

Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху

В. М. Федоров

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Приводятся результаты исследований пространственно-временной изменчивости солярного климата Земли в современную эпоху с учетом периодических возмущений ее орбитального движения и наклона оси вращения в результате прецессии и нутации. На основе выполненных расчетов определены особенности временной изменчивости в поступлении солнечной радиации (в отсутствии атмосферы) к Земле и особенности ее пространственного распределения на поверхности земного эллипсоида. Определено, что в современную эпоху (от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э.) происходит сокращение входящей солнечной радиации к Земле, связанное с вековым изменением наклона оси ее вращения. В входящей к Земле солнечной радиации проявляется периодичность равная 2-м, 3-м, 8-ми, 11-ти и 19-ти годам. Поступление солнечной радиации в экваториальные районы Земли в современную эпоху несколько увеличивается, а в полярные районы существенно сокращается. Таким образом, происходит увеличение межширотного градиента в поступающей на земной эллипсоид в отсутствие атмосферы, солнечной радиации. В вековой тенденции солнечная радиация сокращается в летних полушариях, а в зимних – увеличивается. Годовой ход солнечной радиации имеет обратную направленность по отношению к вековой изменчивости.

Солнечная радиация, солярный климат, современная эпоха, возмущенное движение, пространственно-временная изменчивость, периодичность, прецессия, нутация.

The results of the study of the spatial-temporal variability of the Solar climate of the Earth at present epoch with the periodic perturbations of the orbital motion and of the axial inclination due to precession and nutation accounted for. The specific of the temporal variability of the incoming Solar radiation (without atmosphere) and the specific of the spatial distribution of the incoming Solar radiation over the surface of the Earth ellipsoid were determined based on the completed calculations. It was found that the incoming Solar radiation is decreasing in the present epoch (from 3000 B.C. 2999 A.C.) because of the secular change in the axial inclination of the Earth. The periodicity in the incoming Solar radiation is equal to 2, 3, 8, 11 and 19 years. The radiation incoming to the equatorial regions is slightly increasing, while those incoming to the Polar regions is considerably decreasing. Thus, the inter-latitudinal gradient in the incoming Solar radiation (without atmosphere) is growing. The Solar radiation is decreasing in Summer hemispheres and increasing in the Winter hemispheres in its secular tendencies. The annual variation in the incoming Solar radiation has the opposite tendency relative to the secular variation.

Solar radiation, Solar climate, Present epoch, perturbed motion, spatial temporal variability, periodicity, precession, nutation.

С использованием [методики расчета](#) были получены значения солнечной радиации поступающей в широтные зоны Земли (протяженностью в 5°) за 1/12 часть тропического года, астрономические сезоны, полугодия и тропические годы. Отдельные блоки значений представлены в разделе [базы радиационных данных](#). Анализ полученных значений солнечной радиации поступающей в отсутствие атмосферы в различные географические зоны на поверхности земного эллипсоида за астрономические сезоны, полугодия и тропические годы позволил получить некоторые новые результаты по пространственно-временным вариациям солярного климата Земли.

Сравнение результатов

Полученные результаты расчетов солнечной радиации сравнивались с данными приведенными в работах М. Миланковича и А.С. Мони́на ([Миланкович, 1939](#); [Монин,](#)

1982), а также со значениями измеренной солнечной радиации, приводимыми для широтных зон в работах по климатологии (Дроздов и др., 1989; Хромов, Петросянц, 2006). Сравнение результатов М. Миланковича и А.С. Мони́на с полученными нами значениями (табл. 3) приводится в табл. 1 – 3.

