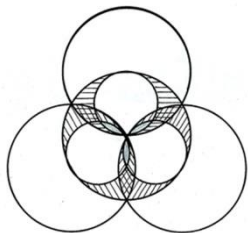


УДК 551.513.2



ШИРОТНЫЕ СООТВЕТСТВИЯ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРИХОДЯЩЕЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Федоров В.М. (к. геогр. н.)

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, РФ

fedorov.msu@mail.ru

Аннотация. Определены пространственные соответствия в широтной локализации особенностей распределения приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации и особенностей общей циркуляции атмосферы: средних положений экваториальной депрессии, субтропических зон высокого и субполярных зон низкого давления, полярных фронтов, умеренных и тропических воздушных масс. Причины найденных широтных соответствий определяются особенностями в распределении приходящей солнечной радиации, связанными с формой Земли, наклоном оси ее вращения и возмущенным орбитальным движением.

Ключевые слова: общая циркуляция атмосферы, солнечная радиация, экваториальная депрессия, полярные фронты, зоны высокого и низкого давления, географические соответствия.

ВВЕДЕНИЕ

Климатическая система является сложной многокомпонентной системой, важнейшими характеристиками которой являются температурный режим, атмосферные осадки и циркуляционные процессы в атмосфере. Солнце является основным источником энергии атмосферных процессов. Приходящая к Земле солнечная радиация определяет зональность в распределении среднеширотных температур как в приземном слое атмосферы, так и в поверхностном слое океана. Пространственная и временная неоднородность в распределении приходящей радиации является основной причиной циркуляционных процессов в атмосфере и особенностей общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Важнейшей особенностью общей циркуляции атмосферы является широтная локализация климатологических полярных фронтов (разделяющих умеренные и тропические воздушные массы), экваториальной депрессии (и внутритропической зоны конвергенции – ВЗК), субтропических зон высокого и субполярных зон низкого давления [3, 6, 7, 9, 10, 14, 15, 23 – 26].

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ

По данным астрономических эфемерид (JPL Planetary and Lunar Ephemerides) DE-405/406 [34] 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 – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (m^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); $\Lambda(H, \varphi, t, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ($Вт/м^2$), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года. 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 [18 – 22, 28 – 30]. На основе полученных данных была создана база радиационных данных и определены характеристики годовой, сезонной (по полугодиям) и межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации по 5-градусным широтным зонам [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Годовая солнечная радиация. Максимальные значения в осредненном по 5-градусным широтным зонам распределении приходящей за тропический год на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации характерны для экваториальных зон ($0^\circ \pm 5^\circ$), где они составляют $1,31E+10$ Дж/ m^2 (рис. 1). Минимальные значения отмечаются в полярных широтных зонах – $5,54E+09$ Дж/ m^2 . Средняя для широтной зоны величина приходящей за тропический год солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы равна $9,47E+09$ Дж/ m^2 .

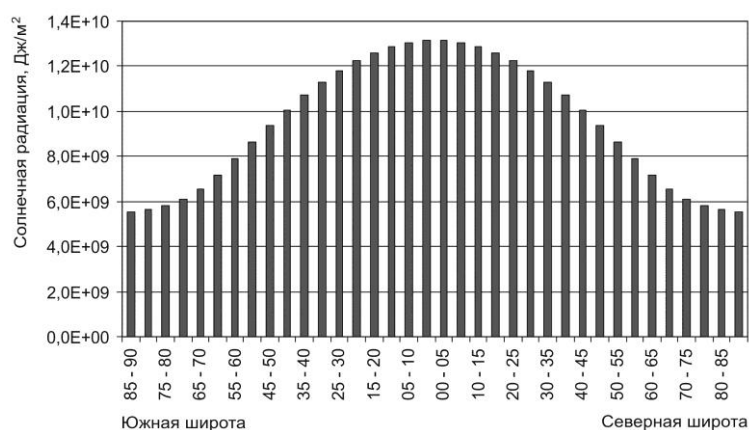


Рис. 1. Зонально осредненное распределение приходящей за тропический год солнечной радиации, Дж/ m^2 .

Полученным характером распределения приходящей за год солнечной радиации определяется симметрия средней структуры атмосферы (осредненный меридиональный разрез) относительно экваториальной плоскости [12]. Сезонная и межгодовая изменчивость существенно изменяют полученную картину годового распределения. Характер распределения приходящей радиации по отношению к средне зональной величине радиации ($9,47E+09$ Дж/м²) представлен на рис. 2.

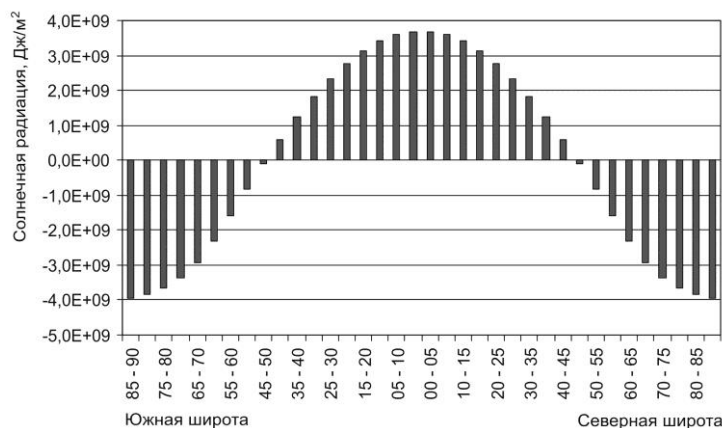


Рис. 2. Отклонение от среднего для широтной зоны значения приходящей радиации, Дж/м².

Из полученного распределения видно, что от широтных зон 45° – 50° в каждом полушарии к полюсам отмечаются отрицательные отклонения, в широтном диапазоне от 40° - 45° с.ш – до 40° – 45° ю.ш. – положительные отклонения от среднего. Характер распределения приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации определяет географическое положение глобальных источников и стоков тепла [2]. Отражением полученного характера распределения приходящей радиации относительно среднего значения является распределение средне зонального потока энергии в атмосфере [8; 11].

