

**И. С. Данилович, В. Ф. Логинов, И. В. Буяков**

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

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЦИКЛОНОВ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

**Аннотация.** Проведена типизация циклонов, формирующихся в Атлантико-Европейском секторе и определяющих гидрометеорологические условия территории Беларуси, произведены расчеты характеристик циклонов и их трендов. Установлено увеличение числа дней с северо-атлантическими циклонами и незначимое – с южными. Летом отмечается снижение количества дней с циклонической деятельностью. Показано приближение траекторий циклонов к границам Беларуси зимой, что усиливает отепляющее влияние на погоду в Беларуси.

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

**I. S. Danilovich, V. F. Loginov, I. V. Buyakov**

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

## **SPATIO-TEMPORAL TRENDS IN THE MOVEMENT OF CYCLONES OF VARIOUS ORIGINS THAT AFFECT THE HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY OF BELARUS**

**Abstract.** The study presents the North Atlantic cyclones sampling which determine the hydrometeorological conditions of the territory of Belarus. An assessment of cyclone characteristics and their trends was provided. An increase in the number of days with North Atlantic cyclones and an insignificant increase in the number of days with southern cyclones was established. In summer, there is a decrease in the number of days with cyclonic activity. A distance decrease between cyclone trajectories and the borders of Belarus in winter is shown. It led to increases the warming effect on the weather in Belarus.

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

**І. С. Даніловіч, В. Ф. Логінаў, І. В. Буякоў**

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

## **ПРАСТОРАВА-ЧАСАВЫЯ ТЭНДЭНЦЫІ ПЕРАМЯШЧЭННЯ ЦЫКЛОНАЎ РОЗНАГА ГЕНЕЗІСУ, ЯКІЯ АКАЗВАЮЦЬ УПЛЫЎ НА ГІДРАМЕТЭАРАЛАГІЧНЫЯ ЎМОВЫ ТЭРЫТОРЫІ БЕЛАРУСІ**

**Анацыя.** Паведавана тыпізацыя цыклонаў, якія фарміруюцца ў Атлантака-Еўрапейскім сектары і вызначаюць гідраметэаралагічныя ўмовы тэрыторыі Беларусі, зроблены разлікі характарыстык цыклонаў і іх трэндаў. Устаноўлена павелічэнне колькасці дзён з поўночна-атлантычнымі цыклонамі і нязначнае – з паўднёвымі. Улетку адзначаецца зніжэнне колькасці дзён з цыкланічнай дзейнасцю. Паказана набліжэнне траекторый цыклонаў да межаў Беларусі ўзімку, што ўзмацняе ацяпляльны ўплыў на надвор'е ў Беларусі.

**Ключавыя словы:** атмасферная цыркуляцыя, цыклоны, траекторыі, Атлантака-Еўрапейскі сектар, клімат, ападка

**Введение.** Практика разделения циклонов по генезису позволяет учитывать региональные особенности воздушных масс, сформированных в различных регионах, и принимать во внимание их при составлении прогнозов погоды, возникновения опасных явлений, а также при оценке климатических условий [1]. Результаты исследований характеристик циклонов в Атлантико-Европейском секторе различаются вследствие использования разных методов группировки барических образований. Общие научно-методические подходы авторов при проведении группировки состоят в делении двух больших групп циклонов в Атлантико-Европейском секторе. Первая группа включает циклоны с очагом зарождения в Северной Атлантике, вторая – южные циклоны; остальные подтипы циклонов являются производными указанных основных групп. Среди классификаций циклонов, распространяющихся на Европу, следует отметить работы [2–5], которые учитывали регион зарождения, доминирующие траектории и время жизни циклонов. Результаты отечественных исследований циклогенеза в Северном полушарии широко использовались для климатических оценок Б. Л. Дзердзеевским [7], О. Г. Кричаком [8], Л. А. Вительсом [9], Л. А. Хандожко [10]. В данном исследовании использована схема разделения циклонов по преобладающим направлениям движения, предложенная Л. А. Хандожко [11], согласно которой циклоны в Атлантико-Европейском секторе разделяются на западные, южные и ныряющие.

Исследования связи атмосферной циркуляции и климата территории Беларуси выполнялись В. Ф. Логиновым [12, 13]. Кроме того, в работе [14] установлена связь положения высотных гребней и ложбин с температурными аномалиями на территории Беларуси. Оценка тесноты связи между типами атмосферной циркуляции и повторяемостью опасных явлений на территории Беларуси представлена в работе [15]. Авторами установлена наметившаяся тенденция уменьшения количества дней с меридиональными типами циркуляций, что может привести к снижению повторяемости опасных явлений погоды на территории страны. Для Беларуси в течение года характерно преобладание циклонического характера погоды – около 200 дней, антициклоны определяют погоду в течение 150–160 дней в году [16].

Анализ перемещения циклонов различного генезиса через территорию Беларуси в период 1995–2015 гг. [17] показал, что в среднем в год в этот период перемещалось 15–16 циклонов различных траекторий. Западные циклоны наиболее часто наблюдались в марте и декабре, ныряющие имели наибольшую повторяемость в январе и феврале. Наибольшее количество южных циклонов пришлось на теплое время года – апрель, май и июль, с прохождением которых связано наибольшее число опасных явлений на территории страны в период 1995–2015 гг. [18].

