среднеквадратических отклонений.

декса Niño4. Повышенные значения повторяемости летних блокирований в положительной фазе PDO при переходе  $E \rightarrow E$  отмечены над центральными областями Тихого океана. При переходах  $E \rightarrow E$ , диагностированных с использованием индекса Niño3, проявились низкие значения повторяемости  $p$  для регионов восточной Европы, а также существенное уменьшение значений  $p$  над западными областями Тихого океана.

В положительной фазе АМО с 1979 г. отмечен только один переход  $E \rightarrow E$  (в 2015 г.), диагностированный с использованием обоих индексов Эль-Ниньо (рис. 3б). Переход  $E \rightarrow E$  в положительной фазе АМО был диагностирован еще дважды (в 2003 и 2004 гг.), но только с использованием индекса Niño4. Для переходов, диагностированных с использованием индекса Niño4, наибольшие значения повторяемости летних блокирований отмечены, в частности, над тихоокеанскими областями, для восточно-азиатских и восточно-европейских регионов. При этом для единственного перехода

$E \rightarrow E$ , диагностированного с использованием индекса Niño3, отмечены максимальные оценки  $p$  для восточно-азиатских регионов, а также для центрально-европейских регионов и над Тихим океаном.

В отрицательной фазе АМО также отмечен только один переход  $E \rightarrow E$  (в 1987 г.), диагностированный с использованием обоих индексов Эль-Ниньо (рис. 3б). Еще дважды (в 1990-х гг.—в 1991 и 1994 гг.) этот переход диагностировался с использованием только индекса Niño4. Для  $E \rightarrow E$  переходов, диагностированных с использованием индекса Niño4, наибольшие значения повторяемости летних блокирований в отрицательной фазе АМО (в том числе у западного побережья Северной Америки, на западе Тихого океана, над центральной Европой) в целом меньше, чем в положительной фазе АМО. Для единственного перехода  $E \rightarrow E$ , диагностированного с использованием индекса Niño3, получены повышенные значения  $p$  с максимумом к востоку от Уральских гор



**Рис. 4.** Повторяемость летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в Северном полушарии по данным для периода 1979–2019 гг. при фазовом переходе  $L \rightarrow L$  (а) при использовании индекса Niño3 (сплошные линии и штрих-пунктир) и Niño4 (пунктир) в положительной (красный цвет) и отрицательной (синий цвет) фазах АМО и в положительной (синий цвет) и отрицательной (красный цвет) фазах PDO, а также при фазовом переходе  $L \rightarrow E$  (б) в положительной фазе АМО и PDO (красный цвет). Черные кривые характеризуют средние значения летней повторяемости блокирований для периода 1979–2019 гг. с заштрихованным диапазоном среднеквадратических отклонений.

и в центральных областях Тихого океана. Наряду с этим отмечены очень низкие значения  $p$  над европейскими регионами и восточно-азиатскими регионами, а также над западными областями Тихого океана.

На рис. 4 на фоне средних значений для повторяемости летних атмосферных блокирований в зависимости от долготы в средних широтах Северного полушария для периода 1979–2019 гг. представлены оценки повторяемости при фазовых переходах  $L \rightarrow L$  (а) и  $L \rightarrow E$  (б) с использованием индексов Niño3 и Niño4 при положительных и отрицательных фазах PDO и АМО. Для фазового перехода  $L \rightarrow L$  (рис. 4а) отмечен один случай (в 1999 г.), детектированный с использованием обоих индексов Эль-Ниньо в положительной фазе АМО и отрицательной фазе PDO. Подобный фазовый переход на основе прогнозов CPC/IRI оценивался как наиболее вероятный для 2021 г. еще в начале весны этого года, начавшегося в фазе Ла-Нинья (см., напр., [53]). К концу октября 2021 г. вероятность фазы Ла-Нинья

зимой 2021–2022 г. оценивалась величиной около 90%. Согласно рис. 4а максимальные значения  $p$  для восточно-европейских регионов, у восточного побережья Северной Евразии и на востоке Тихого океана превышают средние многолетние значения более, чем на величину СКО (для периода 1979–2019 гг.). Минимальные значения  $P$  – над Атлантическим океаном и Северной Америкой, а также над внутриконтинентальными азиатскими регионами и западными областями Тихого океана. При этом над внутриконтинентальными азиатскими регионами и западными областями Тихого океана значения  $p$  получены меньше, чем в пределах диапазона СКО относительно долгопериодных средних летних значений.

