

Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А. И. Воейкова

Выпуск

576

*Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук В. М. Катцова,
д-ра физ.-мат. наук В. П. Мелешко*

Санкт-Петербург
2015

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7
Телефон: (812) 297-43-90
ФАКС: (812) 297-86-61
e-mail: director@main.mgo.rssi.ru
web site: <http://www.voeikovmgo.ru>

Редакционная коллегия

Д-р физ.-мат. наук В. М. Катцов, д-р физ.-мат. наук Е. Л. Генихович,
канд. физ.-мат. наук А. С. Зайцев, д-р физ.-мат. наук, профессор И. Л. Кароль,
д-р геогр. наук, профессор Н. В. Кобьшева, д-р физ.-мат. наук В. П. Мелешко,
д-р геогр. наук А. В. Мещерская, д-р физ.-мат. наук, профессор
О. М. Покровский, канд. физ.-мат. наук С. С. Чичерин,
канд. геогр. наук Е. Л. Махоткина (секретарь редколлегии)

В сборнике представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по актуальным проблемам изменения климата и прогноза погоды, атмосферной диффузии и мониторинга состояния атмосферы, климатологии, дистанционного зондирования атмосферы.

Сборник рассчитан на широкий круг научных работников и инженеров, интересующихся результатами современных исследований в области метеорологии и их практическим использованием.

Рекомендуется аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

В соответствии с решением Президиума высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory

Editorial board

Dr. V. M. Kattsov, Dr. E. L. Genihovich, Dr. A. S. Zaitsev, Dr. I. L. Karol,
Dr. N. V. Kobysheva, Dr. V. P. Meleshko, Dr. A. V. Mescherskaya,
Dr. O. M. Pokrovsky, Dr. S. S. Chicherin, Dr. E. L. Makhotkina
(Editorial board secretary)

The publication deals with the results of theoretical and experimental studies on the present-day problems of changes in climate and weather forecast, atmospheric diffusion and atmospheric air condition monitoring, climatology, remote sounding of the atmosphere.

The publication is meant for a wide circle of specialists interested in the results of meteorological science development and their practical application.

It is recommended for post-graduates and students in their third or fourth year of respective speciality.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»,
2015

СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, ПРИХОДЯЩАЯ НА ВЕРХНЮЮ ГРАНИЦУ АТМОСФЕРЫ, И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

В. М. Федоров¹, Н. К. Кононова²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

²Институт географии Российской Академии Наук
19017 Москва, Старомонетный переулок, 29
e-mail: ipyf@mail.ru
ninakononova@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.07.2014
Поступила после доработки 30.01.2015

Введение

Солнце является основным источником энергии атмосферных процессов (Воейков, 1903; Шулейкин, 1953; Кондратьев, 1965; Будыко, 1974; Манин, 1982). Отмечается, что неравномерность в приходе солнечной радиации на различные широты является основной причиной циркуляционных процессов в атмосфере (Кац, 1960; Лоренц, 1970; Пальмен, Ньютон, 1973; Погосян, 1976; Гилл, 1986). Однако несмотря на очевидную связь циркуляционных процессов с солнечной радиацией, детально она пока не исследована.

Схемы типизации атмосферных процессов представляют непрерывный процесс общей циркуляции атмосферы в виде чередования устойчивых многократно повторяющихся фрагментов — однородных процессов, охватывающих полушарие или значительные по площади регионы. Наибольшую известность в отечественной метеорологии получили типизации макромасштабных атмосферных процессов Вангенгейма — Гирса (Вангенгейм, 1935, 1952; Гирс, 1971,

1974) и Б. Л. Дзерdzeевского, В. М. Курганской, З. М. Витвицкой (Дзерdzeевский и др., 1946). В связи с четкостью формализации циркуляционных ситуаций, широкой пространственно-временной информативностью (разработана для всего Северного полушария, охватывает период с 1899 года по настоящее время) и общей доступностью Календаря последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) (<http://www.atmospheric-circulation.ru>; Кононова, 2009, 2014), в данной работе используется типизация Б. Л. Дзерdzeевского, В. М. Курганской, З. М. Витвицкой.

В качестве профилирующего признака в этой типизации принято соотношение зональной и меридиональной составляющих циркуляции над полушарием. Выделяется 13 основных типов ЭЦМ, а с учетом их разновидностей (выделяемых на основе сезонных или региональных различий) — 41 ЭЦМ. По характеру соотношения зонального и меридионального переносов во внетропических широтах Северного полушария ЭЦМ объединены в четыре группы: зональную (арктические вторжения — блокирующие процессы отсутствуют, 2 или 3 прорыва южных циклонов в разных секторах полушария, типы ЭЦМ 1 и 2); нарушения зональности (один блокирующий процесс на полушарии, от 1 до 3 прорывов южных циклонов, типы ЭЦМ 3—7); меридиональную северную (от 2 до 4 одновременных блокирующих процессов в разных секторах полушария, от 2 до 4 прорывов южных циклонов, типы ЭЦМ 8—12) и меридиональную южную (циклоническая циркуляция на полюсе, блокирующих процессов нет, от 2 до 4 прорывов южных циклонов, проникающих в Арктику, тип ЭЦМ 13).