Согласно выводам в работе [19], количество циклонов, приходящих с севера и юга Атлантики, значительно изменилось за период 1949–2012 гг. Установлен рост количества северных и снижение западных атлантических циклонов в зимний сезон, т. е. смещение основных воздушных потоков в северном направлении, вследствие чего произошло увеличение осадков в зимний сезон в северной части Беларуси. При этом отсутствовала четкая тенденция изменения осадков зимой в центральной и южной частях страны. В то же время отмечена тенденция уменьшения количества южных циклонов, формирующихся в районе Средиземноморья и Черного моря, и числа дней со снегопадами, что способствовало снижению высоты снежного покрова на территории Беларуси в последние десятилетия.

Общие тенденции изменения количества внетропических циклонов в Северном полушарии, согласно результатам исследований [20–24], заключаются в слабом росте числа циклонов зимой и летом. В то же время количество средиземноморских циклонов уменьшается [25–29]. В названных работах в связи с использованием различных подходов при проведении анализа исходных данных, а также периода обобщения, результаты характеристик циклонов в Европейском регионе существенно различны.

Цель работы – провести наиболее полный анализ циклонов, формирующихся в Атлантико-Европейском секторе, их типизацию по месту зарождения и направлению перемещения, количественную оценку их характеристик (повторяемость, скорость перемещения, размер, давление в центре циклона) и оценку трендов, а также оценку характеристик циклонов, которые оказывали наибольшее влияние на гидрометеорологические условия на территории Беларуси.

**Методология и исходные данные.** В качестве количественных показателей циркуляции атмосферы в работе использовали характеристики циклонов различного генезиса. Траектории и сопутствующие характеристики барических образований получены с помощью алгоритма идентификации циклонов, представленных в работах [30, 31]. Трекинг циклонов проводился в широтном поясе между 20° и 80° с.ш. на основе полей давления на уровне моря (MSLP) по данным реанализов NCEP/NCAR Reanalysis [32] и ERA5 [33].

В целом сравнительный анализ характеристик циклонов с длительным периодом жизни (10 и более точек в треке), идентифицированных по реанализам NCEP и ERA5 (рис. 1), показал хорошую сходимость результатов трекинга и возможность использования данных двух реанализов, но резуль-

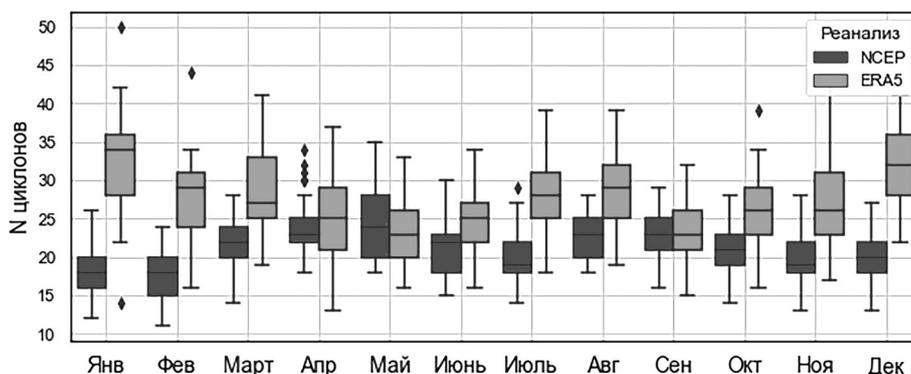


Рис. 1. Общее количество циклонов (с числом точек в треке  $\geq 10$ ) в домене 30–80° с.ш. и 60° з. д.–60° в. д., определенное по данным реанализов NCEP и ERA5

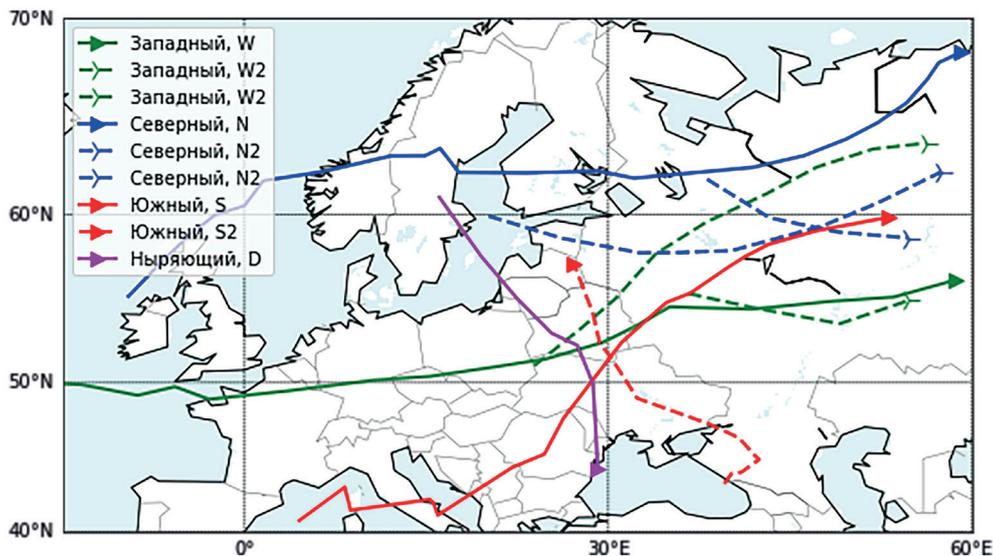


Рис. 2. Репрезентативные траектории циклонов в Атлантико-Европейском секторе для типизации по месту зарождения и перемещения циклонов

