

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2026-1-30-39>
УДК 551.5

Поступила в редакцию 06.05.2026
Received 06.05.2026

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТИПОВ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПО Б. Л. ДЗЕРДЗЕЕВСКОМУ И ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрены многолетние изменения типов циркуляции атмосферы по Б. Л. Дзердзеевскому во внетропической зоне Северного полушария и их связь с глобальным климатом. Проанализирован характер изменений каждой из четырёх групп циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому за период с 1899 по 2019 г. Показано, что долговременные проявления изменений продолжительности групп атмосферной циркуляции в термическом режиме отличаются нестабильностью. На основе статистического анализа проведены оценки связей продолжительностей агрегированных групп циркуляции с глобальной температурой и аномалиями приземного давления по секторам и широтным поясам Северного полушария в периоды доминирования различных групп циркуляции, рассмотрены вопросы возможного взаимодействия циркуляции различных типов с паузой в изменении температуры Северного полушария в период 1998–2013 гг.

Рассмотрены изменения аэрозольно-газового состава атмосферы как доминирующего фактора в изменении глобального климата. Дисбаланс энергии в климатической системе в нынешнем столетии может быть также связан с изменением процессов крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С. Многолетние изменения типов атмосферной циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому и глобального климата // Природопользование. – 2026. – № 1. – С. 30–39.

LONG-TERM CHANGES IN ATMOSPHERIC CIRCULATION TYPES BY B. L. DZERDZEEVSKII AND GLOBAL CLIMATE SYSTEM

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Long-term changes in atmospheric circulation patterns by B. L. Dzerdzeevskii in the extratropical zone of the Northern Hemisphere and their relationship to global climate were examined. The nature of changes in each of the four circulation groups according to B. L. Dzerdzeevskii for the period from 1899 to 2019 was analyzed. It has been shown that long-term manifestations of changes in the duration of atmospheric circulation groups in the thermal regime are unstable. Based on statistical analysis, the relationships between the durations of aggregated circulation groups and global temperature and surface pressure anomalies in the sectors and latitudinal zones of the Northern Hemisphere during periods of dominance of different circulation groups have been evaluated. The article also examines the possible interaction between different types of circulation and the pause in temperature changes in the Northern Hemisphere during 1998–2013.

Changes in the aerosol-gas composition of the atmosphere as a dominant factor in global climate change are considered. The energy imbalance in the climate system in the current century may also be related to changes in the processes of large-scale ocean-atmosphere interactions.

Keywords: atmospheric circulation; elementary circulation mechanism (ECM); classification by B. L. Dzerdzeevskii; atmospheric processes.

For citation. Loginov V. F., Mikutsky V. S. Long-term changes in atmospheric circulation types by B. L. Dzerdzeevskii and global climate system. *Nature Management*, 2026, no. 1, pp. 30–39.

Введение. Для характеристики циркуляции атмосферы существует ряд классификаций (типизаций) и индексаций атмосферных процессов, в основе которых лежат характеристики барического поля, определяющие скорость и направление горизонтального и вертикального движения атмосферного воздуха.

Увеличение количества классов (типов) атмосферных процессов приводит к устранению важного преимущества классификаций (типизаций) – универсальности. Удачное соотношение общего и частного в нужных пропорциях найдено в классификации Б. Л. Дзердзеевского [1], что обеспечило её широкое

распространение в климатических исследованиях. Ученым выделены 13 типов (с 41 подтипом) и четыре образуемые ими обобщённые группы циркуляции для шести секторов Северного полушария. Это делает данную типизацию менее общей по сравнению с типизацией Г. Я. Вангенгейма – А. А. Гирса [2], в которой все многообразие процессов авторы объединили в 26 типах, а затем эти типы обобщили в три формы: западную W, восточную E и меридиональную C. Последние определяли по преобладающим переносам тропосферных воздушных масс в умеренных широтах Северного полушария.

Типизация Б. Л. Дзердзеевского основана на обмене массами атмосферного воздуха между северными и южными широтами, а не на переносе воздушных масс в умеренных широтах. Собственно поэтому в понятие меридиональной и зональной циркуляции в типизации Б. Л. Дзердзеевского заложен другой смысл, чем в понятие меридиональной и западной формы циркуляции в типизации Г. Я. Вангенгейма – А. А. Гирса.

Цели, материалы и методика исследований. В работе исследованы связи между изменениями циркуляции атмосферы и термическим режимом Северного полушария с целью оценки роли различных типов циркуляции атмосферы в формировании современных климатических изменений. Использованная нами типизация циркуляции атмосферы Северного полушария создавалась Б. Л. Дзердзеевским с соавторами как инструмент для анализа многолетних колебаний климата и климатического прогноза. Они свели все многообразие циклонической циркуляции в Северном полушарии к некоторому количеству характерных типов (ситуаций) [1, 2], названных элементарными циркуляционными механизмами (ЭЦМ). В атмосферных процессах, представляющих собой аналог крупномасштабной турбулентности, выражающейся в характерном взаимном расположении циклонов и антициклонов, ЭЦМ выступают как основные единицы типизации атмосферной циркуляции. Закономерности в их повторяемости, переходах от одного типа к другому позволили авторам построить классификацию синоптических процессов во внетропической зоне Северного полушария. В последние десятилетия исследования школы Б. Л. Дзердзеевского продолжались её представителем Н. К. Кононовой, которая успешно развивала и поддерживала разработанную более 70 лет тому назад классификацию атмосферных процессов в Северном полушарии до 2019 г. [3, 4]. Сформированные ею ряды продолжительностей ЭЦМ и групп ЭЦМ для Северного полушария за период 1899–2019 гг. [5] были использованы нами для анализа связей продолжительностей агрегированных групп ЭЦМ с глобальной температурой и аномалиями приземного давления по секторам и широтным поясам Северного полушария в периоды доминирования различных групп меридиональной циркуляции. Рассмотрены также вопросы возможного взаимодействия циркуляции различных типов с паузой в изменении температуры Северного полушария в период с 1998 по 2013 г.

