

Индексы блокирования в Северном полушарии: оценки для 2020 года и тенденции многолетних изменений

Л.К. Клещенко^{1)}, Э.Я. Ранькова^{2,3)}*

¹⁾ Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрометеорологии – МЦД, РФ, 249031, г. Обнинск, ул. Королева, 6

²⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

³⁾ Институт географии Российской академии наук, РФ, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29

* адрес для переписки: *lkk.obninsk@yandex.ru*

Реферат. В статье эпизоды потенциального блокирования в Северном полушарии (40–75° с. ш.) определяются на основе анализа отклонений геопотенциала *H500* в узлах регулярной географической сетки от их среднеширотных значений. Суммарная за календарный сезон/год продолжительность эпизодов блокирования рассматривается в качестве индекса блокирования *TD*.

Анализируется пространственное распределение сезонных/годовых индексов *TD* и их аномалий в 2020 г. Наибольшие значения годового индекса *TD* в 2020 г. наблюдались на европейском континенте в поясе 50–57.5° с.ш. (до 160 дней). Аномалии индекса *TD* на европейской территории России и в Западной Сибири составили до +30 дней, в северных районах Восточной Сибири – более +40 дней. В западном полушарии положительные аномалии годового индекса *TD* наблюдались на востоке Тихого океана южнее 50° с.ш. (более +50 дней). Отрицательными аномалиями были заняты центральные районы Северной Америки (до -80 дней).

Согласно оценкам, полученным для секторов активного блокирования, в первую половину 2020 г. блокирование в европейском секторе (10° з.д.–60° в. д.; 50–65° с.ш.) было ослаблено относительно среднего многолетнего режима. В летний и осенний сезоны в этом регионе отмечались положительные аномалии индексов блокирования. В североамериканском секторе (100–160° з.д.; 50–65° с.ш.) во все сезоны, за исключением весны, наблюдались отрицательные аномалии.

Оценки линейного тренда индексов блокирования в узлах регулярной сетки и в целом по широтному поясу и его секторам анализируются за 1949–2020 и 1976–2020 гг. В среднем, во все сезоны преобладает отрицательный тренд, но пространственное распределение коэффициентов тренда от сезона к сезону меняется. Тренд годовой продолжительности эпизодов блокирования в широтном поясе 50–65° с.ш. составляет 1.0 дней/10 лет и статистически значим на 1%-м уровне.

Ключевые слова. Геопотенциал *H500*, эпизоды блокирования, сезонные индексы блокирования, линейный тренд.

Blocking indices in the Northern Hemisphere: assessments for 2020 and trends of long-term changes

L.K. Kleshchenko¹⁾, E.Ya. Rankova^{2,3)}*

¹⁾ All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre,
6, Korolev str., 249031, Obninsk, Kaluga Region, Russian Federation

²⁾ Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

³⁾ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonentny lane, 125992, Moscow, Russian Federation

* Correspondence address: *lkk.obninsk@yandex.ru*

Abstract. Potential blocking episodes in the Northern Hemisphere (40-75°N) are determined from analyzing deviations of *H500* geopotential at regular grid points from their mid-latitudinal values. Seasonal/annual overall duration of blocking episodes is considered as a blocking index *TD*.

Spatial distribution of seasonal/annual *TD* indices and their anomalies in 2020 is analyzed. The highest values of the annual *TD* index in 2020 were observed on the European continent in the 50-57.5°N belt (up to 160 days). *TD* index anomalies in European Russia and Western Siberia were to +30 days, and in the northern regions of Eastern Siberia, these were over +40 days. In the Western hemisphere, positive anomalies of the annual *TD* index were recorded in the eastern Pacific Ocean, south of 50°N (over +50 days). Negative anomalies were recorded in the central regions of North America (to -80 days).

According to assessments obtained for active blocking sectors, in the first half of 2020, blocking in the European sector (10°W-60°E; 50-65°N) was weaker than the mean long-term value. This region experienced positive anomalies of blocking indices in the summer and autumn seasons. Negative anomalies were recorded in the North America sector (100-160°W; 50-65°N) in all seasons except for spring.

Linear trends of *TD* blocking indices are estimated for the periods 1949-2020 and 1976-2020. At the average, the negative trend is prevailing in each season, but the spatial distribution of trend coefficients changes from season to season. A trend of annual duration of blocking episodes in the latitude belt of 50-65°N is -1.0 day/decade and is statistically significant at the one-percent level.

Keywords. *H500* geopotential, blocking episodes, seasonal blocking indices, geographical distribution, linear trend.

Введение

Блокирование западного переноса в Северном полушарии связано с формированием малоподвижного высокого гребня или антициклона. Атмосферные процессы при блокировании характеризуются большой устойчивостью и могут вызывать крупные климатические аномалии. В связи с этим изучение

процессов блокирования представляет не только научный, но и большой практический интерес (в частности, для разработки среднесрочных и долгосрочных прогнозов погоды, моделирования атмосферных процессов, мониторинга климата и др.). Обширный обзор и анализ исследований процессов блокирования можно найти в работе (Woollings et al., 2018).

Наряду с синоптическими методами исследования в последней четверти XX-го столетия получили развитие различные автоматизированные методы определения блокирующих ситуаций. Один из таких методов, построенный на анализе отклонений геопотенциала $H500$ в узлах регулярной сетки от среднеширотных значений, был реализован Г.В. Груза и Л.В. Коровкиной (Груза, Коровкина, 1991а, 1991б). В результате проведенных авторами исследований были получены статистические оценки характеристик эпизодов блокирования в умеренных широтах Северного полушария, рассмотрены их сезонные и географические особенности. В дальнейшем эти исследования нашли продолжение в работах, направленных на изучение многолетних изменений сезонных индексов блокирования в Северном полушарии, их связей с индексами $ENSO$ и др. (Груза и др., 2003; Клещенко и др., 2003; Аристова и др., 2004). Данная методика использовалась также для расчета индексов блокирования при исследовании климатических характеристик параметров общей циркуляции в Южном полушарии (Соколов, Мезенцева, 2007). Кроме того, расчет и анализ индексов блокирования осуществлялся при проведении работ, связанных с тестированием моделей (Клещенко, Ранькова, 2007), сравнением массивов реанализов (Клещенко, Ранькова, 2010). Анализ сезонных индексов блокирования за отдельные годы представлен на сайте ВНИИГМИ-МЦД (meteo.ru).

В настоящей статье приводятся результаты анализа пространственного распределения сезонных и годовых индексов блокирования в зоне умеренных широт Северного полушария в 2020 г. и их многолетних изменений.

Данные и метод анализа

Алгоритм идентификации блокирующей ситуации построен на анализе временных рядов отклонений геопотенциала $H500$ в узлах регулярной сетки от их среднеширотных значений (VLH). Положительные значения VLH , превышающие некоторое пороговое значение, указывают на то, что данная точка расположена в области антициклона или гребня. Эпизод потенциального блокирования в точке определяется как отрезок временного ряда, в течение которого положительные значения VLH , превышающие пороговое значение C_0 , сохраняются не менее 7 дней (допускается двухдневный перерыв). Для каждого такого эпизода определяются индивидуальные характеристики, а по ним для каждого сезона/года рассчитываются интегральные характеристики – сезонные/годовые индексы блокирования, из которых наибольший интерес представляет суммарная продолжительность эпизодов блокирования TD .