Из приведенных графиков (рис. 1 и 2) следует, что максимальные значения приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации приходится на широтный диапазон от 5° с.ш. до 5° ю.ш. Известно, что с этим широтным диапазоном связано среднее положение экваториальной депрессии и ВЗК. В зонах 45° – 50° широты отмечается смена знака отклонения приходящей радиации от среднего, т.е. они отделяют области с различными по знаку отклонениями от среднего. Приблизительно с этими широтами связана географическая локализация климатологических полярных фронтов (и соответствующих фронтальных зон и струйных течений). Области полярнофронтальных возмущений являются одними из источников генерации энергии атмосферных процессов [12; 15; 23].

На основе среднеширотных значений (рис. 1) были выполнены приблизительные расчеты межширотного градиента, приходящей на верхнюю границу атмосферы, солнечной радиации (рис. 3).

Значения межширотного градиента рассчитывались последовательным встречным вычитанием. Так, значения солнечной радиации, приходящей в полярные

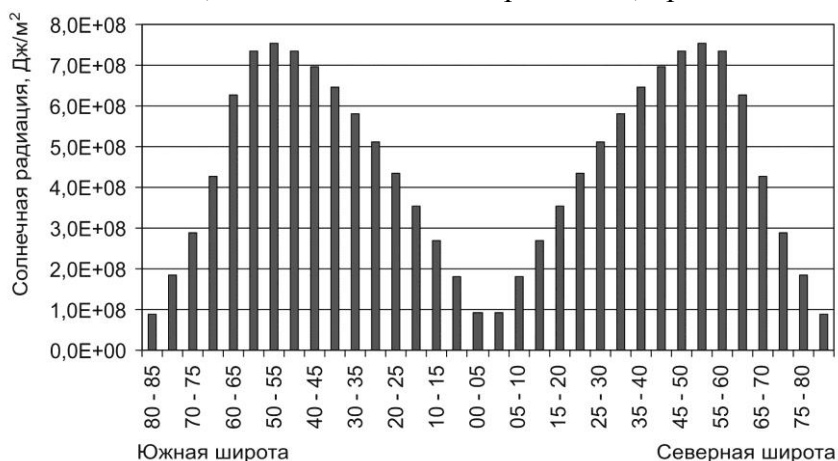


Рис. 3. Распределение межширотного градиента приходящей солнечной радиации, Дж/м².

зоны (85° – 90°), вычиталось из значений соответствующих соседних зон (80° – 85°). Затем значения зон (80° – 85°) также вычитались из соответствующих соседних зон (75° – 80°) и т.д., до соответствующих экваториальных зон (0° – 5°). Полученная широтная структура градиента приходящей солнечной радиации (и связанного с ней тепла) характеризуется наличием двух максимумов в зонах 50° – 55° градусов каждого полушария и трех минимумов. Один минимум локализован в экваториальной области от 5° с.ш. до 5° ю.ш., два других минимума отмечаются в полярных зонах 85° – 90° каждого полушария. При этом уменьшение градиента в направлении от максимумов в сторону полюсов происходит более интенсивно, чем уменьшение в направлении от максимумов к экватору. Значение градиента в экваториальной зоне минимумов (5° с.ш. – 5° ю.ш.) составляет 9,09E+07 Дж/м². Приблизительно такая же величина межширотного градиента отмечается для полярных зон (85° – 90°) – 8,93E+07 Дж/м². Максимальное значение (характерное для широтных зон 50° – 55° широты в каждом полушарии) составляет приблизительно 7,54E+08 Дж/м². Следует отметить (рис. 3), что области, в которых значения межширотного градиента превышают 5,50E+08 Дж/м², соответствуют западному переносу, а области с меньшими значениями – восточному [4; 7; 12].

Сравнение полученного характера распределения межширотного градиента приходящей солнечной радиации с широтными особенностями ОЦА показывает, что с максимальными (по модулю) значениями межширотного градиента в приходящей за тропический год солнечной радиации, связана географическая локализация климатологических полярных фронтов, а с минимальными – среднее географическое положение экваториальной депрессии и ВЗК (табл. 1).

Таким образом, причина географической локализации экваториальной депрессии, ВЗК, полярных фронтов, полярных и тропических воздушных масс связана

с формой Земли, определяющей особенности широтного распределения приходящей на верхнюю границу атмосферы за тропический год солнечной радиации.

Таблица 1. Соответствие в географической локализации особенностей распределения приходящей за тропический год на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации и особенностей общей циркуляции атмосферы.

№	Годовая солнечная радиация	Общая циркуляция атмосферы	Географическая широта, град.
1	Диапазон максимальных значений приходящей солнечной радиации	Экваториальная депрессия, ВЗК	5 с.ш. – 5 ю.ш.
2	Диапазон минимальных значений межширотного градиента	Экваториальная депрессия, ВЗК	5 с.ш. – 5 ю.ш.
3	Диапазоны максимальных значений межширотного градиента	Климатологические полярные фронты	50 – 55 с.ш., 50 – 55 ю.ш.
4	Диапазон положительных значений отклонения от среднего годового значения радиации	Тропические воздушные массы	45 с.ш. – 45 ю.ш.
5	Диапазоны отрицательных значений отклонения от среднего годового значения радиации	Полярные воздушные массы	45 – 90 с.ш., 45 – 90 ю.ш.

Примечание: пространственная локализация особенностей ОЦА в табл. 1 – 3 указана по опубликованным данным [4, 7, 12, 14, 15, 25].

2. Сезонная солнечная радиация. Среди особенностей ОЦА так же выделяются субтропические области высокого и субполярные области низкого давления. Причины образования этих зон связываются с особенностями циклонической деятельности [5, 6, 24, 25]. Считается, что подвижные антициклоны, возникающие на полярном фронте, при движении с запада на восток, смещаются в более низкие широты, где они усиливаются и образуют в каждой полушарии субтропическую зону высокого давления с осью около 35° широты [15, 24]. Циклоны, возникающие в тех же средних широтах у восточных берегов материков, при движении к востоку, отклоняются к более высоким широтам и, локализуясь там, образуя в каждой полушарии область низкого давления в зоне 60° – 65° градусов широты. Отмечаемые траектории движения циклонов и антициклонов объясняются изменением отклоняющей силы вращения Земли с широтой. Вывод о том, что движущиеся циклоны вследствие увеличения с широтой параметра Кориолиса получают ускорение в направлении более высоких широт, а антициклоны – к экватору получен Россби [32] и

Широтные соответствия в распределении приходящей солнечной радиации...

