

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

CLIMATIC RESOURCES

КЛІМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)
УДК 551.515.1, 551.587, 551.589.1

И. С. Данилович¹, В. Ф. Логинов¹, А. В. Беганский²

¹*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: irina-danilovich@yandex.ru*

²*Департамент по авиации Министерства транспорта и коммуникаций
Республики Беларусь, Минск, Беларусь*

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОГЕНЕЗА В АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОМ СЕКТОРЕ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Представлены результаты оценки средних и экстремальных показателей осадков на территории Беларуси за период 1979–2019 гг., связанных с прохождением циклонов, формирующихся в Атлантико-Европейском секторе. Показано, что с прохождением северо-атлантических циклонов связано 55 % годовых сумм осадков на территории Беларуси, южных – 14 %, ныряющих – не более 1 %, доля фронтальных осадков составляет 6–13 %, конвективных (в мае–августе) – 6–12 % от годового количества. Суммы осадков, обусловленные прохождением северо-атлантических циклонов, преимущественно снижаются, но отмечается их рост при регенерации основных циклонов над континентом. Увеличилось количество осадков, связанных с южными циклонами зимой и весной, и снизилось летом и осенью. Отмечено повышение сумм фронтальных и конвективных осадков летом на большинстве метеостанций. Наибольшая интенсивность выпадения осадков на территории Беларуси характерна для конвективных процессов, но в отдельных случаях, мощные южные циклоны обеспечивают абсолютные максимумы осадков, превышая конвективные максимумы.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, циклоны, Атлантико-Европейский сектор, климат, осадки, траектории циклонов

I. S. Danilovich¹, V. F. Loginov¹, A. V. Begansky²

¹*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: irina-danilovich@yandex.ru*

²*Aviation Department of the Ministry of Transport and Communications of the
Republic of Belarus, Minsk, Belarus*

INFLUENCE OF CYCLOGENESIS IN THE ATLANTIC-EUROPEAN SECTOR ON THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN BELARUS

Abstract. The study presents an assessment of average and extreme precipitation indicators on the territory of Belarus which are associated with the cyclones in the Atlantic-European sector during the period of 1979–2019. It is shown that 55 % of annual precipitation over the territory of Belarus is caused by the North Atlantic cyclones, 14 % – by southern cyclones, about 1 % – diving ones, the frontal precipitation – 6–13 %, convective (in May–August) – 6–12 % of the annual amount. Precipitation amounts resulting from the passage of North Atlantic cyclones are predominantly decreasing, but an increase is noted with the regeneration of the major cyclones over the continent. Precipitation associated with southern cyclones increased in winter and spring and decreased in summer and autumn. An increase in sums of frontal and convective precipitation in summer was noted at most meteorological stations. The greatest intensity of precipitation on the territory of Belarus was detected for convective processes, but in some cases, powerful southern cyclones provide absolute maximum precipitation, exceeding convective maximums.

Keywords: atmospheric circulation, cyclones, Atlantic-European sector, climate, precipitation, cyclone trajectories

І. С. Даніловіч¹, У. Ф. Логінаў¹, А. В. Бяганскі²

¹*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,
Мінск, Беларусь, e-mail: irina-danilovich@yandex.ru*

²*Дэпартамент па авіяцыі Міністэрства транспарту і камунікацый
Рэспублікі Беларусь, Мінск, Беларусь*

УПЛЫЎ ЦЫКЛАГЕНЕЗУ Ў АТЛАНТЫКА-ЕЎРАПЕЙСКИМ СЕКТАРЫ НА ПРАСТОРОВА-ЧАСАВАЕ РАЗМЕРКАВАННЕ АТМОСФЕРНЫХ АСАДКАЎ У БЕЛАРУСІ

Анатацыя. Прадстаўлены вынікі ацэнкі сярэдніх і экстрэмальных паказчыкаў ападкаў на тэрыторыі Беларусі за перыяд 1979–2019 гг., звязаных з праходжаннем цыклонаў, якія фарміруюцца ў Атлантика-Еўрапейскім сектары. Пака-