таты трекинга по данным ERA5 более детальные. Среднегодовое количество циклонов в обозначенной области составляет 1157 по реанализу NCEP и 1206 по реанализу ERA5, средняя ошибка не превышает 5 %. Стандартное отклонение составляет 140 по реанализу NCEP и 133 – по ERA5.

Типизация циклонов по месту зарождения и направлению их перемещения проведена по схеме [11] и детализированной авторами. На рис. 2 представлены траектории циклонов, репрезентативные для каждого типа циклонов. Циклоны по месту зарождения и траектории их перемещения условно разделены на 2 группы: северо-атлантические – западные (W), перемещающиеся зонально в полосе 50–56° с.ш., северные (N, разнородность западных), перемещающиеся зонально преимущественно в полосе 56–65° с.ш., и ныряющие (D), перемещающиеся меридионально с северо-северо-запада в низкие широты. Западные/северные циклоны могут регенерироваться на фронтах основных циклонов и вновь образовываться над континентами, но являться продолжением основного циклона (так называемые «серии» циклонов), в таких случаях они обозначены как вторичные западные/северные (W2 и N2). Северо-атлантические циклоны (западные/северные основные и вторичные) формируются при зональном типе атмосферной циркуляции, ныряющие – при меридиональных процессах в атмосфере. Вторая группа – южные циклоны (зарождаются в районах Средиземного или Черного морей), их выходы отмечаются при меридиональном типе циркуляции. Выборка средиземноморских (S) циклонов включала циклоны с начальными точками трека в области 30–45° с.ш. и 0–28° в.д.; черноморских циклонов (S2) – в области, ограниченной 30–45° с.ш. и 28–45° в.д.

Выделение циклонов, оказывающих влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси, проводилось на основе оценки минимального расстояния между центрами циклонов и областными центрами Беларуси, т. е. в расчет принимались циклоны, у которых максимальный радиус за время его жизни превышал минимальное расстояние до любого областного центра хотя бы в одной точке трека циклона. Период обобщения характеристик циклонов, идентифицированных по данным реанализа NCEP, составляет 1948–2019 гг., по данным реанализа ERA5 – 1979–2019 г. В ходе исследования проведены расчеты количества циклонов и числа дней с циклонами различных направлений, средней скорости перемещения за время жизни, среднего радиуса и минимального давления в центрах циклонов, а также их трендов. Проверка статистической значимости величин трендов осуществлялась с помощью *t*-критерия Стьюдента.

**Результаты и их обсуждение. Повторяемость и тренды циклонов.** Согласно проведенным расчетам в среднем за год около 80 циклонов оказывают влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси. Во внутригодовом распределении по 23 циклона приходится на зиму и лето, 22 – на весну и 20 – на осень. Наибольшее число циклонов, оказывающих влияние на гидрометеорологические условия как Европейского континента, так и территории Беларуси, формируется в северной Атлантике [4, 6]. В годовом разрезе повторяемость северо-атлантических циклонов (северных, N), оказывающих влияние на погоду в Беларуси, составляет около 36 за год, северо-атлантических (западных, W) – 23 в год. Количество южных циклонов (S) составляет 18 за год, ныряющих (D) – не превышает 5 за год.

Сезонные показатели количества циклонов представлены на рис. 3. Повторяемость северных циклонов (N) с доминирующими траекториями в полосе 56–60° с.ш. составляет по 8–9 событий за осенне-зимний сезон и по 5–6 – в летне-осенний. Среди северных циклонов наибольшее количество

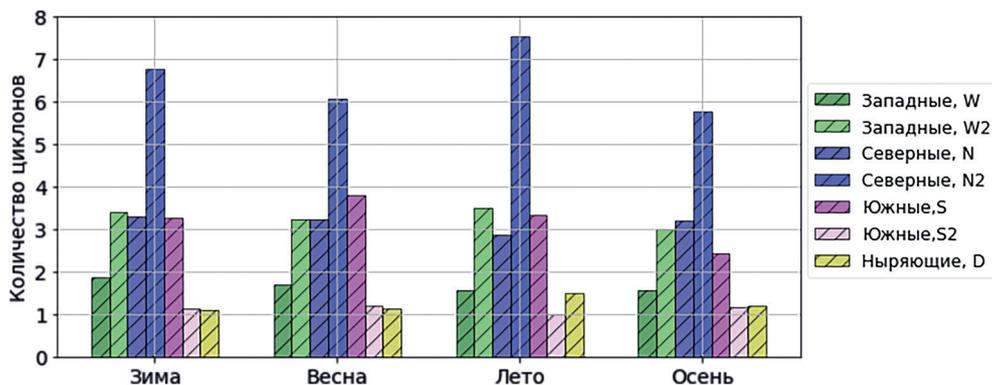


Рис. 3. Среднее многолетнее количество циклонов различного генезиса, идентифицированных по данным реанализа ERA5 за период 1979–2019 гг., оказывающих влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси

приходится на вторичные (N2), которые являются продолжением основного циклона и формируются по мере прохождения его над континентом; доля вторичных северных циклонов составляет 2/3 от общего числа всех северных циклонов (N+N2).