Группы зональная и нарушения зональности отражают зональный перенос в атмосфере, группы меридиональная южная и меридиональная северная — меридиональный перенос воздушных масс.

Таким образом, в непрерывном циркуляционном процессе в атмосфере выделяются элементарные циркуляционные механизмы, группы циркуляции и циркуляционные сезоны (Дзерdzeевский, 1957), являющиеся основными структурными элементами рассматриваемой типизации. Время, частота проявления и продолжительность действия

тех или иных ЭЦМ отражают особенности общей циркуляции атмосферы, определяют характер погоды каждого конкретного места. Продолжительность действия групп циркуляции, характер соотношения зональных и меридиональных форм циркуляции являются важнейшими макроциркуляционными характеристиками климата при рассмотрении его многолетних изменений.

Вариации поступающей к Земле солнечной радиации определяются двумя основными причинами, имеющими различную физическую природу. Исследования вариаций солнечной радиации, связанной с изменением физической активности Солнца, имеют давнюю историю. Вопрос о существовании связи между изменением солнечной активности и климатом уже в течение продолжительного времени остается дискуссионным (Абдусаматов, 2009; Dergachev, 2009; Dudok de Wit, Watermann, 2010; Schurer et al., 2014). В этой работе изменение активности Солнца не учитывается.

Связанные с небесно-механическими процессами вариации солнечного потока (в формате представлений астрономической теории климата) исследуются на весьма продолжительных масштабах времени. При этом учитываются подверженные вековым возмущениям орбитальные элементы — долгота перигелия и эксцентриситет, а также наклон оси вращения Земли. Эти возмущения имеют весьма значительные по продолжительности периоды вариаций (Миланкович, 1939; Шараф, Будникова, 1968, Berger, Loutre, 1991; Монин, Шишков, 2000). Расчеты приходящей солнечной радиации в диапазоне периодических возмущений были начаты в Главной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова (Borisenkov et al., 1983, 1985). Однако дальнейшего развития эти исследования не получили.

Методика расчетов

По исходным данным астрономических эфемерид (JPL Planetary and Lunar Ephemerides) DE-405/406 (<http://ssd.jpl.nasa.gov>) рассчитывались значения приходящей солнечной радиации (при отсутствии атмосферы) за тропические годы, полугодия и сезоны года

в различные широтные зоны (протяженностью в 5° широты) земного эллипсоида в интервале от 3000 г. до н. э. до 2999 г. н. э. Точность эфемерид по расстоянию между Землей и Солнцем составляет 10^{-9} а. е. (или 0,1496 км), по времени 1 с (или 0,0000115 сут). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80) с длинами полуосей, равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). Расчеты производились с использованием ряда формул, среди которых основным было выражение:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left(\int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где I — проходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ — площадной множитель (м^2), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ — площадь бесконечно малой прямоугольной ячейки эллипсоида; α — часовой угол, φ — географическая широта, выраженные в радианах; H — высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м); (H, φ, t, α) — инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ($\text{Вт}/\text{м}^2$), t — время (с).

Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени 1/360 часть продолжительности тропического года. Значение солнечной постоянной принималось равным $1367 \text{ Вт}/\text{м}^2$. При расчетах учитывались изменения расстояния между Землей и Солнцем и продолжительности периода обращения Земли (продолжительности тропического года) в связи с периодическими возмущениями орбитального движения Земли (Федоров, 2013, 2014; Fedorov, 2012). Изменение активности Солнца при этом не учитывалось. По результатам расчетов для периода с 2950 г. до н. э. по 2950 г. н. э. была сформирована база данных проходящей (в отсутствии атмосферы) солнечной радиации в широтные зоны Земли (протяженностью в 5 градусов) с шагом по времени в 1/12 часть тропического года (<http://www.solar-climate.com>).

Результаты и их обсуждение

Полученные значения приходящей на поверхность земного эллипсоида в отсутствии атмосферы солнечной радиации сопоставлялись с продолжительностью действия групп циркуляции (Кононова, 2009; <http://www.atmospheric-circulation.ru>). Сравнение данных по продолжительности действия групп циркуляции и значений солнечной радиации, поступающей на поверхность земного эллипсоида в отсутствии атмосферы, проводилось на основе корреляционного анализа. Корреляционная связь исследовалась по рядам с постоянной продолжительностью в 100 лет (вековым интервалам) с последовательным смещением их (с шагом равным 1 году) от начала массива фактических данных (1899 г.) к настоящему времени (2013 г.). Таким образом, определялись значения коэффициента корреляции (R) для интервалов 1899—1998 гг., 1900—1999 гг. и т.д., всего для 16 вековых интервалов (рис. 1).

