

ИЗМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ПЕРИОД 1899-2018 гг.

Н.К. Кононова

Институт географии РАН,
Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29; NinaKononova@yandex.ru

Реферат. На основе классификации глобальных макроциркуляционных процессов, начало развитию которой положил Б.Л. Дзердзеевский (Дзердзеевский, 1957, 1967), проведен анализ изменений характера глобальной циркуляции атмосферы за период 1899-2018 гг. и связи этих изменений с приповерхностной температурой воздуха. Выявлены три глобальные циркуляционные эпохи и переходный период между второй и третьей циркуляционными эпохами, а также циркуляционные эпохи в каждом секторе Земного шара. Установлено, что в современный период продолжается усиление межширотного обмена воздушных масс в силу роста суммарной годовой продолжительности меридиональных групп циркуляции. Установлено также, что глобальная температура воздуха следует за изменениями глобальной циркуляции атмосферы. Особое внимание уделено последним годам. Проведен также анализ изменений дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов по циркуляционным эпохам за период 1899-2018 гг. Выявлены экстремальные даты начала и экстремальная продолжительность циркуляционных сезонов.

Ключевые слова. Глобальная циркуляция атмосферы, циркуляционные эпохи, Северное полушарие, Южное полушарие, сектора полушарий, циркуляционные сезоны, даты начала, продолжительность циркуляционных сезонов, приповерхностная глобальная температура воздуха.

Введение

Поскольку в Северном и Южном полушариях одновременно наблюдается один и тот же элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ), все расчёты продолжительности типов и групп типов одинаковы для атмосферы всей Земли. Сектора Северного полушария (Дзердзеевский, 1970) соответствуют по долготам секторам Южного: Европейский Африканскому, Сибирский Индийскому, Дальневосточный Австралийскому. Различия отмечаются только в датах начала и продолжительности циркуляционных сезонов: зима Северного полушария соответствует лету Южного, предвесенье – предзимью, весна – осени и наоборот. Поскольку в предыдущей работе (Кононова, 2018) были представлены примеры динамических схем ЭЦМ для Северного и Южного полушарий, а также проанализирована продолжительность групп глобальной

циркуляции и циркуляционные эпохи по 2017 год, здесь анализ начат с особенностей 2018 года. В последние годы появилось много работ, посвящённых изменившемуся характеру циркуляции атмосферы и связи с ним температуры воздуха. Их мы тоже постарались учесть в соответствующих разделах статьи.

Материалы и методы

Типизация глобальной циркуляции атмосферы (Дзердзеевский, 1967; Кононова, 2018) создана на основе типизации циркуляции атмосферы Северного полушария (Дзердзеевский и др., 1946; Дзердзеевский, 1968, 1975; Dzerdzeevskii, 1962). Сведения о продолжительности ЭЦМ, групп ЭЦМ для полушарий и их секторов, датах начала и продолжительности циркуляционных сезонов взяты с сайта (Колебания циркуляции атмосферы..., <http://atmospheric-circulation.ru>). Сведения о температуре воздуха Северного, Южного полушарий и глобальной взяты из базы данных, размещённой на сайте Университета Восточной Англии (Climatic Research Unit Data, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>).

Полученные результаты

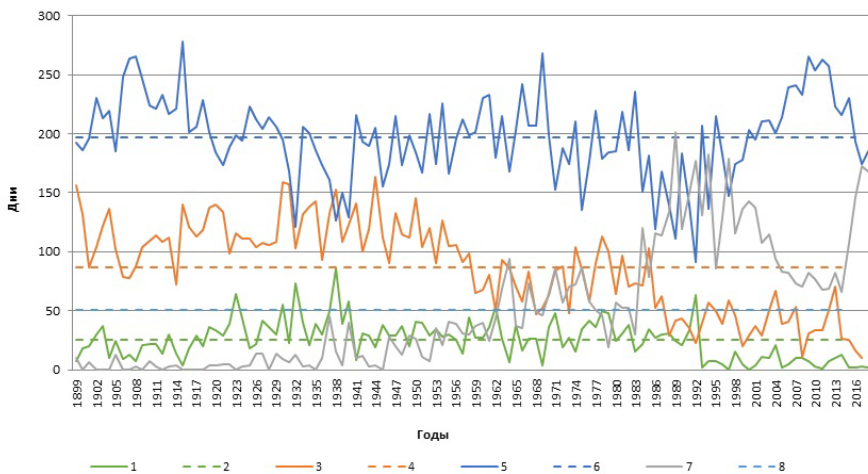


Рисунок 1. Суммарная годовая продолжительность групп ЭЦМ глобальной циркуляции атмосферы за 1899-2018 гг.

1 – зональная циркуляция, 2 – зональная средняя, 3 - нарушение зональности, 4 – нарушение зональности средняя, 5 – блокирующие процессы, 6 – блокирующие процессы средняя, 7 – выход циклонов из низких широт в высокие, 8 – выход циклонов из низких широт средняя

Как видно на рис. 1, наиболее продолжительной в нижнем слое атмосферы Земли оказывается группа блокирующих процессов (2-4 одновременных арктических/антарктических вторжения, формирующих полосы повышенного давления, соединяющих арктический антициклон с субтропическим). Её средняя продолжительность за 1899-2018 гг. составляет 202 дня в году. Следующей по продолжительности оказывается группа нарушения зональности с

одним блокирующим процессом в каждом полушарии. Её средняя продолжительность составляет 87 дней в году. Средняя продолжительность группы выходов циклонов из низких широт в высокие при циклонической циркуляции в арктических/антарктических широтах и отсутствии блокирующих процессов составляет 51 день, а чисто зональной циркуляции (при антициклоне в районе полюсов и отсутствии блокирующих процессов) – 25 дней.

Продолжительность групп типов меняется от года к году и особенно заметно по циркуляционным эпохам. Так, в меридиональную северную циркуляционную эпоху (1899-1915 гг.) и в период увеличения продолжительности блокирующих процессов (1957-1959 гг.) в меридиональную южную эпоху суммарная годовая продолжительность блокирующих процессов превышала 250 дней. В зональную циркуляционную эпоху (1916-1956 гг.) продолжительность блокирующих процессов снизилась до 120-200 дней, а зональных выросла до 50 дней. В период быстрого увеличения продолжительности выходов циклонов из низких широт в высокие (1981-1998 гг.) продолжительность группы блокирующих процессов и выходов циклонов из низких широт колебались в пределах 87-205 дней, а затем продолжительность группы блокирующих процессов в 2007-2012 гг. снова превысила 250 дней. Для современного периода характерна новая смена преобладающих макропроцессов, что безусловно отразится и на глобальном климате.