Повторяемость северо-атлантических циклонов западного типа (W), перемещающихся в пределах 50–56° с.ш., составляет около 6 за сезон, среди которых число основных (с местом зарождения у восточного побережья Северной Америки) составляет 1–2 циклона за сезон, остальные формируются на фронтах основного циклона.

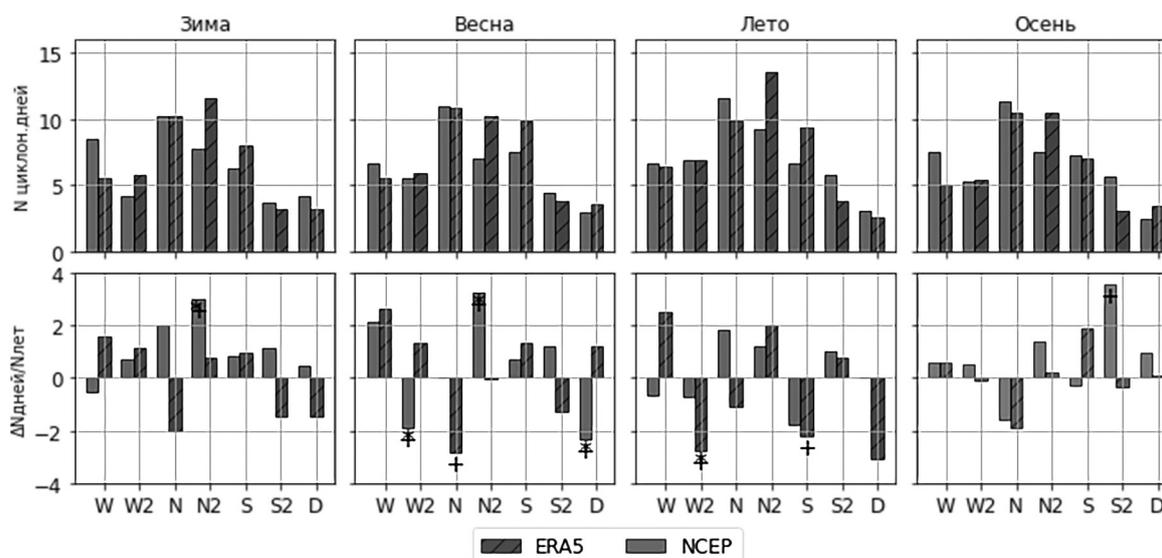
Повторяемость южных циклонов (S+S2) составляет 4–5 событий за сезон. Среди южных циклонов более высокая повторяемость характерна для средиземноморских (S) и составляет 3–4 за сезон, повторяемость черноморских циклонов (S2) колеблется в пределах 1–2 за сезон. Наиболее редкие ныряющие циклоны (D) в среднем отмечаются один раз в сезон и реже.

Как показано в работе [16], число дней с циклоническим характером погоды на территории Беларуси составляет около 200 дней в году. Проведенные расчеты числа дней с циклонами позволили установить, что среднегодовое число дней с влиянием на гидрометеорологические условия страны всех типов циклонов составляет 187 дней по данным реанализа NCEP и 194 дня – по данным ERA5. Годовое количество дней по данным более детального реанализа ERA5 с северными (N) циклонами составляет около 87 дней, западными (W) – 46, южными (S) – 48 и ныряющими (D) – 14 дней. Распределение по сезонам характеризуется преобладанием северных циклонов (N+N2) в течение 21–24 дня за сезон с максимумом летом, западных (W+W2) – 10–13 дней также с максимумом летом. На вторичные северные и западные (W2, N2) циклоны приходится половина количества дней с этими же типами (W, N). Число дней с южными (S+S2) циклонами составляет 10–13 дней с максимумом весной и летом (из них 3–4 дня с черноморскими, S2), число дней с влиянием ныряющих циклонов (D) составляет 3–5 дней за сезон с максимумом весной и осенью (рис. 4).

Каждый циклон в среднем сохраняет свое влияние на погоду Беларуси 3 дня, приблизительно на один день больше южные циклоны с максимумом летом, быстрее проходят западные – около 2–3 дней, северные и ныряющие сохраняют свое влияние около 3 дней. Максимальные показатели продолжительности влияния циклонов на гидрометеорологические условия территории Беларуси превышают 10 дней.