подтвержден дальнейшими исследованиями [13, 15]. В середине прошлого столетия также предпринимались попытки связать локализацию субтропической области высокого давления с радиационным и тепловым балансом атмосферы на основе анализа карт радиационного баланса и движения воздуха на высотах [17]. Однако, как будет показано ниже, первопричины географической локализации зон высокого и низкого давления имеют более сложную физическую природу, связанную главным образом с особенностями сезонного распределения приходящей солнечной радиации. Рассчитанные нами значения солнечной радиации приходящей на верхнюю границу атмосферы за полугодия графически представлены на рис. 4.

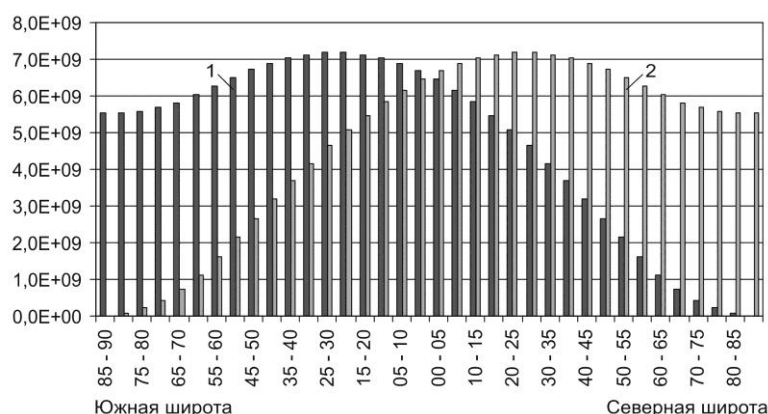


Рис 4. Распределение солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы в различные полугодия (1 – зимнее полугодие в Северном полушарии, 2 – летнее полугодие в Северном полушарии), Дж/м².

Максимальное поступление солнечной радиации отмечается в зимнее для северного полушария полугодие в диапазоне 20° – 30° ю.ш., в летнее для северного полушария полугодие в диапазоне 20° – 30° с.ш. Поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы в этих широтных зонах составляет 7,18E+09 Дж/м². На основе полученных среднеширотных значений солнечной радиации рассчитывалось отклонение от средней для широтной зоны величины (рис. 5).

В зимнее для северного полушария полугодие в широтной области, расположенной выше 25° – 30° с.ш., отмечаются отрицательные отклонения от среднего. В летнее для северного полушария полугодие отрицательные значения характерны для зоны 25° – 30° ю.ш. и более высоких широтных зон этого полушария. Таким образом, в летнее для полушария полугодие с широты приблизительно около 25° зимнего полушария происходит смена знака отклонения от среднего в сезонном распределении приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации по широтам. В зимнее полугодие для полушария смена знака приходится на широтную зону 25° – 30° этого зимнего полушария. То есть, широтные зоны 25° – 30° широты отражают сезонную смену в широтной локализации областей источников и стоков тепла, связанного с приходящей солнечной радиацией.

Зоны перекрытия, как следует из графика (рис. 5), отражают сезонную смену в поступлении радиации при сохранении положительных значений отклонения от среднего в зимний и летний сезоны. Этот широтный диапазон (от 25° – 30° с.ш. до 25° – 30° ю.ш.) приблизительно соответствует географическому положению циркуляционных ячеек Хэдли (Hadley), представляющими собой соленоидально

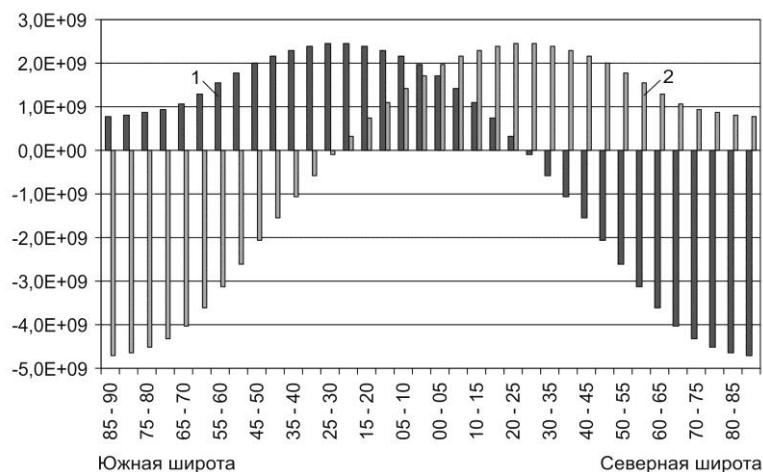


Рис. 5. Отклонение приходящей радиации от среднего для полугодий (1 – зимнее полугодие в Северном полушарии, 2 – летнее полугодие в Северном полушарии), Дж/м².

прямые циркуляции [4, 7, 12]. Ячейки Хэдли, рассматриваемые как средние циркуляции, представляют собой сравнительно простые тепловые машины [12]. И, исходя из полученного распределения, функционирование этих тепловых машин связано с сезонными изменениями в поступлении солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы. По результатам распределения сезонного прихода солнечной радиации рассчитывались межширотные градиенты ее изменчивости (рис. 6).

В этом случае градиент рассчитывался последовательным вычитанием. Для расчета межширотного градиента зимнего в северном полушарии полугодия из значения радиации в южной полярной зоне 85° – 90° ю.ш. вычиталось значение радиации в зоне 80° – 85° ю.ш., затем из значения радиации зоны 80° – 85° ю.ш. вычиталось значение радиации в зоне 75° – 80° ю.ш. и т.д. до северной полярной зоны. Для летнего в северном полушарии полугодия из значения радиации в северной полярной зоне 85° – 90° с.ш. вычиталось значение соседней зоны 80° – 85° с.ш. и т.д., до южной полярной зоны.

Из полученного распределения видно, что максимальные значения межширотного градиента связаны с летними для полушарий полугодиями и локализируются в зоне 60° – 65° летнего полушария. Величина градиента в этом случае составляет $-2,5E+08$ Дж/м². Максимальные градиенты связаны с зимними сезонами и широтными зонами 45° – 50° зимнего полушария. Величина межширотного градиента определяется значением $5,22E+08$ Дж/м² (рис. 6). Вблизи 25° широты отмечается смена знака межширотного градиента, при этом, значение приходящей радиации в летнее полугодие в северном полушарии в полярную зону этого полушария приблизительно равно радиации поступающей в зону 25° – 30° южного полушария.