В 2018 г., по сравнению с 2017 г., суммарная продолжительность группы блокирующих процессов увеличилась на 11 дней (рис. 1) за счёт уменьшения зональной циркуляции (на 1 день), нарушения зональности (на 6 дней) и выхода циклонов из низких широт (на 4 дня, www.atmospheric-circulation.ru). В результате суммарная продолжительность двух меридиональных групп циркуляции (блокирующих процессов и выходов циклонов из низких широт) увеличилась в 2018 г. на 7 дней (рис. 2).



Рисунок 2. Отклонения суммарной годовой продолжительности обобщённой зональной (1) и меридиональной (2) групп глобальной циркуляции атмосферы от соответствующих средних

Это означает, что продолжительность межширотного обмена воздушных масс увеличилась на 7 дней. Увеличение произошло за счёт роста продолжительности ЭЦМ 12бл (на 10 дней), 12вз (на 11 дней) и 12вл (на 11 дней) с тремя одновременными вторжениями воздушных масс с полюса и соответственного уменьшения продолжительности ЭЦМ с двумя блокирующими процессами. Такое изменение характера циркуляции атмосферы способствовало понижению приповерхностной температуры воздуха Северного полушария и глобальной соответственно на 0.13° и 0.08° по сравнению с 2017 г., а по сравнению с самым тёплым за период наблюдений 2016 г. – на 0.28° и 0.2° (рис. 3, Climatic Research Unit Data).

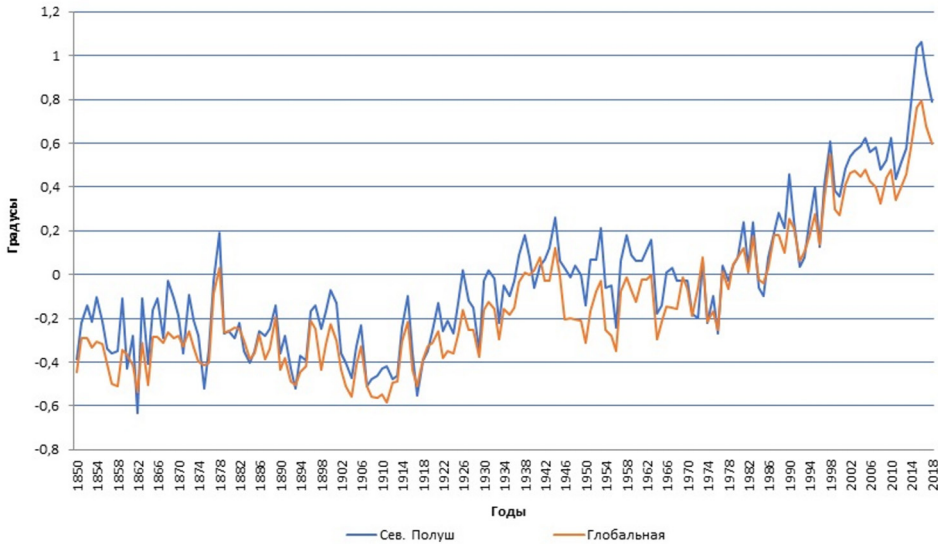


Рисунок 3. Отклонения приповерхностной среднегодовой температуры воздуха за 1850-2018 гг. от средней за 1961-1990 гг.

Поскольку в десятилетие 2009-2018 продолжительность группы блокирующих процессов на 29 дней превышает среднюю, а группы выхода циклонов из низких широт – на 53 дня (рис. 4), межширотный обмен и в следующем десятилетии будет, по-видимому, превышать среднее значение. Если сравнить эти значения с приведенными ранее для периода 2000-2015 гг., можно оценить скорость изменения характера циркуляции атмосферы в последние десятилетия.

Сравнение реакции циркуляции атмосферы в секторах полушарий (Дзердзеевский, 1970) на изменение продолжительности глобальной циркуляции подтвердило общую закономерность (рис. 5). Суммарная годовая продолжительность обобщённой широтной группы циркуляции во всех секторах максимальна в период максимума зональной эпохи и в период максимума продолжительности выхода циклонов из низких широт, поскольку в эти периоды в высоких широтах преобладает широтная циркуляция. За последнее десятилетие она уменьшилась во всех секторах,

кроме Сибирского/Индийского, где она увеличилась на 2 дня, и Американского, где она практически не изменилась. Это положение согласуется с тенденциями, выявленными в работах (Бышев и др., 2016, 2018; Серых, 2018; Huang et al., 2016; Kukoleva et al., 2018; Lupo et al., 2019).



Рисунок 4. Отклонения продолжительности обобщённой зональной группы циркуляции (1), группы блокирующих процессов (2) и выхода циклонов из низких широт (3) от соответствующих средних (10-летние скользящие средние)

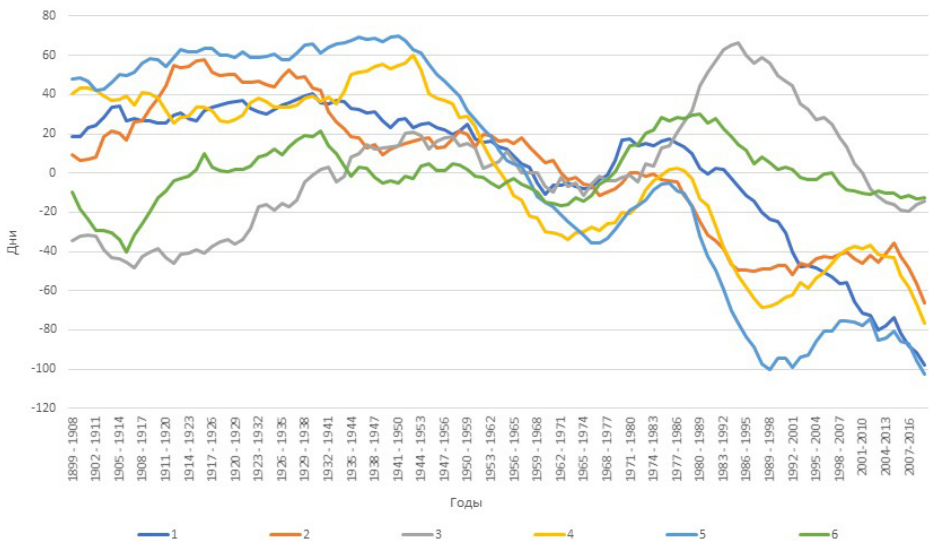


Рисунок 5. Отклонения суммарной годовой продолжительности обобщённой широтной группы циркуляции в Атлантическом (1), Европейском/Африканском (2), Сибирском/Индийском (3), Дальневосточном/Австралийском (4), Тихоокеанском (5) и Американском (6) секторах от соответствующих средних

Анализ дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов

Циркуляционным сезоном называется период года, в течение которого преобладают определённые атмосферные процессы. В типизации, разработанной Б.Л. Дзерdzeевским, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой, выделено 6 циркуляционных сезонов. В табл. 1 представлены типы ЭЦМ, соответствующие каждому сезону (Дзерdzeевский, 1975). Везде в этом разделе сезон (весна, лето и т.д.) означает циркуляционный сезон.

