

В перспективе планируется скорректировать данные метеорологических характеристик на всей территории материнского домена модели WRF-ARW, а также внедрять методы вариационного усвоения и оптимальной интерполяции (фильтр Кальмана) для последующего усвоения характеристик, получаемых с помощью дистанционных методов.

Мировой опыт показывает, что для более точного представления состояния атмосферы широко привлекаются данные дистанционных наблюдений, к примеру, радиолокационных измерений (радиальной скорости, отражаемости). Привлечение дополнительных данных метеорологических наблюдений в численные модели прогноза погоды дает положительный результат для прогноза термодинамических и динамических характеристик атмосферы.

### **Список литературы**

1. Ипатов, В.М., Шутяев В.П. Алгоритмы и задачи ассимиляции данных для моделей динамики атмосферы и океана. – Научн.-образ. курс., Московский физико-технический институт., Долгопрудный. – 2013.
2. Определение набора параметров верификации рабочей версии программно-методического комплекса мезопрогнозирования атмосферных процессов : отчет о НИР (заключ.), 23.12.2014 г., отв. исп. И.А.Деменцова. – Минск: Респ. Гидрометеорол. Центр, 2014. – 87 с. - № ГР 20130940.
3. Model Evaluation Tools Version 4.1. User's Guide. – Developmental Tested Center, Boulder, Colorado, USA, March 2009. – 225 p.
4. Programme, Abstracts, Participants. A Doctoral Students Conference Challenges for Earth system science in Baltic Sea region: From measurements to models. University of Tartu and Vilsandi Island, Estonia, 10-14 August 2015 // International Baltic Earth Secretariat Publication № 5. – August 2015. – P.6.
5. Stensrud D.J. Parametrization schemes: key to understanding numerical weather prediction models. – Cambridge Press, 2007. – 460 p.

УДК 551.583

## **СВЯЗЬ БАРИКО-ЦИРКУЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА В ЕВРОПЕ И ТЕМПЕРАТУР БЕЛАРУСИ**

**Логинов В.Ф., Табальчук Т.Г.**

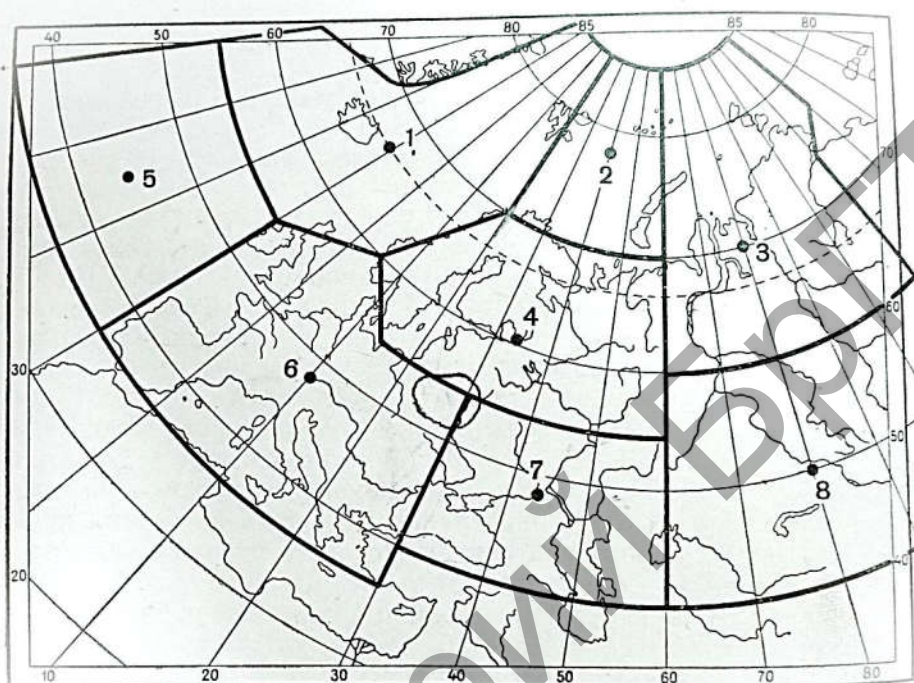
ГНУ «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь t.tabalchuk@gmail.com