Скорость перемещения циклонов составляет 36–60 км/ч и варьирует в зависимости от типа циклона. Наибольшие скорости характерны для западных циклонов (W) и составляют 54–60 км/ч с максимумом зимой, скорости перемещения южных (S) – 52–55 км/ч с максимумом осенью, северных (N) – 46–50 км/ч с максимумом зимой, наименьшие скорости перемещения у ныряющих циклонов (D) зимой, весной и осенью 35–47 км/ч с максимумом зимой.

Для оценки размеров циклонов вычислялся средний радиус, который составляет 400–600 км. Наибольшие размеры характерны для северных циклонов (N). В среднем они составляют от 575 км летом до 640 км осенью. Средние параметры южных циклонов (S) составляют от 430 км летом до 460 км зимой, средний радиус западных (W) – 407–437 км, ныряющих (D) – 330 км летом и достигает 560 км весной.



Статистически значимые величины трендов при  $P_{\text{случ}} < 5\%$  отмечены знаком \*, при  $P_{\text{случ}} < 10\%$  – знаком +

Рис. 4. Число дней с циклонами различного генезиса, оказывающими влияние на гидрометеорологические условия территории Беларуси и величины их трендов

Минимальное давление в центрах циклонов характеризуется наименьшими показателями у северных (N) 983–993 гПа, западных (W) 996–1001 гПа, южных (S) 995–998 гПа, ныряющих (D) 994–1007 гПа циклонов. Наименьшие значения минимального давления в центре циклонов характерны для осенне-зимнего сезона, наибольшие – для весенне-летнего.

**Тренды циклонов.** Оценка изменения повторяемости циклонов выполнена по данным двух реанализов (NCEP ~ 70 лет, ERA5 ~ 40 лет) для учета длительных тенденций региональных особенностей современного потепления климата. На рис. 4 представлены величины трендов числа дней с циклонами различного генезиса по данным реанализов NCEP и ERA5. Согласно расчетам, общие тенденции изменения повторяемости циклонов, идентифицированных для данных двух реанализов, заключаются в увеличении числа дней влияния зимой северо-атлантических и южных циклонов. Увеличение числа дней влияния северо-атлантических циклонов северного типа (N+N2) составляет 2 и 3 дня при среднем показателе повторяемости этих циклонов 8 и 10 дней за зимний сезон, что составляет 20–30 %. Статистически значимый тренд получен только для циклонов типа N2 (при  $P_{\text{случ}} > 5\%$ ) по данным реанализа NCEP. Это подтверждают результаты предыдущих исследований о росте повторяемости северных циклонов, представленные в работах [19, 34, 35]. Кроме того, увеличение повторяемости всех северо-атлантических циклонов в пределах 10 % показаны в работах [20, 21, 23, 24]. Изменение числа дней с западными (W) и южными (S) циклонами характеризуется небольшим ростом, которое не превышает двух дней за сезон и статистическим незначим при  $P_{\text{случ}} > 5\%$ .

Весной отмечается рост числа дней с западными циклонами в пределах 30 %, но этот результат статистически незначим. Число дней с основными северными циклонами уменьшилось на 3 дня и на столько же увеличилось число вторичных северных циклонов. Отмечается уменьшение числа ныряющих циклонов весной. В летний период отмечается преимущественно обратная тенденция, которая выражается в снижении повторяемости циклонов. Происходит уменьшение числа дней с влиянием западных (W) и южных (S) циклонов до 3 дней за рассматриваемый период, что составляет 20–30 % от средних показателей. Величины трендов оказались более высокие по данным реанализа ERA5, что указывает на усиление этой тенденции и возрастание роли блокирующих процессов в атмосфере в период современного потепления климата. Осенью статистически значимые изменения характерны для черноморских циклонов, по данным реанализа NCEP их число возросло на 4 дня за сезон за последние 70 лет, т. е. практически удвоилось.

Изменения скорости перемещения циклонов характеризуются преимущественно отрицательными трендами зимой на 1,3–1,4 км/ч у южных (S) и ныряющих (D), на 3 км/ч – у западных (W). Летом отмечается ускорение скорости перемещения на 2,2 км/ч южных (S), до 5–8 км/ч северных (N) и западных (W) циклонов. Величины изменения скорости перемещения циклонов статистически значимы при  $P_{\text{случ}} < 5\text{--}10\%$  для северо-атлантических (W+N) циклонов летом.