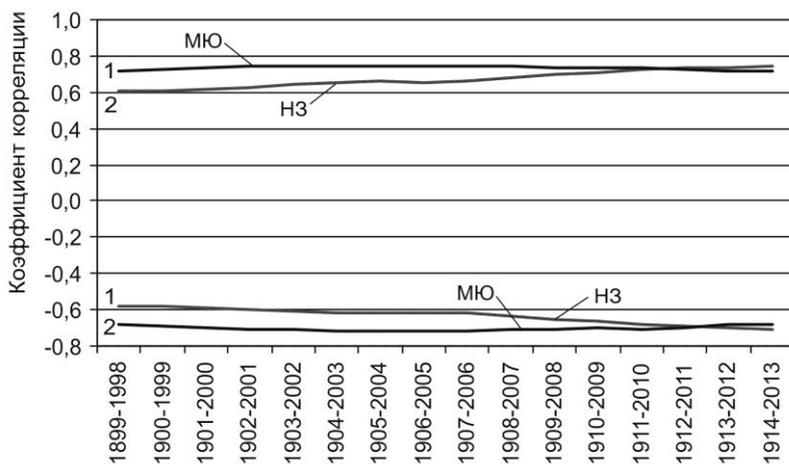


Рис. 1. Изменение коэффициента корреляции продолжительности групп циркуляции с разностью солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную области Северного полушария (1) и с приходящей в Северное полушарие солнечной радиацией (2) по вековым интервалам.

МЮ — группа меридиональной южной циркуляции, НЗ — группа нарушения зональности.

Оказалось, что достаточно высокая корреляция с приходящей солнечной радиацией и разностью приходящей в экваториальную и полярную область Северного полушария отмечается для двух групп циркуляции: меридиональной южной и нарушения зональности (рис. 1). Среднее значение R приходящей радиации с продолжительностью действия группы нарушения зональности (НЗ) составляет 0,673, с группой меридиональной южной циркуляции (МЮ) $-0,703$. Среднее значение R разности радиации, приходящей в экваториальную и полярную область (отражающие межширотный градиент солнечной радиации), с продолжительностью НЗ составляет $-0,635$, с продолжительностью МЮ 0,756. Таким образом, отклик продолжительности действия групп циркуляции НЗ и МЮ на приходящую солнечную радиацию (в отсутствии атмосферы) и на разность солнечной радиации, поступающей в экваториальную и полярную область Северного полушария Земли, противоположный. Учитывая, что приходящая солнечная радиация в современную эпоху сокращается, а разность солнечной радиации, поступающей в экваториальную и полярную область, увеличивается, можно сделать вывод о тенденциях продолжительности группы НЗ к сокращению, а группы МЮ — к увеличению (Федоров, 2014).

Как следует из графиков (рис. 1), в массиве выделяются вековые интервалы с 1911—2010 гг. и т. д. до 1914—2013 гг. (всего 4 интервала), на которых значения R становятся для группы НЗ высокими и весьма близкими (табл. 1). Изменения R по этим 4-м вековым интервалам составляют для группы НЗ 1,09 % (приходящая радиация) и 1,31 % (разность), для группы МЮ 1,25 % и 1,03 % соответственно. Эти (достоверные) вековые интервалы приняты за основу для составления уравнений линейной регрессии.

На основе уравнений регрессии, полученных для достоверных вековых интервалов, для групп циркуляции МЮ и НЗ были рассчитаны соответствующие значения радиации значения продолжительности групп на период с 1850 по 2050 гг. (рис. 2). В первом столбце таблицы приведена корреляция с приходящей солнечной радиацией, во втором — с разностью солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную области.

Таблица 1

Средние значения коэффициента корреляции солнечной радиации и продолжительности групп циркуляции (вероятность 0,99)

Корреляция	НЗ		МЮ	
По всему ряду (1899—2013 гг.)	0,712	-0,682	-0,718	0,747
Среднее по вековым интервалам	0,673	-0,635	-0,703	0,756
Среднее по достоверным вековым интервалам	0,736	-0,694	-0,693	0,754

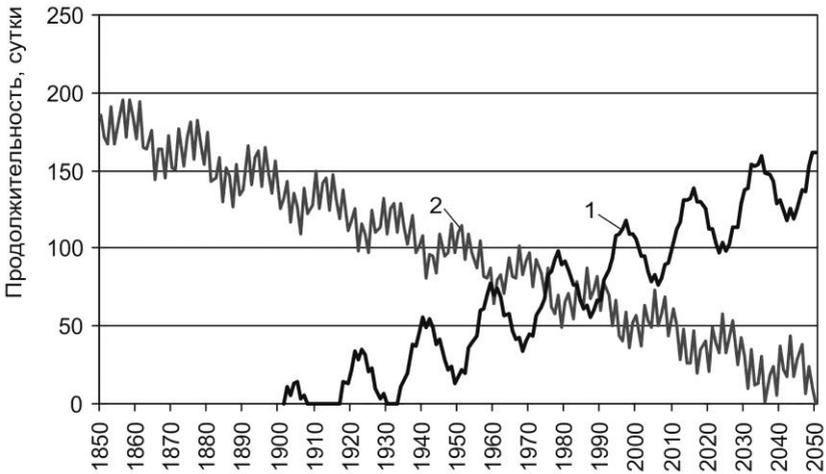


Рис. 2. Распределение рассчитанных значений продолжительности групп циркуляции для Северного полушария.

1 — МЮ, 2 — НЗ.