*The article discusses the connection between atmospheric circulation in Europe and temperatures in Belarus. The cyclone trajectories in Europe and their relation with normalized temperature anomalies in Belarus for different seasons of the year for the period from 1900 to 2013 are shown. Quasiperiods for the annual number of days with a cyclonic circulation change are allocated.*

### **Введение**

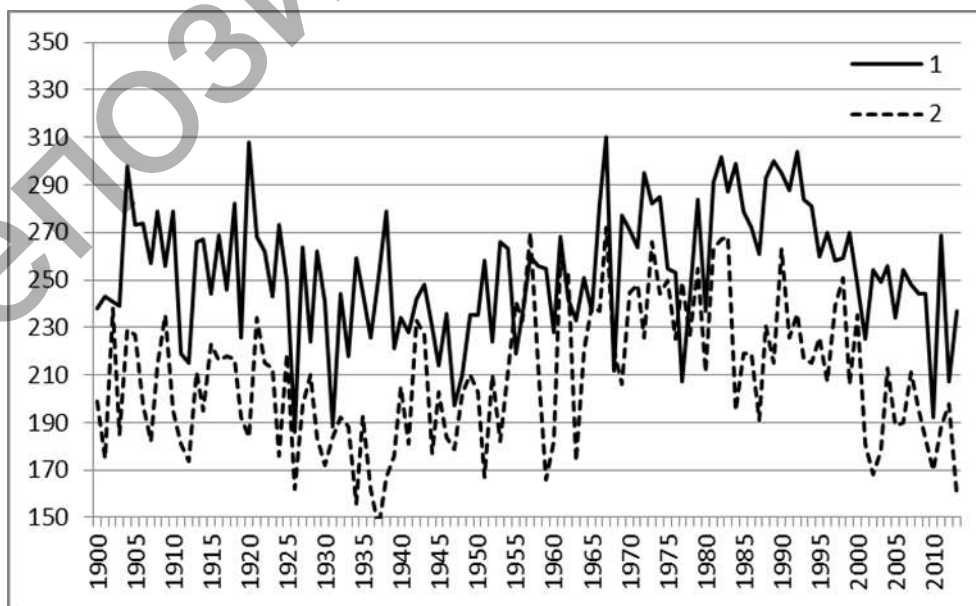
В начале XX в. Л.А. Вительсом была предложена схематизированная качественно-количественная оценка особенностей барико-циркуляционного режима. Синоптический каталог Вительса ведётся с 1900 г. и позволяет проследить изменения в особенностях циркуляции атмосферы для первого естественного синоптического района Мультановского, который включает акваторию Атлантики от меридиана 40° з.д. и территорию Евразии до меридиана 110° в.д. Всё это пространство разбито на 8 крупных районов [1]. Материалы, содержащие сезонные и годовые характеристики циркуляционного режима 1-го естественно-

синоптического района за 1965–2013 гг. любезно предоставлены в наше распоряжение сотрудницей ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» М.З. Образцовой. Данные о барико-циркуляционном режиме 1900-1965 гг. взяты из работы [1]. Для оценки изменения траекторий прохождения циклонов по территории Беларуси использованы данные для первого (район расположения Исландской депрессии), четвёртого (север Европы, включая северную часть Беларуси) и шестого (Западная Европа) районов (рисунок 1).