При обработке данных результаты сравнительного анализа объективизировались такими статистическими методами обработки данных, как корреляционный, регрессионный и спектральный анализы.

Результаты и их обсуждение. Дадим краткую характеристику изменений каждой из четырёх групп циркуляции атмосферы.

Меридиональная северная (ЭЦМ 8–12) связана с арктическими вторжениями масс арктического воздуха в средние широты, а меридиональная южная (ЭЦМ 13з и 13л) – с выходом южных циклонов.

Зональная циркуляция и нарушение зональности были особенно выражены в период, начиная с 1920-х годов до конца 1950-х – начала 1960-х годов, затем они сменились двумя положительными флюктуациями меридиональной северной группы (середина 1960-х – начало 1980-х годов). Минимум меридиональной северной группы циркуляции в эти десятилетия пришёлся на конец 1980-х – 1990-е годы.

Кардинальные изменения в характере общей циркуляции в Северном полушарии состояли в резком увеличении числа случаев меридиональной южной группы циркуляции атмосферы: в отдельные годы в конце 1980 – 90-х годах оно составляло от 150 дней в году и более.

Быстрый рост годовой повторяемости случаев меридиональной южной группы циркуляции продолжался до начала 1990-х годов и, несмотря на последующее её падение вплоть до начала 2010-х годов, она оставались выше нормы в течение около четверти века. Это упомянутое выше короткопериодное снижение повторяемости числа дней ЭЦМ 13 сменилось её последующим повторным быстрым ростом с начала 2010-х годов. Такое беспрецедентное увеличение повторяемости числа случаев меридиональной южной группы циркуляции явилось наиболее выдающейся особенностью атмосферной циркуляции в Северном полушарии с середины 1980-х годов.

Если сравнить период 1984–2019 гг. с другими периодами такой же длительности, то повторяемость числа дней с ЭЦМ 13 в период с 1984–2019 гг. была больше, чем в периоды 1948–1983 и 1912–1947 гг. в 2,5 и почти 8,0 раза соответственно.

Это означает, что ключевую роль в климатических процессах в Северном полушарии в эти годы могло сыграть увеличение повторяемости меридиональной южной циркуляции.

Из выделенных Б. Л. Дзердзеевским четырёх групп циркуляции меридиональная северная группа циркуляции является единственной группой, для которой среднегодовая повторяемость числа

дней за доступный период наблюдений (1899–2019 гг.) превышает полгода и составляет 197 дней. Второй по среднегодовой повторяемости числа дней за последние десятилетия является меридиональная южная группа циркуляции атмосферы. Повторяемость числа дней этой группы отличается сильной контрастностью за доступный период наблюдений. Если в первый шестидесятилетний период средняя повторяемость числа дней не превышала 10 дней в году, то в период с 1964 по 2019 г. (данными за последний пятилетний период мы не располагаем) составила 95 дней.

Наименьшая среднегодовая повторяемость числа дней характерна для зональной группы циркуляции, особенно для периода с 1993 по 2019 г., когда она составила менее 10 дней в год. Среднегодовая повторяемость числа дней для группы циркуляции нарушения зональности для первого шестидесятилетнего периода (1899–1959 гг.) составляет 120 дней, тогда как с 1987 г. она существенно уменьшалась и в период с 1987 по 2019 г. составила около 40 дней.

При изменении среднегодовой повторяемости числа дней для зональной группы и группы нарушения зональности характерно существенное уменьшение среднегодовой повторяемости числа дней в последний 30–35-летний период.

Многолетние изменения среднегодовых значений показателей четырёх групп циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому даны на рис. 1, а их спектры (значения периодограммы) представлены на рис. 2.