Полученные распределения отражают вековые тенденции изменения продолжительности действия групп циркуляции, определяемые сочетанием прецессионного (приблизительно 25,7 тыс. лет) и нутационного (19-летнего) циклов, регулирующих поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы (Федоров, 2012, 2013, 2014). Все рассчитанные значения продолжительности действия групп циркуляции характеризуются высокими значениями R с фактическими значениями продолжительности (за период с 1899 по

2013 г.). Значение R составляет для группы МЮ 0,747 (для всех достоверных вековых интервалов), для группы НЗ – 0,715.

Детальное сравнение рассчитанных значений продолжительности групп циркуляции с фактическими значениями (рис. 3, 4) проводилось для периода, обеспеченного фактическими данными, представленными в Календаре последовательной смены ЭЦМ за 1899—2013 г. (www.atmospheric-circulation.ru).

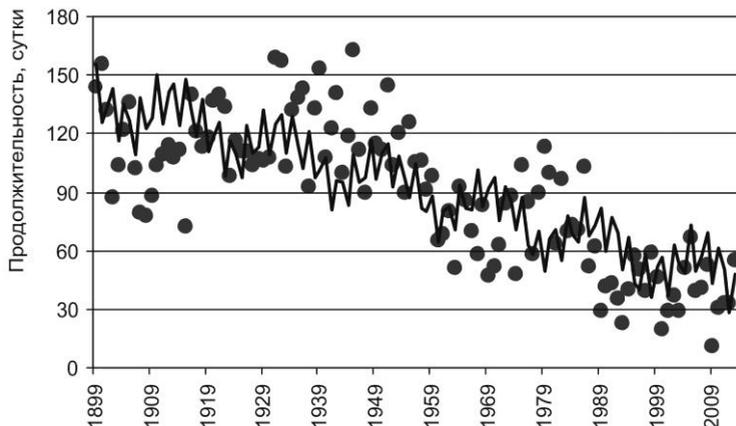


Рис. 3. Распределение фактических (точки) и рассчитанных значений продолжительности группы нарушения зональности.

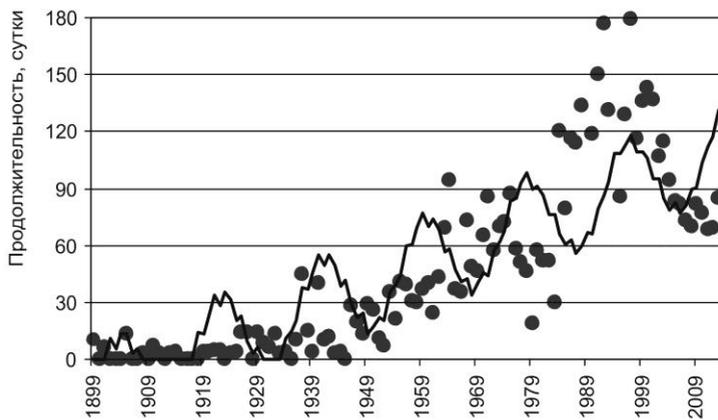


Рис. 4. Распределение фактических (точки) и рассчитанных значений продолжительности группы меридиональной южной циркуляции.

Средняя величина продолжительности (для этого периода) по фактическим данным для группы меридиональной южной циркуляции составляет 47,2 суток, по рассчитанным данным — 48,5. Для группы нарушения зональности — 89,5 и 91,9 суток соответственно.

Среднее по модулю расхождение между фактическими и рассчитанными значениями продолжительности на интервале с 1899 по 2013 гг. составляет для группы МЮ — 23,1 суток, для группы НЗ — 20,4 суток. Это составляет 49,0 % и 22,8 % от соответствующих среднегодовых значений продолжительности по фактическим данным.

Также проводились расчеты на основе уравнения регрессии в виде полинома второй степени. Корреляция рассчитанных и фактических значений продолжительности в вековых интервалах для группы МЮ — 0,744, для группы НЗ — 0,742. Сравнение рассчитанных данных с фактическими данными на интервале с 1899 по 2013 гг. в этом случае показывает, что аппроксимация существенно не отличается от линейной (разница существенна на интервалах прогноза и реконструкции). Так, среднегодовое значение по расчетным данным для продолжительности группы меридиональной южной циркуляции составило 48,1 суток (при среднегодовой продолжительности по фактическому ряду 47,2 суток), для группы нарушения зональности — 90,8 суток (89,5). Среднегодовое значение расхождения составляет для группы меридиональной южной циркуляции — 23,0 суток, для группы нарушения зональности — 19,8 суток. Это 48,8 % и 22,1 % от среднегодовой продолжительности соответствующих фактических рядов.

В случае линейной зависимости продолжительность действия группы меридиональной южной циркуляции может в 2050 году составить около 160 суток, а продолжительность действия группы нарушения зональности сократиться до значений, близких к нулевым. В случае квадратичной связи продолжительность группы МЮ циркуляции может увеличиться приблизительно до 234 суток, а группа НЗ не будет проявляться в циркуляционных процессах (рис.5). По отношению к 2013 году в случае линейной связи с солнечной радиацией увеличение продолжительности действия группы МЮ

циркуляции составит 90,6 %, в случае квадратичной связи — 175,9 %. Продолжительность действия группы НЗ в обоих случаях сократится на 100 %.