Табл. 1. Солнечная радиация поступающая на верхнюю границу атмосферы, МДж/м² (Миланкович, 1939)

Географическая широта, град.	Летнее полугодие	Зимнее полугодие	Год
0	6728,30	6728,30	13456,60
5	6949,53	6462,66	13412,19
10	7120,91	6150,92	13271,83
15	7242,83	5797,28	13040,12
20	7314,48	5404,26	12718,75
25	7337,95	4976,88	12314,83
30	7309,46	4516,82	11826,28
35	7234,04	4030,36	11264,40
40	7110,85	3520,86	10631,71
45	6945,34	2995,85	9941,19
50	6740,03	2461,21	9201,24
55	6507,07	1931,59	8438,66
60	6246,45	1408,68	7655,13
65	5991,70	929,34	6921,04
70	5811,53	563,14	6374,67
75	5704,69	309,22	6013,91
80	5636,39	135,76	5772,14
85	5597,42	31,01	5628,43
90	5585,27	0,00	5585,27
Среднее	6584,96	3071,27	9656,23

Табл. 2. Средние значения инсоляции, МДж/м² (Монин, 1982)

Географическая широта, град.	Северное полушарие (летнее полугодие)	Южное полушарие (зимнее полугодие)	Северное полушарие (зимнее полугодие)	Южное полушарие (летнее полугодие)	Северное полушарие (год)	Южное полушарие (год)
90	5434	0	0	5434	5434	5434
80	5432	75	159	5508	5591	5583
70	5542	443	608	5708	6150	6151
60	5962	1253	1480	6201	7442	7454
50	6419	2254	2538	6731	8957	8985
40	6754	3264	3634	7127	10388	10391
30	6930	4211	4634	7353	11564	11564
20	6922	5066	5522	7379	12444	12445
10	6729	5782	6260	7207	12989	12989
0	6344	6344	6834	6834	13178	13178
Среднее	6246,8	2869,2	3166,9	6548,2	9413,7	9417,4

Табл. 3. Солнечная радиация поступающая на поверхность
земного эллипсоида в отсутствии атмосферы, МДж/м² (по нашим расчетам)

Географическая широта, град.	Северное полушарие (летнее полугодие)	Южное полушарие (зимнее полугодие)	Северное полушарие (зимнее полугодие)	Южное полушарие (летнее полугодие)	Северное полушарие (год)	Южное полушарие (год)
0 - 5	6693,49	6453,05	6453,05	6693,49	13146,54	13146,54
5 - 10	6887,57	6168,07	6168,08	6887,57	13055,64	13055,64
10 - 15	7033,92	5840,85	5840,85	7033,92	12874,77	12874,77
15 - 20	7131,66	5474,10	5474,10	7131,66	12605,76	12605,76
20 - 25	7180,42	5071,00	5071,00	7180,42	12251,43	12251,43
25 - 30	7180,41	4635,19	4635,19	7180,41	11815,60	11815,60
30 - 35	7132,44	4170,79	4170,79	7132,44	11303,23	11303,23
35 - 40	7038,05	3682,54	3682,54	7038,05	10720,60	10720,59
40 - 45	6899,72	3175,89	3175,89	6899,71	10075,60	10075,60
45 - 50	6721,12	2657,33	2657,33	6721,12	9378,45	9378,45
50 - 55	6507,86	2135,06	2135,06	6507,85	8642,92	8642,91
55 - 60	6268,91	1620,40	1620,40	6268,90	7889,31	7889,30
60 - 65	6020,85	1132,03	1132,03	6020,84	7152,88	7152,87
65 - 70	5808,16	716,33	716,32	5808,14	6524,49	6524,47
70 - 75	5677,58	421,46	421,46	5677,56	6099,05	6099,03
75 - 80	5595,50	215,07	215,07	5595,47	5810,57	5810,54
80 - 85	5545,63	81,82	81,82	5545,61	5627,45	5627,43
85 - 90	5521,89	16,27	16,27	5521,87	5538,16	5538,14
Среднее	6491,40	2981,51	2981,51	6491,39	9472,91	9472,90

Из представленных (табл. 1 – 3) результатов расчетов следует, что в целом, рассчитанные, разными авторами, средние для полугодий и года величины приходящей солнечной радиации характеризуются сходными значениями. Сходством обладают средние значения приходящей к Земле за сутки солнечной радиации. По данным, приведенным у М. Миланковича это значение оказалось равным 26,455 МДж/м² по данным Монины – 25,801 МДж/м², по нашим данным – 25,953 МДж/м². Близкими оказываются и отношения средних суммарных величин поступающей солнечной радиации в зимнее и летнее полугодие. По результатам расчетов М. Миланковича это отношение составило 0,466 (т.к. в этом случае принимается энергетическая эквивалентность полушарий, то значение относится к каждому из них). Результаты А.С. Монины и полученные нами приведены в табл. 4.