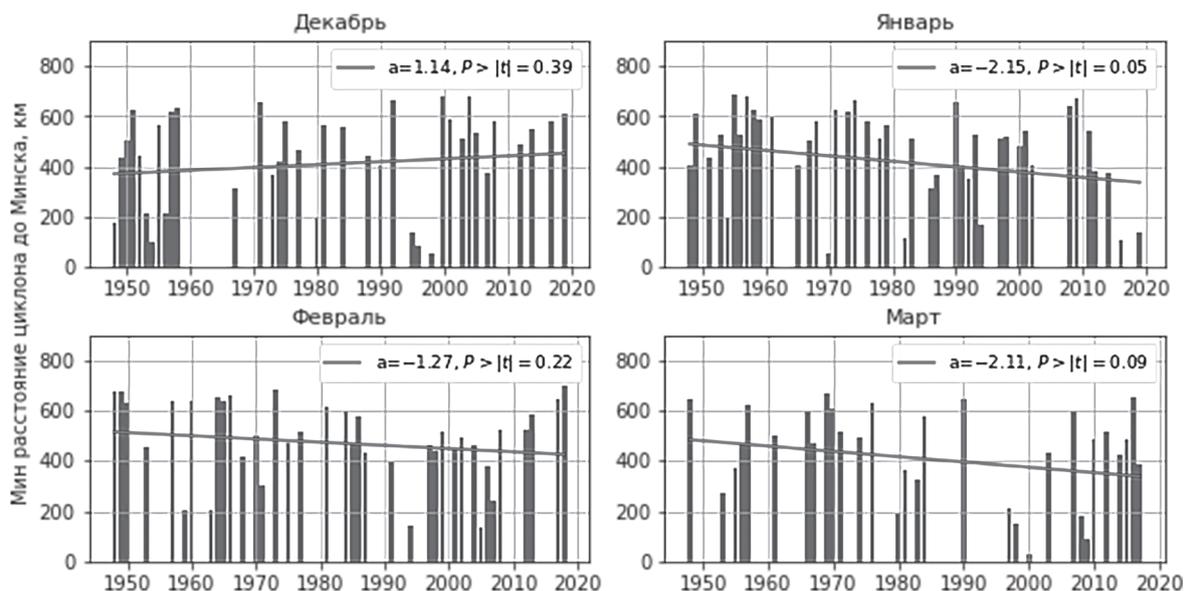


Рис. 5. Динамика минимального расстояния от центров вторичных северных циклонов (N2), идентифицированных по реанализу NCEP (с траекториями не далее 700 км), до г. Минска

Динамика минимального давления в центре циклонов характеризуется повышением в зимний сезон на 2–3 гПа за рассматриваемый период, но оно оказалось статистически незначимо ( $P_{\text{случ}} > 5\%$ ). Весной статистически значимое (при  $P_{\text{случ}} < 10\%$ ) снижение давления в центре циклонов характерно для западных (W) (3 гПа) и летом для северных (N) на 4 гПа за 40 лет.

**Траектории циклонов.** Более ранние исследования [19, 35] и проведенные расчеты показали увеличение частоты северо-атлантических циклонов, особенно с доминирующими траекториями в полосе  $56\text{--}60^\circ$  с.ш. в зимний сезон, что привело к увеличению количества осадков в Северной и снижению в Центральной Европе. Кроме того, установлено сокращение расстояния между центрами северо-атлантических циклонов (вторичных северных, N2) и территорией Беларуси на 90–150 км в зимний сезон (декабрь–март). На рис. 5 представлена динамика минимального расстояния между центрами вторичных северных циклонов (N2), идентифицированных по реанализу NCEP, траектории которых были удалены не далее 700 км от границ страны и Минска. Отрицательные тренды изменения расстояния путей циклонов от границ страны (т. е. уменьшение расстояния) наблюдаются в январе, феврале и марте, но статистически значимые ( $P_{\text{случ}} < 5\text{--}10\%$ ) тренды обнаружены только в январе и марте.

В декабре минимальное расстояние между центрами циклонов и Минском также сокращается, но эта тенденция прослеживается только для циклонов, которые перемещаются в пределах 500 км от границ Беларуси. Вследствие этой тенденции теплый сектор циклонов смещается ближе к территории Беларуси и оказывает тепляющее влияние, что обуславливает более интенсивное повышение температур в зимний сезон на территории страны с конца 1970-х годов. Более выражено с 1990-х годов, когда рост температуры воздуха зимой составил 2,1–2,4 °С. А в период 1989–2020 гг. рост среднегодовой температуры составил только 1,3 °С [16]. Повышение повторяемости северо-атлантических циклонов в зимний сезон блокирует заток холодных арктических воздушных масс и их приближение к границам страны, что способствует более интенсивному росту зимних температур. Вследствие этого сменилась преобладающая фаза осадков, рост осадков наиболее выражен в северной части Беларуси. Значительно увеличилась продолжительность выпадения жидких осадков и соответственно возросли их суммарные показатели [36].

Изменение траекторий циклонов и, в частности, рост числа южных циклонов в зимний и весенний сезоны объясняют нарастающую тенденцию кратковременных возвратов зимнего характера погоды в марте с выпадением осадков в твердой фазе. Несмотря на тенденцию снижения продолжительности выпадения осадков в твердой фазе зимой [36, 37], в январе и марте повторяемость дней с метелью удвоилось, что способствует сокращению переходного сезона между зимой и летом. Эта тенденция подтверждается выводами в работе [38], в которой показано увеличение разности температуры воздуха между первой и третьей декадами апреля на 1–2 °С за период 1988–2015 гг., что свидетельствует о более быстром переходе от зимних температур к летним.