зана, што з праходжаннем паўночна-атлантычных цыклонаў звязана 55 % гадавых сум ападкаў на тэрыторыі Беларусі, паўднёвых – 14 %, ныраючых – не больш як 1 %, доля фронтальных ападкаў складае 6–13 %, канвектыўных (у маі–жніўні) – 6–12 % ад гадавой колькасці. Сумы ападкаў, абумоўленыя праходжаннем паўночна-атлантычных цыклонаў, пераважна зніжаюцца, але адзначаецца іх рост пры рэгенерцыі асноўных цыклонаў над кантынентам. Павялічылася колькасць ападкаў, звязаных з паўднёвымі цыклонамі зімой і вясной, і знізілася летам і восенню. Адзначана павышэнне сум фронтальных і канвектыўных ападкаў летам на большасці метэастанцый. Найбольшая інтэнсіўнасць выпадзення ападкаў на тэрыторыі Беларусі характэрна для канвектыўных працэсаў, але ў асобных выпадках магутныя паўднёвыя цыклоны забяспечваюць абсалютныя максімумы ападкаў, перавышаючы канвектыўныя максімумы.

Ключавыя словы: атмасферная цыркуляцыя, цыклоны, Атлантика-Еўрапейскі сектар, клімат, ападкі, траекторыі цыклонаў

Введение. В последние годы все большее число исследований посвящается особенностям атмосферной циркуляции во время выпадения сильных осадков. Их повторяемость возрастает вследствие продолжающейся трансформации климата, что вызывает большую озабоченность [1, 2].

Выпадение осадков высокой интенсивности в различных регионах Европы, как правило, является результатом аномальной атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе [3–5]. Исследование повторяемости случаев ливневых осадков в Чехии в период 1958–2002 гг. [6] показало, что их выпадение связано в первом случае с наличием крупной квазистационарной ложбины, расположенной над территорией Европы, во втором случае при наличии высотного циклона над Центральной Европой – с малоподвижным циклоном на более низких уровнях атмосферы. При аналогичных синоптических условиях наблюдались сильные осадки, которые привели к катастрофическим наводнениям в Австрии и Германии в 1899, 1954, 2002 и 2013 гг. [7], крупнейшим наводнениям в Швейцарии в период с 1868 по 2005 гг. [8]. В работе [9] показано, что наибольшие суммы осадков в западной части Германии связаны с прохождением атлантических циклонов зимой, для центральных районов Западной Европы (Чехия, Австрия) выпадение больших сумм осадков связано с выходами средиземноморских циклонов (типа Vb по Van Bebber), 40–45 % циклонов типа Vb обуславливают выпадение интенсивных осадков (на уровне 95-го процентиля) в Центральной Европе летом [10].

Прохождение западных атлантических циклонов через территорию Беларуси обеспечивает 11–17 % годового количества [11], в теплый период года западные циклоны в 80 % случаев обуславливают выпадение значительных сумм осадков. Южные циклоны в зимний сезон приносят до 15–19 мм в сутки и в редких случаях более 20 мм [12]. По данным [13], при прохождении южных циклонов количество осадков может достигать 30–60 мм за один час. Наиболее интенсивные осадки (более 50 мм) отмечаются при смещении циклонов с севера Италии и выходящие со стороны территории Украины на центральную часть Беларуси [14]. Черноморские циклоны, выходящие на территорию Беларуси, также вызывают интенсивные осадки, особенно при развитии циклона по высоте и замедлении его хода над территорией Беларуси [15]. При смещении ныряющих циклонов через территорию Беларуси отмечаются осадки в виде дождя или снега и ухудшение видимости на дорогах до 1 км и менее [16, 17].

Результаты исследований [18] показывают увеличение повторяемости интенсивных осадков в северной и северо-восточной Европе с 1950-х годов, но в юго-западной и южной Европе наблюдаются другие тенденции. В Восточной Европе абсолютные экстремальные значения осадков увеличились, наибольший рост отмечается зимой (от 4 до 10 % за десятилетие), летом наблюдается менее выраженная тенденция к росту [19].

Для территории Беларуси [20, 21] в период 1989–2019 гг. в зимний сезон увеличение сезонных сумм осадков составляет 20–30 % по сравнению с предшествующим периодом 1948–1988 гг. Увеличение сумм осадков зимой происходит за счет роста числа дней с осадками малой интенсивности в связи с ростом продолжительности выпадения осадков в жидком виде. В летний сезон отмечается сокращение продолжительности выпадения осадков на всей территории страны на 20 %, что свидетельствует о возрастании засушливости климата, и одновременно увеличение максимальных сумм осадков на 20–30 % с наибольшим их ростом в южных районах [22].