Табл. 4. Средние значения солнечной радиации (МДж/м²) поступающей в северное и южное полушарие за полугодия и их отношение

Полугодие (для полушария)	По данным А.С. Монины (Монин, 1982)		По нашим данным	
	Южное полушарие	Северное полушарие	Южное полушарие	Северное полушарие
Зимнее	2869,2	3166,9	2981,513	2981,514
Летнее	6548,2	6246,8	6491,391	6491,399
Зимнее / летнее	0,438166	0,506964	0,459303	0,459302

Таким образом, отмечается достаточно хорошая согласованность между рассчитанными М. Миланковичем, А.С. Мониным и нами средними значениями приходящей солнечной радиации. Расчеты, выполненные А.С. Мониным, охватывают более длительный период (миллион лет в прошлое и в будущее), чем у нас, вероятно, поэтому данные в табл. 4 несколько различаются. Кроме того, использовались различные исходные данные

и, шаг при интегрировании в расчетах выполненных А.С. Мониным составлял 5 000 лет, в нашем случае – 1 сутки.

Полученные нами значения радиации для различных широтных зон и астрономических сезонов также хорошо согласуются с данными приводимыми в работах по климатологии (Дроздов и др., 1989; Хромов, Петросянц, 2006). Отмеченная согласованность средних значений приходящей радиации позволяет считать полученные в результате расчетов данные вполне корректными для последующего анализа.

Многолетние вариации солнечной радиации

В представленной на графике (рис. 1) многолетней изменчивости приходящей радиации на фоне общего сокращения, проявляются межгодовые, 2-х и 3-х летние, 8-ми и 11-ти летние и 19-ти летние вариации (Fedorov, 2012, 2013, 2014).

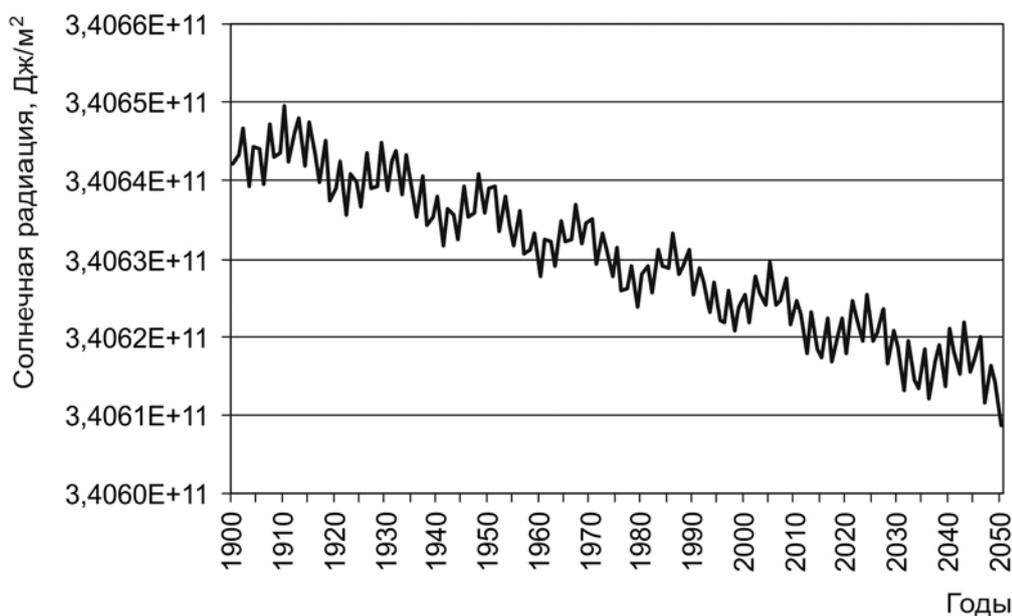


Рис. 1. Изменчивость приходящей к Земле солнечной радиации за тропические годы в интервале с 1900 по 2050 гг. (календарный год соответствует началу тропического года).