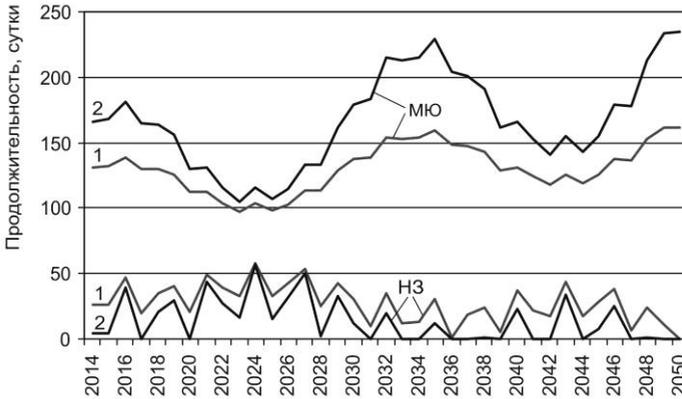


Рис. 5. Распределение значений продолжительности групп циркуляции в интервале с 2014 по 2050 гг.

1 — по линейному уравнению регрессии 2 — по полиному 2-й степени.

Также на вековых интервалах исследовалась связь продолжительности зональной (З+НЗ) и меридиональной (МС+МЮ) циркуляции. Соотношение продолжительности этих форм циркуляции составляет основной принцип типизации циркуляционных процессов в атмосфере (Дзердзеевский и др., 1946; Дзердзеевский, 1954, 1968). Продолжительность зональной и меридиональной циркуляции сопоставлялась с приходящей (в отсутствии атмосферы) солнечной радиацией и разностью солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную область Северного полушария. Значения R продолжительности меридиональной циркуляции (МС+МЮ) с разностью положительные, с приходящей радиацией отрицательные. По всему массиву данных (с 1899 по 2013 гг.) среднее значение R составляет 0,627, с приходящей радиацией $-0,665$ (рис. 6). Значения R продолжительности зональной циркуляции (З+НЗ) по всему массиву, наоборот, с приходящей радиацией положительные (среднее равно 0,631), с разностью — отрицательные (среднее составляет $-0,593$).

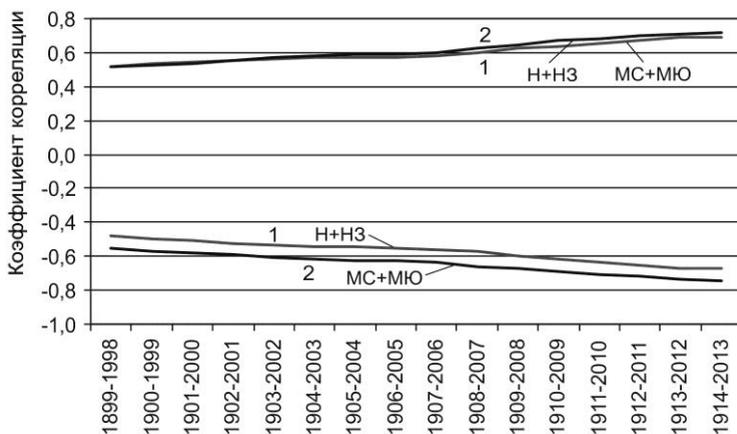


Рис. 6. Распределение значений коэффициента корреляции продолжительности групп циркуляции с разностью солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную область Северного полушария (1) и с приходящей в Северное полушарие солнечной радиацией (2) по вековым интервалам.

МЮ+МС — меридиональная циркуляция,
З+НЗ — зональная циркуляция.

Среднее значение R по всем вековым интервалам для продолжительности меридиональной циркуляции и приходящей радиации составляет $-0,645$. Для продолжительности зональной циркуляции и приходящей солнечной радиации среднее значение по всем вековым интервалам положительное и составляет $0,614$. Для достоверных интервалов значения R возрастают до $-0,725$ и $0,703$ соответственно. По уравнениям регрессии для 4-х достоверных вековых (1911—2010 и т.д. до 1914—2013) интервалов были рассчитаны значения продолжительности зональной и меридиональной циркуляции для интервала с 1850 по 2050 гг. Значения R фактических величин продолжительности с рассчитанными по всему массиву данных с 1899 по 2013 составила для меридиональной циркуляции (МС+МЮ) — $0,682$, для зональной

циркуляции (З+НЗ) — 0,650. Распределение рассчитанных значений представлено на рис. 7.