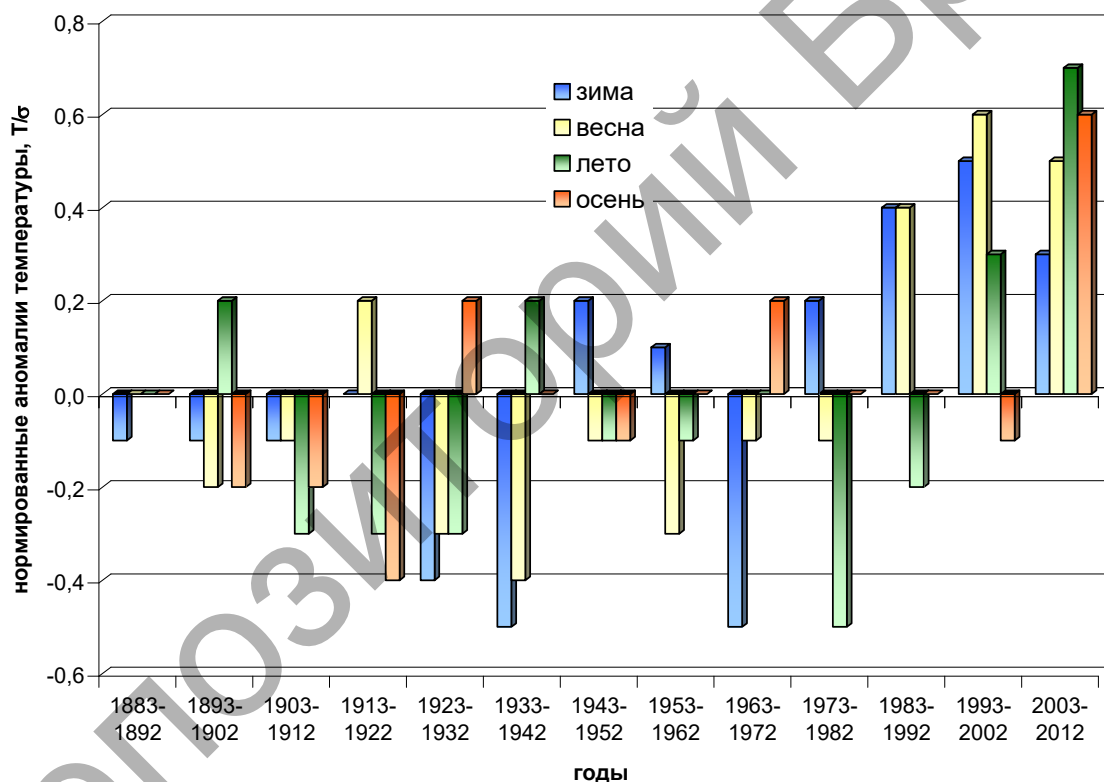
**Рисунок 1 – Карта районов [1]**

Для каждого из районов был построен график повторяемости дней с циклонами в течение года. На рисунке 2 приведён график повторяемости дней с циклонической циркуляцией для районов Исландской депрессии (1 район) и севера Европы (4 район).



**Рисунок 2 – Количество дней с циклонической циркуляцией в течение года в первом (1) и втором (2) районах за период с 1900 по 2013 гг.**

В общем ходе повторяемости дней с циклонической циркуляцией (рисунок 2, кривая 1) выделяется квазивековое колебание, максимумы которого приходятся на начало XX в. и 80-е гг., а минимумы – на конец 30-х–40-е гг. и настоящее время. Оба минимума, вероятно, можно связать с потеплением Арктики, которое происходило в 30-е годы и наблюдается в современный период. Следует отметить, что потепление Арктики 30-х годов являлось потеплением летнего типа. Наибольшие температурные аномалии приходились на летний и осенний период (рисунок 3). В период современного потепления наибольшие положительные аномалии приходились на зимне-весенний период (1988–2002 гг.), однако в последние годы наиболее ярко выражены положительные аномалии в летне-осеннем сезоне (рис. 3). Это говорит о том, что в последние годы оно скорее становится также потеплением летнего типа. Кроме того, как и в период потепления Арктики (30-е гг. XX в.), наибольшее потепление отмечается во второй половине лета и осенью. Это может свидетельствовать о том, что и причины потепления климата в 30-е годы и в конце прошлого–начале текущего столетия одни и те же.



**Рисунок 3** – Нормированные аномалии температуры воздуха Беларуси для различных сезонов года [2]

Начиная со второй половины XX-го века несколько уменьшилась амплитуда межгодовых колебаний количества дней с циклонической циркуляцией. Особенно это характерно для периода 1981–2008 гг. Для четвертого района, куда относится часть территории Беларуси, распределение количества дней с циклонической циркуляцией (рисунок 2, кривая 2) в целом схоже с первым районом. Здесь также наблюдается квазивековое колебание количества дней с циклонической циркуляцией, максимумы которого приходятся на начало XX в. и конец 60-х–70-е гг., а минимумы – на 30-е гг. и современный период.