Подобное сокращение характерно для всего периода с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. Межгодовая изменчивость связана с периодическими возмущениями орбитального движения Земли Луной, планетами Солнечной системы и изменением наклона оси ее вращения. Изменчивость с периодом 2 и 3 года объясняется возмущением орбитального движения Земли Марсом и Венерой. Известно, что в параметрах движений планет и их спутников выдерживается ряд особых соотношений вследствие наличия соизмеримостей и орбитальных резонансов (Гребеников, Рябов, 1978). Условия резонанса определяются равенством частот вынужденных (под действием внешней силы) и собственных колебаний. Так сидерический период Венеры составляет 224,701 суток (0,61521 тропических лет), Марса – 686,980 суток (1,88089 тропических лет), Земли (звездный год) – 365,256 суток (1,00004 тропических лет). Частоты обращения планет ($\omega = 2\pi/T$) составляют для Венеры $0,0279624 \text{ суток}^{-1}$, для Марса – $0,0091460 \text{ суток}^{-1}$, для Земли – $0,0171894 \text{ суток}^{-1}$. Отсюда следует $2\omega_{\text{Марса}} (0,0182920 \text{ суток}^{-1}) - \omega_{\text{Земли}} (0,0171894 \text{ суток}^{-1}) = 0,0011026 \text{ суток}^{-1}$ и $3\omega_{\text{Венеры}} (0,0838872 \text{ суток}^{-1}) - 5\omega_{\text{Земли}} (0,085947 \text{ суток}^{-1}) = -0,0020598$. Это свидетельствует о том, что в орбитальных движениях Земли с ближайшими планетами Марсом и Венерой существует соизмеримость, при этом резонанс Земли с Марсом равен 2/1, Земли с Венерой – 3/5 (Белецкий, 1972; Гребеников, Рябов, 1978). Таким образом, через каждые 2 года взаимные положения Земли с Марсом и через 3 года Земли с Венерой повторяются, опреде-

для периодические резонансные возмущения орбитального движения Земли и, следовательно, вариации продолжительности тропического года и поступающей к Земле за тропический год солнечной радиации. Период близкий к 19-ти годам связан с колебаниями наклона оси вращения в связи с нутацией (или периодом обращения узлов лунной орбиты).

Результаты расчетов позволили определить, проявляющиеся на фоне общего сокращения приходящей радиации особенности, связанные с проявлением вековой и 19-ти летней изменчивости в приходе радиации. Вековая изменчивость оценивалась разностью значений приходящей радиации ($\text{Дж}/\text{м}^2$) в последний (2999 г. н.э.) и первый (3000 до н.э.) год временного интервала для соответствующих широтных зон. Результаты расчетов показывают, что при общем сокращении поступающей к Земле радиации в полярных областях Земли отмечается тенденция к существенному сокращению, а в экваториальной области – к некоторому увеличению поступающей радиации (рис. 2).