Использовались данные геопотенциала $H500$ в узлах регулярной сетки $2.5 \times 2.5^\circ$ за период 1949–2020 гг. (срок 0 UTC) из массива реанализов $NCEP/$

NCAR (Kalnay et al., 1996). Характеристики эпизодов блокирования были рассчитаны по этим данным в каждом узле сетки в широтном поясе $40-75^\circ$ с. ш. Идентификация эпизодов блокирования осуществлялась для четырех календарных сезонов, продленных на 15 дней «назад» и «вперед», чтобы правильно оценить продолжительность эпизодов, начинающихся и/или заканчивающихся вне данного сезона. Предварительно ежедневные значения VLH были нормированы на стандартное отклонение соответствующего календарного месяца (рассчитаны для календарных месяцев по ежедневным значениям VLH за период 1981-2010 гг. и сглажены скользящим трехмесячным осреднением). Пороговое значение C_0 было принято равным одному стандартному отклонению. Под сезонной/годовой продолжительностью блокирования (индекс TD) понимается суммарная продолжительность всех эпизодов блокирования внутри рассматриваемого сезона/года. Зимний сезон, как обычно, включает декабрь предыдущего года.

Статистики индекса TD были рассчитаны во всех узлах широтного пояса для четырех календарных сезонов и года в целом, по всему ряду (1949-2020 гг.) и за период 1976-2020 гг. (1976 год условно принят за начало современного глобального потепления). Во всех узлах также были рассчитаны аномалии индекса TD (отклонения от средних значений за 1976-2019 гг.).

Результаты

Сезонные особенности процессов блокирования в 2020 году

На рис. 1 показано изменение суммарной за сезон продолжительности эпизодов блокирования TD вдоль параллели 55° с.ш. в зависимости от долготы (меридиональный ход). Параллель 55° с.ш. выбрана как наиболее представительная на территории РФ для рассматриваемого широтного пояса.

Ход индекса TD в 2020 г. (черные вертикальные отрезки) показан на фоне соответствующих средних многолетних и максимальных значений за 1976-2019 гг. (зеленые кривые с зеленой заливкой области средних значений). Такие оценки рассчитаны и проанализированы во всех узлах широтного пояса $40-75^\circ$ с.ш., для всех сезонов и года в целом.

Можно видеть (рис. 1), что процессы блокирования в 2020 г., с одной стороны, отражают основные сезонные особенности всего периода 1976-2019 гг. (регионы активного блокирования, ослабление в летний сезон и др.), а с другой стороны, в каждом сезоне отмечаются весьма серьезные отклонения от средней многолетней картины.

Зима. В зимний сезон 2019/2020 гг. антициклоническая деятельность была ослаблена (по сравнению с многолетним режимом в период 1976-2019 гг.) при том, что на значительной территории эпизоды устойчивого блокирования отсутствовали. Наибольшая в рассматриваемом широтном поясе суммарная за сезон продолжительность блокирования (до 50 дней) наблюдалась на акватории Северной Атлантики южнее 50° с.ш., вблизи Западной Европы. Положительные аномалии индекса TD составляли здесь до +20 дней, на европейс-

кой территории России (ЕТР) – до +15 дней. Отрицательные аномалии индекса TD были более значительными: на севере Атлантики и вблизи Тихоокеанского побережья Северной Америки они достигали -30 дней.

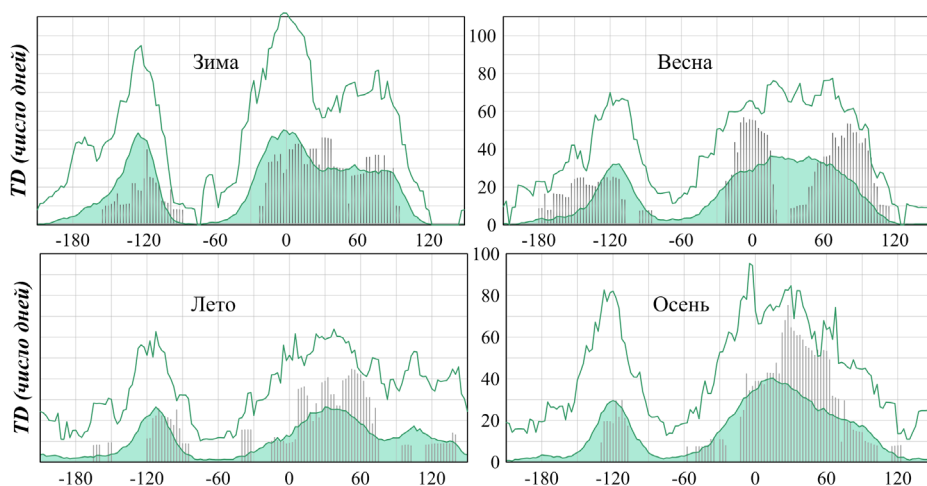


Рисунок 1. Меридиональный ход сезонной продолжительности эпизодов блокирования в 2020 г. (черные вертикальные отрезки), ее многолетних средних и максимальных значений за 1976-2019 гг. (зеленые кривые) вдоль параллели 55° с. ш.

Figure 1. The meridional course of the seasonal duration of blocking episodes in 2020 (black vertical segments), its long-term mean and maximum values for 1976-2019 (green curves) along 55°N

Весна. Весной 2020 г. в зоне умеренных широт были ярко выражены три сектора активной антициклонической деятельности: западноевропейский, сибирский и тихоокеанский. Первые два из них отчетливо прослеживаются на 55° с.ш. (рис. 1). Сибирский сектор (в широтном поясе в целом) отличался наибольшей протяженностью и наибольшей интенсивностью процессов устойчивого антициклогенеза: суммарная продолжительность блокирования составляла здесь до 75 дней на 50° с.ш. (аномалии индекса TD до +35 дней). В западноевропейском секторе максимальные значения аномалий индекса достигали более +25 дней, а в тихоокеанском – не превышали +18 дней. Области отрицательных аномалий индекса TD (до -25 дней) располагались на востоке Атлантического океана, на европейской территории России и на западе Северной Америки.

Лето. В летний сезон 2020 г. в положении очагов активного блокирования наблюдались существенные отклонения. Наиболее мощный из них, двуцентровый, сформировался на территории Европы: один из центров располагался на юге Скандинавского полуострова, второй – на юго-востоке ЕТР (аномалии TD до +30 и до +35 дней, соответственно). Менее мощные очаги (аномалии TD до +20 дней) наблюдались на севере азиатской территории России и на востоке Тихого океана южнее 50° с.ш. Североамериканский сектор блокирования летом 2020 г. был существенно ослаблен, отрицательные аномалии индекса TD достигали здесь -30 дней. Отрицательные аномалии на юге Европы составляли до -15 дней.