Смещение траекторий циклонов связано с климатической эволюцией циркумполярного вихря и динамикой Арктической осцилляции (АО). При положительной фазе АО преобладает зональный перенос и слабовыраженные волны в атмосфере. Перемещение воздушных потоков и барических образований происходит в направлении с запада на восток вдоль высотного струйного течения на границе циркумполярного вихря. В таких случаях северо-атлантические циклоны перемещаются преимущественно севернее границ Беларуси. Выпадение осадков в основном связано с прохождением фронтальных разделов циклонов. При отрицательной фазе АО и формировании более выраженных волн в атмосфере траектории циклонов более изломаны (больше пересечений изобар широтных кругов), сокращается также расстояние между центрами циклонов до границ страны. При таких условиях рост осадков на территории Беларуси зимой связан с преобладанием меридиональной циркуляции и увеличением повторяемости южных и ныряющих циклонов, которые обуславливают ненастную погоду с обилием осадков.

Установленные особенности циклогенеза в Атлантико-Европейском секторе объясняют некоторые региональные проявления современного потепления климата на территории Беларуси. В частности, более интенсивное потепление в Беларуси зимой связано со смещением северо-атлантических циклонов; сокращение переходного сезона весной вызвано ростом повторяемости южных циклонов зимой и весной; рост максимальных сумм осадков летом на фоне более частых засух связан со снижением дней с циклоническим характером погоды. Количественные оценки повторяемости различных типов циклонов и их трендов углубляют представления о современных тенденциях циркуляции атмосферы и связи с гидрометеорологическими условиями территории Беларуси, которые не представлялось возможным провести на более ранних этапах исследований.

**Заключение.** В результате проведенной типизации циклонов в Атлантико-Европейском секторе и выборки циклонов, определяющих гидрометеорологические условия территории Беларуси, установлено, что в среднем на погоду Беларуси оказывают влияние около 80 циклонов в год, из них по 23 приходятся на зиму и лето, 22 – на весну и 20 – на осень. Число северо-атлантических циклонов составляет 36 северных и 23 западных, 18 циклонов приходят с юга и отмечается около 5 ныряющих в году. Число дней с циклонами составляет 194, из них 87 дней с северными, 46 – с западными, 48 – с южными и 14 дней с ныряющими циклонами в год.

Скорость перемещения циклонов составляет 36–60 км/ч, наибольшие скорости характерны для западных (W, 54–60 км/ч), наименьшие весной и осенью у ныряющих (D, 35–47 км/ч). Наибольшие размеры характерны для северных циклонов (N, 575–643 км), наименьшие – у ныряющих (D, 329–559 км).

Минимальное давление в центрах циклонов характеризуется наименьшими показателями у северных (N) 983–993 гПа, более высокие – у ныряющих (D) 994–1007 гПа. Наименьшие значения минимального давления в центре циклонов характерны для осенне-зимнего сезона, наибольшие – для весенне-летнего.

Изменения числа дней с циклонами характеризуются увеличением в зимний сезон и снижением в летний. Подтверждаются ранее установленные тенденции увеличения числа дней с северными циклонами, которые блокируют заток арктических воздушных масс в глубь континента. Кроме того, установлено сокращение расстояния между центрами северных циклонов и Минском, в результате чего усиливается влияние теплых секторов циклонов, обусловившее более интенсивное повышение зимних температур на территории Беларуси, а также сокращение продолжительности выпадения твердых осадков и увеличение их суммарных показателей.

#### Список использованных источников

1. Полищук, А. И. Особенности погодных условий в Беларуси 15 марта 2013 года, обусловленные южным циклоном Хавьер / А. И. Полищук, Л. Н. Парашук // Экологич. вестн. – 2014. – № 4 (30). – С. 84–87.
2. Davis, R. Synoptic climatology of Atlantic coast North-Easters / R. Davis, G. Demme, R. Dolan // Int. J. Climatol. – 1993. – N 13(2). – P. 171–189.
3. Blender, R. Identification of cyclone track regimes in the North Atlantic / R. Blender, K. Fraedrich, F. Lunkeit // Q. J. R. Meteorol. Soc. – 1997. – N 123(539). – P. 727–741.
4. Wernli, H. Surface cyclones in the ERA-40 dataset (1958–2001): Part I: Novel identification method and global climatology / H. Wernli, C. Schwiertz // J. Atmos. Sci. – 2006. – N 63(10) – P. 2486–2507.
5. Horvath, K. Classification of cyclone tracks over the Apennines and the Adriatic Sea / K. Horvath, Y. L. Lin, B. Ivancan-Picek // Monthly Weather Review. – 2008. – N 136 – P. 2210–2227.
6. A new classification scheme of European cyclone tracks with relevance to precipitation / M. Hofstatter [et al.] // Water Res. – 2016. – N 52. – P.7086–7104.
7. Дзердзеевский, Б. Л. Типизация циркуляционных механизмов в Северном полушарии и характеристика синоптических сезонов / Б. Л. Дзердзеевский, З. М. Курганская, З. М. Витвицкая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1946. – 80 с.
8. Кричак, О. Г. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1956. – 530 с.