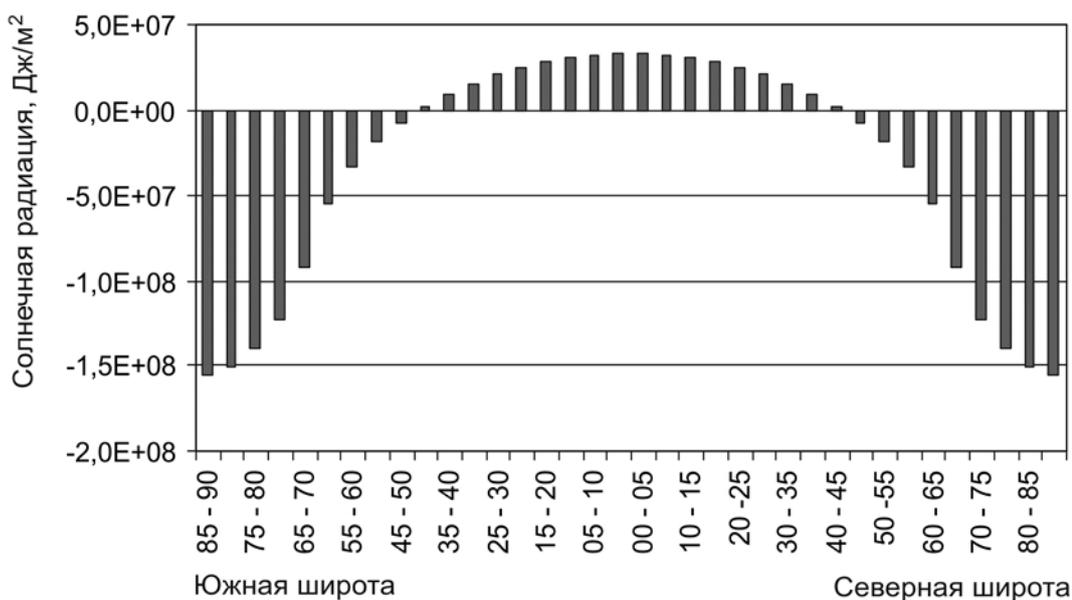


Рис. 2. Распределение приходящей к Земле солнечной радиации за период с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. по географическим широтам.

Таким образом, широтные контрасты в современную эпоху возрастают. Следствием этого эффекта может быть усиление меридионального переноса тепла от экваториальной области к полярным районам в общей циркуляции атмосферы и изменения в глобальном климате Земли. Сокращающийся поток солнечной радиации приходящей к земному эллипсоиду за тропический год, проявляет тенденцию к увеличению в районах ниже 45° географической широты каждого полушария, а выше 45° широты к сокращению на всем исследуемом временном интервале. Сокращение приходящей в полярные области радиации за весь период достигает $1,58\text{E}+08 \text{ Дж}/\text{м}^2$, что составляет 2,8% относительно среднего (для всего интервала – 5999 лет) значения приходящей радиации для широтных зон (85 – 90 градусов географической широты). Увеличение в экваториальной области значительно меньше – в районе экватора составляет $3,32\text{E}+07 \text{ Дж}/\text{м}^2$ (0,25%).

Отмеченный эффект в пространственной изменчивости приходящей за тропические годы радиации связан с вековой тенденцией к уменьшению наклона оси вращения Земли (относительно перпендикуляра к плоскости эклиптики) в результате прецессии. Известно, что при увеличении угла наклона увеличивается приход радиации в полярные районы, т.е. происходит сглаживание широтной контрастности в полушариях и усиление сезонных различий. При уменьшении угла наклона происходит увеличение радиации, поступающей в приэкваториальные районы, и широтные контрасты возрастают, а сезонные сглаживаются (Миланкович, 1939; Монин, Шишков, 1979, 2000; Монин, 1982).

На фоне отмеченной особенности в вековой изменчивости приходящей радиации проявляются, осложняющие ее, 19-ти летние вариации (Borisenkov et al., 1983, 1985; Федоров, 2012, 2013; Fedorov, 2012). При определении пространственной структуры 19-ти летней вариации для упрощения расчетов исследовались разности в поступающей радиации 10-го и 1-го годов десятилетий в интервале с 1850 по 2019 гг. Реальные фазы 19-ти летнего цикла, как показали ранее проведенные исследования, характеризуются продолжительностью 8 и 11 лет (Fedorov, 2013, 2014). Полученные результаты показывают закономерные изменения в пространственной структуре приходящей радиации в различных фазах 19-ти летнего цикла. Для одной половины цикла характерно сокращение поступающей радиации в полярные районы и увеличение ее в экваториальной области. В другую половину цикла отмечается противоположная ситуация – сокращение приходящей радиации в экваториальной области и ее увеличение в полярных районах (рис. 3). При этом одна фаза 19-ти летнего цикла усиливает, отмеченную для вековой изменчивости тенденцию, другая фаза – ослабляет ее.

Представленное на рис. 3 чередование в приходе радиации в полярные районы и область, расположенную между полярными кругами, характерно для всего исследуемого временного интервала (3000 г. до н.э. – 2999 г. н.э.).