Осень. Осенью 2020 г. процессы блокирования на территории Европы получили еще большее развитие. Сектор наибольшей активности располагался на ЕТР (рис. 2, сверху), где сезонная продолжительность эпизодов блокирования была близка к максимальным значениям и составила около 70 дней (вдвое выше «нормы»), а аномалия – до +30 дней. В этот же сезон практически вся территория ЕТР была занята положительными аномалиями продолжительности солнечного сияния (рис. 2, внизу). На отдельных станциях аномалии достигали более 150% нормы, а в целом по региону аномалия составила 124% и стала рекордной с 1961 г. Такая аномалия вполне соответствует процессу блокирования и отражает его влияние на формирование аномалий приземного климата.

Помимо ЕТР, осенью 2020 г. сформировались еще два очага с устойчивым блокированием: у западного и восточного побережья Северной Америки южнее 50° с.ш. Антициклоническая активность в этих очагах была существенно слабее: аномалии индекса *TD* составляли здесь -25 и -20 дней, соответственно.

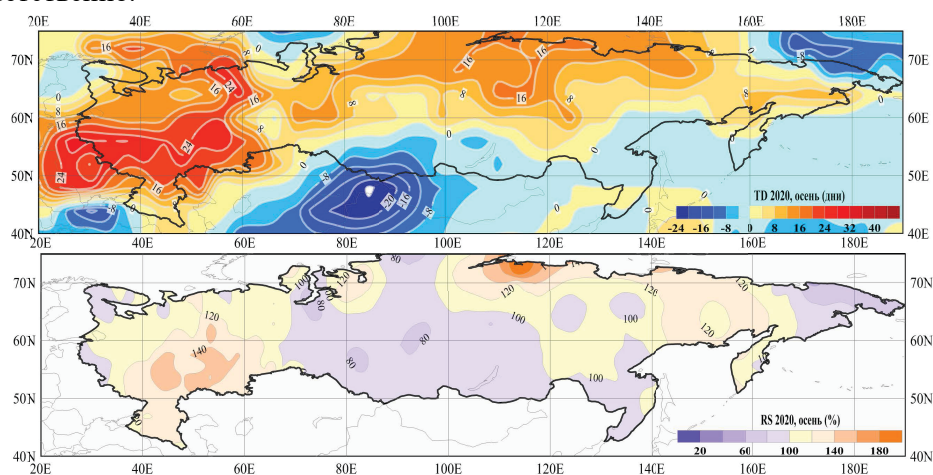


Рисунок 2. Пространственное распределение сезонных аномалий (осень, 2020 г.) суммарной продолжительности эпизодов блокирования в широтном поясе 40-75° с.ш. (сверху) и относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории РФ (внизу)
Аномалии обеих переменных рассчитаны относительно норм за период 1981-2010 гг.

Figure 2. Spatial distribution of seasonal anomalies (autumn, 2020) of the total duration of blocking episodes in the latitudinal belt 40-75°N (top) and relative anomalies of sunshine duration on the territory of the Russian Federation (bottom)

Anomalies of both variables were calculated relative to the period 1981-2010

Годовые индексы блокирования в 2020 году

Общее представление об активности процессов блокирования в течение года дают годовые индексы блокирования, суммирующие характеристики всех эпизодов блокирования в течение года. Анализ пространственного распределения годовых сумм продолжительности блокирования в зоне умеренных широт северного полушария (здесь не приводится) показывает, что наибольшие значения годового индекса *TD* в 2020 г. наблюдались на евразийском континенте в поясе 50-57.5° с.ш. и составляли более 155 дней.

Аномалии индекса TD на ЕТР и в Западной Сибири достигали +30 дней, в северных районах Восточной Сибири – более +40 дней (рис. 3). В западном полушарии положительные аномалии сформировались на востоке Тихого океана, вне рассматриваемой широтной зоны (более +50 дней, южнее 50° с.ш.). Отрицательными аномалиями были заняты центральные районы Северной Америки (до 75 дней на 60° с.ш.) и восточные районы Атлантического океана (до -60 дней, 50° с.ш.).

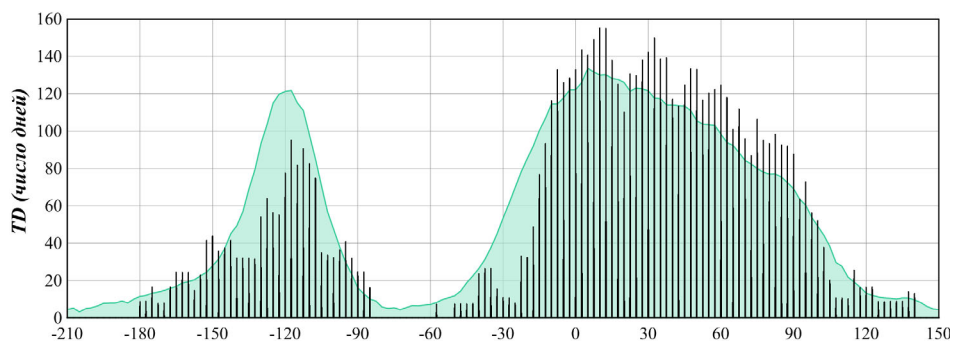


Рисунок 3. Меридиональный ход годовой продолжительности эпизодов блокирования в 2020 г. (черные вертикальные отрезки) и ее многолетних средних за 1976-2019 гг. (зеленая кривая) вдоль параллели 55° с. ш.

Figure 3. The meridional course of the annual duration of blocking episodes in 2020 (black vertical segments) and its long-term average for 1976-2019 (green curve) along 55°N

Оценки современных тенденций в изменении индексов блокирования в течение 1949-2020 гг. и 1976-2020 гг.

Для выявления современных тенденций в многолетних изменениях режима блокирования в северном полушарии получены МНК-оценки линейного тренда сезонных и годовых значений индекса блокирования TD во всех узлах широтного пояса 40-75° с.ш. (15 широт x 144 долгот = 2160 точек). Проанализированы оценки за два периода: 1949-2020 и 1976-2020 гг.

В качестве оценок тренда ниже приводятся:

b – коэффициент тренда, характеризующий среднюю скорость изменения индекса на заданном временном интервале (выражен в числе дней за десятилетие, дни/10 лет);

D – доля изменчивости индекса, объясненная трендом (вклад в дисперсию, в процентах);

α – уровень статистической значимости (вероятность ложного отклонения гипотезы об отсутствии ненулевого тренда, в процентах).

Будем считать тренд статистически значимым, если его критический уровень значимости $\alpha \leq 5\%$. В зависимости от длины рассматриваемого ряда (70 или 45 лет), 5%-й уровень значимости соответствует вкладу в дисперсию 6% или 9%, соответственно.

Пространственные распределения оценок тренда рассматривались только для периода 1976-2020 гг. Основное внимание уделялось анализу оценок для

широтного пояса 50-65° с.ш. Для иллюстрации выбрана параллель 55° с.ш., которая присутствует почти во всех обнаруженных областях с трендом $D \geq 9\%$.