Еще один фазовый переход  $L \rightarrow L$  (в 1984 г.), отмеченный на рис. 4а, был детектирован с использованием только индекса Niño4 в отрицательной фазе АМО и положительной фазе PDO. Оценки  $p$  для двух фазовых переходов  $L \rightarrow L$  (в 1984 г. и в 1999 г.) в противоположных фазах как PDO, так и АМО, особенно сильно различаются

на регионами в центральной и восточной частями Азии и на западе Тихого океана – вплоть до проявления максимальных региональных значений  $p$  вместо минимальных и наоборот.

Переход  $L \rightarrow E$  по данным для периода 1979–2019 гг. был отмечен лишь однажды – в 2018 г. только при использовании индекса  $Nino3$  в положительной фазе PDO и АМО (рис. 4б). Для этого перехода максимальные значения повторяемости режима атмосферного блокирования (превышающие средние значения более, чем на величину СКО) оценены для восточно-европейских регионов, а также у западного побережья Европы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты выявили значительные региональные аномалии повторяемости атмосферных блокирований, в частности летних блокирований в Северном полушарии, при разных фазовых переходах явлений Эль-Ниньо в различных фазах Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляций по данным для последних десятилетий. В том числе отмечены аномальные значения региональной повторяемости летних блокирований, связанные с экстремальными фазами явлений Эль-Ниньо и переходами между ними. При этом отмечены существенные различия для явлений Эль-Ниньо, диагностированных с использованием разных индексов, характеризующих процессы разного типа. Полученные оценки характеризуют потенциал предсказуемости межгодовых и междесятилетних особенностей региональных климатических режимов при учете квазициклических климатических процессов с региональным и более крупномасштабным влиянием.

Особое значение имеет разносторонний анализ формирования экстремального засушливого режима с природными пожарами при рекордной температуре у поверхности на европейской территории России летом 2010 г., связанного с рекордно длительным периодом атмосферного блокирования зонального потока в тропосфере [30, 32, 34]. Согласно [42] наибольшая вероятность формирования подобных погодно-климатических аномалий на европейской территории России в весенне-летние месяцы соответствует фазовым переходам  $E \rightarrow L$ , диагностированным с использованием разных индексов Эль-Ниньо, в том числе индексов  $Nino3$  и  $Nino4$ . Детализировать полученные ранее оценки можно, в частности, выделением особенностей межгодовой климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо, при разных фазах ключевых мод климатической изменчивости со значимыми междесятилетними вариациями. В частности, в 2010 г. переход  $E \rightarrow L$  соответствовал отрицательной фазе PDO и положительной фазе АМО. Согласно

полученным результатам при переходе  $E \rightarrow L$  значения повторяемости летних атмосферных блокирований в отрицательной фазе PDO максимальны над восточной Европой при использовании обоих индексов Эль-Ниньо. Отмечено, что соответствующие оценки при положительной фазе PDO существенно отличаются от полученных при отрицательной фазе. При положительной фазе АМО повторяемость летних блокирований над восточной Европой в целом превышает средние многолетние значения, хотя не столь значимо, как при отрицательной фазе PDO. Следует отметить, что согласно [44] повторяемость блокирований в атмосфере Северного полушария в целом больше в положительной фазе АМО и отрицательной фазе PDO.

Развитие процессов в 2021 г. соответствовало фазовому переходу  $L \rightarrow L$  [53]. Для такого редкого в последние десятилетия фазового перехода, детектированного с использованием обоих индексов Эль-Ниньо, получены экстремальные оценки повторяемости летних блокирований в положительной фазе АМО и отрицательной фазе PDO над восточной частью Европы и вблизи восточного побережья Северной Евразии.

При анализе режимов повторяемости сезонных атмосферных блокирований наряду с выявлением региональных аномалий с повышенной повторяемостью блокирований существенное значение имеет выявление регионов с пониженной их повторяемостью. В частности, при фазовом переходе  $E \rightarrow L$  в отрицательной фазе PDO, как в 2010 г., наряду с очень высокой повторяемостью летних блокирований над восточно-европейскими регионами отмечены пониженные значения повторяемости над значительной азиатской территорией и областями Тихого океана и Северной Америки.

Следует отметить особенность фазовых переходов  $E \rightarrow E$ , для которых согласно [42] характерна наибольшая вероятность формирования аномально высокой температуры у поверхности в весенне-летние месяцы в регионах азиатской территории России, диагностированных с использованием разных индексов Эль-Ниньо, в том числе индексов  $Nino3$  и  $Nino4$ , по многолетним данным. В положительной фазе АМО с использованием обоих индексов Эль-Ниньо отмечен один переход  $E \rightarrow E$  – в 2015 г. – с высокими значениями повторяемости летнего блокирования над большой азиатской территорией, в том числе в области озера Байкал и к востоку от него. В связи с этим стоит отметить, что летом 2015 г. по данным Росгидромета (<https://www.meteorf.ru>) наряду с экстремально высокой приповерхностной температурой в районе Байкала отмечался рекордный дефицит осадков в Прибайкалье и Забайкалье, что сказалось на уровне озера Байкал.