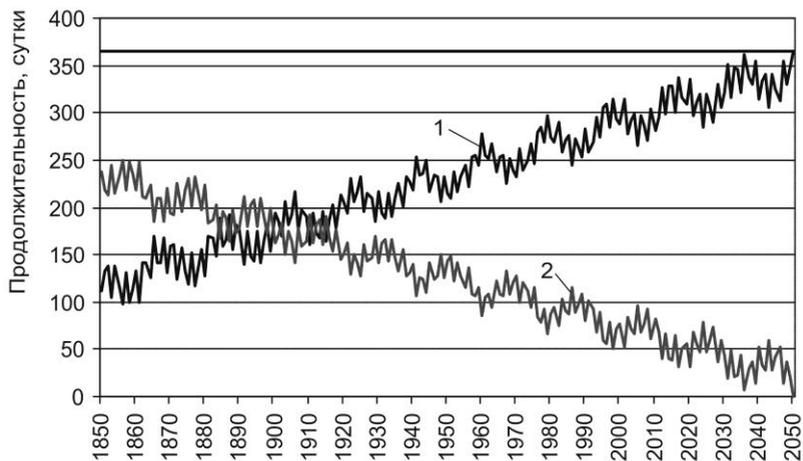


Рис. 7. Распределение продолжительности меридиональной (МС+МЮ) — 1 и зональной (З+НЗ) — 2 циркуляции.
Горизонтальная линия — продолжительность года.

Сравнение фактических и расчетных значений (рис. 8, 9) также проводилось на интервале с 1899 по 2013 гг. (обеспеченном фактическими данными). Среднегодовое значение продолжительности меридиональной циркуляции (МС+МЮ) на этом интервале составляет 244,1 суток по фактическим значениям и 239,3 суток — по рассчитанным значениям. Для продолжительности зональной циркуляции (З+НЗ) эти значения равны 115,6 суток и 120,4 суток соответственно. Среднегодовое расхождение фактических и рассчитанных значений продолжительности для меридиональной циркуляции характеризуется значением в 28,3 суток, для зональной циркуляции в 27,9 суток. Это составляет 11,6 % от среднегодовой продолжительности меридиональной циркуляции и 24,1 % от среднегодовой продолжительности зональной циркуляции. Расхождения продолжительности меридиональной и зональной циркуляции характеризуются значением R равным $-0,98$.

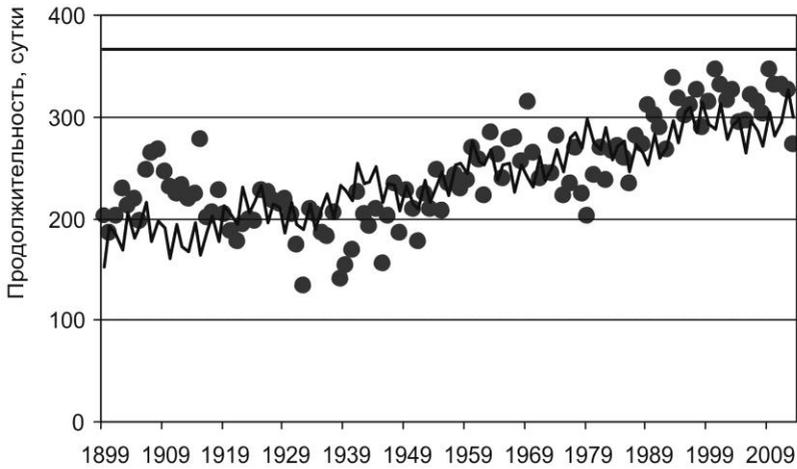


Рис. 8. Распределение фактических (точки) и рассчитанных (ломаная линия) значений продолжительности меридиональной циркуляции в Северном полушарии.

Горизонтальная линия — продолжительность года.

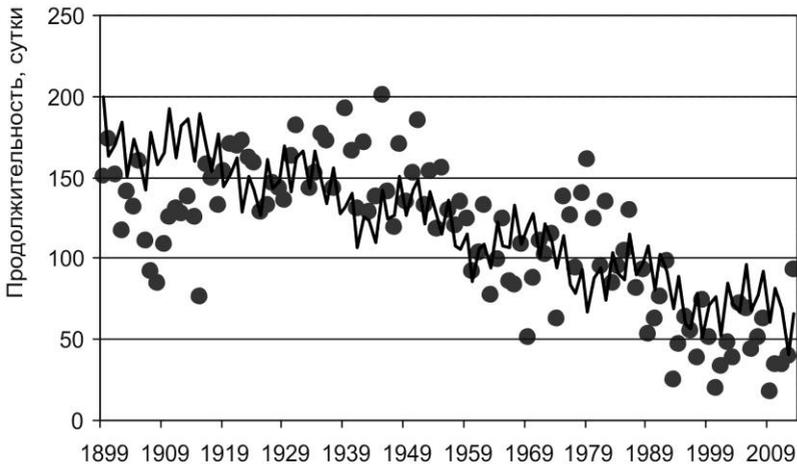


Рис. 9. Распределение фактических (точки) и рассчитанных (ломаная линия) значений продолжительности зональной циркуляции в Северном полушарии.

Также выполнялись расчеты продолжительности циркуляции на основе уравнения регрессии в виде полинома второй степени. Среднегодовые значения для рассчитанных величин продолжительности меридиональной циркуляции оказались равными 241,8 суток (фактические 244,1), для зональной циркуляции 118,1 суток (фактические 115,5). Значение R рассчитанных значений продолжительности с фактическими значениями для меридиональной циркуляции составило 0,741, для зональной циркуляции 0,712. Среднегодовое расхождение фактических и рассчитанных значений продолжительности меридиональной циркуляции характеризуется величиной 25,5 суток, зональной — 25,1 суток, что составляет 10,4 % и 21,7 % от соответствующей среднегодовой продолжительности циркуляции.