Сезонные индексы. На рис. 4 для всех четырех сезонов показан меридиональный ход статистических характеристик сезонной продолжительности эпизодов блокирования за 1976-2020 гг., в том числе: многолетние средние E , коэффициенты линейного тренда b и вклад в дисперсию D . Дополнительно проведены две горизонтали, указывающие минимальное значение учтенной дисперсии, соответствующее пяти- и однопроцентному уровню статистической значимости тренда.

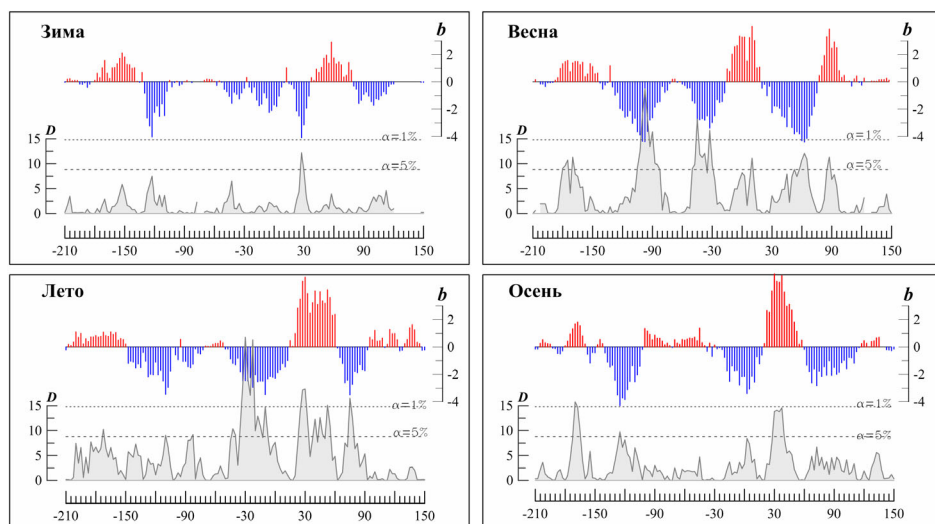


Рисунок 4. Оценки линейного тренда (за период 1976-2020 гг.) сезонной продолжительности эпизодов блокирования вдоль параллели 55° с.ш.: b (дни/10 лет) – коэффициент тренда, D (%) – доля дисперсии, объясненная трендом

Figure 4. Estimates of the linear trend (for the period 1976-2020) of the seasonal duration of blocking episodes along the 55 N: b (days/decade) is the trend coefficient, D (%) is the trend contribution to variance

Согласно полученным оценкам для **зимнего** сезона, в рассматриваемом широтном поясе обнаруживается единственный узел сетки (55° с.ш., 27.5° в.д.) с существенным трендом: $D=12\%$ – тренд отрицательный, статистически значим на 5%-м уровне.

В **весенний** сезон хорошо прослеживаются (рис. 4) две области с тенденцией к ослаблению блокирования. Одна из них включает европейскую территорию России и западные районы Сибири – тренд здесь достигает -5 дней/10 лет при вкладе в дисперсию в отдельных точках выше 5% (для удобства введем для числовой информации менее громоздкую запись: $b=5$, $D>5\%$). Вторая область с существенным отрицательным трендом расположена в центральных районах Северной Америки ($b=4$, $D=25\%$). Есть и третья область – в Северной Атлантике ($b=4$, $D>15\%$), но центр ее с максимальными значениями расположен южнее 50° с.ш. (граничная широта рассматриваемой зоны). Тенденция к усилению блокирования (к увеличению индекса TD) наблюдается в Западной Европе и на юге Восточной Сибири ($b=+4$), а также в районе

Аляски ($b=+2$). Во всех этих областях она статистически значима (на 5%-м уровне) лишь в изолированных точках.

В **летний** сезон область положительного тренда индекса TD распространяется на всю территорию Европы, включая ЕТР, и хорошо прослеживается на 55° с.ш. (рис. 4). Величина тренда в этой области достигает $+5$ дн/10 лет при вкладе в дисперсию до 30%. Вторая область со значимым положительным трендом до $+3$ дн/10 лет расположена в дальневосточном регионе России. Области с отрицательным трендом индекса TD наблюдаются на северо-западе Северной Америки ($b=-5$, $D=15\%$), на акватории Атлантического океана ($b=-4$, $D>25\%$) и в Сибири ($b=-4$, $D>10\%$).

В **осенний** сезон, как и летом, на европейской территории РФ расположен очаг с положительным трендом индекса TD (b до $+4$, статистически значим на уровне 5%). Сохраняются также очаги с существенным отрицательным трендом в Сибири и Северной Америке (b до -5 , D до 20%) с центрами севернее 55° с.ш. Тем не менее, оба очага хорошо прослеживаются на 55° с.ш. (рис. 4). Североатлантическая область с отрицательным трендом индекса TD (до -3 дн/10 лет) в этот сезон смещена к югу от 50° с.ш.

Годовые индексы. Вследствие наличия противоположных тенденций в многолетних изменениях локальных сезонных индексов блокирования, области с существенным трендом годовых индексов TD в период 1976-2020 гг. крайне ограничены. В наибольшей степени тенденция к ослаблению антициклонической активности выражена в западных районах Северной Америки ($b=-12$, $D=20\%$), в Северной Атлантике ($b=-7$, $D=20\%$) и в Западной Сибири ($b=8$, $D=15\%$). Слабый, статистически не значимый положительный тренд отмечается на юге Европы ($b=+5$, $D<8\%$). Все перечисленные области хорошо прослеживаются на рис. 5.

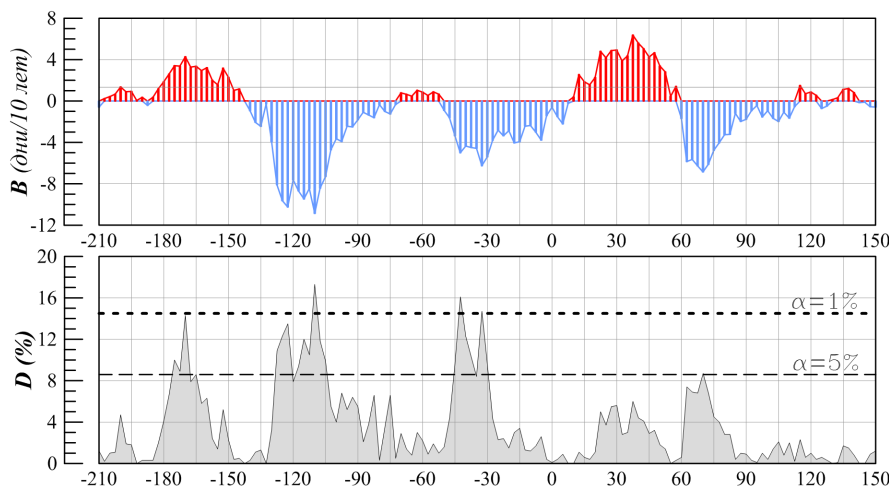


Рисунок 5. Оценки линейного тренда (за период 1976-2020 гг.) годового индекса блокирования TD вдоль параллели 55° с.ш.: b (дни/10 лет) – коэффициент тренда; D (%) – доля дисперсии, объясненная трендом