Учитывая ранее установленные особенности влияния циклогенеза на режим выпадения осадков и современные тенденции увлажнения в Европе, цель работы заключалась в оценке количественных связей характеристик циклонов, формирующихся в различных районах Атлантико-Европейского сектора, оказывающих влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси, а также средних и экстремальных показателей количества осадков, выпадающих при различных формах барического рельефа.

Методика и исходные данные. Исследование региональных особенностей выпадения осадков на территории Беларуси выполнялось с учетом пространственно-временной изменчивости характеристик циклонов в Атлантико-Европейском секторе (40–70° с. ш., 60° з. д. – 60° в. д.). Характеристики циклонов (областей пониженного давления, ограниченные замкнутыми изобарами) получены по

данным реанализа ERA5 [23]. Проведена выборка циклонов по месту зарождения и направлению их перемещения по схеме, предложенной Л. А. Хандожко [24] и детализированной авторами. Циклоны условно разделены на западные (W), северные (N) и ныряющие (D) с очагом зарождения в Северной Атлантике, а также южные циклоны (S), формирующиеся в районах Средиземного и Черного морей. Северо-атлантические циклоны (северные и западные), регенерирующие над континентом и являющиеся продолжением основного циклона, обозначены как вторичные западные и северные циклоны (W2 и N2). Для анализа отобраны циклоны, оказывающие влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси, на основе оценок минимального расстояния между центрами циклонов и областными центрами Беларуси. Подробная информация об идентификации циклонов, типизации их по месту зарождения и траекториям перемещения в Атлантико-Европейском секторе, выборке влияющих циклонов на гидрометеорологические условия территории Беларуси представлена в работах [25].

Для исследования количественных связей характеристик циклонов средних и экстремальных сумм осадков использованы материалы Государственного климатического кадастра Республики Беларусь [26], представленные суточными суммами осадков по 42 метеорологическим станциям наблюдательной сети гидрометеорологических наблюдений Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды за период 1979–2019 гг.

Каждая точка трека циклона, идентифицированного по данным реанализа ERA5, была объединена с суммой осадков по каждой метеостанции в совпадающие даты за период 1979–2019 гг., затем вычислялось их сезонное количество для каждой группы циклонов (W, N, D и S). Фронтальные осадки определялись индивидуально для каждой метеостанции в дни, когда не было сведений о циклонах по данным реанализа, но отмечались осадки по данным станции. В такие дни вычислялась суточная амплитуда температуры воздуха ($\Delta T_{\text{сут}} = T_{\text{макс. сут}} - T_{\text{мин. сут}}$) по каждой метеорологической станции. При суточной амплитуде температуры воздуха $\Delta T_{\text{сут}} > 5^\circ\text{C}$ в холодный период (XI–IV) и $\Delta T_{\text{сут}} > 10^\circ\text{C}$ в теплый период (V–IX) и наличии осадков по данным метеостанции считалось вероятным прохождение фронтальных разделов циклонов через территорию Беларуси и вычислялись сезонные суммы осадков за эти дни. Конвективные осадки вычислялись в период с мая по август в дни с отсутствием сведений о циклонах и фронтальных разделах при наличии выпадения осадков на метеостанциях.

Результаты и их обсуждение. Количественные связи циклонов и осадков. Результаты сопоставления сведений о циклонах и осадках по данным метеостанций оцениваются в 88–94 %, т.е. практически 90 % дней с осадками определяются преобладающей барической формой (табл. 1). Для оставшихся 6–12 % дней с осадками за период 1979–2019 гг. не было сведений о циклонической активности.

Т а б л и ц а 1. Статистическая характеристика связи барических образований, идентифицированных по реанализу ERA5 с числом дней с осадками на территории Беларуси

Период	Сезоны				
Статистика	год I–XII	зима XII–II	весна III–V	лето VI–VIII	осень IX–XI
Число лет	40	40	40	40	40
Среднее значение по всем МС	91	89	94	88	93
Стандартное отклонение	2	3	3	3	4
Минимальное соответствие	86	85	89	82	86
25 % процентиль	90	88	91	85	90
50 % процентиль	91	89	94	88	93
75 % процентиль	92	91	96	89	96
Максимальное соответствие	95	96	98	94	100

В эту погрешность входят ошибки методического характера, которые для зимнего периода связаны с прохождением фронтальных разделов. В летний сезон дни с осадками, но без циклонов с высокой степенью вероятности связаны с формированием конвективных (внутримассовых) осадков. В целом погрешности не влияют на основной результат и свидетельствуют о высоком качестве трекинга и выборки циклонов, определяющих гидрометеорологические условия территории страны.