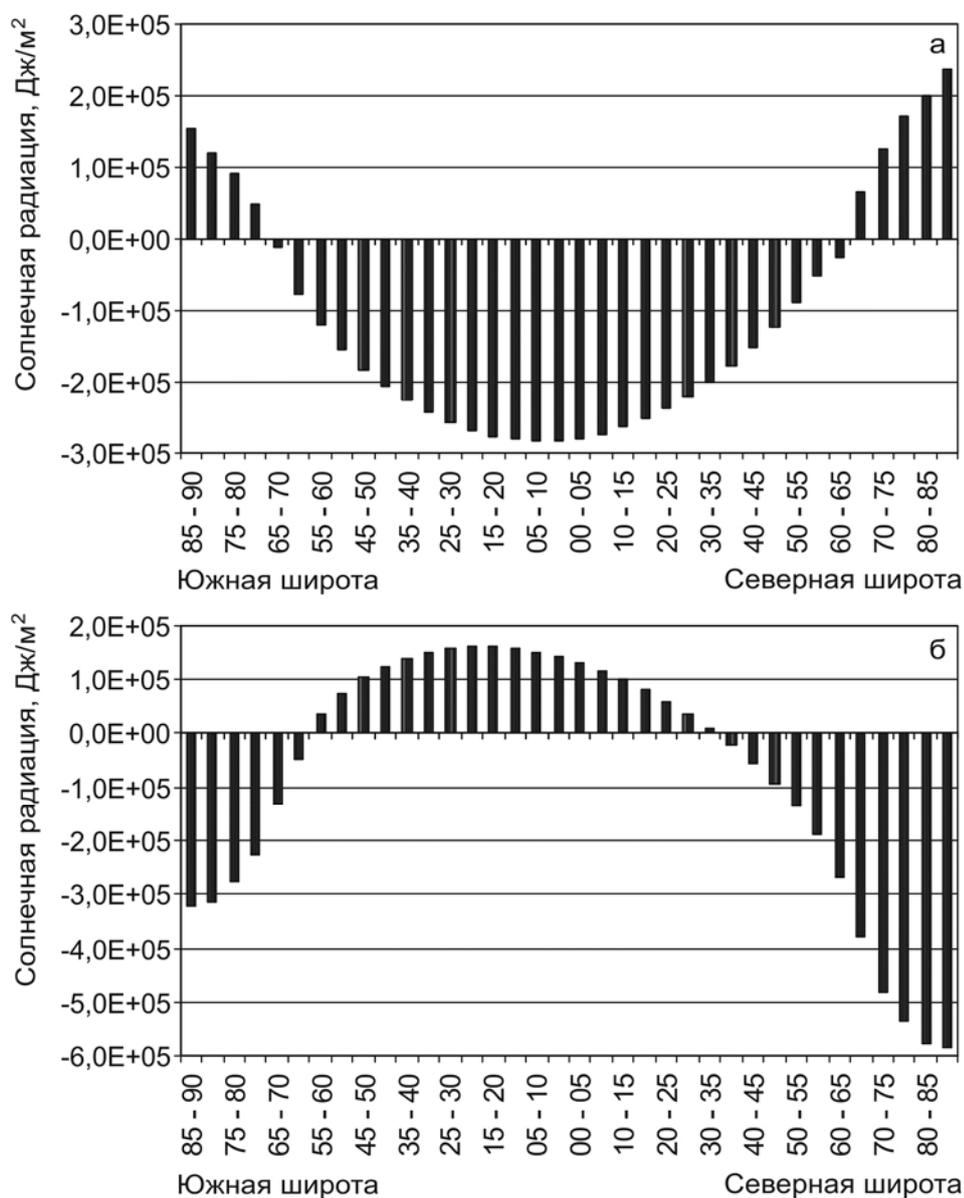


Рис. 3. Пространственная изменчивость приходящей солнечной радиации в 19-ти летнем цикле (а – в фазу 2000 – 2009 гг., б – в фазу 2010 – 2019 гг.).