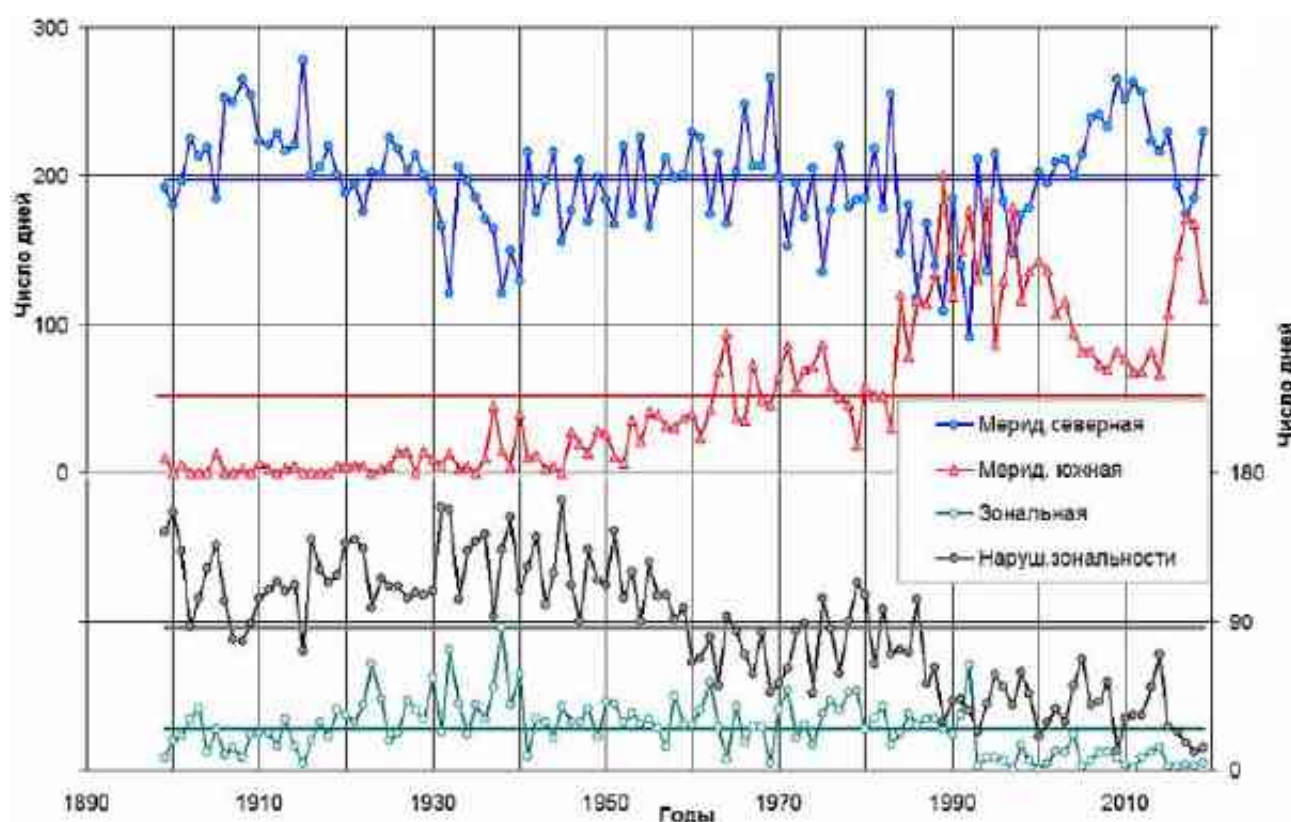


Рис. 1. Многолетние колебания суммарной годовой продолжительности групп общей циркуляции атмосферы по Б. Л. Дзердзеевскому за 1899–2019 гг.
Левая шкала: меридиональная северная и меридиональная южная;
правая шкала: зональная и нарушения зональности

Fig. 1. Long-term variations in the total annual duration of atmospheric general circulation groups according to B. L. Dzerdzeevskii for 1899–2019.
Left scale: meridional northern and meridional southern circulation groups;
right scale: zonal and zonality disturbance circulation groups

В спектре меридиональной северной группы циркуляции отчетливо выражен квазишестидесятилетний цикл, а в спектре меридиональной южной циркуляции – квазипятидесятилетний цикл. Известно, что квазишестидесятилетняя цикличность характерна для Атлантической квазимультитидекадной осцилляции.

Анализ многолетних изменений среднегодовой повторяемости числа дней отдельных групп циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому позволил выявить ряд их существенных особенностей. Одной из таких

особенностей является антикорреляция в изменении среднегодовой повторяемости числа дней меридиональной южной группы циркуляции и группы нарушения зональности (рис. 3). Коэффициент корреляции (r) среднегодовой повторяемости числа дней меридиональной южной и нарушения зональности составил $-0,7$. Вероятность случайности подобной тесноты связей составляет менее 1 %.

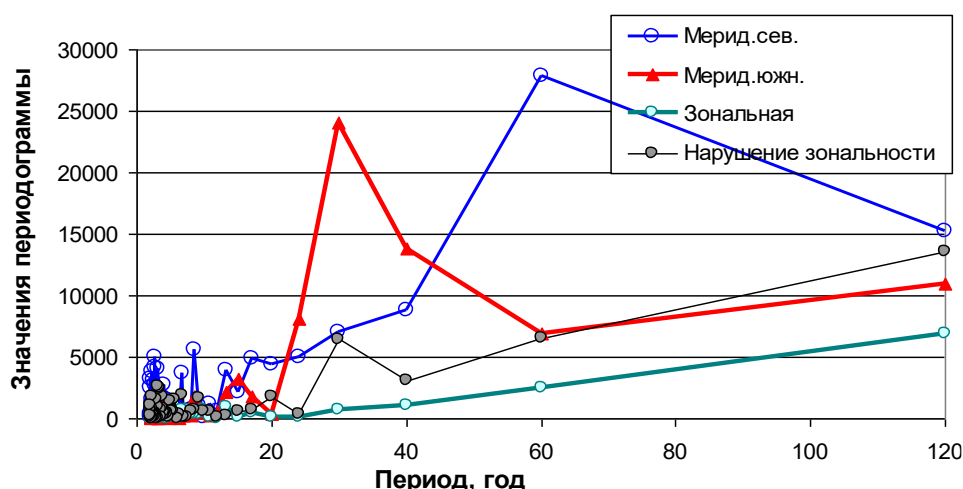


Рис. 2. Спектры (значения периодограммы) среднегодовых значений показателей общей циркуляции атмосферы по группам: меридиональная северная (ЭЦМ 8а–12г), меридиональная южная (ЭЦМ 13), зональная (ЭЦМ 1–2); нарушения зональности (ЭЦМ 3–7)

Fig. 2. Spectra (periodogram values) of the average annual values of the general atmospheric circulation indicators for groups: meridional northern circulation group (ECM 8a–12d), meridional southern (ECM 13), zonal (ECM 1–2); zonality disturbance (ECM 3–7)