(Этот год соответствовал положительной фазе PDO с в целом более высокими значениями повторяемости летних блокирований (по сравнению со средними многолетними значениями) для прибайкальских регионов, но существенно менее значимыми, чем в положительной фазе АМО.)

Для получения более статистически значимых оценок необходим соответствующий анализ различных данных и для более продолжительных временных интервалов. При этом надо учитывать, что при глобальных и региональных изменениях климата изменяются и особенности естественной климатической изменчивости, включая особенности явлений Эль-Ниньо, АМО и PDO, том числе по-разному изменяются проявления событий Эль-Ниньо различного типа [54]. Поэтому следует ожидать изменений потенциала предсказуемости региональных климатических аномалий в связи с изменением режимов этих мод [47].

Количественные оценки вероятности атмосферных блокирований с учетом влияния ключевых мод естественной климатической изменчивости на фоне вековых тенденций с использованием данных наблюдений, реанализа и модельных расчетов необходимы для формирования и развития системы прогностического оценивания риска региональных погодно-климатических аномалий.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (№ 19-17-00240). Особенности предсказуемости атмосферных блокирований в регионах Северной Евразии в последние десятилетия оценивались в соответствии с соглашением № 075-15-2021-577 Министерства науки и высшего образования РФ с ИФА им. А.М. Обухова РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. Cambridge Univ. Press. 2021.
- IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge Univ. Press. 2013.
- Мохов И.И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 1. С. 3–14.
- Rex D.F. Blocking action in the middle troposphere and its effect on regional climate. Part I: An aerological study of blocking action // Tellus. 1950. 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. 1950. V. 2. P. 275–301.
- Charney J.G., DeVore J.G. Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking // J. Atmos. Sci. 1979. V. 36. P. 1205–1236.
- 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.
- 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.
- 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.
- Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus. 1990. V. 42A. P. 343–365.
- Груза Г.В., Коровкина Л.В. Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. № 3. С. 108–110.
- Груза Г.В., Коровкина Л.В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. № 8. С. 11–18.
- Hansen A.R., Sutera A.A. Comparison between planetary-wave flow regimes and blocking // Tellus A. 1993. V. 45A. P. 281–288.
- Mokhov I.I., Doronina T.N., Gryanik V.M., Khairullin R.R., Korovkina L.V., Lagun V.E., Mokhov O.I., Naumov E.P., Petukhov V.K., Senatorsky A.O., Tevs M.V. Extratropical cyclones and anticyclones: Tendencies of change / In: The Life of Extratropical Cyclones. Vol. II. S. Gronas and M.A. Shapiro (Eds.). Geophysical Institute, University of Bergen, Bergen, Norway. 1994. P. 56–60.
- 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. 6/95. P. 438–441.
- Renwick J.A., Wallace J.M. Relationships between North Pacific wintertime blocking, El Niño, and PNA pattern // Mon. Wea. Rev. 1996. V. 124. P. 2071–2076.
- Мохов И.И., Петухов В.К. Блокинг и тенденции их изменения // Доклады АН. 1997. Т. 357. № 5. С. 687–689.
- 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 CO<sub>2</sub> concentration atmospheres // Clim. Dyn. 1997. V. 13. P. 181–195.
- Wiedenmann J.M., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonova E.A. 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.
- Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // J. Atmos. Sci. 2003. V. 60. P. 743–755.