Для всего доступного периода были рассчитаны коэффициенты корреляции количества дней с циклонической циркуляцией в 1 и 4, 1 и 6, а также 4 и 6 районах за весь год, а также за отдельные сезоны. Наиболее тесная связь количества дней (коэффициент корреляции 0,43) обнаружена в первом и четвёртом районах в течение всего года. Несколько ниже связь в первом и шестом (0,26) и четвёртом и шестом (0,27) районах. Довольно высокие коэффициенты корреляции между количеством дней с циклонической циркуляцией в зимний период: 0,27 в первом и четвёртом и -0,26 в четвёртом и шестом. Корреляция числа дней в первом и шестом районах в зимний период статистически не значима. В летний период статистически значимая связь между количеством дней с циклонической циркуляцией наблюдается в четвёртом и шестом районах (0,31). Весной и осенью корреляционная связь между циклоничностью в рассмотренных районах статистически не значима. Более тесная по сравнению с остальными сезонами корреляционная связь количества дней с циклоничностью в районах в зимний период объясняется наибольшей интенсивностью Исландского минимума.

На рисунок 4 представлена разность между количеством дней с циклонической циркуляцией в четвёртом и шестом районах. Как видно из рисунок 4, в конце 60-х – 80-е гг. превышение количества дней с циклонической циркуляцией в четвёртом районе было наибольшим. В 30-х гг. циклоны, наоборот, проходили в основном южнее, по территории шестого района. В последний период вновь наблюдается некоторое смещение траекторий циклонов к югу. Легко заметить, что периоды наибольшего смещения траекторий циклонов к югу приходятся на периоды потеплений (рисунок 3). Это особенно ясно проявляется при использовании нормированных значений температуры.

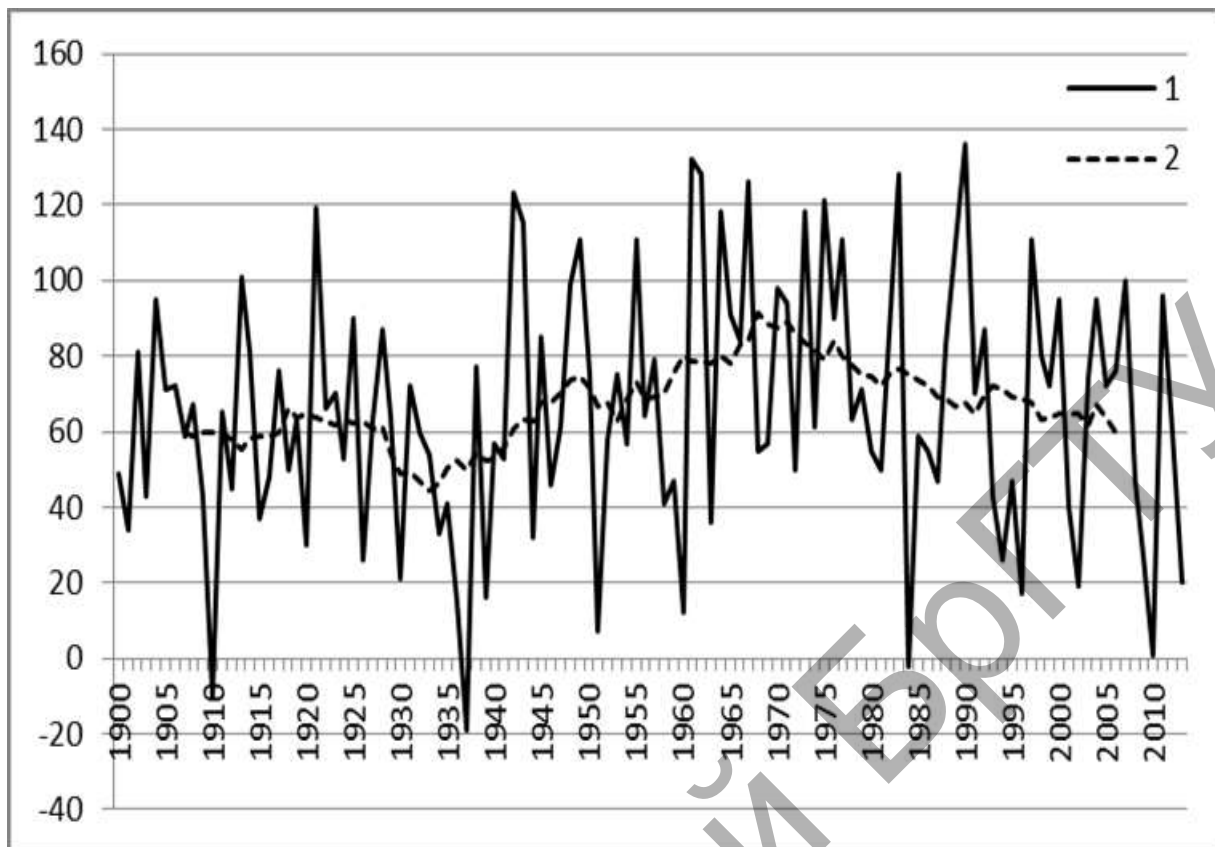
Известно, что в изменении среднегодовых значений аномалий температуры зимние значения в силу их большей естественной изменчивости (среднеквадратические отклонения значений температуры зимой в 2,5 раза выше, чем летом) имеют больший вес (в суммарных величинах будут доминировать тенденции изменений характеристик для зимнего сезона). Естественную изменчивость в годовом ходе, связанную с внешними (орбитальные параметры Земли<sup>8</sup>) и внутренними факторами (общая циркуляция атмосферы и океана) можно отфильтровать путём деления среднемесячных значений температуры на среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ ) каждого месяца.