Таблица 1. Сезонные группы циркуляции атмосферы

Группа циркуляции	ЭЦМ
Зимняя	5а, 5б, 5г, 7аз, 7бз, 11а, 11б, 11в, 12бз, 12вз, 13з
Летняя	2а, 2б, 2в, 3, 4б, 4в, 6, 7ал, 7бл, 8бл, 8вл, 8гл, 9а, 10б, 13л
Весенне-осенняя	10а, 12а, 12бл, 12вл
Предзимне-предвесенняя	1а, 1б, 4а, 5в, 8а, 8бз, 8вз, 8гз, 9б, 11г, 12г

Даты начала циркуляционных сезонов

За время начала сезона принимается дата формирования первого ЭЦМ, за которым устойчиво повторяются ЭЦМ, свойственные наступающему сезону.

Большую часть времени ранние и поздние даты начала предвесенья в Северном и предзимья в Южном полушарии чередуются между собой (рис. 6а). Выделяются два продолжительных периода однородного характера дат. В 1909-1928 гг. отмечаются поздние даты начала этого сезона, что связано с длительным существованием и поздним разрушением континентальных антициклонов, препятствующих проникновению на континенты океанических воздушных масс (Бардин, 2007; Груза, Коровкина, 1991; IPCC, 2013; Lebedeva et al., 2016, 2019). В 1998-2018 гг. отмечаются ранние даты начала сезона, что связано с чередованием в конце зимы/лета ЭЦМ 12а и 13з, при которых циклоны из низких широт выходят на континенты. Самая ранняя дата начала сезона – 5 февраля 1902 г., близкие к ней – 11 февраля 1972 г. и 12 февраля 1951 г. Самая поздняя дата – 8 апреля 1922 г., близкие к ней – 5 апреля 1937 г. и 3 апреля 1965 г.

Весной в Северном и осенью в Южном полушарии ранние даты начала сезона (рис. 6б) отмечаются в 1899-1905 гг., затем, в период 1906-1945 гг., сезон начинается преимущественно позднее средних значений. В 1946-2000 гг. снова отмечается раннее начало сезона, а в конце периода – позднее. Наиболее ранние даты начала сезона – 12 марта 1951 г., 16 марта 1967 г., и 17 марта 1968 г. – приходятся на конец второй, зональной, эпохи и период роста блокирующих процессов в самом начале третьей эпохи, т. е. связаны с преоблада-

нием циклонической циркуляции над континентами. Наиболее поздние даты – 30 апреля 1900 г., 29 апреля 1915 г. и 26 апреля 1911 г. – приходятся на эпоху блокирующих процессов, т. е. связаны с преобладанием антициклонической циркуляции.



Рисунок ба. Даты начала циркуляционного предвесенья в Северном, предзимья в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

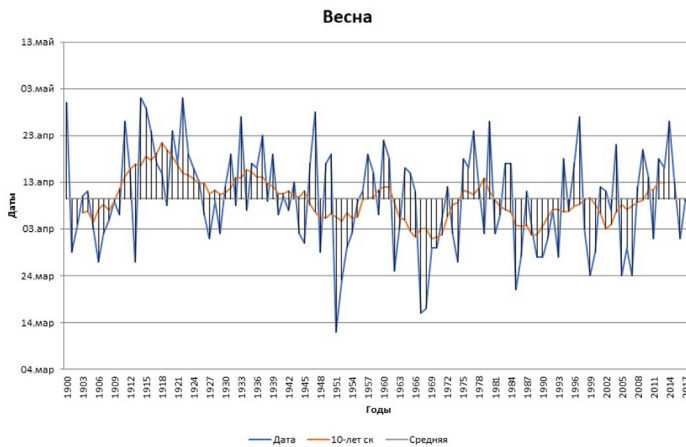


Рисунок бб. Даты начала циркуляционной весны в Северном, осени в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Поздние даты начала циркуляционного сезона лета (рис. бв) в Северном полушарии и зимы в Южном отмечались в 1899-1911 гг., 1917-1929 гг., 1944-1954 гг., 1974-1981 гг., 2006-2018 гг., ранние даты – в 1930-1937 гг. и в 1982-2005 гг. Оба последних периода приходятся на повышение глобальной приземной температуры воздуха. Наиболее поздние даты начала сезона приходятся на 25 июня 1926 г., 20 июня 1908 г. и 19 июня 1949 г., наиболее ранние – на 23 апреля 1992 г., 28 апреля 1998 г. и 29 апреля 1940 г. Поздние даты приходятся на периоды понижения глобальной температуры, ранние – на периоды её повышения.

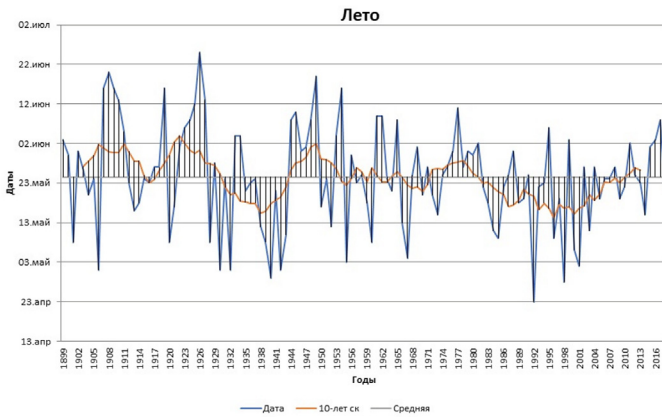


Рисунок бв. Даты начала циркуляционного лета в Северном, зимы в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Ранние даты начала осени в Северном и весны в Южном полушарии (рис. бг) отмечаются в двух периодах: 1899-1920 гг. и 1951-1969 гг., т. е. приходятся на периоды роста блокирующих процессов и понижения глобальной температуры воздуха. Поздние даты приходятся на 1921-1950 гг. и 1970-1996 гг., т. е. на периоды роста продолжительности зональной циркуляции и выхода циклонов из низких широт и соответственно повышения глобальной температуры воздуха. Наиболее ранние даты – 1 августа 1902 и 1943 гг. и 2 августа 1966 г. – относятся к периодам увеличения продолжительности антициклонической циркуляции на континентах и понижения глобальной температуры воздуха. Наиболее поздние даты – 14 октября 1985 г., 8 октября 1971 г. и 4 октября 1947 и 1994 гг. – относятся ко времени увеличения продолжительности циклонической циркуляции и повышения глобальной температуры воздуха.