21. *Bardin M., Gruza G.V., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonov V.A.* 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. 16<sup>th</sup> Symp. on Global Change and Climate Variation, 85<sup>th</sup> Ann. Meet. AMS. 2005. P. 9–13.
22. *Мохов И.И.* Действие как интегральная характеристика климатических структур: Оценки для атмосферных блокингов // Докл. АН. 2006. Т. 409. № 3. С. 403–406.
23. *Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R., Hernandez E.* A climatology of Northern Hemisphere blocking // J. Clim. 2006. V. 19. P. 1042–1063.
24. *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.
25. *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.
26. *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.
27. *Луно А.Р., Мохов И.И., Достоглоу С., Куниц А.Р., Буркхардт Дж.П.* 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.
28. *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.
29. *Tyrlis E., Hoskins B.J.* Aspects of a Northern Hemisphere atmospheric blocking climatology // J. Atmos. Sci. 2008. V. 65. P. 1638–1652.
30. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 5–18.
31. *Luo D., Liu J., Li J.* Interaction between planetary-scale diffluent flow and synoptic-scale waves during the life cycle of blocking // Adv. Atmos. Sci. 2010. V. 27(4). P. 807–831.
32. *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.
33. *Matsueda M.* Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010 // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38, L06801, <https://doi.org/10.1029/2010GL046557>
34. *Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А., Тимажев А.А., Луно А.Р., Ле Трет Э.* Блокинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // Докл. АН. 2013. Т. 449. № 5. С. 582–586.
35. *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.
36. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. 2014. 1008 с.
37. *Мохов И.И., Хон В.Ч., Тимажев А.В. и др.* Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне реки Амур в связи с климатическими изменениями / В: Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации. М.: Росгидромет, 2014. С. 81–120.
38. *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.
39. *Barnes E.A., Slingo J., Woolings T.* A methodology for the comparison of blocking climatologies across indices, models and climate scenarios // Clim. Dyn. 2012. V. 38. P. 2467–2481.
40. *Barnes E.A., Dunn–Sigouin E., Masato G., Woolings T.* Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. P. 638–644.
41. *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 21<sup>st</sup> century from model simulations using RCP anthropogenic scenarios // Glob. Planet. Change. 2014. V. 122. P. 265–270.
42. *Мохов И.И., Тимажев А.В.* Оценки риска погодноклиматических аномалий в российских регионах в связи с явлениями Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 22–33.
43. *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.
44. *Lupo A.R., Jensen A.D., Mokhov I.I., Timazhev A., Eichler T., Efe B.* Changes in global blocking character during recent decades // Atmosphere. 2019. V. 10 (2). P. 92. <https://doi.org/10.3390/atmos10020092>
45. *Бондур В.Г., Мохов И.И., Воронова О.С., Ситнов С.А.* Космический мониторинг сибирских пожаров и их последствий: особенности аномалий 2019 года и тенденции 20-летних изменений // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 99–106.
46. *Мохов И.И., Бондур В.Г., Ситнов С.А., Воронова О.С.* Космический мониторинг природных пожаров и эмиссий в атмосферу продуктов горения на территории России: связь с атмосферными блокированиями // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 495. № 2. С. 61–66.
47. *Мохов И.И.* Экстремальные атмосферные и гидрологические явления в российских регионах: связь с тихоокеанской десятилетней осцилляцией // Докл. РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 2. С. 183–188.
48. *Мохов И.И., Ситнов С.А., Цидилина М.Н., Воронова О.С.* Эмиссии в атмосферу NO<sub>2</sub> при лесных

- пожарах на территории России в связи с атмосферными блокировками // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34. № 6. С. 395–399.
49. *Арне К., Бенгтссон Л., Голицын Г.С., Мохов И.И., Семенов В.А., Спорышев П.В.* Анализ и моделирование изменений гидрологического режима в бассейне Каспийского моря // Докл. АН. 1999. Т. 366. № 2. С. 248–252.
50. *Mokhov I.I., Khorostyanov D.V., Eliseev A.V.* Decadal and longer term changes in El Niño - Southern Oscillation characteristics // Intern. J. Climatol. 2004. V. 24. P. 401–414.
51. *Мохов И.И.* Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне реки Амур в условиях глобального потепления // Доклады АН. 2014. Т. 455. № 5. С. 585–588.
52. *Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen I., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N., Vitart F.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Q.J.R. Meteorol. Soc. 2011. V. 137. P. 553–597.
53. *Mokhov I.I.* Predictability of seasonal temperature anomalies in the North Eurasian regions in the La Niña conditions // Research Activities in Earth System Modelling. E. Astakhova (ed.). 2021. Rep. 51. S. 6. P. 05–06.
54. *Мохов И.И.* Изменения частот фазовых переходов разных типов явлений Эль-Ниньо в последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 1. С. 3–10.

## Frequency of Summer Atmospheric Blockings in the Northern Hemisphere in Different Phases of El Niño, Pacific Decadal and Atlantic Multidecadal Oscillations

I. I. Mokhov<sup>1, 2, \*</sup> and A. V. Timazhev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky 3, Moscow, 119017 Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1-2, GSP-1, Moscow, 119991 Russia*

\*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Estimates of the regional anomalies in the frequency of atmospheric blockings in the Northern Hemisphere, diagnosed with the use of reanalysis data since 1979 for different phase transitions of El Niño phenomena in different phases of the Pacific Decadal and Atlantic Multidecadal Oscillations are presented. In particular, quantitative estimates of the anomalous values of the regional frequency of summer blockings associated with positive and negative phases of El Niño phenomena and transitions between them were obtained. Significant differences were noted for the El Niño phenomena diagnosed using different indices characterizing processes of different types.

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