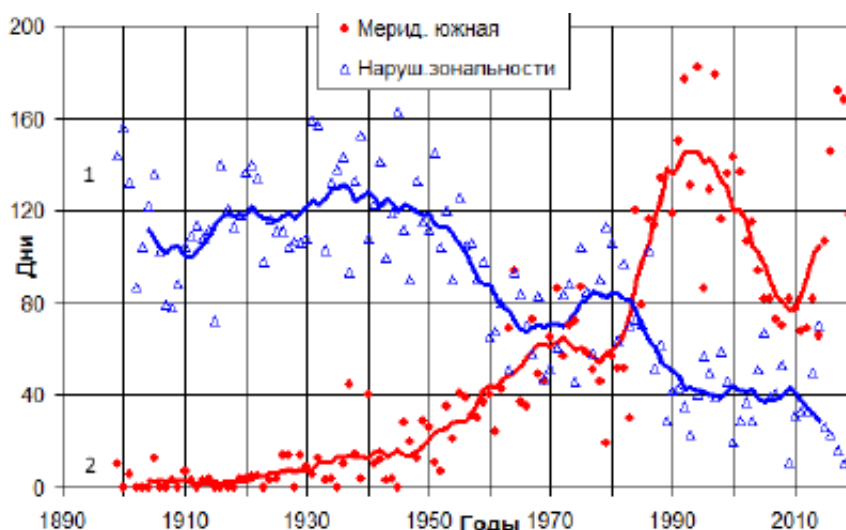


Рис. 3. Многолетние колебания суммарной годовой продолжительности группы нарушения зональности (ЭЦМ 3–7) (1) и меридиональной южной группы циркуляции (ЭЦМ 13) (2) атмосферы по Б. Л. Дзердзеевскому за 1899–2019 гг. Сплошные линии – 11-летние скользящие средние

Fig. 3. Long-term fluctuations in the total annual duration of the zonality disturbance group (ECM 3–7) (1) and the meridional southern circulation group (ECM 13) (2) of the atmosphere according to B. L. Dzerdzeevskii for the period 1899–2019. Solid lines represent 11-year moving averages

Разность суммарной годовой продолжительности меридиональной южной группы циркуляции и группы нарушения зональности обнаруживают тесную отрицательную связь с температурой Земного шара (рис. 4).

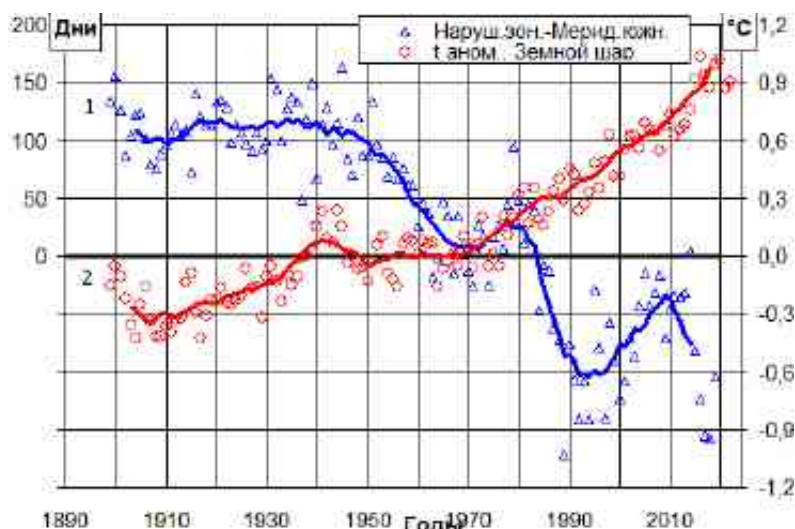


Рис. 4. Связь изменений разностей суммарной годовой продолжительности меридиональной южной группы циркуляции и группы нарушения зональности циркуляции атмосферы (1) с аномалиями температуры земного шара (базовый период 1901–2000 гг.) (2). Сплошные линии – 11-летние скользящие средние

Fig. 4. Relationship between changes in the differences in the total annual duration of the meridional southern circulation group and the atmospheric circulation zonal disturbance group (1) and global temperature anomalies (base period 1901–2000) (2). Solid lines represent 11-year moving averages

Подобная по тесноте связь имеет место в случае, если с температурой Земного шара, Северного и Южного полушарий коррелируется разность меридиональной южной группы циркуляции и агрегированной группы (нарушение зональности + зональная циркуляция). Для любых других сочетаний коэффициенты корреляции сопоставляемых характеристик существенно ниже. Исключение составляет разность продолжительностей меридиональной северной и меридиональной южной групп.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов корреляции разностей суммарных годовых продолжительностей меридиональной южной группы циркуляции и группы нарушения зональности с температурой Земного шара, Северного и Южного полушарий для двух периодов.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции разностей годовых продолжительностей южной группы циркуляции и группы нарушения зональности с температурой Земного шара, Северного и Южного полушарий для разных временных периодов

Table 1. Correlation coefficient values for the differences in the annual durations of the southern circulation group and the zonal disturbance group with the temperature of the Globe, the Northern and Southern Hemispheres for different time periods

Годы	Земной шар	Северное полушарие	Южное полушарие
1899–1994	–0,63	–0,51	–0,60
1899–2019	–0,78	–0,79	–0,81

Как видно из табл. 1 теснота связи сопоставляемых характеристик увеличивается с увеличением числа лет выборки (для всего доступного ряда она выше); большая положительная разность числа дней агрегированной группы циркуляции меридиональной южной и нарушения зональности отвечает большей величине скорости увеличения температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Нами были проанализированы аномалии приземного давления по секторам и широтным поясам Северного полушария для двух временных периодов, в которые доминировали меридиональная южная группа циркуляции (1987–1994 гг.) и меридиональная северная группа циркуляции (2007–2014 гг.).