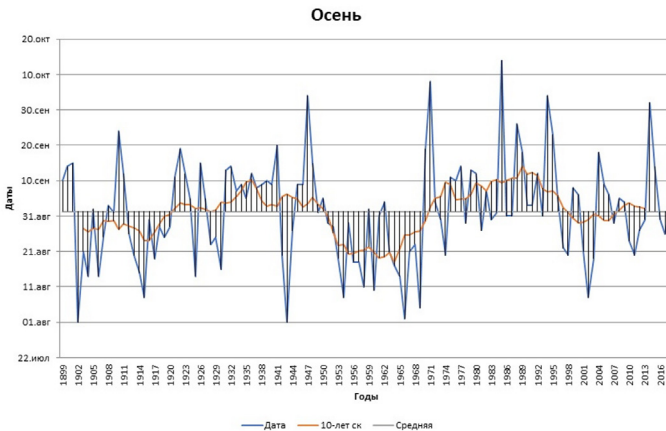


Рисунок бг. Даты начала циркуляционной осени в Северном, весны в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Ранние даты начала сезона предзимья в Северном и предвесенья в Южном полушарии (рис. бд) относятся к периодам 1913-1933, 1956-1969 и 1996-2018 гг. Первый период характеризуется ростом зональной циркуляции в высоких

широтах при формировании стационарных антициклонов на континентах, два последних – ростом продолжительности блокирующих процессов. Поздние даты начала сезона характерны для периодов 1934-1955 и 1970-1995 гг. Первый период характеризуется уменьшением продолжительности зональной циркуляции, второй – быстрым увеличением от года к году продолжительности выхода циклонов из низких широт и ростом глобальной температуры воздуха. Наиболее ранние даты приходятся на последнее 10-летие: 11 сентября 2016 г., 16 сентября 2001 г. и 18 сентября 2011 г. Наиболее поздние даты приходятся на 10 ноября 1985 г., 5 ноября 1927 г. и 3 ноября 1989 г.

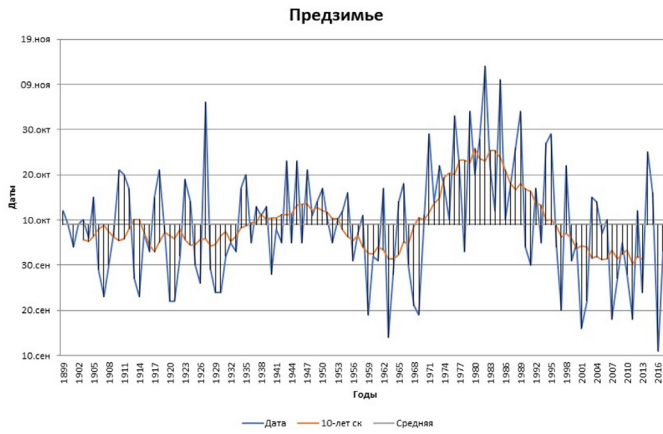


Рисунок бд. Даты начала циркуляционного предзимья в Северном, предвесенья в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Ранние даты начала зимы в Северном и лета в Южном полушарии (рис. бе) отмечаются в периоды 1905-1921, 1983-2003 гг. Самыми ранними датами были 18 октября 1993 г. и 19 октября 1920 и 2002 гг. Поздние даты начала сезона приходятся на периоды 1922-1975 и 2004-2018 гг. Наиболее поздние даты – 28 декабря 1964 г., 25 декабря 1923 г. и 24 декабря 1965 г. Ранние даты приходятся на периоды увеличения продолжительности зональных процессов и выходов циклонов из низких широт, а поздние – преимущественно на периоды увеличения продолжительности блокирующих процессов.

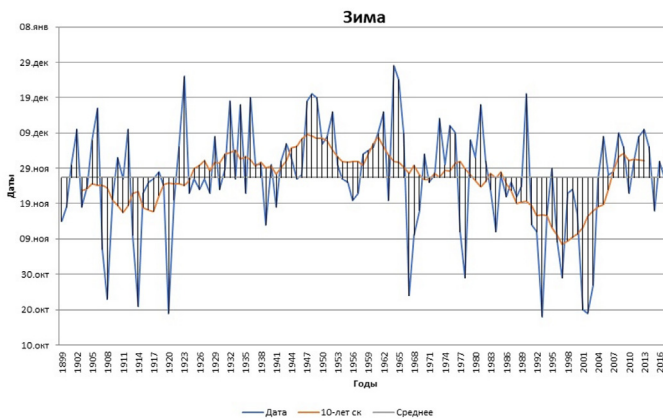


Рисунок бе. Даты начала циркуляционной зимы в Северном, лета в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Отметим средние, ранние и поздние даты начала циркуляционных сезонов (табл. 2).

Таблица 2. Даты начала циркуляционных сезонов

Сезон	Средние	Ранние	Поздние
Предвесенье/ предзимье	9 марта	5 февраля 1902 г.	8 апреля 1922 г.
Весна/осень	9 апреля	12 марта 1951 г.	30 апреля 1900 г.
Лето/зима	24 мая	23 апреля 1992 г.	25 июня 1926 г.
Осень/весна	1 сентября	1 августа 1902, 1943 гг.	14 октября 1985 г.
Предзимье/ предвесенье	8 октября	11 сентября 2016 г.	10 ноября 1985 г.
Зима/лето	26 ноября	18 октября 1993 г.	28 декабря 1968 г.

Продолжительность циркуляционных сезонов

Продолжительность циркуляционных сезонов колеблется от года к году вместе с датами начала сезонов. В продолжительности предвесенья в Северном и предзимья в Южном полушарии выделяются 5 периодов повышенной и 4 – пониженной продолжительности (рис. 7а). Годы наименьшей продолжительности – 1901 г. – 8 дней, 1945 г. – 9 дней, 1989 г. – 13 дней и 2005 г. – 11 дней. Годы наибольшей продолжительности – 1902 г. – 58 дней, 1933 г. – 70 дней, 1961 г. – 50 дней, 1972 г. – 61 день, 2010 – 53 дня.