И наоборот, значение радиации в полярной зоне южного полушария в летнее полугодие приблизительно равно величине радиации характерной для зоны $25^{\circ} - 30^{\circ}$ северного полушария. В зимнее для северного полушария полугодие в южном полушарии межширотный градиент в широтных зонах $25^{\circ} - 30^{\circ}$ ю.ш. и расположенных южнее имеет отрицательные значения. Начиная с $30^{\circ} - 35^{\circ}$ южной широты и до

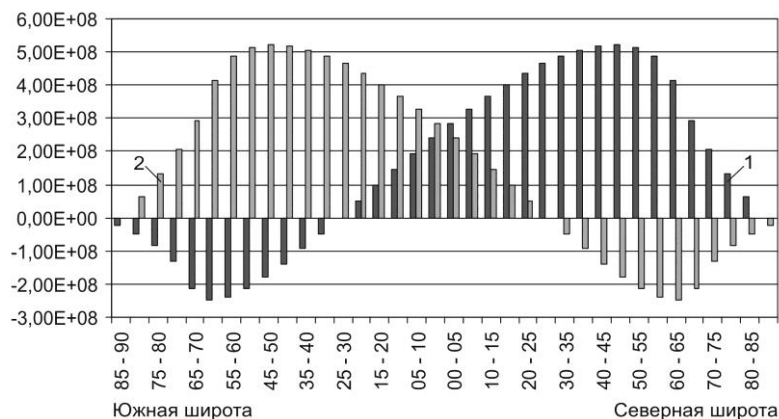


Рис. 6. Распределение межширотного градиента приходящей за полугодия солнечной радиации (1 – зимнее полугодие в Северном полушарии, 2 – летнее полугодие в Северном полушарии), Дж/м².

северной полярной зоны значения градиента положительные. В летнее в северном полушарии полугодие значения градиента от зоны $25^{\circ} - 30^{\circ}$ с.ш. и севернее отрицательные, а во всех зонах начиная с $30^{\circ} - 35^{\circ}$ и южнее – положительные. Широтный диапазон от $25^{\circ} - 30^{\circ}$ с.ш. до $25^{\circ} - 30^{\circ}$ ю.ш. характеризуется положительными значениями межширотного градиента во все сезоны (ячейки Хэдли). Широтные области от $25^{\circ} - 30^{\circ}$ ю.ш. до $60^{\circ} - 65^{\circ}$ ю.ш. в зимнее для северного полушария полугодие и от $25^{\circ} - 30^{\circ}$ с.ш. до $60^{\circ} - 65^{\circ}$ с.ш. в летнее для северного полушария полугодия характеризуются изменением значений межширотного градиента радиации от нуля до минимальных отрицательных. Эти широтные области соответствуют обратным циркуляционным ячейкам Ферреля (Ferrel) в ранних схемах ОЦА [7, 12]. Из графика (рис. 6) также видно, что градиенты приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации в зимние полугодия в каждом полушарии по модулю значительно (более чем вдвое) превосходят летние.

Таким образом, зонально симметричное распределение радиации характерное для года, в масштабах сезонов сменяется на зонально асимметричное распределение (рис. 4 – 6). При этом широтные зоны $25^{\circ} - 30^{\circ}$ и $60^{\circ} - 65^{\circ}$ в каждом полушарии в различные полугодия соответствуют в ОЦА границам зонального расчленения нижних слоев атмосферы (прежде всего, направления основных переносов) и являются солярными реперами, отражающими особенности широтного распределения приходящей солнечной радиации в связи с сезонным изменением ее поступления. Географическая локализация зон высокого и низкого давления, а также климатологических полярных фронтов определяется значениями межширотного

градиента приходящей за полугодия солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы (табл. 2).

Следовательно, основным фактором локализации субтропических областей высокого и субполярных областей низкого давления является наклон оси вращения Земли, с которым связано изменение в приходе солнечной радиации в каждое полушарие от зимнего сезона к летнему. С особенностями широтного распределения

Таблица 2. Соответствие в географической локализации особенностей распределения приходящей за полугодия на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации и особенностей общей циркуляции атмосферы.

№	Сезонная солнечная радиация	Общая циркуляция атмосферы	Географическая широта, град.
1	Диапазоны максимальных значений приходящей за полугодия радиации – летнее полугодие (Северное полушарие) – зимнее полугодие (Северное полушарие)	Субтропические зоны высокого давления	20 – 30 с.ш., 20 – 30 ю.ш.
2	Диапазоны смены знака отклонения от среднего для полугодия значения приходящей радиации – летнее полугодие (Северное полушарие) – зимнее полугодие (Северное полушарие)	Субтропические зоны высокого давления	25 – 30 ю.ш., 25 – 30 с.ш.
3	Диапазоны минимальных значений межширотного градиента в летнее для полушарий полугодие	Субполярные зоны низкого давления	60 – 65 с.ш., 60 – 65 ю.ш.
4	Диапазоны максимальных значений межширотного градиента в зимнее для полушарий полугодие	Климатологические полярные фронты	45 – 50 с.ш., 45 – 50 ю.ш.
5	Диапазоны смены знака межширотного градиента – летнее полугодие (Северное полушарие) – зимнее полугодие (Северное полушарие)	Субтропические зоны высокого давления	25 – 30 с.ш., 25 – 30 ю.ш.

зон высокого и низкого атмосферного давления связаны барические градиенты, определяющие преобладающие направления переносов воздушных масс. В области низких широт, ограниченной субтропическими антициклонами преобладает восточный перенос. В области, расположенной между зоной субтропических антициклонов и субполярной зоной низкого давления – западный. Максимальный поток момента количества движения к полюсам локализован в широтных диапазонах, разделяющих области восточного и западного переноса, что приблизительно соответствует положению субтропических зон высокого давления [4, 7, 12, 25].

3. Межгодовая изменчивость приходящей радиации. В работах связанных с разработкой схем и моделей ОЦА отмечается, что для более глубокого понимания механизма ОЦА необходимо решить две задачи. Во-первых, найти причину или

причины межгодовой изменчивости и, во-вторых, понять, как эта временная изменчивость влияет на сезонные изменения и осредненную по времени циркуляцию [16]. Эти проблемы, поставленные еще в работах С. Россби, В. Старра и Ж. Чарни, активно продолжают обсуждаться в современной литературе посвященной ОЦА.