9. Вительс, Л. А. Месячные, сезонные и годовые характеристики барико-циркуляционного режима европейского естественного синоптического района 1900–1964 гг. / Л. А. Вительс. – Л.: Гидрометеоздат, 1965 – 128 с.
10. Хандожко, Л. А. Типовые траектории штормовых циклонов для северо-запада ЕТС / Л. А. Хандожко // Тр. Ленинград. гидрометеорол. ин-та. – 1964. – № 22. – С. 54–61.
11. Хандожко, Л. А. Региональные синоптические процессы / Л. А. Хандожко. Л.: Изд-во ЛГМИ. – 1988. – 103 с.
12. Логинов, В. Ф. Колебания общей увлажненности северо-западной Европы и их связь с атмосферной циркуляцией / В. Ф. Логинов // Природопользование. – 1997. – № 2. – С. 26–30.
13. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск: Беларус. навука. – 2012. – 266 с.
14. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. – Минск: Беларус. навука. – 2010. – 130 с.
15. Логинов, В. Ф. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б. Л. Дзержевскому / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий // Природопользование. – 2013. – № 23. – С. 5–10.
16. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
17. Сумак, Е. Н. Особенности перемещения циклонов над Беларусью в современный климатический период / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова // Природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 101–109.
18. Сумак, Е. Н. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова // Вестн. БГУ. География. Геология. – 2019. – № 2. – С. 79–93.
19. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus / I. Partasenok [et al.] // Environ. Res. Lett. – 2014. – N 9. – P. 1–16.
20. Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones / J. G. Pinto [et al.] // Climate Dynamic. – 2009. – N 32. – P. 711–737.
21. Comparing cyclone life cycle characteristics and their interannual variability in different reanalyses / N. Tilinina [et al.] // J. Climate. – 2013. – N 26. – P. 6419–6438.
22. Intercomparison of extra-tropical cyclone activity in nine reanalysis datasets / X. L. Wang [et al.] // Atmos. Res. – 2016. – N 181. – P. 133–153.
23. Chang, E. K. M. Northern hemisphere winter storm track trends since 1959 derived from multiple reanalysis datasets / E. K. M. Chang, A. M. W. Yau // Climate Dynamic. – 2016 a. – N 47. – P. 1435–1454.
24. Review on winds, extratropical cyclones and their impacts in Northern Europe and Finland / H. Gregow [et al.]. Finnish Meteorological Institute. – Helsinki, Report, 2020. – 36 p.
25. On cyclonic tracks over the eastern Mediterranean / H. A. Flocas [et al.] // J. Climatol. – 2010. – N 23. – P. 5243–5257.
26. Cyclone causing windstorms in the Mediterranean: characteristics, trends and links to large-scale patterns / K. M. Nissen [et al.] // Natural Hazards, Earth System Science. – 2010. – N 10. – P. 1379–1391.
27. Climatological aspects of explosive cyclones in the Mediterranean / J. Kouroutzoglou [et al.] // Int. J. Climatol. – 2011. – N 31. – P. 1785–1802.
28. Degirmendžić, J. Activity of Mediterranean lows over Poland versus upper and middle tropospheric circulation / J. Degirmendžić, K. M. Kożuchowski // Prazy Geografichny. – 2016. – N LXI, 1–2. – P. 30.
29. Hofstätter, M. Vb cyclones synchronized with the Arctic & North Atlantic Oscillation / M. Hofstätter, G. Blöschl // J. Geophys. Res.: Atmos. – 2019. – N 124. – P. 3259–3278.
30. Probability distributions for cyclones and anticyclones from the NCEP/NCAR reanalysis data and the INM RAS climate model / M. G. Akperov [et al.] // Izv. Atmos. Ocean. Phys. – 2007. – N 43(6). – P. 705–712.
31. Bardin, M. Y. North-Atlantic Oscillation and Synoptic Variability in the European-Atlantic Region / M. Y. Bardin, M. G. Akperov // Izv. Akad. Nauk, Fiz. Atmos. Okeana. – 2005. – N 41. – P. 147–157.
32. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project / E. Kalnay [et al.] // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – N 77. – P. 437–470.
33. Hersbach, H. The ERA5 global reanalysis / H. Hersbach, B. Bell, P. Berrisford // Q. J. R. Meteor. Soc. – 2020. – N 146. – P. 1999–2049.
34. Ulbrich, U. Extra-Tropical Cyclones in the Present and Future Climate: A Review / U. Ulbrich, G. C. Leckebusch, J. G. Pinto // Theor. Appl. Climatol. – 2009. – N 96. – P. 117–131.
35. Sepp, M. Frequency of circulation patterns and air temperature variations in Europe / M. Sepp, J. Jaagus // Boreal Environ. Res. – 2002. – N 7. – P. 273–280.
36. Данилович, И. С. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // Вестн. БГУ. География. – 2021. – № 2. – С. 32–44.
37. Мельник, В. И. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата / В. И. Мельник, И. В. Буяков, В. Д. Чернышов // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 44–51.
38. Табальчук, Т. Г. Анализ пространственно-временных изменений температуры воздуха на территории Беларуси / Т. Г. Табальчук // Природопользование. – 2016. – № 30. – С. 24–32.

Поступила 30.08.2022