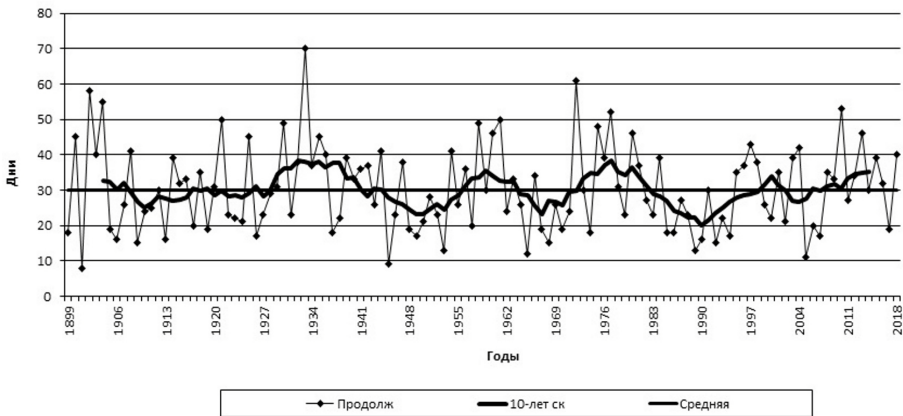


Рисунок 7а. Продолжительность циркуляционного предвесенья в Северном, предзимья в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

В продолжительности циркуляционного сезона весны в Северном и осени в Южном полушарии (рис. 7б) отмечается 4 периода повышенной и 3 периода пониженной продолжительности, причём с 1980 г. в 10-летних скользящих средних почти не отмечается лет с повышенной продолжительностью. Наименее продолжительными были сезоны 1920 г. – 14 дней, 1960 и 1992 гг. (по 16 дней). Наиболее продолжительными – сезоны 1926 г. (80 дней), 1908 (76 дней), 1964 г. (75 дней) и 1999 (71 день).

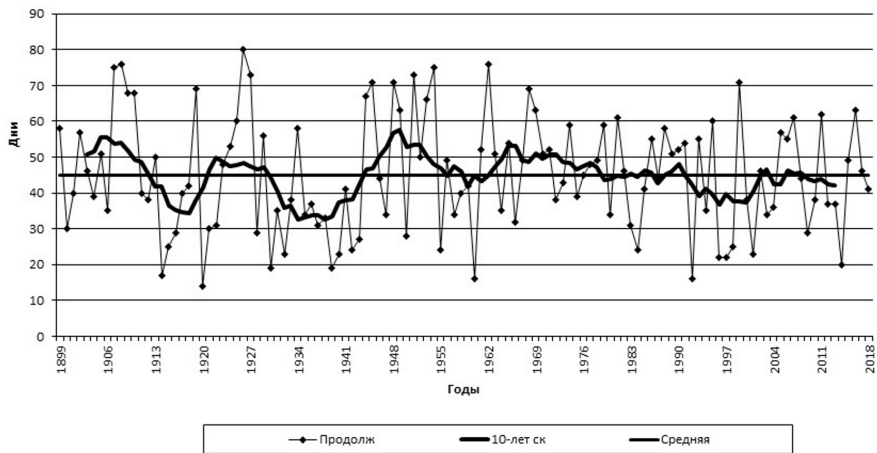


Рисунок 7б. Продолжительность циркуляционной весны в Северном, осени в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

В продолжительности лета в Северном полушарии и зимы в Южном отмечаются 3 периода пониженной продолжительности и два повышенной (рис. 7в). Сезоны пониженной продолжительности отмечались в годы 1954 (53 дня), 1902 (62 дня) и 1925 (63 дня). Сезоны повышенной продолжительности отмечались в годы 1985 (158 дней), 1998 (145 дней) и 1992 (142 дня). Все относятся к периоду увеличения продолжительности выхода циклонов из низких широт в высокие и повышения температуры воздуха.

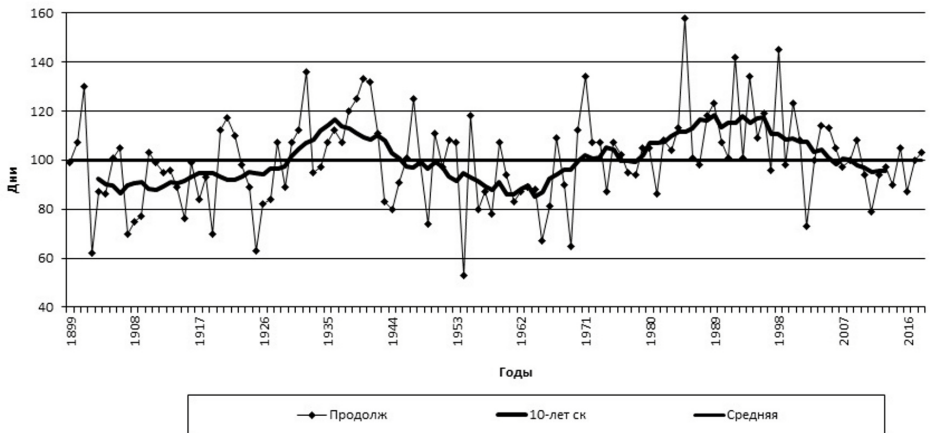


Рисунок 7в. Продолжительность циркуляционного лета в Северном, зимы в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Осенью Северного, весной Южного полушария (рис. 7г) отмечается два периода повышенной и пониженной продолжительности сезона. Наименьшая продолжительность отмечается в 1921 и 1926 гг. (11 дней) и в 2016 г. (12 дней). Наибольшая продолжительность отмечалась в 1943 г. (83 дня) и 1966 г. (77 дней). Обе даты относятся ко второму периоду.