По данным работы [11], западные атлантические циклоны в целом дают немного осадков по территории Беларуси (11–17 % годового количества). Согласно выполненным расчетам, северо-атлантические циклоны приносят большее количество осадков, чем представлялось ранее. Так, суммарное годовое количество осадков на территории Беларуси, обусловленное прохождением северо-

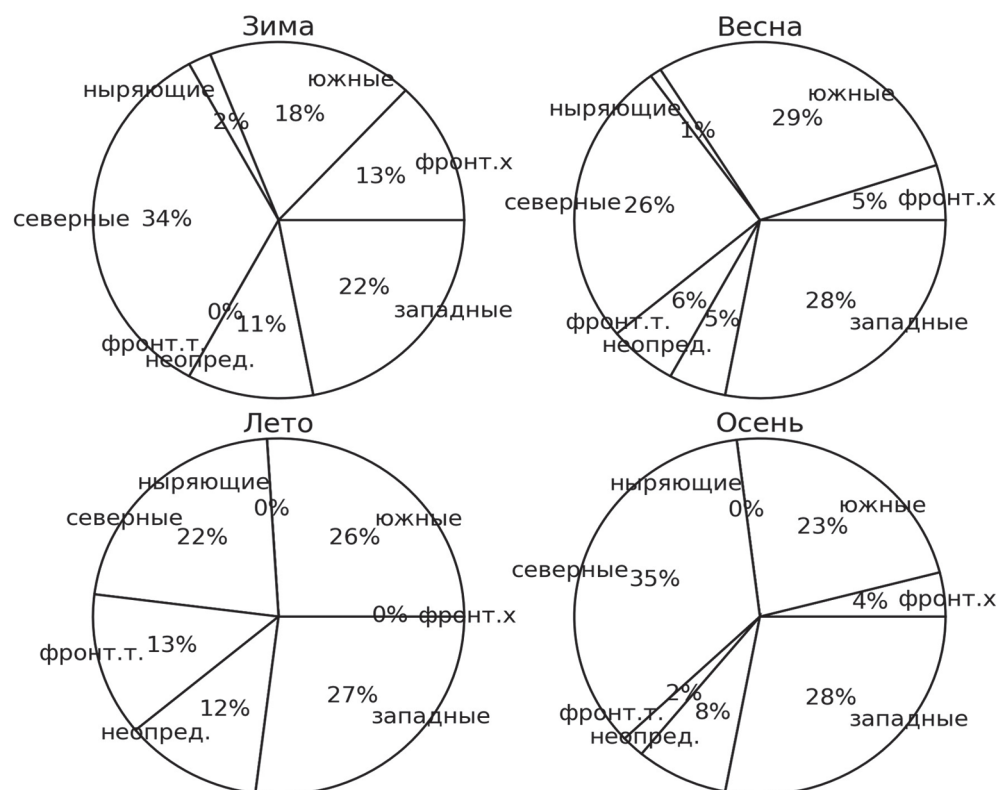


Рис. 1. Распределение выпадающих осадков в зависимости от типа барического образования, определяющего гидрометеорологические условия территории Беларуси

атлантических циклонов (W+N), составляет около 55 %. Среди этих циклонов северо-атлантические циклоны, которые перемещаются зонально в широтной зоне 50–56° с. ш. (западные циклоны, W) обеспечивают выпадение 25 % осадков от их годового количества. В зимний период с западными циклонами связано 22 % сезонных сумм, в остальные сезоны – 27–28 %. Северо-атлантические циклоны с доминирующими траекториями в широтной зоне 56–60° с. ш. (северные, N) приносят 30 % осадков от годовой суммы, 34–35 % от сезонных сумм осенью и зимой, 26 % весной и 22 % летом (рис. 1).

Исследования режима выпадения осадков при прохождении южных циклонов описаны в работах [13, 14], где показано, что на долю южных циклонов приходится 20–25 % всех выпадающих осадков за год. Этот результат сопоставим с выполненными нами расчетами, которые показывают, что с выходом южных циклонов связано 24 % годовых сумм осадков, из них 18–23 % осенью и зимой, до 26–29 % весной и летом.