Figure 5. Estimates of the linear trend (for the 1976-2020) of the annual TD blocking index along the 55° N: b (days/decade) – trend coefficient; D (%) – the trend contribution to variance

Временные ряды регионально осредненных индексов блокирования на территории России

Ниже рассматриваются регионально осредненные индексы сезонной и годовой продолжительности эпизодов блокирования на территории России для трех 40-градусных секторов 55-й параллели: европейский (20-60° в.д.), Западносибирский (60-100° в.д.) и Восточносибирский (100-140° в. д.). Численные оценки их статистических характеристик (многолетнее среднее, стандартное отклонение, коэффициент линейного тренда, доля учтенной трендом дисперсии) для двух периодов: 1949-2020 и 1976-2020 гг., приведены в табл. 1, а на рис. 6 представлены их временные ряды для двух секторов – европейского и западносибирского. Для этих двух регионов и каждого из четырех сезонов показан ход индекса *TD* в течение всего доступного периода 1949-2020 гг. и линейный тренд для двух рассматриваемых периодов.

Таблица 1. Статистические оценки сезонной и годовой продолжительности эпизодов блокирования на территории России (вдоль параллели 55° с.ш.)

Table 1. Statistical estimates of the seasonal and annual duration of blocking episodes in Russian territory (along the parallel of 55°N)

Сезон	Сектор (55° с.ш.)	1949-2020 гг.				1976-2020 гг.			
		Е, дни	S, дни	b, дни/10лет	D, %	Е, дни	S, дни	b, дни/10лет	D,%
Зима	20-60	29.9	11.9	0.3	0.3	30.2	10.9	-0.1	0.0
	60-100	26.1	13.0	-0.1	0.0	26.2	13.8	-0.0	0.0
	100-140	2.5	2.7	0.0	0.1	2.8	2.8	-0.4	4.2
Весна	20-60	33.9	11.0	-0.6	1.2	34.1	10.5	-2.3	8.2
	60-100	22.9	10.5	0.4	0.7	24.1	10.8	-0.1	0.0
	100-140	2.3	2.7	0.3	5.5	2.9	3.2	0.1	0.2
Лето	20-60	23.2	10.5	1.3	6.7	23.9	10.4	3.4	18.1
	60-100	11.9	6.8	0.3	0.7	13.1	7.1	-1.0	3.5
	100-140	10.5	8.6	1.2	8.4	12.3	8.7	0.7	1.0
Осень	20-60	32.1	12.7	0.4	0.5	32.0	12.5	2.7	8.1
	60-100	17.2	10.1	0.5	1.1	19.0	10.6	-1.7	4.3
	100-140	4.0	3.9	0.2	1.1	4.2	3.7	-0.1	0.1
Год	20-60	113.3	23.0	1.3	1.4	113.8	22.3	3.6	4.5
	60-100	72.8	20.1	0.8	0.7	76.5	19.4	-3.3	5.1
	100-140	17.5	9.4	1.5	10.8	20.2	9.1	-0.1	0.0

Условные обозначения: *E* – среднее значение, *S* – стандартное отклонение, *b* – коэффициент линейного тренда, *D* – вклад тренда в дисперсию; положительные оценки тренда показаны красным цветом, отрицательные – синим; статистически значимые ($\alpha \leq 5\%$) – жирным шрифтом.

В европейском секторе РФ (20-60° в.д.), в 1976-2020 гг. для весеннего сезона получен статистически значимый отрицательный тренд ($b=-2.3$ дн/10лет, $\alpha \sim 5\%$), а в летний и осенний сезоны хорошо выражен положительный тренд. Тренд для летнего сезона составляет $b=+3.4$ дн/10 лет, статистически значим на 1%-м уровне. В многолетнем ходе весеннего индекса для этого сек-

тора (рис. 6, слева) обращают внимание два экстремума (1972 и 2010 гг.), с которыми связана запомнившаяся всем летняя жара на европейской территории РФ. Сравнение с оценками трендов для периода 1949-2020 гг. (табл. 1) показывает, что на ЕТР произошло усиление отрицательного тренда в весенний сезон и усиление положительного тренда в летний и осенний сезоны. Результатом явилось усиление тенденции к росту суммарного годового индекса TD (от +1.3 до +3.6 дн/10 лет).

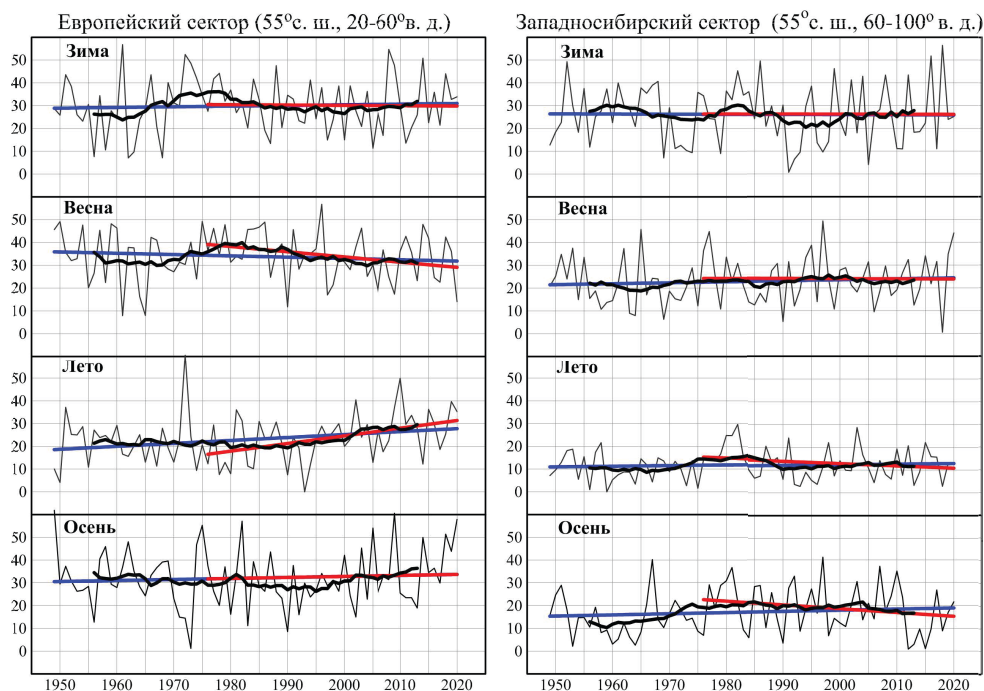


Рисунок 6. Временные ряды сезонной продолжительности эпизодов блокирования TD в европейском (55° с.ш., 20-60° в.д.) и западносибирском (55° с.ш., 60-100° в.д.) секторах РФ. Показаны: 11-летние скользящие средние (сглаженная кривая), линейный тренд за 1949-2020 гг. (синие линии) и за 1976-2020 гг. (красные линии)