При доминировании южной группы циркуляции атмосферы отрицательные аномалии давления чаще отмечались в широтных поясах, включающих всю акваторию Северного Ледовитого океана (62,5°...90° с. ш.). Такое распределение давления типично для упрощённой схемы, представленной на рис. 5, когда тепло поступает из низких широт к высоким и в средних и высоких широтах Северного полушария развивается потепление. Как правило, такое распределение давления, как показано в нашей работе [6], характерно для тёплых лет. Их повторяемость существенно возросла в последние 30–40 лет [6].

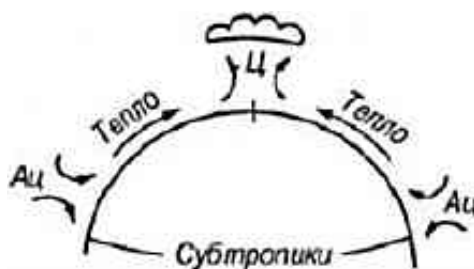


Рис. 5. Схема планетарной циркуляции с циклонической циркуляцией над полюсом

Fig. 5. Planetary circulation pattern with cyclonic circulation over the pole

Если процесс увеличения повторяемости меридиональной южной группы циркуляции продолжится, следует ожидать дальнейшего роста глобальной температуры, вызванной увеличением числа выходов южных циклонов и снижением давления в высоких широтах Земного шара, т. е. более частой повторяемости во времени схемы планетарной циркуляции с циклонической циркуляцией над полюсом.

Принимая во внимание максимальное среднегодовое число дней для меридиональной северной группы циркуляции (197 дней в году) по сравнению с другими тремя группами циркуляции, рассмотрим связь этой группы циркуляции с аномалиями температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий за период с 1899 по 2019 г. Для периода с 1899 г. до середины 1990-х годов обнаруживается обратная связь термического режима Земного шара, Северного и Южного полушарий с числом дней меридиональной северной группы циркуляции атмосферы по Б. Л. Дзердзеевскому (рис. 6).

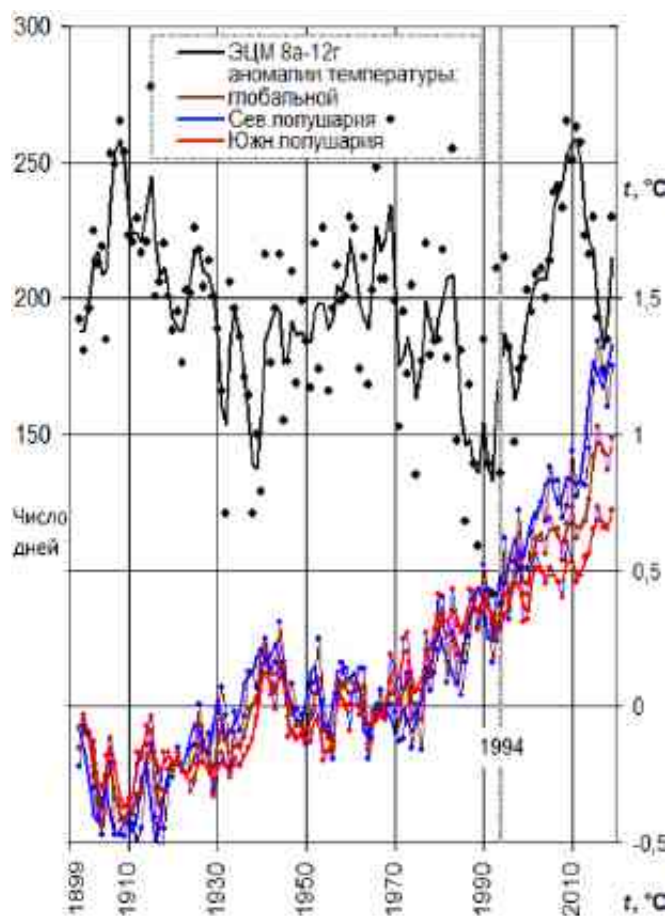


Рис. 6. Связь меридиональной северной группы циркуляции (ЭЦМ 8а–12г) с аномалиями температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий, 1899–2019 гг.

Fig. 6. Relationship of the meridional northern circulation group (ECM 8a–12d) with anomalies of the Globe temperature, Northern and Southern Hemisphere, 1899–2019

Значения коэффициентов корреляции меридиональной северной группы циркуляции с аномалиями температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий приведены в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции меридиональной северной группы циркуляции с аномалиями температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий

Table 2. Correlation coefficients of the meridional northern circulation group with temperature anomalies of the Global, Northern and Southern Hemispheres

Годы	Земной шар	Северное полушарие	Южное полушарие
1899–1994	–0,34	–0,41	–0,34
1899–2019	0,00	0,01	–0,02

Полученные коэффициенты корреляции для периода 1899–1994 гг. оказались во всех случаях статистически значимыми на уровне $P_{\text{случ.}} < 1\%$. Однако связь меридиональной северной группы циркуляции и аномалий температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий оказалась устойчивой только до 1990-х годов. В конце прошлого столетия теснота связи стала падать. В последнее десятилетие она слабо положительная, что может свидетельствовать о радикальных событиях, произошедших в климатической системе в середине 1990-х годов.