В связи с редкой повторяемостью ныряющих циклонов количественные показатели осадков не отражены в предшествующих исследованиях, но расчеты показали, что их количество в годовом разрезе не превышает 1 %. Предшествующие исследования режима увлажнения территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией не содержат выводов о доле осадков формирующихся на фронтальных разделах циклонов. Наши расчеты показали, что доля фронтальных осадков в зимний сезон составляет 13 % от годового количества, весной – 11, летом – 13, осенью – 6 %. На долю конвективных осадков приходится 6–12 % от годового количества осадков, выпадающих в основном в мае–августе.

Тренды сезонных сумм осадков. Согласно выполненным нами расчетов величин трендов сезонных сумм осадков, выпадающих при прохождении различных типов циклонов через территорию Беларуси в период 1979–2019 гг., отмечается преимущественно их снижение в пределах 10 мм за этот период при прохождении северных циклонов (N). Наибольшее снижение осадков отмечается летом на востоке страны – до 20 мм за сезон в связи со снижением повторяемости северных циклонов (N) на 10–20 % [25]. Тенденция снижения осадков на востоке Беларуси летом характерна и при прохождении вторичных северных циклонов (N2). В остальные сезоны при циклонах N2 отмечается в основном рост сезонных сумм осадков в пределах 5–10 мм с наибольшими показателями весной.

Сезонные суммы осадков, связанные с прохождением западных циклонов (W), снижаются зимой до 10 мм за рассматриваемый период. Эту тенденцию можно объяснить снижением скорости пере-

мещения циклонов (W) на 3 км/ч зимой [25], что свидетельствует о заполнении циклонов у границ Беларуси, сопровождающееся ростом количества осадков малой интенсивности. В остальные сезоны на большинстве метеостанций отмечается разброс роста и снижения сезонных сумм осадков в пределах 2–6 мм. Однако при прохождении вторичных западных циклонов (W2) на большинстве метеостанций зимой, весной и осенью наблюдается увеличение сезонных сумм осадков в пределах 15–25 мм за счет небольшого роста повторяемости циклонов типа W2. Летом наблюдается обратная тенденция: происходит снижение сезонных сумм осадков в пределах 20 мм и снижение повторяемости вторичных западных (W2) циклонов вдвое.

С прохождением средиземноморских циклонов (S) связан рост осадков зимой и весной на 15 мм. Летом повышение сезонных сумм осадков в пределах 10 мм отмечается лишь на западе страны, на остальной территории установлено снижение в пределах 30 мм. Осенью сезонные суммы в основном уменьшились на 10–15 мм. Осадки при прохождении черноморских (S2) циклонов в последние 40 лет в основном снизились на 4–8 мм за сезон.

Изменение фронтальных осадков в декабре–марте характеризуется незначительными величинами трендов: 2–5 мм в сторону снижения, так и повышения. Летом величины изменения фронтальных сумм осадков значительно выше и их рост за последние 40 лет составляет 10–12 мм в мае–июне на большинстве станций. В июле величины изменений осадков немного больше – 10–25 мм, и только на востоке страны изменения количества осадков незначительно. В августе отмечается снижение осадков в пределах 10 мм на востоке и повышение около 5 мм на западе страны. Суммы конвективных осадков увеличились на большинстве станций: в мае рост составил 5–10 мм, июне в центральной части страны – 5 мм, юго-восточной части страны – 20–25 мм, июле – 5–20 мм, в августе на половине станций отмечено увеличение на 5–20 мм.

Интенсивность осадков в зависимости от типа циклонов. В данном разделе представлен анализ суточных сумм осадков, соответствующих 95-му процентилю, т.е. близких к максимальным суммам осадков, но с более высокой повторяемостью. Здесь же представлены значения абсолютных максимумов осадков за сутки.

Величины суточных сумм осадков, соответствующих 95-му процентилю, выпадающих при различных барических образованиях, осредненные по 42 метеорологическим станциям Беларуси приведены на рис. 2. Выполненные расчеты позволили установить, что наибольшие суммы осадков за сутки связаны с конвективным характером их формирования (при отсутствии фронтальных разделов). Суммы конвективных осадков, соответствующие 95-му процентилю, составляют 20 мм за сутки в среднем по территории страны, что указывает на наибольшую интенсивность выпадения осадков при конвективных явлениях. Южные циклоны обеспечивают значения сумм осадков на уровне 95-го перцентиля в пределах 18 мм за сутки.