Среднее значение амплитуды межгодовой изменчивости, рассчитанное нами для широтной зоны протяженностью в 5° , составляет $1,3E+05$ Дж/м². Общая энергия атмосферы приблизительно оценивается в $6,5E+06$ Дж/м² [31; 33]. Таким образом, в среднем амплитуда межгодовой изменчивости приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации составляет приблизительно 2% от общей энергии атмосферы (размах – 4%). Максимальные значения амплитуды межгодовой изменчивости составляют 2,7% и размах – 5,4% от энергии атмосферы. Отношение амплитуды межгодовой изменчивости в летнее полугодие составляет 1,7%, в зимнее – 0,8%. Вероятно, возможно резонансное усиление малых вариаций межгодовой изменчивости приходящей радиации в связи с тем, что в этой изменчивости отмечается четкая периодичность близкая и кратная к периоду годовых колебаний атмосферы [18 – 22, 28 – 30]. Другой причиной усиления (и диффузии) малых периодических вариаций солнечной радиации в климатической системе может быть стохастический резонанс – отклик бистабильной или метастабильной нелинейной системы на слабый периодический сигнал при шумовом воздействии определенной мощности [1; 27].

Распределение рассчитанных нами (для тропических лет) значений амплитуды межгодовой изменчивости солнечной радиации (для верхней границы атмосферы) по широтным зонам представлено на рис. 7.

Величины межгодовой изменчивости находятся в пределах от $8,0E+04$ Дж/м² до $1,75E+05$ Дж/м². Максимальные амплитуды, равные $1,75E+05$ Дж/м², отмечаются для экваториальных зон $0^\circ – 5^\circ$ в каждом полушарии. Минимальные значения характерны для зон $60^\circ – 65^\circ$ в каждом полушарии ($-4,34E+04$ Дж/м²). Анализ распределения отклонений амплитуды межгодовой изменчивости от среднего для широтной зоны значения показывает, что положительные отклонения характерны для широтного диапазона от $45^\circ – 50^\circ$ с.ш. до $45^\circ – 50^\circ$ ю.ш. (рис. 8).

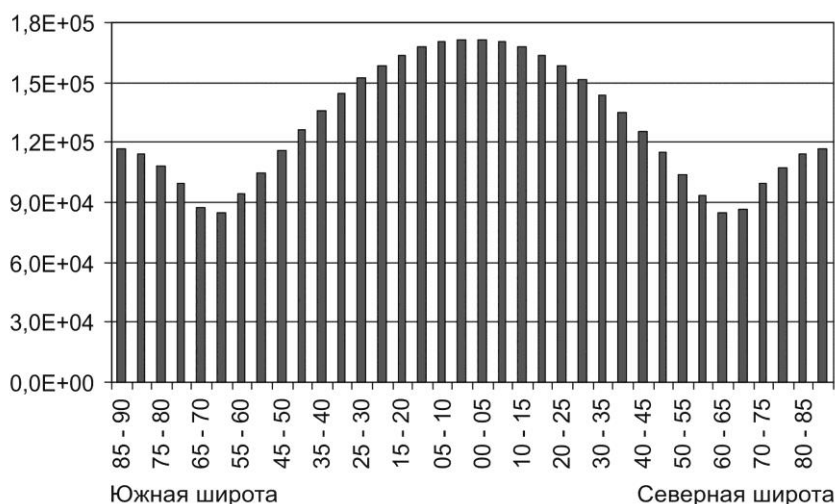


Рис. 7. Средняя для широтных зон амплитуда межгодовой изменчивости приходящей за тропический год солнечной радиации, Дж/м².

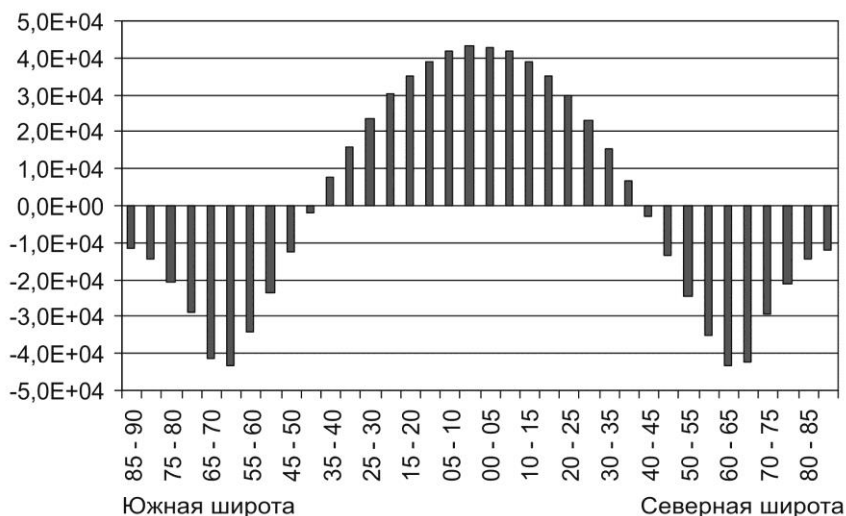


Рис. 8. Отклонение от среднего значения амплитуды межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации, Дж/м².

В зонах 40° – 45° градусов широты и в более высоких широтах в каждом полушарии отмечаются отрицательные отклонения амплитуды межгодовой изменчивости. Максимальные значения отклонений характерны для экваториальных зон 0° – 5° каждого полушария (4,3E+04 Дж/м²). Минимальные значения приходятся на широтные зоны 60° – 65° в каждом полушарии (-4,34E+04 Дж/м²).

Межширотный градиент амплитуды межгодовой изменчивости рассчитывался аналогично межширотному градиенту приходящей на верхнюю границу атмосферы за тропический год солнечной радиации. Из полученного распределения видно, что в зонах 60° – 65° и в более высокоширотных зонах каждого полушария градиент имеет отрицательные значения (рис. 9).

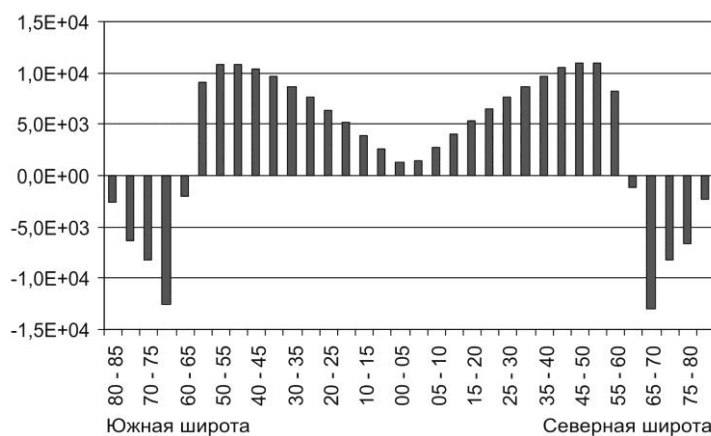


Рис. 9. Распределение межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации, Дж/м².