Такая нормировка среднемесячных значений температуры позволяет уравнивать веса каждого месяца года при получении сезонных и годовых (нормированных) значений температуры.

Их пространственно-временной анализ (при отфильтрованной естественной изменчивости, которая существовала, существует и будет существовать и без наличия антропогенных факторов (изменение газового и аэрозольного состава атмосферы)) позволяет более корректно оценить роль изменений газового и аэрозольного состава атмосферы, связанных с антропогенной деятельностью (радиационным воздействием антропогенных факторов), в формировании современного климата.

---

<sup>8</sup> Зимой Северный полюс Земли отвёрнут от Солнца и оно слабо обогревает Северное полушарие. В этот сезон года доминирующее влияние на климат оказывают внутренние циркуляционные факторы (циркуляция атмосферы и океана).



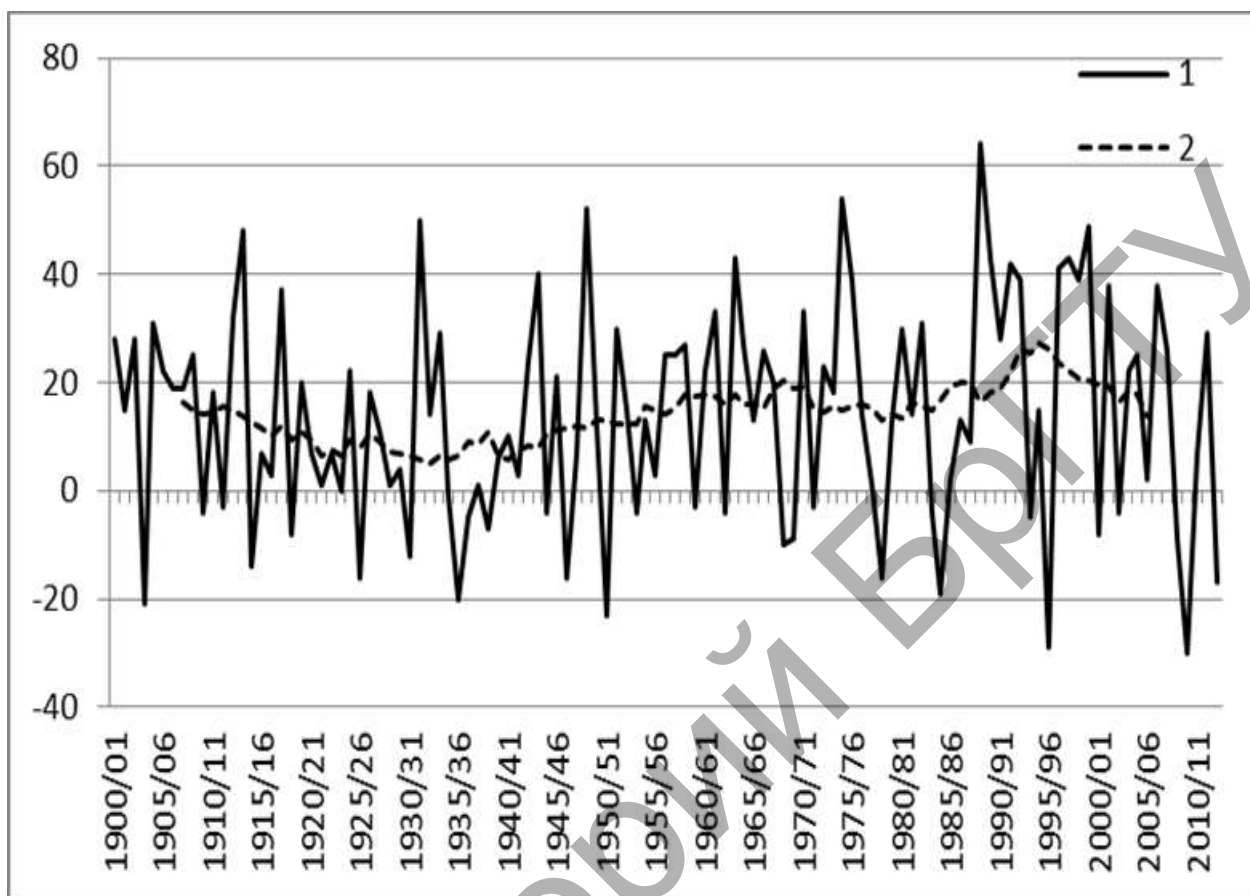
**Рисунок 4** – Разность между количеством дней с циклонической циркуляцией в течение года в четвёртом и шестом районах за доступный период (кривая 1), сглаженная по 15-летним периодам (кривая 2).

Как видно из рисунка 4, в 20-х–начале 30-х годов прошлого века наблюдалась отрицательная тенденция в разности количества дней с циклонической циркуляцией между четвёртым и шестым районами, то есть происходило смещение путей циклонов в южном направлении. Далее указанная разность начала увеличиваться, достигнув максимума в конце 60-х–начале 70-х годов прошлого