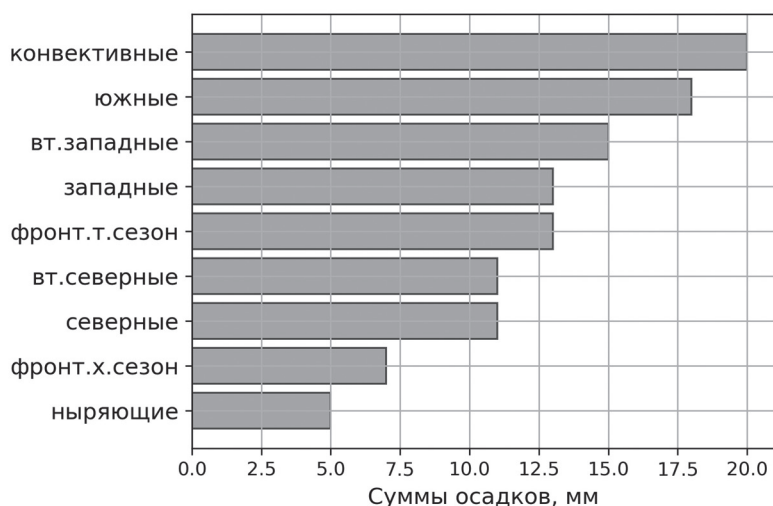


Рис. 2. Суточные суммы осадков, соответствующие 95-му процентилю, осредненные по 42 метеорологическим станциям Белгидромета Минприроды

Следующие по интенсивности выпадения осадков следуют западные циклоны (W), суточные суммы, соответствующие 95-му процентилю, составляют 13 мм для мощных циклонов с районом зарождения у восточного побережья Северной Америки и 15 мм для вторичных западных циклонов

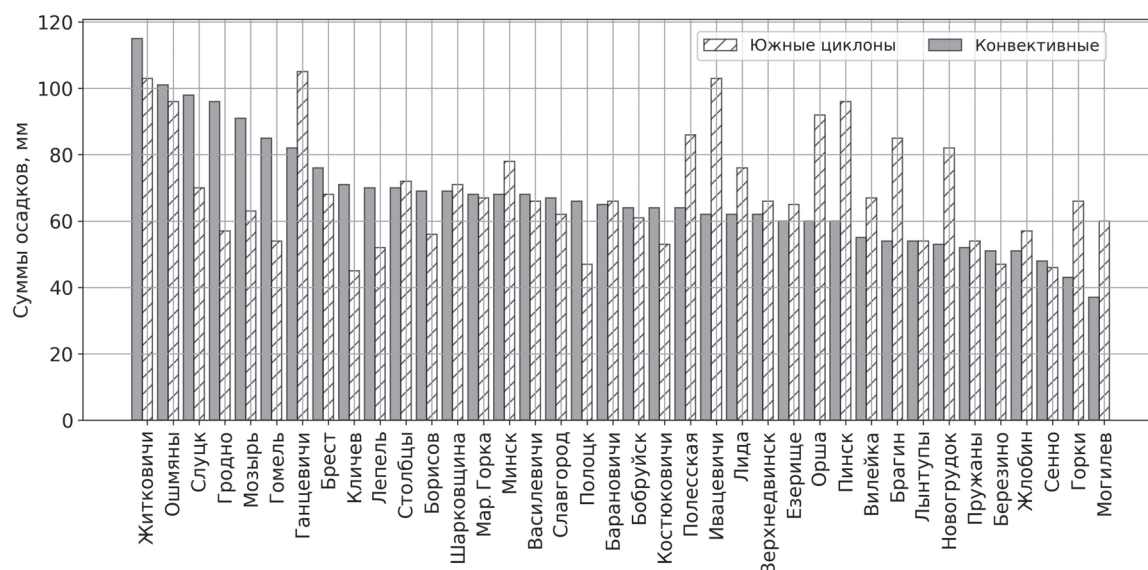


Рис. 3. Абсолютные максимумы осадков при конвективных процессах и прохождении южных циклонов (отсортированы по убыванию величины конвективных осадков)

(W2), сформированных над континентом на фронтальных разделах основного циклона. Меньшая интенсивность осадков, выпадающих из облаков основного циклона, связана с его длительным путем перемещения, снижением скорости и заполнением по мере приближения к границам Беларуси.