Широтные соответствия в распределении приходящей солнечной радиации...

В зонах от $55^\circ - 60^\circ$ с.ш. до $55^\circ - 60^\circ$ ю.ш. – градиент положителен. Минимальные значения в этой области связаны с экватором – в зоне $0^\circ - 5^\circ$ ю.ш. значение градиента составляет $1,28E+03$ Дж/м². В зоне $0^\circ - 5^\circ$ с.ш. значение $1,37E+03$ Дж/м². Максимальные значения приходятся на широтные зоны $45^\circ - 50^\circ$ в каждом полушарии и составляют $1,09E+04$ Дж/м² в южном полушарии и $1,10E+04$ Дж/м² – в северном.

Минимальные, по модулю, значения градиента амплитуды межгодовой изменчивости приходящей радиации характерны для экваториальной области ($0^\circ \pm 5^\circ$), полярных областей ($85^\circ - 90^\circ$ в каждом полушарии) и для широтных зон $60^\circ - 65^\circ$ каждого полушария (рис. 10). Такой характер распределения определяется картиной наложения амплитуд межгодовой изменчивости различных временных циклов в межгодовой изменчивости приходящей радиации [20, 21, 30].

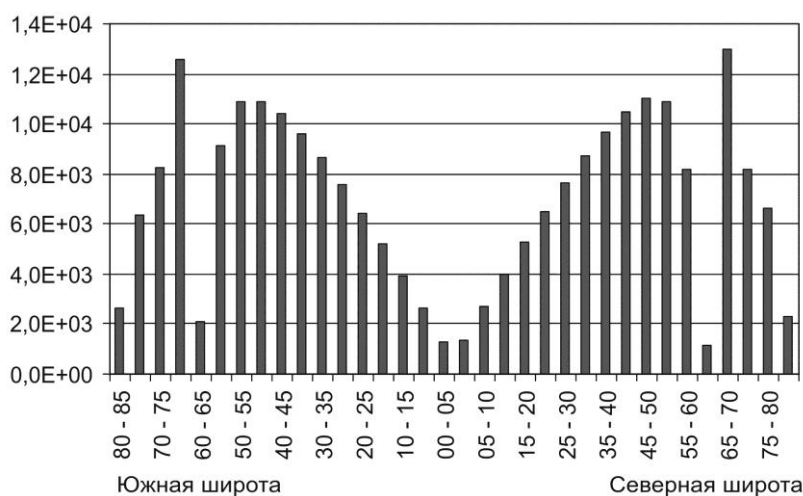


Рис. 10. Распределение модуля межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости, Дж/м².

Таким образом, солярными реперами особенностей ОЦА являются характеристики распределения приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации, связанные с широтными зонами локализации особенностей ОЦА. Особенности в распределении солнечной радиации отражают широтную изменчивость в годовом поступлении к Земле (табл. 1), сезонную изменчивость в различных полушариях (табл. 2) и межгодовую изменчивость солнечной радиации (табл. 3).

Локализация экваториальной депрессии, ВЗК, климатологических полярных фронтов, тропических и полярных воздушных масс связана в основном с характеристиками годового распределения приходящей на верхнюю границу солнечной радиации и ее межгодовой изменчивости. Исключение составляет только один сезонный репер (табл. 2).

Так среднее положение экваториальной депрессии и ВЗК характеризуется пространственным соответствием годовым солярным характеристикам: диапазону максимальных значений и диапазону минимальных значений межширотного градиента

Таблица 3. Соответствие в географической локализации особенностей распределения межгодовой изменчивости приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации и особенностей общей циркуляции атмосферы.

№	Межгодовая изменчивость солнечной радиации	Общая циркуляция атмосферы	Географическая широта. град.
1	Диапазон максимальных значений амплитуды межгодовой изменчивости	Экваториальная депрессия, ВЗК	5 с.ш. – 5 ю.ш.
2	Диапазон минимальных значений амплитуды межгодовой изменчивости	Субполярные зоны низкого давления	60 – 65 с.ш., 60 – 65 ю.ш.
3	Диапазон положительных отклонений от средней амплитуды межгодовой изменчивости	Тропические воздушные массы	45 с.ш. – 45 ю.ш.
4	Диапазоны отрицательных отклонений от средней амплитуды межгодовой изменчивости	Полярные воздушные массы	45 – 90 с.ш., 45 – 90 ю.ш.
5	Диапазон максимальных значений отклонения амплитуды межгодовой изменчивости от среднего	Экваториальная депрессия, ВЗК	5 с.ш. – 5 ю.ш.
6	Диапазон минимальных значений отклонения амплитуды межгодовой изменчивости от среднего	Субполярные зоны низкого давления	60 – 65 с.ш., 60 – 65 ю.ш.
7	Диапазоны максимальных значений межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости	Климатологические полярные фронты	45 – 55 с.ш., 45 – 55 ю.ш.
6	Диапазоны минимальных по модулю значений межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости	Субполярные зоны низкого давления	60 – 65 с.ш., 60 – 65 ю.ш.
		Экваториальная депрессия, ВЗК	5 с.ш. – 5 ю.ш.

приходящей за тропический год радиации (табл. 1); диапазону максимальных значений амплитуды межгодовой изменчивости, диапазону минимальных (по модулю) значений межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости и диапазону максимальных отклонений от среднего амплитуды межгодовой изменчивости солнечной радиации (табл. 3).

Для климатологических полярных фронтов характерно пространственное соответствие диапазонам максимальных значений межширотного градиента приходящей за год радиации (табл. 1), диапазону максимальных значений межширотного градиента в зимнее для полушария полугодие (табл. 2 – сезонный репер) и диапазонам максимальных значений межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости (табл. 3).

Географическая локализация тропических воздушных масс пространственно соответствует диапазону положительных значений отклонения от среднего годового значения приходящей радиации (табл. 1) и диапазону положительных отклонений от среднего значения амплитуды межгодовой изменчивости (табл. 3).