Оценки связей аномалий температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий с меридиональной южной циркуляцией и группой циркуляции нарушения зональности оказались особенно тесными. Так, коэффициенты корреляции аномалий температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий с меридиональной южной циркуляцией оказались +0,74; +0,69; +0,78, а с группой нарушения зональности –0,73; –0,68; –0,75 соответственно. Разный знак связей сопоставляемых характеристик определяется наличием установленной выше обратной связи многолетних изменений повторяемости числа дней, входящих в указанные группы циркуляции атмосферы.

Отметим, однако, что полученным тесным связям сопоставляемых характеристик не следует придавать большого значения, поскольку они определяются наличием в рядах групп циркуляции мощных трендовых составляющих – положительного тренда для меридиональной южной группы циркуляции и отрицательного тренда для группы циркуляции нарушения зональности.

Учитывая тесные внутрирядные связи повторяемости членов выборки указанных типов циркуляции, эффективное число членов ряда становится минимальным, и статистическая значимость коэффициентов корреляции не подтверждается.

Таким образом, использование такой характеристики, как меридиональная северная группа циркуляции, при дальнейших исследованиях причинно-следственных связей макроциркуляции атмосферы с термическим режимом различных регионов земного шара является предпочтительным не только в силу приведённого аргумента, но и по другим причинам. С одной стороны, эта группа циркуляции характеризует такой важнейший параметр циркуляции атмосферы, как интенсификация обмена воздушных масс высоких и умеренных широт (арктические вторжения). С другой стороны, число дней меридиональной северной группы циркуляции намного превышает многолетнюю повторяемость числа дней всех других групп циркуляции – нарушения зональности, меридиональной южной и зональной – в 2,2; 4,1; 8,0 раза соответственно. Исключение составляет период с 1984 по 2019 г., когда отношение числа дней меридиональной северной и меридиональной южной циркуляции близко к двукратному.

Особый интерес в изменении температуры Северного полушария представляет появление паузы в изменении температуры в период с 1998 по 2013 г., когда скорость роста температуры Северного полушария существенно замедлилась. Пауза была особо выражена зимой, когда коэффициенты линейного тренда были близки к нулю: декабрь – $\alpha = 0,002$; январь – $\alpha = 0,006$. В феврале коэффициент линейного тренда даже был отрицательным: $\alpha = -0,037$. Природа этой паузы в изменении температуры обсуждалась в многочисленных работах; их обзор можно найти в наших последних работах [7–9]. Пауза пришлась на небольшую часть периода активного доминирования меридиональной Южной группы циркуляции ЭЦМ 13 в период 1984–2019 гг. Начиная с 1998 г. и вплоть до 2014 г. происходило значительное уменьшение числа дней с ЭЦМ 13з, затем они приблизились к норме, а с 2015 г. начался стремительный рост их числа. В тёплое время года снижение числа дней ЭЦМ 13л наступило и закончилось несколькими годами позже.

Пауза в изменении температуры Северного полушария зимой также совпала с периодом интенсивного роста повторяемости меридиональной северной группы циркуляции в 1998–2013 гг.

Однако соизмеримые изменения последней группы циркуляции происходили как в холодное, так и в тёплое время года, тогда как пауза в изменении температуры Северного полушария была отчётливой только зимой. Это означает, что причина формирования паузы в изменении температуры зимой носила более комплексный характер [7–9].

Заключение. Характер изменений каждой из четырёх групп циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому сводится к следующему. Первое слабое увеличение повторяемости меридиональной южной группы циркуляции произошло в 1960–70-е годы, а вторая, более выраженная фаза увеличения повторяемости, – в период с 1987 по 1994 г., т. е. до наступления паузы в изменении температуры Северного полушария. Первая фаза снижения повторяемости группы циркуляции нарушения зональности наступила во второй половине 1950-х годов, а вторая, более активная фаза, – в конце 1980-х годов и продолжалась более двух десятилетий. В последние два десятилетия произошло также активное снижение повторяемости числа дней зональной группы циркуляции.

Динамика указанных двух групп циркуляции оказалось противоположной динамике меридиональной южной группы циркуляции. Следует также отметить, что в последние десятилетия наметилась чёткая противофаза в изменении повторяемости меридиональной южной и меридиональной северной групп циркуляции. Принципиально важным для формирования потепления климата оказался радикальный рост повторяемости меридиональной южной группы циркуляции и выходов южных циклонов с восточной части Средиземного моря на Европейскую часть России и Беларусь с их последующим слиянием с атлантическими циклонами. Это означает, что увеличилась вероятность замены групп циркуляции зональной и нарушения зональности на меридиональную южную группу циркуляции и, как следствие, нарушения ранее существовавших связей общей циркуляции атмосферы и термического режима Земного шара. Указанные годы стали годами тесной обратной связи повторяемости меридиональной северной и меридиональной южной групп циркуляции, а также периодом роста температуры Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Вышеизложенное свидетельствует, что в последние 30–40 лет произошли изменения характера атмосферной циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому, их согласованность с изменением термического режима Северного и Южного полушарий, а также Земного шара снизилась. Характер связи термического режима с наиболее повторяющейся группой циркуляции – меридиональной северной – претерпел радикальные изменения с середины 1990-х годов, что объясняется произошедшими в эти годы изменениями повторяемости других групп циркуляции атмосферы в это время.