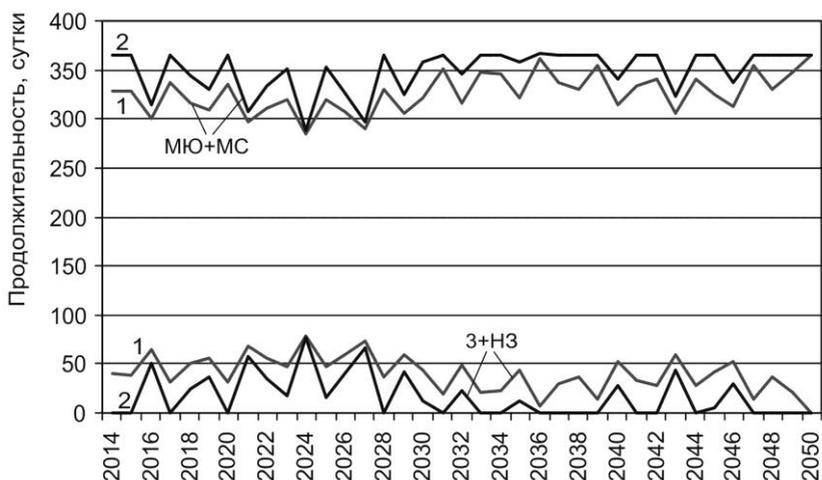


Рис. 10. Распределение продолжительности меридиональной и зональной циркуляции в интервале с 2014 по 2050 гг.

1 — по линейному уравнению регрессии 2 — по полиному 2-й степени.

Рассчитанные на период с 2014 по 2050 гг. значения продолжительности зональной и меридиональной циркуляции показывают, что меридиональная циркуляция будет существенно преобладать над зональной циркуляцией в общей циркуляции

атмосферы. Минимальная продолжительность меридиональной циркуляции на этом интервале ожидается близкой к 280 суткам, а максимальная продолжительность зональной составит около 75 суток. В интервале от 2020 до 2030 гг. ожидается некоторое увеличение продолжительности зональной циркуляции и сокращение меридиональной (рис. 10).

Заключение

Определена связь приходящей солнечной радиации и разности солнечной радиации приходящей в экваториальную и полярную области Северного полушария Земли (в отсутствии атмосферы) с продолжительностью зональной (З+НЗ) и меридиональной (МС+МЮ) циркуляции, соотношение которых является профилирующим признаком в типизации Б. Л. Дзердзеевского.

Определена связь приходящей солнечной радиации и разности солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную области Северного полушария Земли (в отсутствии атмосферы), с продолжительностью отдельных групп циркуляции (меридиональной южной и нарушения зональности).

Определен различный характер отклика продолжительности зональной и меридиональной циркуляции и отдельных групп циркуляции (меридиональной южной и нарушения зональности) на изменение значений приходящей солнечной радиации и разности солнечной радиации, поступающей в экваториальную и полярную область Северного полушария.

Созданы основы для прогноза продолжительности зональной и меридиональной циркуляции и отдельных групп циркуляции (меридиональной южной и нарушения зональности) в Северном полушарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдусаматов Х. И. (2009). Солнце диктует климат Земли. — СПб.: Логос. 197 с.

Будыко М. И. (1974). Изменение климата. — Л.: Гидрометеиздат. 280 с.

Вангейгем Г. Я. (1935). Опыт применения синоптических карт к

изучению характеристик климата. — Л.: Гидрометеиздат. 125 с.

Вангенгейм Г. Я. (1952). Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. Т. 34. 314 с.

Воейков А. И. (1903). Метеорология. — СПб.: Издание картографического заведения А. Ильина. 780 с.

Гилл А. (1986). Динамика атмосферы и океана. — М.: Мир. Т. 1. 398 с.

Гирс А. А. (1971). Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат. 280 с.

Гирс А. А. (1974). Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат. 488 с.

Дзержевский Б. Л. (1957). Циркуляционные схемы сезонов года в северном полушарии // Известия АН СССР. Серия географическая. № 1. с. 36 — 55.

Дзержевский Б. Л. (1968). Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии / Материалы метеорологических исследований. Изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. — М. 240 с.

Дзержевский Б. Л. (1975). Общая циркуляция атмосферы и климат. — М.: Наука. 288 с.

Дзержевский Б. Л., Курганская В. М., Витвицкая З. М. (1946). Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. // Труды н.-и. учреждений Гл. упр. Гидрометеорол. Службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. Вып. 21. ЦИП. — М., Л.: Гидрометиздат. 80 с.

Дзержевский Б. Л., Монин А. С. (1954). Типовые схемы общей циркуляции атмосферы в Северном полушарии и индекс циркуляции // Известия АН СССР. Серия геофизика. № 6. С. 562—574.

Кац А. Л. (1960). Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат. 270 с.

Кондратьев К. Я. (1965). Актинометрия. — Л.: Гидрометеиздат. 692 с.