Figure 6. Time series of the seasonal duration TD of blocking episodes in the European (55°N, 20-60°E) and West Siberian (55°N, 60-100°E) sectors of the RF territory. Shown: 11-year moving averages (smoothed curve), linear trend for 1949-2020 (blue lines) and for 1976-2020 (red lines)

В западносибирском секторе 70-летний тренд индекса TD практически отсутствует (вклад в дисперсию менее 1%), но формально во все сезоны, кроме зимы, положительный (табл. 1). В последние 45 лет (1976-2020 гг.) тренд по-прежнему статистически не значим, но в летний и осенний сезоны он сменил знак и его вклад в дисперсию несколько увеличился. Это значит, что в этом секторе после 1976 года просматривается тенденция к ослаблению блокирования, но она пока не стала определяющей. По-видимому, на данный момент нельзя отклонить нулевую гипотезу (то есть нельзя сколько-нибудь уверенно говорить о наличии ненулевого тренда), но динамика указывает на наметившуюся тенденцию к ослаблению антициклонической активности в этом секторе. Такой вывод соответствует и ходу индекса TD (рис. 6).

В восточносибирском секторе в период 1949-2020 гг. существенный тренд индекса *TD* наблюдался только в летний сезон: $b=+1.2$ дн/10 лет, $D=8.4\%$ (при $D=8.6\%$ уровень значимости 1%). В период 1976-2020 гг. сезонный тренд уменьшился до $+0.7$ дн/10 лет, а годовой – от $+1.5$ до -0.1 дн/10 лет (тренд практически отсутствует).

Таким образом, на основании оценок для годовых индексов (табл.1), с высокой степенью уверенности можно говорить лишь о наметившейся тенденции к усилению процессов блокирования на территории ЕТР ($b=+3.6$ дн/10 лет, доверительная вероятность около 86%) и их ослаблению в Западной Сибири ($b=-3.3$ дн/10 лет, доверительная вероятность 83%).

**Временные ряды индексов блокирования в умеренных широтах
Северного полушария (интегральные оценки)**

Временные ряды средних сезонных и годовых индексов *TD* получены в широтном поясе $50-65^{\circ}$ с.ш. для двух его секторов наиболее активного блокирования – европейского (10° з.д.- 60° в.д.) и североамериканского ($100-160^{\circ}$ з.д.) –и для широтного пояса в целом ($50-65^{\circ}$ с.ш., $0-360^{\circ}$). В табл. 2 представлены рассчитанные по этим рядам значения статистик за периоды 1949-2020 и 1976-2020 гг.

Таблица 2. Статистические оценки сезонной и годовой продолжительности эпизодов блокирования в умеренных широтах Северного полушария ($50-65^{\circ}$ с.ш.)

Table 2. Statistical estimates of the seasonal and annual duration of blocking episodes in the temperate zone of the Northern Hemisphere ($50-65^{\circ}$ N)

Сезон	Сектор	1949-2020 гг.				1976-2020 гг.			
		Е, дни	S, дни	b, дн/10лет	D, %	Е, дни	S, дни	b, дн/10лет	D, %
Зима	10° з.д.- 60° в.д.	33.2	8.0	0.6	2.2	34.1	6.6	-0.7	1.7
	$100-160^{\circ}$ з.д.	22.7	8.3	1.6	15.3	25.7	7.1	-0.4	0.6
	$0-360^{\circ}$ в.д.	17.1	2.1	0.3	7.5	17.7	1.8	-0.3	4.9
Весна	10° з.д.- 60° в.д.	30.0	7.3	0.0	0.0	30.5	7.1	-0.9	2.6
	$100-160^{\circ}$ з.д.	17.3	6.7	0.3	1.1	18.2	6.4	-0.4	0.8
	$0-360^{\circ}$ в.д.	14.3	1.8	0.1	1.2	14.7	1.9	-0.3	5.0
Лето	10° з.д.- 60° в.д.	18.1	5.4	0.5	3.4	18.4	5.2	0.9	5.1
	$100-160^{\circ}$ з.д.	16.2	6.0	-0.8	7.4	15.4	6.0	-1.4	9.7
	$0-360^{\circ}$ в.д.	10.5	1.6	0.0	0.1	10.6	1.7	-0.2	2.5
Осень	10° з.д.- 60° в.д.	31.3	7.8	0.1	0.1	31.4	7.4	0.5	0.8
	$100-160^{\circ}$ з.д.	15.7	7.2	-0.6	2.6	15.2	7.4	-1.2	4.9
	$0-360^{\circ}$ в.д.	13.7	2.1	0.0	0.0	13.8	2.0	-0.3	3.6
Год	10° з.д.- 60° в.д.	107.4	13.4	1.2	3.3	109.1	11.3	0.2	0.0
	$100-160^{\circ}$ з.д.	67.2	14.9	0.5	0.6	69.7	14.6	-3.3	8.6
	$0-360^{\circ}$ в.д.	52.5	3.8	0.4	3.8	53.6	3.7	-1.0	13.2

Условные обозначения. см. табл. 1.

Приведенные оценки (табл. 2) показывают, что в период **1949-2020 гг.** статистически значимый тренд обнаруживается только в североамериканском секторе: положительный зимой ($b=+1.6$, $D=15.3\%$) и отрицательный летом ($b=-0.8$, $D=7.4\%$). Статистически значимым оказался и зимний положительный тренд для всего широтного пояса $50-65^\circ$ с.ш. ($b=+0.3$, $D=7.5\%$). Для других сезонов и в целом за год статистически значимых трендов (даже на 10%-м уровне) в этот период не выявлено. В период **1976-2020 гг.** тренд индекса TD для североамериканского сектора во все сезоны и в среднем за год оценивается как отрицательный (летом и за год – статистически значимый на 5%-м уровне). При этом летнее ослабление антициклонической циркуляции в этом секторе продолжается на фоне глобального потепления (в 1976-2020 гг.) даже с большей интенсивностью, чем в целом за весь период (1949-2020 гг.).

Оценки тренда сезонных индексов TD в европейском секторе блокирования все статистически незначимы, а по знаку аналогичны оценкам для европейского сектора России на параллели 55° с.ш, а именно: в зимний и весенний сезоны тренд отрицательный, в летний и осенний – положительный (табл. 2).

На рис. 7 представлены временные ряды годовой продолжительности эпизодов блокирования для двух секторов активного блокирования в северном полушарии и для широтного пояса $50-65^\circ$ с.ш. в целом.