Интенсивность осадков при прохождении северо-атлантических циклонов с доминирующими траекториями севернее границ Беларуси (северных циклонов, N) составляет 11 мм на уровне 95-го перцентиля. Суточные суммы осадков, соответствующие 95-му перцентилу при ныряющих циклонах (D), составляют 5 мм. Осадки, связанные с прохождением фронтальных разделов в холодный период года на уровне 95-го перцентиля, составляют 7 мм, в теплый период – 13 мм. Большее значение фронтальных осадков летом связано с формированием конвективных осадков на фронтах в летние месяцы: на данном этапе исследования не представилось возможным их выделить отдельно.

Абсолютные суточные максимумы осадков при конвективных условиях и южных циклонах по своей величине различаются по территории страны (рис. 3). Наибольшие значения суточных сумм осадков, отмеченных при прохождении южных циклонов, характерны для южного региона страны (Ганцевичи, Полесская, Ивацевичи, Пинск, Пружаны, Брагин, Горки, Жлобин), что связано с большей мощностью и вероятным углублением циклонов у границ страны, и на станциях, расположенных на возвышенных формах рельефа или склонах (Вилейка, Минск, Новогрудок, Лида, Орша, Могилев). Связано это с естественными барьерами для барических образований и, как следствие, интенсификацией осадков на склонах возвышенностей или речных долин. Значит, что наибольшая интенсивность выпадения осадков характерна для конвективных процессов. Однако при определенных морфометрических условиях земной поверхности южные циклоны (S и S2) могут обеспечивать абсолютные максимумы осадков, превышая конвективные максимумы.

Заключение. В результате исследований современных тенденций режима увлажнения территории Беларуси по данным 42 метеостанций Белгидромета Минприроды в зависимости от циклонической деятельности в различных районах Атлантико-Европейского сектора установлено, что практически 90 % дней с осадками связаны с прохождением циклонов.

С прохождением северо-атлантических циклонов связано 55 % годовых сумм осадков: на циклоны западного типа (W) приходится 25 % (22 % сезонных сумм зимой, в остальные сезоны – 27–28 %), на северные циклоны (N) – 30 % годовых сумм (34–35 % сезонных сумм осенью и зимой, 26 % весной и 22 % летом); на долю южных циклонов приходится 18–23 % осенью и зимой, 26–29 % весной и летом, ныряющих – не более 1 %. Доля фронтальных осадков составляет 6–13 %, конвективных (в мае–августе) – 6–12 % от годового количества.

Суммы осадков, связанные с прохождением северных циклонов (N) в период 1979–2019 гг., снижаются в пределах 10 мм за сезон, при вторичных циклонах N2 отмечается в основном рост осадков в пределах 5–10 мм за сезон. При прохождении западных циклонов (W) наблюдается разброс изменений сезонных сумм осадков в пределах 2–6 мм. При вторичных западных циклонах (W2) отме-

чается рост осадков на 15–25 мм зимой, весной и осенью, но летом происходит их снижение до 20 мм за счет уменьшения повторяемости вторичных западных (W2) циклонов вдвое. Южные циклоны (S) обусловили рост осадков зимой и весной в пределах 15 мм, летом и осенью установлено снижение осадков в пределах 10–30 мм. Осадки при прохождении черноморских циклонов снизились на 4–8 мм во все сезоны. Суммы фронтальных осадков мало изменились зимой и преимущественно увеличились летом в пределах 10–25 мм, суммы конвективных осадков летом увеличились на большинстве станций в пределах 5–25 мм.

Наибольшая интенсивность выпадения осадков характерна для конвективных процессов, но при определенных морфометрических условиях земной поверхности, мощные южные циклоны (S и S2) обеспечивают абсолютные максимумы осадков, превышая конвективные максимумы. Суточные максимумы конвективных осадков, соответствующие 95-му процентилу, составляют 20 мм, при южных циклонах – 18, при западных – 13, при северных – 11, при ныряющих – 5 мм.