Кононова Н. К. (2009). Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзержевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. — М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.

Кононова Н. К. (2014). Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX — начале XXI века и их отражение в климате // Междисциплинарный научный журнал Сложные системы. № 2 (11). С. 13—41.

Лоренц Э. Н. (1970). Природа и теория общей циркуляции атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат. 260 с.

Миланкович М. (1939). Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. — М.–Л.: ГОНТИ. 208 с.

Монин А. С. (1982). Введение в теорию климата. — Л.: Гидрометеиздат. 246 с.

Монин А. С., Шишков Ю. А. (2000). Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук. Т. 170. № 4. С. 419—445.

Пальмен Э. Ньютон Ч. (1973). Циркуляционные системы атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат. 616 с.

Погосян Х. П. (1976). Циклоны. — Л.: Гидрометеиздат. 148 с.

Федоров В. М. (2012). Теоретический расчет межгодовой изменчивости солнечной постоянной // Астрономический вестник. Т. 46. № 2. С. 184—189.

Федоров В. М. (2013). Межгодовые вариации продолжительности тропического года // Доклады РАН. Т. 451. № 1. С. 95—97.

Федоров В. М. (2014). Периодические возмущения и малые вариации солярного климата Земли // Доклады РАН, Т. 457. № 2. С. 222—225.

Шараф Ш. Г., Будникова Н. А. (1968). Колебания солнечного облучения Земли, вызванные вековыми изменениями элементов земной орбиты // ДАН СССР. Т. 182. № 2. С. 291—293.

Шулейкин В. В. (1953). Физика моря. — М.: АН СССР, 990 с.

Berger A., Loutre M. F. (1991). Insolation values for the climate of the last 10 million years? // Quatern. Sci. Rev. V. 10. P. 297—317.

Borisenkov; E. P., Tsvetkov A.V., Agaponov S.V. (1983). On some characteristics of insolation changes in the past and the future // Climatic Change. № 5. P. 237—244.

Borisenkov E. P., Tsvetkov A. V., Eddy J. A. (1985). Combined Effects of Earth Orbit Perturbations and Solar Activity on Terrestrial Insolation. Part 1: Sample Days and Annual Mean Values // Journal of the atmospheric sciences. V. 42. № 9. P. 933—940.

Dergachev V.A. (2009). Cosmogenic radionuclides ^{14}C and ^{10}Be : solar activity

and climate // Bull. of the Russian Academy of Sciences. Physics. V.73. № 3. P. 381—383.

Dudok de Wit T., Watermann J. (2010) Solar forcing of the terrestrial atmosphere // *Geoscience*. V. 342. P. 259—272.

Fedorov V.M. (2012). Interannual Variability of the Solar Constant // *Solar System Research*. V. 46. № 2. P. 170 —176

<http://www.atmospheric-circulation.ru> — Кононова Н .К. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX — начале XXI вв. — Электронный ресурс.

<http://ssd.jpl.nasa.gov> — NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.

<http://www.solar-climate.com> — Федоров В. М. Исследования солярного климата Земли. — Электронный ресурс.

Schurer A., Tett S. F. B., Hegerl G. C. (2014). Small influence of solar variability on climate over the past millennium // *Nature Geoscience*. V. 7. P. 104—108.

УДК 551.513.2

Солнечная радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы, и изменчивость циркуляционных процессов в Северном полушарии.
Фёдоров В. М., Кононова Н. К. Труды ГГО. 2015. Вып. 576. С. 183—200.

Проанализирована связь продолжительности зональной и меридиональной циркуляции атмосферы Северного полушария в типизации Б.Л. Дзердзеевского с вариациями солнечной радиации. Выявлена тенденция увеличения продолжительности меридиональной циркуляции (и меридиональной южной группы) и сокращения продолжительности зональной циркуляции (и группы нарушения зональности) в период с 1850 по 2013 гг. Проведенные расчёты позволяют оценить тенденцию изменения продолжительности составляющих циркуляции атмосферы с 2014 по 2050 гг.

Ключевые слова: солнечная радиация, циркуляционные процессы в атмосфере, типизация, группы циркуляции, зональная и меридиональная циркуляция.

Табл. 1. Ил. 10. Библ. 34.

Solar radiation at the top of the atmosphere and the variability of atmospheric processes in the Northern Hemisphere. Fedorov V. M., Kononova N. K. Proceedings of MGO 2015. V. 576. P. 183—200.

The relation between the duration of the zonal and meridional atmospheric circulation over Northern Hemisphere in classification by BL Dzerdzeevskii with variations of solar radiation was analyzed. The tendency of increasing the total duration of the meridional circulation (and the southern meridional group) and decreasing the total duration of the zonal circulation (and disturbance of zonal group) in the atmosphere of the Northern Hemisphere during the period from 1850 to 2013 was identified. The calculations allow us to estimate the trend in the duration of the components of atmospheric circulation from 2014 to 2050.

Keywords: solar radiation, circulation processes in the atmosphere, classification, circulation groups, zonal and meridional circulation.

Tab. 1. Fig. 10. Ref. 34.