Положение полярных воздушных масс связано с широтными диапазонами отрицательных значений отклонения от среднего годового значения приходящей

радиации (табл. 1) и отрицательных отклонений от среднего значения амплитуды межгодовой изменчивости (табл. 3).

Локализация субтропических зон высокого давления связана только с сезонными особенностями в распределении радиации. Положение субполярных зон низкого давления характеризуется пространственным соответствием с характеристиками приходящей радиации в летнее полугодие и характеристиками межгодовой изменчивости.

Субтропические зоны высокого давления пространственно соответствуют широтным диапазонам максимальных значений приходящей за летнее и зимнее полугодия радиации, диапазонам смены знака отклонений от среднего для полугодия значения приходящей радиации и диапазонам смены знака межширотного градиента приходящей за полугодия радиации (табл. 2).

Субполярные зоны низкого давления пространственно связаны с диапазонами минимальных значений межширотного градиента приходящей в летнее для полушария полугодие радиации (табл. 2), с диапазонами минимальных значений амплитуды межгодовой изменчивости, с диапазонами минимальных (по модулю) значений межширотного градиента амплитуды межгодовой изменчивости и с диапазоном минимальных отклонений от среднего значения амплитуды межгодовой изменчивости (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приходящая на верхнюю границу атмосферы солнечная радиация и особенности ОЦА пространственно связаны, то есть характеризуются определенным широтным соответствием. Причины отмеченного соответствия могут заключаться в том, что распределение поступающей радиации определяется формой Земли (зональность) и наклоном ее оси вращения (сезонная смена в приходе солнечной радиации в различные сезоны на разные широты). Также найденные пространственные соответствия зависят (в меньшей степени) от возмущенного орбитального движения Земли (с которым связана межгодовая изменчивость приходящей радиации в связи с изменением расстояния от Солнца, продолжительности тропического года и нутацией оси вращения). Поскольку приходящая солнечная радиация является основным источником энергии ОЦА, то особенности ОЦА могут определяться характером распределения приходящей солнечной радиации, ее пространственными и временными вариациями (наряду с изменением скорости вращения Земли, силы Кориолиса и другими факторами). Отражением этого, являются некоторые широтные соответствия характеристик приходящей радиации и локализации особенностей ОЦА.

Исследования географической локализации средних положений особенностей ОЦА и их изменений в многолетнем режиме важны для понимания генезиса климата, развития климатических процессов, совершенствования схем и моделей ОЦА и методов прогноза изменения климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский – Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения порядка // Успехи физических наук. – 1999. – Т. 169, № 1. – С. 7 – 38.
2. Будыко М.И. Изменение климата. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 280 с.
3. Воейков А.И. Климаты земного шара, в особенности России / Собр. соч. – М. – Л.: АН СССР, 1948. – Т. 1. – С. 163 – 671.
4. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 400 с. – Т.2. – 415 с.
5. Дроздов О.А., Васильев Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 568 с.
6. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы – Л.: Гидрометеоздат, 1960. – 270 с.
7. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 260 с.
8. Манабе С., Смагоринский Дж., Стриклер Р.Ф. Численное моделирование средней картины общей циркуляции атмосферы с учетом процессов влагообмена / Теория климата. Ред. Л.С. Гандин. А.С.Дубов, М.Е.Швец. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – С. 185 – 229.
9. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 246 с.
10. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук. – 2000. – Т. 170, № 4. – С. 419 – 445.
11. Оорт А.Х. Балансовые соотношения в земной климатической системе / Динамика климата. Ред. С. Манабе. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 91 – 113.
12. Пальмен Э. Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 616 с.
13. Петерсен С. Анализ и прогноз погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 652 с.
14. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1959. – 260 с.
15. Погосян Х.П. Циклоны. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 148 с.
16. Уоллос Дж. М., Лау Н.К. Роль превращения баротропной энергии в общей циркуляции атмосферы / Динамика климата. Ред. С. Манабе. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 50 – 90.
17. Усманов Р.Ф. О причинах формирования планетарной фронтальной зоны и субтропической полосы высокого давления // Метеорология и гидрология. – 1953. – № 3. – С. 41 - 45.
18. Федоров В.М. Теоретический расчет межгодовой изменчивости солнечной постоянной // Астрономический вестник. – 2012. – Т. 46. – № 2. – С. 184 – 189.
19. Федоров В.М. Межгодовые вариации продолжительности тропического года // Доклады РАН, 2013. – Т. 451, № 1. – С. 95 – 97. DOI: 10.7868/S086956521319016X
20. Фёдоров В.М. Периодические возмущения и малые вариации солярного климата Земли // Доклады РАН. – 2014. – Т. 457, № 2. – С. 222 – 225. DOI:10.7868/S0869565214200213
21. Федоров В.М. Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху // Геофизические процессы и биосфера. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 67 – 84.
22. Федоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли [Электронный ресурс] / В.М. Федоров. URL: <http://www.solar-climate.com> Проверено 27.11.2014.
23. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. – М.: МГУ, 1986. – 328 с.
24. Хромов С.П. Метеорология и климатология. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 492 с.
25. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. – М.: МГУ, 2006. – 582 с.
26. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1953. – 990 с.
27. Anishchenko V., Astakhov V., Neiman A., Vadivasova T., Schimansky-Geier L. Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems / Tutorial and Modern Developments. – Berlin: Springer

Publ., 2002. – 374 p.

28. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant. *Solar System Research*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 170 – 176.
29. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. *Doklady Earth Sciences*, 2013, vol. 451, Part 1, pp. 750–753.
30. Fedorov V.M. Periodic Perturbations and Small Variations of the Solar Climate of the Earth. *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 457, Part 1, pp. 868 – 871. DOI: 10.1134/S1028334X14070137
31. Peixoto J.P., Oort A.H. Physics of climate. *Rev. Modern. Phys.*, 1984, vol. 56. pp. 365 – 429.
32. Rossby C.G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacement of the semi-permanent centers of action. *J. Marine Res.*, 1939, vol. 2, no. 1, pp. 38 – 55.
33. Wells N. The atmosphere and ocean: A physical introduction. N.Y.: John & Sons, 1977, 394 p.
34. URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.