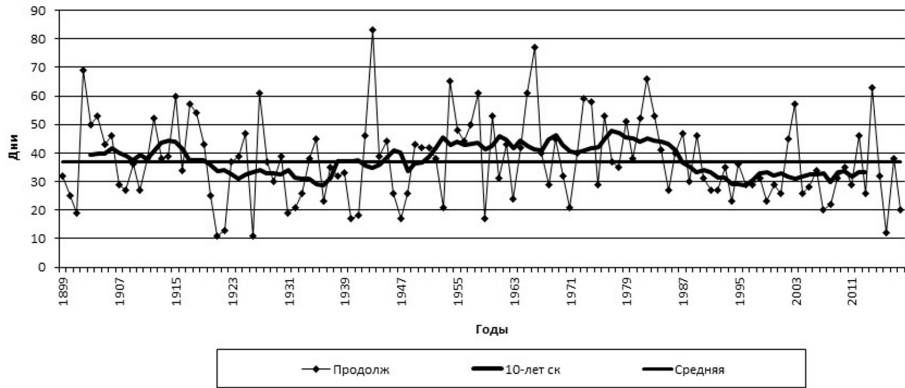


Рисунок 7г. Продолжительность циркуляционной осени в Северном, весны в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

В многолетних изменениях продолжительности предзимья в Северном, предвесенья в Южном полушарии (рис. 7д) отмечалось два периода пониженной и два повышенной продолжительности. Наименьшая продолжительность была в 2003 г. (12 дней) и в 1993 г. (13 дней), т. е. приходилась на период роста продолжительности выхода циклонов из низких широт и глобального потепления. Наибольшая отмечалась в 1964 г. (91 день), т. е. приходилась на год увеличения суммарной продолжительности блокирующих процессов.

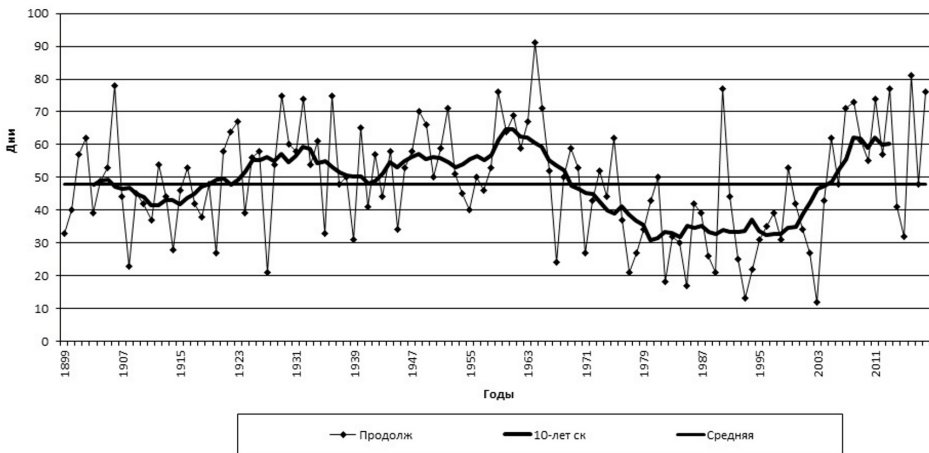


Рисунок 7д. Продолжительность циркуляционного предзимья в Северном, предвесенья в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

За период 1899-2018 гг. отмечается по 2 периода повышенной и пониженной продолжительности циркуляционного сезона зимы в Северном, лета в Южном полушарии (рис. 7е). Наименьшая продолжительность отмечалась в сезон 1932/33 гг. (60 дней) и приходилась на зональную циркуляционную эпоху и первое глобальное потепление. Наибольшая продолжительность

характерна для сезонов 1993/94 (165 дней), 1914/15 (158 дней) и 1908/09 гг. (153 дня). Первая дата относится к периоду роста продолжительности выхода циклонов из низких широт и второго глобального потепления, что объясняется увеличением продолжительности существования зимой континентальных антициклонов над Сибирью, Австралией и Америкой. Две последние даты относятся к эпохе блокирующих процессов.

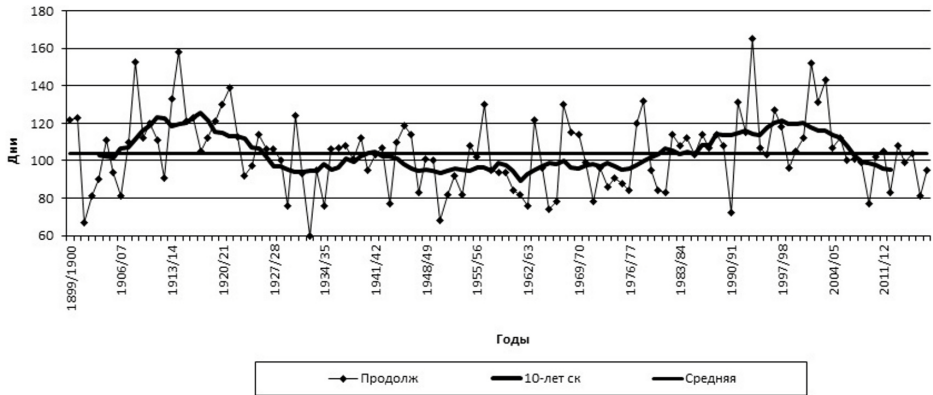


Рисунок 7е. Продолжительность циркуляционной зимы в Северном, лета в Южном полушарии за период 1899-2018 гг.

Приводим среднюю, минимальную и максимальную продолжительность циркуляционных сезонов (табл. 3).

Таблица 3. Продолжительность (дни) циркуляционных сезонов

Циркуляционные сезоны	Средняя	Минимальная	Максимальная
Предвесень/предзимье	30	8 (1901 г.)	70 (1933 г.)
Весна/осень	45	14 (1920 г.)	80 (1926 г.)
Лето/зима	100	53 (1954 г.)	158 (1985 г.)
Осень/весна	37	11 (1921, 1926 гг.)	83 (1943 г.)
Предзимье/предвесень	48	12 (2003 г.)	91 (1964 г.)
Зима/лето	104	60 (1932/33 гг.)	165 (1993/94 гг.)

Сравнение дат начала и продолжительности разных сезонов между собой показывает, что сокращение длительности зимы в Северном и лета в Южном полушарии за счёт раннего начала предвесенья в Северном приводит к увеличению длительности предвесенья в Северном и предзимья в Южном полушарии. В период 1960-2000 гг. происходит одновременное увеличение продолжительности зимы и лета за счёт раннего начала предвесенья, весны и лета и за счет позднего начала осени в Северном полушарии.

Заключение

В результате продолжения Календаря последовательной смены ЭЦМ и проведенных по нему расчётов продолжительности групп циркуляции атмосферы выявилась тенденция увеличения в течение последних лет продолжительности межширотного обмена воздушных масс за счёт преобладания положительных отклонений от средней меридиональных групп циркуляции (блокирующих процессов и выхода циклонов из низких широт)

Результатом этого является понижение в течение последних двух лет температуры воздуха Северного полушария на 0.28° и глобальной на 0.2° .