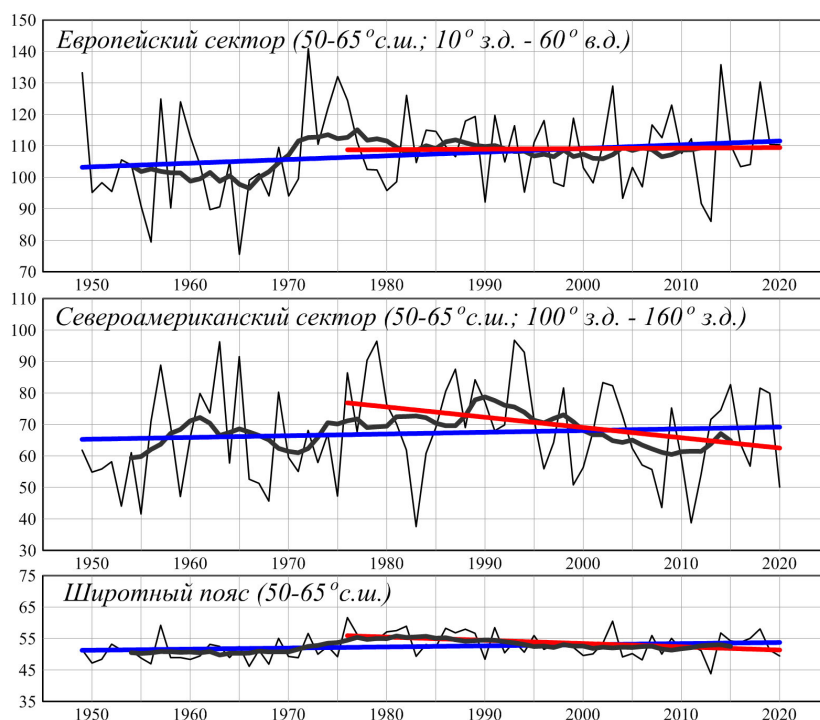


Рисунок 7. См. Рисунок 6, но для годовой продолжительности эпизодов блокирования TD (дни) в умеренных широтах Северного полушария (в среднем на ячейку $2.5 \times 2.5^\circ$): в европейском и североамериканском секторах и в широтном поясе $50-65^\circ$ с.ш. в целом

Figure 7. See Figure 6, but for the annual duration TD of blocking episodes (days) in the temperate zone of the Northern Hemisphere (on average per cell $2.5 \times 2.5^\circ$): in the European and North American sectors and in the latitudinal belt of $50-65^\circ$ N

Во временном ряду индекса для европейского сектора (рис. 7), в период 1949-2020 гг., на фоне крупных межгодовых флуктуаций определенно просматривается положительный тренд индекса (судя по оценке учтенной дисперсии в табл. 2, статистически незначимый), а в 1976-2020 гг. тренд практически отсутствует. Видно при этом, что характер межгодовых колебаний индекса до 1970-х гг. носит явно нелинейный характер и оценка зависит от конкретного участка ряда. Видно также, что в североамериканском секторе временной ряд содержит, как минимум, два участка противоположной направленности – отсюда и противоположные тренды в двух рассматриваемых периодах (соответственно +0.5 и -3.3 дн/10 лет).

В среднем по всему широтному поясу 50-65° с.ш., линейный тренд на всем ряду (1949-2020 гг.) практически отсутствует, как и в обоих секторах, а в 1976-2020 гг. обнаруживается отрицательный тренд, статистически значимый на 1%-м уровне (по-видимому, благодаря меньшей изменчивости ряда на этом отрезке времени).

Заключение

Согласно полученным оценкам, европейский сектор активного блокирования (10° з.д. - 60° в.д.), в рамках широтного пояса 50-65° с. ш., зимой и весной 2020 г. был ослаблен относительно среднего многолетнего режима. В летний и осенний сезоны, напротив, активность блокирования в этом регионе была выше средней. В этих же широтах североамериканского сектора (100-160° з.д.) во все сезоны, за исключением весны, наблюдались отрицательные аномалии сезонной продолжительности эпизодов блокирования. В результате в сумме за 2020 год продолжительность эпизодов блокирования в евро-пейском секторе была близка к норме, а в североамериканском – значительно ниже нормы.

На территории России (55° с.ш.), в ее европейской части, при отрицательной аномалии весеннего индекса TD и положительных аномалиях летнего и осеннего индексов аномалия годовой продолжительности эпизодов блокирования была положительной и составила +14 дней. Такой же была годовая аномалия индекса TD в западносибирском секторе. Основной вклад в ее формирование внес весенний сезон с аномалией +20 дней.

Относительно долгопериодных тенденций индекса TD следует отметить, что в среднем по *широтному поясу* 50-65° с.ш., по данным за весь период (1949-2020 гг.), существенных трендов годовой продолжительности блокирования не выявлено (получен статистически незначимый положительный тренд +0.4 дн/10 лет на фоне существенной межгодовой изменчивости). В то же время данные за последние 45 лет (1976-2020 гг.) с большой степенью уверенности указывают на тенденцию к ослаблению процессов блокирования в этих широтах ($b=1.0$ дн/10 лет, $D=13\%$). Однако эта тенденция к сокращению длительности эпизодов блокирования после 1976 г. характерна не для всего широтного пояса, а лишь для его североамериканского сектора, тогда как на остальной территории тренд либо близок к нулевому (в европейском секторе,

включая ЕТР), либо слабый положительный. Таким образом, на протяжении 1976-2020 гг. наблюдается тенденция к ослаблению антициклонической активности в североамериканском секторе зоны умеренных широт Северного полушария (50-65° с.ш.).

Дополнительно отметим, что представленные в данной работе оценки трендов индекса *TD* для широтного пояса 50-65° с.ш. были сопоставлены нами с некоторыми оценками из публикаций других авторов. Сравнение, как правило, качественное, в том числе исходя из простых физических соотношений (полноценное сравнение, как правило, недоступно из-за различия используемых начальных данных, территорий, временных интервалов, рассчитываемых параметров и т.д.)/

Так, по данным (Мохов и др., 2013) оценки трендов за 1968-2010 гг. указывают на усиление блокирования в Северном полушарии для зимнего и летнего сезонов и года в целом. По нашим данным? в широтном поясе 50-65° с.ш. оценки тренда индексов *TD* за 1968-2010 гг. (за сезоны и год) все близки к нулю и статистически незначимы.

В работе (Соколов, Мезенцева, 2007) тенденция к ослаблению процессов блокирования отмечается в тихоокеанском секторе Южного полушария.

Далее, по нашим данным, как указано выше, в период 1976-2020 гг. в центральных районах ЕЧР (55° с.ш.; 20-60° в.д.) в зимний сезон отмечается слабое, но статистически значимое уменьшение продолжительности эпизодов блокирования. На наш взгляд, ослаблению блокирования вполне соответствует положительный тренд температуры приземного воздуха (+0.8°C/10 лет) и атмосферных осадков (+3.1%/10 лет) и отрицательный тренд продолжительности солнечного сияния (-6.0%/10 лет) в Центральном федеральном округе РФ (Доклад..., 2021).

Аналогично, положительный тренд летней продолжительности эпизодов блокирования (+3.4 дн/10 лет, см. выше) согласуется с увеличением температуры (+0.6°C/10 лет) и продолжительности солнечного сияния (+3.4%/10 лет), но с уменьшением осадков (3.8%/10 лет) (Доклад, 2021).