LATITUDINAL CONFORMITIES IN DISTRIBUTION OF INCOMING SOLAR RADIATION AND GENERAL CIRCULATION OF ATMOSPHERE

Fedorov V. M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

fedorov.msu@mail.ru

Abstract. We identified spatial conformities in latitudinal localization of distribution features of incoming solar radiation upon the upper bound of the atmosphere and peculiarities of general atmospheric circulation: average positions of the equatorial depression, subtropical zones of high pressure and subpolar zones of low pressure, polar fronts, temperate and tropical air masses. Reasons of discovered latitudinal correspondences are determined by the peculiarities in the distribution of incoming solar radiation connected with the shape of the Earth, of rotation the axial tilt and disturbed orbital motion.

Keywords: general circulation of atmosphere, solar radiation, equatorial depression, polar fronts, areas of high and low pressure, geographical conformities.

REFERENCES

1. Anishhenko V.S., Nejman A.B., Moss F., Shimanskij – Gajer L. Stohasticheskij rezonans kak inducirovannyj shumom jeffekt uvelichenija porjadka. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 1999, vol. 169, no. 1, pp. 7 – 38.
2. Budyko M.I. *Izmenenie klimata*. L.: Gidrometeoizdat, 1974, 280 p.
3. Voejkov A.I. *Klimaty zemnogo shara, v osobennosti Rossii. Sobr. soch.* M. – L.: AN SSSR, 1948, T. 1, pp. 163 – 671.
4. Gill A. *Dinamika atmosfery i okeana*. M.: Mir, 1986, T.1, 400 p. T.2, 415 p.
5. Drozdov O.A., Vasil'ev N.V., Raevskij A.N., Smekalova L.K., Shkol'nyj V.P. *Klimatologija*. L.: Gidrometeoizdat, 1989, 568 p.
6. Кач A.L. *Sezonnye izmenenija obshhej cirkuljicii atmosfery i dolgosrochnye prognozy*. L.: Gidrometeoizdat, 1960, 270 p.
7. Lorenc Je.N. *Priroda i teorija obshhej cirkuljicii atmosfery*. L.: Gidrometeoizdat, 1970, 260 p.
8. Manabe S., Smagorinskij Dzh., Strikler R.F. *Chislennoe modelirovanie srednej kartiny obshhej cirkuljicii atmosfery s uchetom processov vlagoobmena. Teorija klimata*. Red. L.S. Gandin.

- A.S.Dubov, M.E.Shvec. L.: Gidrometeoizdat, 1967, pp. 185 – 229.
9. Monin A.S. Vvedenie v teoriju klimata. L.: Gidrometeoizdat, 1982, 246 p.
10. Monin A.S., Shishkov Ju.A. Klimat kak problema fiziki. *Uspehi fiz. Nauk*, 2000, vol. 170, no. 4, pp. 419 – 445.
11. Oort A.H. Balansovye sootnoshenija v zemnoj klimaticheskoj sisteme. *Dinamika klimata*. Red. S. Manabe. L.: Gidrometeoizdat, 1988, pp. 91 – 113.
12. Pal'men Je. N'juton Ch. Cirkuljacionnye sistemy atmosfery. L.: Gidrometeoizdat, 1973, 616 p.
13. Petersen S. Analiz i prognoz pogody. L.: Gidrometeoizdat, 1961, 652 p.
14. Pogosjan H.P. Obshhaja cirkuljacija atmosfery. L.: Gidrometeoizdat, 1959, 260 p.
15. Pogosjan H.P. Ciklony. L.: Gidrometeoizdat, 1976, 148 p.
16. Uollos Dzh. M., Lau N.K. Rol' prevrashhenija barotropnoj jenergii v obshhej cirkuljaciji atmosfery. *Dinamika klimata*. Red. S. Manabe. L.: Gidrometeoizdat, 1988, pp. 50 – 90.
17. Usmanov R.F. O prichinah formirovanija planetarnoj frontal'noj zony i subtropicheskoj polosy vysokogo davlenija. *Meteorologija i gidrologija*, 1953, no. 3, pp. 41 - 45.
18. Fedorov V.M. Teoreticheskij raschet mezhgodovoj izmenchivosti solnechnoj postojannoju. *Astronomicheskij vestnik*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 184 – 189.
19. Fedorov V.M. Mezhhodovye variacii prodolzhitel'nosti tropicheskogo goda. *Doklady RAN*, 2013, vol. 451, no. 1, pp. 95 – 97. DOI: 10.7868/S086956521319016X
20. Fjodorov V.M. Periodicheskie vozmushhenija i malye variacii soljarnogo klimata Zemli. *Doklady RAN*, 2014, vol. 457, no. 2, pp. 222 – 225. DOI:10.7868/S0869565214200213
21. Fedorov V.M. Prostranstvennye i vremennye variacii soljarnogo klimata Zemli v sovremennuju jepohu. *Geofizicheskie processy i biosfera*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 67 – 84.
22. Fedorov V.M. Solnechnaja radiacija i klimat Zemli [Jelektronnyj resurs] V.M. Fedorov. URL: <http://www.solar-climate.com> Provereno: 27.11.2014.
23. Hrgjan A.H. Fizika atmosfery. M.: MGU, 1986, 328 p.
24. Hromov S.P. Meteorologija i klimatologija. L.: Gidrometeoizdat, 1968, 492 p.
25. Hromov S.P., Petrosjanc M.A. Meteorologija i klimatologija. M.: MGU, 2006, 582 p.
26. Shulejkin V.V. Fizika morja. M.: AN SSSR, 1953, 990 p.
27. Anishchenko V., Astakhov V., Neiman A., Vadivasova T., Schimansky-Geier L. Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems. Tutorial and Modern Developments. Berlin: Springer Publ., 2002, 374 p.
28. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant. *Solar System Research*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 170 – 176.
29. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. *Doklady Earth Sciences*, 2013, vol. 451, Part 1, pp. 750–753.
30. Fedorov V.M. Periodic Perturbations and Small Variations of the Solar Climate of the Earth. *Doclady Earth Sciences*, 2014, vol. 457, Part 1, pp. 868 – 871. DOI: 10.1134/S1028334X14070137
31. Peixoto J.P., Oort A.H. Physics of climate. *Rev. Modern. Phys.*, 1984, vol. 56, pp. 365 – 429.
32. Rossby C.G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacement of the semi-permanent centers of action. *J. Marine Res.*, 1939, vol. 2, no. 1, pp. 38 – 55.
33. Wells N. The atmosphere and ocean: A physical introduction. N.Y.: John & Sons, 1977, 394 p.
34. <http://ssd.jpl.nasa.gov>. – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Jelektronnyj resurs nacional'nogo ajerokosmicheskogo agentstva SShA.