Продолжительность суммарной широтной циркуляции в секторах также уменьшилась.

В результате повышенной продолжительности группы выхода циклонов из низких широт начиная с 1980 г., 50% экстремально ранних дат начала циркуляционных сезонов приходится на период после 1990 г. и 30% экстремально поздних дат – на период с 1985 г.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект №. 0148-2019-0009.

Список литературы

Бардин М.Ю. 2007. Антициклоническая квазистационарная циркуляция и ее влияние на аномалии экстремумы температуры воздуха в западных областях России. – Метеорология и гидрология, № 2, с. 5-18.

Бышев В.И., Романов Ю.А., Сидорова А.Н. 2016. Об использовании типизации Дзердзеевского при диагнозе современного климата. – В сб.: Труды Международной научной конференции «Исследование изменений климата с использованием методов классификации режимов циркуляции атмосферы», 16-18 мая 2016 г. с. 44-49. Электронный ресурс. URL: [http:// www.atmospheric-circulation.ru](http://www.atmospheric-circulation.ru).

Бышев В.И., Серых И.В., Сидорова А.Н., Складов В.Е., Анисимов М.В. 2018. Океанический фактор мультидекадной изменчивости современного климата. – Океанологические исследования, т. 46, № 3, с. 5-19.

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

Дзердзеевский Б.Л. 1957. Циркуляционные схемы сезонов года в северном полушарии. – Изв. АН СССР, серия географ., № 1, с. 36-55.

Дзердзеевский Б.Л. 1967. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над Северным и Южным полушариями. – Информационный бюллетень Советской Антарктической экспедиции, № 65, с. 58-68 (Дзердзеевский Б.Л. 1975. Избранные труды. – Изд. «Наука», с. 149-158).

Дзержевский Б.Л. 1968. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. – Материалы метеорологических исследований. – М., изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР, 240 с.

Дзержевский Б.Л. 1970. Сопоставление характеристик атмосферной циркуляции над северным полушарием и его секторами. – Материалы метеорологических исследований. – М., изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР, с. 7-14.

Дзержевский Б.Л. 1975. Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. – Москва, «Наука», 288 с.

Дзержевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. 1946. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. – В сб.: Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Сер. 2, Синоптическая метеорология, вып. 21, Центральный институт прогнозов. – М., Л., Гидрометиздат, 80 с.

Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.atmospheric-circulation.ru>.

Кононова Н.К. 2018. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899-2017 гг. – Фундаментальная и прикладная климатология, doi: 10.21513/2410-8758-2018-3-108-123.

Серых И.В. 2018. О динамике и структуре глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и в реальности. – Океанологические исследования, т. 46, № 1, с. 14-28.

Climatic Research Unit Data. Available at: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.

Dzержevskii B. 1962. Fluctuations of Climate and of General Circulation of the Atmosphere in extra-tropical latitudes of the Northern Hemisphere and some problems of dynamic climatology. – Tellus, XIV, No. 3, pp. 328-336.

Huang W., Chen R., Wang B., Wright J.S., Yang Z., Ma W. 2016. Potential vorticity regimes over East Asia during winter. – J. Geophys. Res. Atmos., vol. 122, pp. 1524-1544.

IPCC 2013. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Scientific Basis. – Available at: <http://www.ipcc.ch> (accessed on 27 June 2019).

Kukoleva A.A., Kononova N.K., Krivolutsky 2018. Manifestation of the Solar Cycle in the Circulation Characteristics of the Lower Atmosphere in the Northern Hemisphere. – Geomagnetizm i Aeronomiya, vol. 58(6), pp. 808-817.

Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Y.G., Petin A.N., Solovyev A.B. 2016. Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and

Southern Russia in the Early 21st Century. – Adv. Meteorol., Article ID 5035086, 10 p. – Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5035086>.

Lebedeva M.G., Lupo A.R., Chendev Y.G., Krymskaya O.V., Solovyev A.B. 2019. Changes in the Atmospheric Circulation Conditions and Regional Climatic Characteristics in Two Remote Regions Since the Mid-20th Century. – Atmosphere, vol. 10(1), 11, doi:10.3390/atms10010011.

Lupo A.R., Jensen A.D., Mokhov I.I., Timazhev A.V., Eichler T., Efe B. 2019. Changes in Global Blocking Character in Recent Decades. – Atmosphere, vol. 10(2), 92, doi:10.3390/atmos10020092.

Статья поступила в редакцию: 29.04.2019 г.

После переработки: 16.11.2019 г.

VARIATIONS OF GLOBAL ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE PERIOD 1899-2018

N.K. Kononova

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetny lane, 109017, Moscow, Russian Federation; NinaKononova@yandex.ru

Abstract. Changes in the character of the global atmospheric circulation in the period 1899-2018 and the relationship of these changes with the near-surface air temperature are analyzed using a classification of global macro-circulation processes that was initially developed by B.L. Dzerdzeevsky (Dzerdzeevsky, 1967). Three global circulation epochs and a transitional period between the second and third circulation epochs, as well as circulation epochs in each sector of the Globe, are identified. It was found that in the modern period, the intensification of inter-latitudinal exchange of air masses continues due to the growth of the total annual duration of the meridional circulation groups. Besides, it was found that global air temperature variations follow changes in the global circulation of the atmosphere. Particular attention is paid to recent years. The analysis of changes in the dates of the beginning and duration of the circulation seasons for each circulation epoch in the period 1899-2018 was also carried out. Extreme start dates and extreme duration of circulation seasons are identified.

Keywords. Global atmospheric circulation, circulation epochs, northern hemisphere, southern hemisphere, hemispheric sectors, circulation seasons, start dates, duration of circulation seasons, near-surface global air temperature.

References

Bardin M.Yu. 2007. Antitsiklonicheskaya kvazistatsionarnaya tsirkulyatsiya i yeye vliyaniye na anomalii ekstremumy temperatury vozdukha v zapadnykh oblastiakh Rossii. [Anticyclonic quasistationary circulation and its effect on anomalies of extremes in air temperature in the western regions of Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*, no. 2, pp. 5-18.