века, после чего вновь началось её снижение. В настоящее время сохраняется отрицательная тенденция в разности количества дней с циклонической циркуляцией между четвёртым и шестым районами, которая, однако, пока не достигла уровня 1930-х годов. При сохранении подобной тенденции к дальнейшему смещению путей циклонов к югу следует ожидать продолжения роста нормированных аномалий температур в летне-осенний период.

В зимний период (рисунок 5) распределение разности в количестве дней с циклонической циркуляцией в четвёртом и шестом районах, как и разность в циклоничности за весь год в целом схожи. Оба распределения имеют минимум в 1930-е гг. Однако в отличие от рисунка 4, в зимний период максимум разности в количестве дней с циклонической циркуляцией приходится не на 70-е, а на 90-е годы прошлого века. То есть в 90-е годы наибольшее количество траекторий циклонов проходило севернее, что объясняет преобладание положительных аномалий нормированных температур в зимне-весенний период в конце прошлого века. В настоящее время разность вновь уменьшается, что говорит о смещении путей зимних циклонов к югу.

Для выделения цикличности в изменении количества дней с циклоничностью, а также в смещении путей циклонов при помощи программы STATISTICA 8

был проведён спектральный (Фурье) анализ имеющихся рядов и построены периодограммы для 1, 4, 6 районов, а также для разности в циклоничности между 4 и 6 районами за весь год и по отдельным сезонам.