Список использованных источников

1. The changing character of precipitation / K. E. Trenberth [et al.] // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* – 2003. – N 84. – P. 1205–1217.
2. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall / S. Westra [et al.] // *Rev. Geophys.* – 2014. – N 52. – P. 522–555.
3. Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013 / C. M. Grams [et al.] // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2014. – N 14. – P. 1691–1702.
4. Kašpar, M. Combinations of large-scale circulation anomalies conducive to precipitation extremes in the Czech Republic / M. Kašpar, M. Müller // *Atmos. Res.* – 2014. – N 138. – P. 205–212.
5. Dayan, U. Atmospheric conditions inducing extreme precipitation over the eastern and western Mediterranean / U. Dayan, K. Nissen, U. Ulbrich // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2015. – N 15. – P. 2525–2544.
6. Müller, M. Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in central Europe from 1951 to 2002 / U. Dayan, K. Nissen, U. Ulbrich // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2009. – N 9. – P. 441–450.
7. The June 2013 flood in the Upper Danube basin, and comparisons with the 2002, 1994 and 1899 floods / G. Blöschl [et al.] // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2013. N 17. – P. 5197–5212.
8. Weather patterns and hydro-climatological precursors of extreme floods in Switzerland since 1868 / P. Stucki [et al.] // *Meteorol. Z.* – 2012. – Vol. 21, N 6. – P. 518–529.
9. Large-scale heavy precipitation over central Europe and the / M. Hofstätter [et al.] // *International Journal of Climatology.* – 2018. – N 38. – P. 497–517.
10. Vb cyclones and associated rainfall extremes over central Europe under present day and climate change conditions / K. Nissen [et al.] // *Meteorol. Z.* – 2013. – Vol. 22, N 6. – P. 649–660.
11. Амельченко, А. В. Осадки в БССР, связанные с перемещением циклонов с северо-запада и запада / А. В. Амельченко, В. И. Николаева // *Сб. работ Минской гидрометеоролог. обсерватории.* – 1961. – № 3. – С. 158–166.
12. Лаврова, А. А. Моделирование эволюции серии средиземноморских циклонов с помощью региональной модели атмосферы / А. А. Лаврова, Е. С. Глебова, И. В. Тросников // *Метеорология и гидрология.* – 2010. – № 6. – С. 5–15.
13. Лепешко, В. Н. Южные циклоны, условия их развития и перемещения на территорию БССР / В. Н. Лепешко. – Минск: Белгидромет, 1983. – 29 с.
14. Юбочникова, О. И. Осадки в Беларуси, связанные с перемещением циклонов с юга / О. И. Юбочникова // *Сб. работ Минской гидрометеоролог. обсерватории.* – 1962. – № 4. – С. 43–52.
15. Сумак, Е. Н. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова // *Журн. БГУ. География. Геология.* – 2019. – № 2. – С. 79–93.
16. Барская, С. З. Влияние ныряющих циклонов на погодные условия Белоруссии / С. З. Барская // *Сб. работ Минской гидрометеоролог. обсерватории.* – 1967. – № 6. – С. 11–18.
17. Лепешко, В. Н. Рекомендации к прогнозу ныряющих циклонов, оказывающих влияние на погоду Белоруссии / В. Н. Лепешко. – Минск: Белгидромет, 1989. – 42 с.
18. Fischer, E. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models / E. Fischer, R. Knutti // *Nature Climate Change.* – 2016. – P. 986–991.
19. Zolina, O. Changes in Intense Precipitation in Europe / O. Zolina // In: *IAHS-AISH Publication.* – 2012. – P. 97–120.
20. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
21. Данилович, И. С. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси / И. С. Данилович, В. Ф. Логинов // *Центральноазиат. журн. географ. исслед.* – 2021. – № 1–2. – С. 35–48.
22. Данилович, И. С. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // *Журн. БГУ. География. Геология.* – 2021. – № 2. – С. 32–44.
23. Hersbach, H. The ERA5 global reanalysis / H. Hersbach, B. Bell, P. Berrisford // *Q J R Meteorol Soc.* – 2020. – N 146. – P. 1999–2049.
24. Хандожко, Л. А. Региональные синоптические процессы / Л. А. Хандожко Л.: Изд.-во ЛГМИ, 1988. – 103 с.
25. Данилович, И. С. Пространственно-временные тенденции перемещения циклонов различного генезиса, влияющих на гидрометеорологические условия территории Беларуси / И. С. Данилович, В. Ф. Логинов, И. В. Буяков // *Природные ресурсы.* – 2022. – № 2. – С. 16–24.
26. ГКК. Государственный климатический кадастр : материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свид.-ва 0870100021. – 2020.

Поступила 14.10.2022