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что одной из тенденций современных (1976-2020 гг.) климатических изменений циркуляционных процессов в средней тропосфере (уровень *H500*) на фоне глобального потепления является уменьшение суммарной продолжительности эпизодов блокирования в зоне умеренных широт Северного полушария, главным образом, – в североамериканском секторе. Учитывая разнообразие используемых для идентификации блокирующих ситуаций индексов и подходов, не исключено, что использование других методов может привести к иным результатам (Woollings et al., 2018). Представляется, что исследование доступных в настоящее время индексов блокирования и использование их в практическом мониторинге наблюдаемых климатических аномалий может расширить возможности анализа текущего состояния и многолетних изменений других компонентов климатической системы.

Список литературы

Аристова, Л.Н., Клещенко, Л.К., Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (2004) Характеристики эпизодов блокирования в Северном и Южном полушариях, *Современные глобальные и региональные изменения геосистем, Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 200-летию Казанского университета, 19-21 октября 2004 г., Казань*, с. 265-267.

Груза, Г.В., Коровкина, Л.В. (1991а) Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии, *Метеорология и гидрология*, № 3, с. 108-110.

Груза, Г.В., Коровкина, Л.В. (1991б) Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 1-17.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Клещенко, Л.К., Аристова, Л.Н. (2003) Статистический анализ сезонных индексов блокирования в Северном полушарии, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 171, с. 127-150.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. (2021) Москва, 104 с.

Клещенко, Л.К., Аристова, Л.Н., Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (2003) Сезонные индексы блокирования в Северном полушарии: статистический режим по реальным и модельным данным, *Всемирная конференция по изменению климата, Тезисы докладов, Москва, Россия, 2003, 29 сентября-3 октября*, с. 410.

Клещенко, Л.К., Ранькова, Э.Я. (2007) Оценки воспроизведения моделью ИВМ РАН характеристик циркуляции в средней тропосфере, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 173, с. 113-127.

Клещенко, Л.К., Ранькова, Э.Я. (2010) Характеристики блокирования в средней тропосфере: сопоставление оценок по данным реанализов NCEP/NCAR и JRA, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 175, с. 144-158.

Мохов И.И. и др. (2013) Блокинги в Северном полушарии и евро-атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам, *Доклады Академии наук*, т. 440, № 5, с. 582-586.

Соколов, О.В., Мезенцева, Л.И. (2007) Климатические тренды параметров общей циркуляции атмосферы в Южном полушарии во второй половине XX века, *Проблемы Арктики и Антарктики*, № 76, с. 24-35.

Kalnay, E. et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 77, pp. 437-484.

Woollings, T. et al. (2018) *Blocking and its Response to Climate Change*, available at: <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0108-z>.

References

Aristova, L.N., Kleshchenko, L.K., Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (2004) Kharakteristiki epizodov blokirovaniya v Severnom i Yuzhnom polushariyakh [Characteristics of blocking episodes in the Northern and Southern Hemispheres, Modern global and regional changes in geosystems], *Sovremennyye global'nyye i regional'nyye izmeneniya geosistem, Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 200-letiyu Kazanskogo universiteta, 19-21 oktyabrya 2004 g. Kazan'* [Proceedings of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 200th anniversary of Kazan University, October 19-21, 2004], Kazan, Russia, pp. 265-267.

Gruza, G.V., Korovkina, L.V. (1991a) Sezonnyye osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya indeksov blokirovaniya v Severnom polusharii [Seasonal features of the spatial distribution of blocking indices in the Northern Hemisphere], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 3, pp. 108-110.

Gruza, G.V., Korovkina, L.V. (1991b) Klimaticheskii monitoring protsessov blokirovaniya zapadnogo perenosa v Severnom polusharii [Climate monitoring of Western transport blocking processes in the Northern Hemisphere], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 8, pp. 1-17.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Kleshchenko, L.K., Aristova, L.N. (2003) Statisticheskii analiz sezonnykh indeksov blokirovaniya v Severnom polusharii [Statistical analysis of seasonal blocking indices in the Northern Hemisphere], *Trudy VNIIGMI-MTSD*, issue 171, pp. 127-150.

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2020 god [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2020]. (2021) Moscow, Russia, 104 p.

Kleshchenko, L.K., Aristova, L.N., Gruza, G.V., Rankov,a E.Ya. (2003) Sezonnyye indeksy blokirovaniya v Severnom polusharii: statisticheskii rezhim po real'nyim i model'nyim dannym [Seasonal blocking indices in the Northern Hemisphere: statistical regime based on real and model data], *Vsemirnaya konferentsiya po izmeneniyu klimata, Tezisy dokladov, Moskva, Rossiya, 2003, 29 sentyabrya-3 oktyabrya* [World Conference on Climate Change, Abstracts, Moscow, Russia, 2003, September 29-October 3], Moscow, Russia, p. 410.

Kleshchenko, L.K., Rankova, E.Ya. (2007) Otsenki vosproizvedeniya model'yu IVM RAN kharakteristik tsirkulyatsii v sredney troposphere [Estimates of the reproduction by the INM RAS model of the characteristics of circulation in the middle troposphere], *Trudy VNIIGMI-MTSD*, issue 173, pp. 113-127.

Kleshchenko, L.K., Rankova, E. Ya. (2010) Kharakteristiki blokirovaniya v sredney troposfere: sopostavleniye otsenok po dannym reanalizov NCEP/NCAR i JRA [Blockage Characteristics in the Middle Troposphere: Comparison of Estimates from NCEP/NCAR and JRA Reanalyses], *Trudy VNIIGMI-MTSD*, issue 175, pp. 144-158.

Mokhov I.I. et al. (2013) Blokingi v Severnom polusharii i yevro-atlanticheskom regione: otsenki izmeneniy po dannym reanaliza i model'nyim raschetam [Blockings in the Northern Hemisphere and the Euro-Atlantic Region: Estimates of Changes Based on Reanalysis Data and Model Calculations], *Doklady Akademii nauk*, vol. 440, no. 5, pp. 582-586.

Sokolov, O.V., Mezentseva, L.I. (2007) Klimaticheskiye trendy parametrov obshchey tsirkulyatsii atmosfery v Yuzhnom polusharii vo vtoroy polovine KHKH veka [Climatic trends in the parameters of the general atmospheric circulation in the Southern Hemisphere in the second half of the 20th century], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, no. 76, pp. 24-35.

Kalnay, E. et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 77, pp. 437-484.

Woollings, T. et al. (2018) *Blocking and its Response to Climate Change*, available at: <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0108-z>.

Поступила в редакцию (Received): 29.03.2021 г.

Доработана после рецензирования (Revised): 28.04.2021 г.

Принята к публикации (Accepted): 06.05.2021 г.

Для цитирования /For citation:

Клещенко, Л.К., Ранькова, Э.Я. (2021) Индексы блокирования в северном полушарии: оценки для 2020 года и тенденции многолетних изменений, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 2, с. 81-98, doi:10.21513/2410-8758-2021-2-81-98.

Kleshchenko, L.K., Rankova, E.Ya. (2021) Blocking indices in the northern hemisphere: assessments for 2020 and trends of long-term changes, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 7, no. 2, pp. 81-98, doi:10.21513/2410-8758-2021-2-81-98.