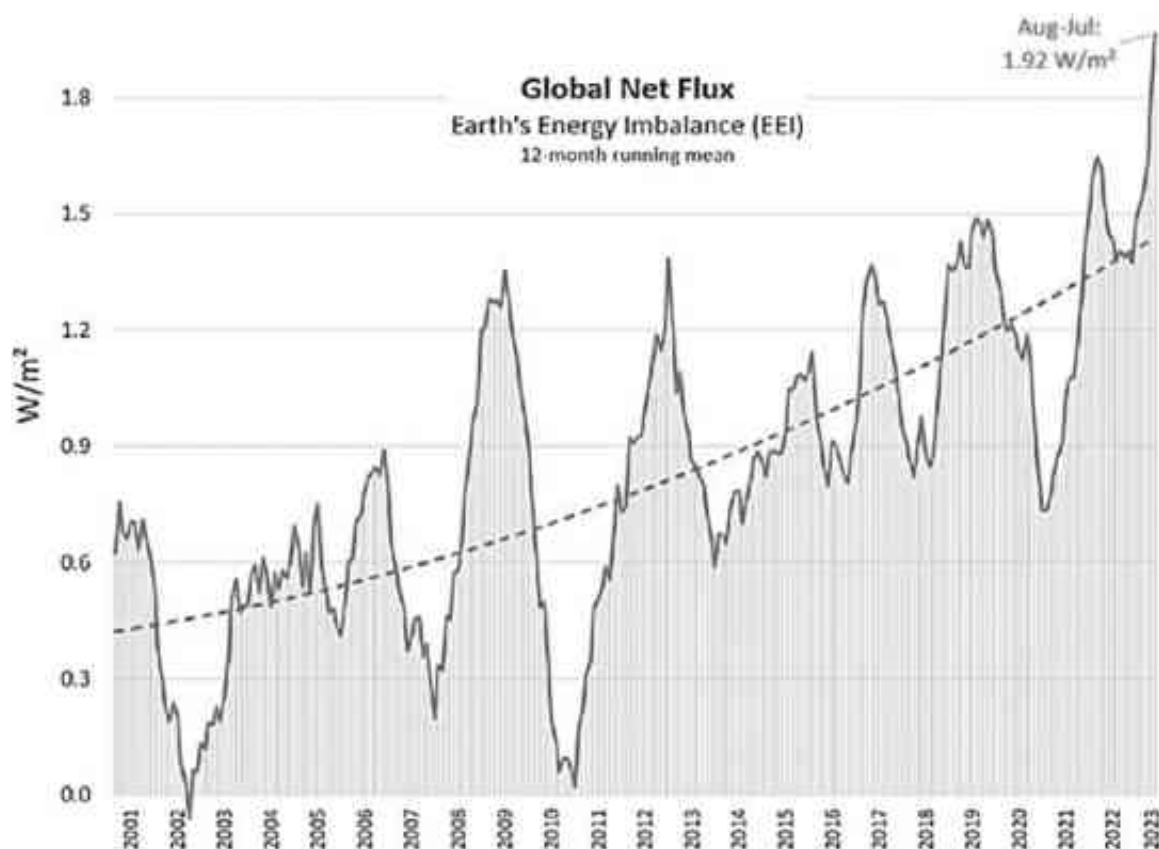


Рис. 7. Экспоненциальный рост дисбаланса энергии Земли (EEI – Earth Energy Imbalance), указывающий на разницу между проходящей солнечной радиацией и исходящей ото всех источников радиацией

Fig. 7. Exponential growth of the Earth Energy Imbalance (EEI) indicating difference between incoming solar radiation and outgoing radiation from all sources

Основная причина изменений характера связи термического и циркуляционного режимов, вероятно, связана с усилением роли радиационного фактора в изменении климата. Существенные изменения роли этого фактора происходили в последние годы в связи с ростом концентрации парниковых газов и очищением атмосферы от естественных (вулканических) и антропогенных аэрозолей. Содержание вулканических аэрозолей в атмосфере уменьшалось после последнего крупного извержения вулкана Пинатубо в 1991 г.

Известно, что эффект охлаждения атмосферы сульфатными антропогенными аэрозолями сдерживает потепление климата приблизительно на 0,5 °С. Очищение атмосферы от антропогенного и естественного (вулканогенного) аэрозоля в последние годы «разогнало» (усилило) потепление климата. Увеличение радиационного форсинга из-за снижения аэрозольного антропогенного загрязнения в Европе составило около 3,5 Вт/м² [6].

Влияние аэрозольного состава атмосферы на термический режим должно быть особенно заметным в тёплое время года. Оно стало проявляться в увеличении скорости потепления в последние два десятилетия в июле – октябре. Подобная ситуация наблюдалась во время предыдущего потепления климата Арктики в 1920–1945 гг. в июле – ноябре.

Подтверждением усиления доминирующей роли радиационного фактора в изменении климата является дисбаланс приходящей и уходящей в космическое пространство энергии (рис. 7) [10] (по данным [11]).

Как указывалось выше, он может быть связан как с ростом парниковых газов, так и с очищением атмосферы от аэрозолей естественного и антропогенного происхождения.

Другой причиной дисбаланса энергии в климатической системе в последнее двадцатилетие могло стать снижение функции Мирового океана в отведении тепла от подстилающей поверхности. Известно, что формирование глобального потепления в значительной степени обусловлено процессами крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и регулируется системой отрицательных и положительных обратных связей в климатической системе. Главенствующая роль при этом принадлежит положительной связи между температурой воздуха и его влагосодержанием, а изменение последнего зависит преимущественно от компонентов вертикального обмена океана с атмосферой. Экспоненциальное увеличение дисбаланса энергии особенно заметно с конца прошлого столетия. Оно могло привести к непредвиденно большему увеличению скорости роста температуры и числа экстремальных погодных и климатических явлений.