Смена знака в 19-ти летней изменчивости локализуется в широтном диапазоне от 35° до 65° широты каждого полушария. При этом в полушариях в различные фазы цикла протяженность широтных зон сокращения и увеличения приходящей радиации, может существенно отличаться. Анализ всего массива рассчитанных данных показывает, что изменения радиации приходящей в полярные районы и экваториальную область, как правило, противофазные (если в полярных увеличивается, то в экваториальных уменьшается и наоборот). Однако, иногда для десятилетия сокращение приходящей радиации отмечается для всех широтных зон Земли, например, 1880 – 1889 гг. и 1910 – 1919 гг. На период 2000 – 2009 гг. приходится фаза 19-ти летнего цикла, для которой характерно увеличение приходящей радиации в полярных районах и сокращение в обширной области, охватывающей широтный диапазон от 70° ю.ш. до 65° с. ш. (рис. 3 а). С текущим десятилетием связана фаза, в течение которой происходит сокращение приходящей радиации в полярных областях и увеличение в приэкваториальной области. При этом (рис. 3 б), полярная область, для которой в этой фазе характерно сокращение приходящей радиации, в северном полушарии более обширная, чем в южном полушарии. Максимум увеличения приходящей радиации также смещен от экватора в южное полушарие. Таким образом, в текущей фазе цикла отмечается пространственная асимметричность в поступающей на земной эллипсоид солнечной радиации. Средняя амплитуда 19-ти летней изменчивости в южной полярной области ($85^\circ - 90^\circ$ ю.ш.) составляет $0,00374\%$ ($2,06936E+05$ Дж/м²), в северной ($85^\circ - 90^\circ$ с.ш.) – $0,00369\%$ ($2,04554E+05$ Дж/м²) от средней величины радиации приходящей в соответствующие широтные зоны.

Таким образом, в пространственной структуре 19-ти летней вариации отмечается эффект проявляющийся в последовательной смене знака в приходящей радиации от одной фазы цикла к другой в полярных районах и экваториальной области. Этот эффект связан с нутационным изменением наклона оси вращения с периодом около 19 лет и его физическая природа аналогична отмеченному для вековой изменчивости эффекту, связанному с прецессией – при меньшем угле наклона в экваториальной области происходит увеличение приходящей радиации, а в полярных районах – сокращение. При увеличении угла наклона наблюдается обратная картина.

С меньшими значениями средней амплитуды в приходе радиации проявляется межгодовая, 2-х и 3-х летняя и 8-ми и 11-ти летняя периодичность (Fedorov, 2013, 2014) однако, пространственный характер этой изменчивости подобен отмеченной 19-летней периодичности. В годовом поступлении солнечной радиации к Земле средняя величина межгодовой изменчивости составляет $0,00115\%$ от величины поступающей радиации, при этом в полярных районах ее значение увеличивается до $0,00210\%$ ($1,16413E+05$ Дж/м²) – в северной и до $0,00211\%$ ($1,16966E+05$ Дж/м²) – в южной (рис. 4).