**Рисунок 5** – Разность между количеством дней с циклонической циркуляцией в зимнее время в четвёртом и шестом районах за доступный период (кривая 1), сглаженная по 15-летним периодам (кривая 2)

Известно, что если наблюдения временного ряда независимы друг от друга (т.е. нет периодичности) и подчинены нормальному распределению, то для такого временного ряда характерен так называемый белый шум [3]. В этом случае соответствующие значения периодограммы будут иметь экспоненциальное распределение. Таким образом, путем проверки на экспоненциальность распределения значений периодограммы можно выявить отличия исходного ряда от белого шума.

Проверка экспоненциальности распределения значений полученных периодограмм проводилась критерием Колмогорова-Смирнова [4]. Согласно этому критерию, гипотеза экспоненциальности вероятности распределения случайных величин не отклоняется, если

$$\sqrt{n}D_n < k,$$

где  $n$  – количество членов выборки,  $D_n$  –  $d$ -статистика Колмогорова-Смирнова,  $k$  – критическое значение  $d$ -статистики Колмогорова-Смирнова при уровне значимости  $\alpha$ .

В таблице приведена продолжительность квазипериодов (в годах), экспоненциальность распределения которых не подтвердилась, а цветом выделены периодичности с уровнем значимости  $\geq 1$  и 5%.

**Таблица** – Продолжительность квазипериодов в изменении количества дней с циклонической циркуляцией в различных районах (годы)

	Квазипериоды (годы)			
	1 район	4 район	6 район	4-6
зима	нет	10	4; 8	8
весна	2; 3	5; 8	2; 4; 6	2; 3; 6; 8
лето	4	2; 4	2	2; 6
осень	нет	4; 16	2; 8	нет
год	2; 16	8	3; 4; 7	нет

Согласно критерию Колмогорова-Смирнова, в первом районе зимой и осенью статистически значимые квазипериоды отсутствуют. Также отсутствуют квазипериоды в разности количества дней с циклонической циркуляцией между 4 и 6 районом в осенний период и в течение всего года.

С 25% уровнем значимости ( $\alpha=0,25$ ) квазипериоды выделяются в четвёртом районе весной и осенью. С 15% уровнем значимости ( $\alpha=0,15$ ) квазипериоды выделяются в 4 районе в зимний период, а также в разности циклоничности между 4 и 6 районами зимой и весной. С 10% уровнем значимости ( $\alpha=0,10$ ) выделяются периодичности в 1 районе весной и в 6 районе зимой и осенью.

С 5% уровнем значимости ( $\alpha=0,05$ ) периодичности выделяются в первом районе в летний период и в шестом в весенний. Летом в первом районе наиболее ярко выделяется 4-летний цикл, а весной в шестом – 2-, 4- и 6-летние циклы.

С 1% уровнем значимости ( $\alpha=0,01$ ) выделяются квазипериоды в ежегодном изменении циклоничности во всех трёх районах, а также в летний период в 4 и 6 районах. В ежегодной изменчивости в 1 районе наиболее чётко прослеживаются 2- и 16-летние квазипериоды, в 4 районе – 8-летние и в 6 – 3-, 4- и 7-летние. Летом в 4 районе выделяются 2- и 4-летние квазипериоды, а в 6 наиболее выражен 2-летний квазипериод. Кроме того, с 1% уровнем значимости выделяются квазипериоды в разности количества дней с циклонической циркуляцией между 4 и 6 районами в летний период. Здесь наиболее выделены 2- и 6-летний квазипериоды.

Среди всех рассмотренных районов и периодов наиболее часто встречается 2-летний квазипериод (8 случаев), что, вероятно, связано с проявлениями квазидвухлетних колебаний в атмосферных процессах, а также 4- и 8-летние квазипериоды (по 6 случаев).

Работа выполнена при частичной поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

### Список литературы

1. Вительс, Л.А. Месячные, сезонные и годовые характеристики барико-циркуляционного режима европейского естественного синоптического района 1900–1964 г. – Л: Гидрометеиздат, 1965 г. – 127 с.
2. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины, последствия и адаптация хозяйственной деятельности / В.Ф. Логинов // География и природные ресурсы. – СОРАН, Новосибирск, 2014. – № 1. – С. 13–24.
3. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник. – М : ООО «Бином-Пресс», 2007 . – 512 с.
4. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006 . – 816 с.