Byshev V.I., Romanov YU.A., Sidorova A.N. 2016. Ob ispol'zovanii tipizatsii Dzerdzeyevskogo pri diagnoze sovremennogo klimata [On the use of Dzerdzeevsky typification in the diagnosis of modern climate]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Issledovaniye izmeneniy klimata s ispol'zovaniyem metodov klassifikatsii rezhimov tsirkulyatsii atmosfery»*, 16-18 maya 2016 g. [Proceedings of the International Scientific Conference "Research on climate change using methods for classifying atmospheric circulation modes," May 16-18, 2016]. pp. 44-49. URL: [http:// www.atmospheric-circulation.ru](http://www.atmospheric-circulation.ru).

Byshev V.I., Serykh I.V., Sidorova A.N., Sklyarov V.Ye., Anisimov M.V. 2018. Okeanicheskiy faktor mul'tidekadnoy izmenchivosti sovremennogo klimata [Oceanic factor of multi-decadal variability of modern climate]. *Okeanologicheskiye issledovaniya – Oceanological research*, vol. 46, no. 3, pp. 5-19.

Gruza G.V., Korovkina L.V. 1991. Sezonnnye osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya indeksov blokirovaniya v Severnom polusharii [Seasonal features of the spatial distribution of blocking indices in the Northern Hemisphere]. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*, no. 3, pp. 108-110.

Dzerdzeyevskiy B.L. 1957. Tsirkulyatsionnyye skhemy sezonov goda v severnom polusharii [Circulation patterns of the seasons of the year in the northern hemisphere]. *Izv. AN SSSR, seriya geograf. – Izv. USSR Academy of Sciences, series of geographers*, no. 1, pp. 36-55.

Dzerdzeyevskiy B.L. 1967. Sravneniye glavneyshikh zakonomernostey tsirkulyatsii atmosfery nad Severnym i Yuzhnym polushariyami [Comparison of the main patterns of atmospheric circulation over the Northern and Southern hemispheres]. *Informatsionnyy byulleten' Sovetskoy Antarkticheskoy ekspeditsii – Newsletter of the Soviet Antarctic Expedition*, no. 65, pp. 58-68. (Dzerdzeyevskiy B.L. 1975. *Izbrannyye trudy* [Selected Works]. Publishing House "Science", pp. 149-158).

Dzerdzeyevskiy B.L. 1968. Tsirkulyatsionnyye mekhanizmy v atmosfere severnogo polushariya v KHKH stoletii [Circulation mechanisms in the atmosphere of the northern hemisphere in the twentieth century]. *Materialy meteorologicheskikh issledovaniy – Materials of meteorological research*. Moscow, publishing house of the Academy of Sciences of the USSR and Mezhd. Geophys. Committee under the Presidium of the USSR Academy of Sciences, 240 p.

Dzerdzeyevskiy B.L. 1970. Sopostavleniye kharakteristik atmosfery nad severnym polushariem i yego sektorami [Comparison of atmospheric circulation characteristics over the northern hemisphere and its sectors]. *Materialy meteorologicheskikh issledovaniy – Materials of meteorological research*. Moscow, publishing house of the Academy of Sciences of the USSR and Mezhd. Geophys. Committee under the Presidium of the USSR Academy of Sciences, pp. 7-14.

Dzerdzeyevskiy B.L. 1975. *Izbrannyye trudy. Obshchaya tsirkulyatsiya atmosfery i klimat* [Selected Works. General atmospheric circulation and climate.] Moscow, Publishing House "Science", 288 p.

Dzerdzeyevskiy B.L., Kurganskaya V.M., Vitvitskaya Z.M. 1946. Tipizatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov v severnom polusharii i kharakteristika sinopticheskikh sezonov [Typification of circulation mechanisms in the northern hemisphere and characteristic of synoptic seasons]. *Trudy nauchnoissledovatel'skikh uchrezhdeniy Glavnogo upravleniya gidrometeorologicheskoy sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR, Ser. 2, Sinopticheskaya meteorologiya, Tsentral'nyy institut prognozov* [Proceedings of research institutions of the Main Directorate of Hydrometeorological Service under the Council of Ministers of the USSR, Ser. 2, Synoptic meteorology, Central Institute of Forecasts]. Moscow, Leingrad, Gidrometizdat, vol. 21, 80 p.

Kolebaniya tsirkulyatsii atmosfery Severnogo polushariya v KHKH – nachale XXI veka [Fluctuations in the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX – early XXI century]. URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru>.

Kononova N.K. Tipy global'noy tsirkulyatsii atmosfery: rezul'taty monitoringa i retrospektivnoy otsenki za 1899-2017 gg. [Types of global atmospheric circulation: monitoring and retrospective assessment results for 1899-2017]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and Applied Climatology*, doi: 10.21513/2410-8758-2018-3-108-123.

Serykh I.V. 2018. O dinamike i strukture global'noy atmosfernoy ostsillyatsii v klimaticheskikh modelyakh i v real'nosti [On the dynamics and structure of global atmospheric oscillations in climate models and in reality]. *Okeanologicheskiiye issledovaniya – Oceanological research*, vol. 46, no. 1, pp. 14-28.

Climatic Research Unit Data. Available at: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.

Dzerdzeevskii B. 1962. Fluctuations of Climate and of General Circulation of the Atmosphere in extra-tropical latitudes of the Northern Hemisphere and some problems of dynamic climatology. – *Tellus*, XIV, No. 3, pp. 328-336.

Huang W., Chen R., Wang B., Wright J.S., Yang Z., Ma W. 2016. Potential vorticity regimes over East Asia during winter. – *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 122, pp. 1524-1544.

IPCC 2013. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Scientific Basis. – Available at: <http://www.ipcc.ch> (accessed on 27 June 2019).

Kukoleva A.A., Kononova N.K., Krivolutsky 2018. Manifestation of the Solar Cycle in the Circulation Characteristics of the Lower Atmosphere in the Northern Hemisphere. – *Geomagnetizm i Aeronomiya*, vol. 58(6), pp. 808-817.

Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Y.G., Petin A.N., Solovyev A.B. 2016. Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and Southern Russia in the Early 21st Century. – *Adv. Meteorol.*, Article ID 5035086, 10 p. – Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5035086>.

Lebedeva M.G., Lupo A.R., Chendev Y.G., Krymskaya O.V., Solovyev A.B. 2019. Changes in the Atmospheric Circulation Conditions and Regional Climatic Characteristics in Two Remote Regions Since the Mid-20th Century. – *Atmosphere*, vol. 10(1), 11, doi:10.3390/atms10010011.

Lupo A.R., Jensen A.D., Mokhov I.I., Timazhev A.V., Eichler T., Efe B. 2019. Changes in Global Blocking Character in Recent Decades. – *Atmosphere*, vol. 10(2), 92, doi:10.3390/atmos10020092.