Список использованных источников

1. Дзердзеевский, Б. Л. Типизация циркуляционных механизмов в Северном полушарии и характеристика синоптических сезонов / Б. Л. Дзердзеевский, В. М. Курганская, З. М. Витвицкая // Тр. науч.-исслед. учрежд. Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2, Синоптическая метеорология. – М. ; Л. : Гидрометеоиздат, 1946. – Вып. 21. – 80 с.
2. Гирс, А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов / А. А. Гирс. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 435 с.
3. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / Н. К. Кононова. – М. : Ин-т географии РАН, 2009. – 370 с.
4. Кононова, Н. К. Динамика циркуляции атмосферы и циркуляционные механизмы метеорологических экстремумов в Арктике / Н. К. Кононова // Известия РАН. Серия географическая. – 2007. – № 6. – С. 26–42.
5. Колебания циркуляции атмосферы северного полушария в XX – начале XXI века. – URL: <https://atmospheric-circulation.ru/datas/> (дата обращения: 28.04.2026).
6. Логинов, В. Ф. Диагноз изменений общей циркуляции атмосферы и климата / В. Ф. Логинов. – СПб. : Лема, 2026. – 280 с.
7. Логинов, В. Ф. Диагноз глобального климата / В. Ф. Логинов. – СПб. : Лема, 2021. – 304 с.
8. Логинов, В. Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Мн. : Бел. наука, 2019. – 315 с.
9. Логинов, В. Ф. Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. – Мн. : Бел. наука, 2017. – 180 с.
10. Earth Energy Imbalance Visualization – Optimistic Storm. – URL: <https://optimisticstorm.com/earth-energy-imbalance-visualization/> (date of access: 28.04.2026).
11. NASA/LARC/SD/ASDC. CERES Energy Balanced and Filled (EBAF) TOA and Surface Monthly means data in netCDF Edition 4.2 [Data set]. NASA Langley Atmospheric Science Data Center DAAC. – URL: https://doi.org/10.5067/TERRA-AQUA-NOAA20/CERES/EBAF_L3B004.2 (date of access: 28.04.2026).

References

1. Dzerdzeevskii B. L., Kurganskaia V. M., Vitvitckaia Z. M. *Tipizatsiia tsirkuliatcionnykh mehanizmov v Severnom polusharii i harakteristika sinopticheskikh sezonov* [Typification of circulation mechanisms in the Northern Hemisphere and characteristics of synoptic seasons]. *Trudy nauchno-issledovatel'skikh uchrezhdenij Glavnogo upravleniya gidrometeorologicheskoy sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2, Sinopticheskaya meteorologiya* [Proc. of the scientific research institutions. Head Department of Hydrometeorological Service under the USSR Council of Ministers, Synoptic meteorology], Moscow, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1946, Ser. 2, iss. 21, 80 p. (in Russian)
2. Girs A. A. *Makrotcirkuliatcionnyi metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov* [Macro-circulation method of long-term meteorological forecasts]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 435 p. (in Russian)
3. Kononova N. K. *Classifikatsiia tsirkuliatcionnykh mehanizmov Severnogo polushariia po B. L. Dzerdzeevskomu* [Classification of circulation mechanisms of northern hemisphere by B. L. Dzerdzeevskii]. Moscow, RAS, Institute of Geography, 2009, 370 p. (in Russian)
4. Kononova N. K. *Dinamika tsirkuliatcii atmosfery i tsirkuliatcionnye mehanizmy meteorologicheskikh ekstremumov v Arktike* [Atmospheric circulation dynamics and circulation mechanisms of meteorological extremes in the Arctic]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*, 2007, no. 6, pp. 26–42. (in Russian)
5. *Kolebaniia tsirkuliatcii atmosfery severnogo polushariia v XX – nachale XXI veka* [Fluctuations in the circulation of the northern hemisphere atmosphere in the 20th and early 21st centuries]. URL: <https://atmospheric-circulation.ru/datas/> (accessed April 28, 2026). (in Russian)
6. Loginov V. F. *Diagnoz izmenenii obshchei tsirkuliatcii atmosfery i klimata* [Diagnosis of changes in the general circulation of the atmosphere and climate]. Saint Petersburg, Lema Publ., 2026, 280 p. (in Russian)
7. Loginov V. F. *Diagnoz global'nogo klimata* [Diagnosis of changes in the general circulation of the atmosphere and climate]. Saint Petersburg, Lema Publ., 2021, 304 p. (in Russian)
8. Loginov V. F., Lysenko S. A. *Sovremennye izmeneniia global'nogo i regional'nogo klimata* [Global and regional climate changes]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2019, 315 p. (in Russian)
9. Loginov V. F., Mikutckii V. S. *Izmeneniia klimata: trendy, tsicly, pauzy* [Climate Changes: Trends, Cycles, and Pauses]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2017, 180 p. (in Russian)
10. Earth Energy Imbalance Visualization – Optimistic Storm. URL: <https://optimisticstorm.com/earth-energy-imbalance-visualization/> (accessed April 28, 2026).
11. NASA/LARC/SD/ASDC. (2023). CERES Energy Balanced and Filled (EBAF) TOA and Surface Monthly means data in netCDF Edition 4.2 [Data set]. NASA Langley Atmospheric Science Data Center DAAC. URL: https://doi.org/10.5067/TERRA-AQUA-NOAA20/CERES/EBAF_L3B004.2 (accessed April 28, 2026).

Информация об авторах

Логинов Владимир Фёдорович – академик, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: priyemnaya@nature-nas.by

Микуцкий Владимир Станиславович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Information about the authors

Vladimir F. Loginov – Academician, D. Sc. (Geography), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: priyemnaya@nature-nas.by

Vladimir S. Mikutsky – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by