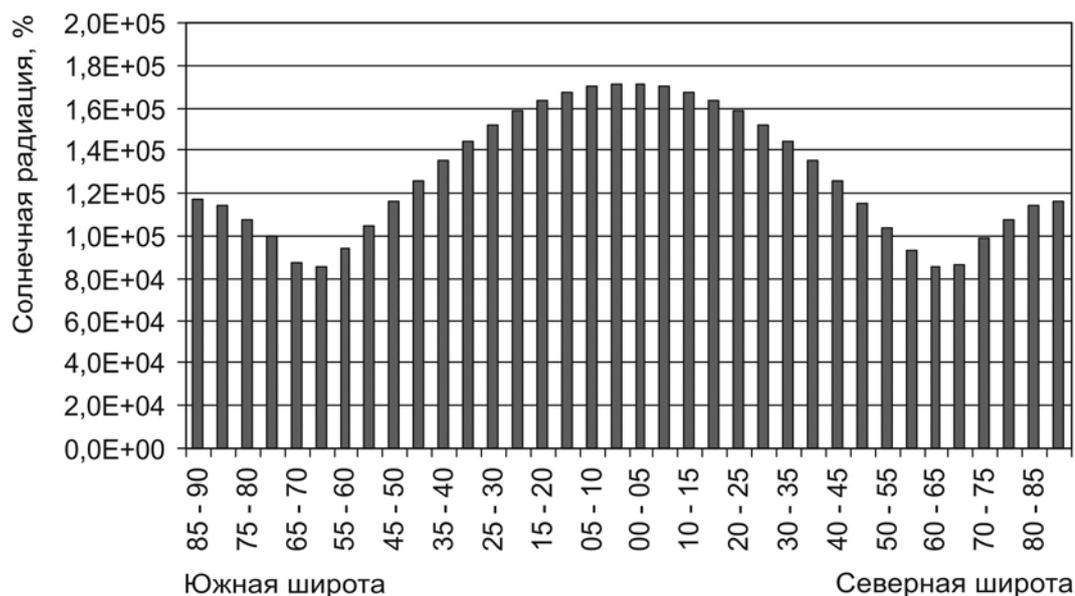


Рис. 4. Широтное распределение средней амплитуды межгодовой изменчивости приходящей к Земле за тропический год солнечной радиации за период с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. (в % процентах от приходящей в широтную зону солнечной радиации).

Средняя амплитуда 2-х и 3-х летней изменчивости, связанной с соизмеримостью в орбитальных движениях Земли, Марса и Венеры (Fedorov, 2013), составляет 0,00147% ($3,91016E+06$ Дж/м²) от величины приходящей за год к Земле радиации и возрастает в экваториальной области (5° с. ш. – 5° ю. ш.) до 0,00156% ($2,05302E+05$ Дж/м²). При этом, межгодовая изменчивость, связанная с периодом орбитального движения Земли вокруг Солнца, проявляется во всех широтных зонах. Изменчивость с периодом около 19-ти лет характерна для полярных областей. Изменчивость с периодичностью 2 и 3 года локализуется в широтном диапазоне, расположенном между северным и южным полярными кругами. В этой же области, со средними значениями амплитуды составляющими 0,00184% ($6,27115E+06$ Дж/м²) от приходящей радиации, проявляется 8-ми и 11-ти летняя периодичность, которая является результатом наложения (суперпозиции) 19-летней и 2-х и 3-х летней периодичностей. При этом 2-х и 3-х летняя периодичность образует 8-ми (2+3+3) и 11-ти (2+3+3+3) летние сочетания, синхронизированные с 8-ми и 11-ти летними фазами 19-ти летнего цикла. Таким образом, 8-ми и 11-ти летние циклы представляют собой результат синхронизации и суперпозиции 19-ти летних и 2-х и 3-х летних колебаний. В экваториальной области (5° с. ш. – 5° ю. ш.) – средняя амплитуда 8-ми и 11-ти летней периодичности увеличивается до 0,002% ($2,64490E+05$ Дж/м²).

Полученная картина временных и пространственных изменений в приходящей к Земле солнечной радиации может находить отражение в радиационном и тепловом режиме планеты. Так, например, при спектральном анализе результатов исследования изотопно-кислородного состава ледяного ядра в Антарктиде обнаружен преобладающий пик в диапазоне 19-ти лет (Владимирова, Екайкин, 2014). Отмеченный выше эффект противофазного изменения приходящей в полярные районы и экваториальную область солнечной радиации в 19-ти летнем цикле может проявляться и в циркуляционных процессах в атмосфере, например, в качестве механизма участвующего в регулировании интенсивности меридионального переноса воздушных масс. Отмеченная ритмичность с периодами 2, 3 года и 8, 11, 19 лет может проявляться и в биосферных процессах.

Вековые вариации солнечной радиации

Вековая изменчивость приходящей солнечной радиации рассчитывалась вычитанием значений приходящей солнечной радиации в 3000 г. до н.э. из соответствующих (по времени и пространству) значений солнечной радиации 2999 года н.э. (рис. 5, табл. 5).

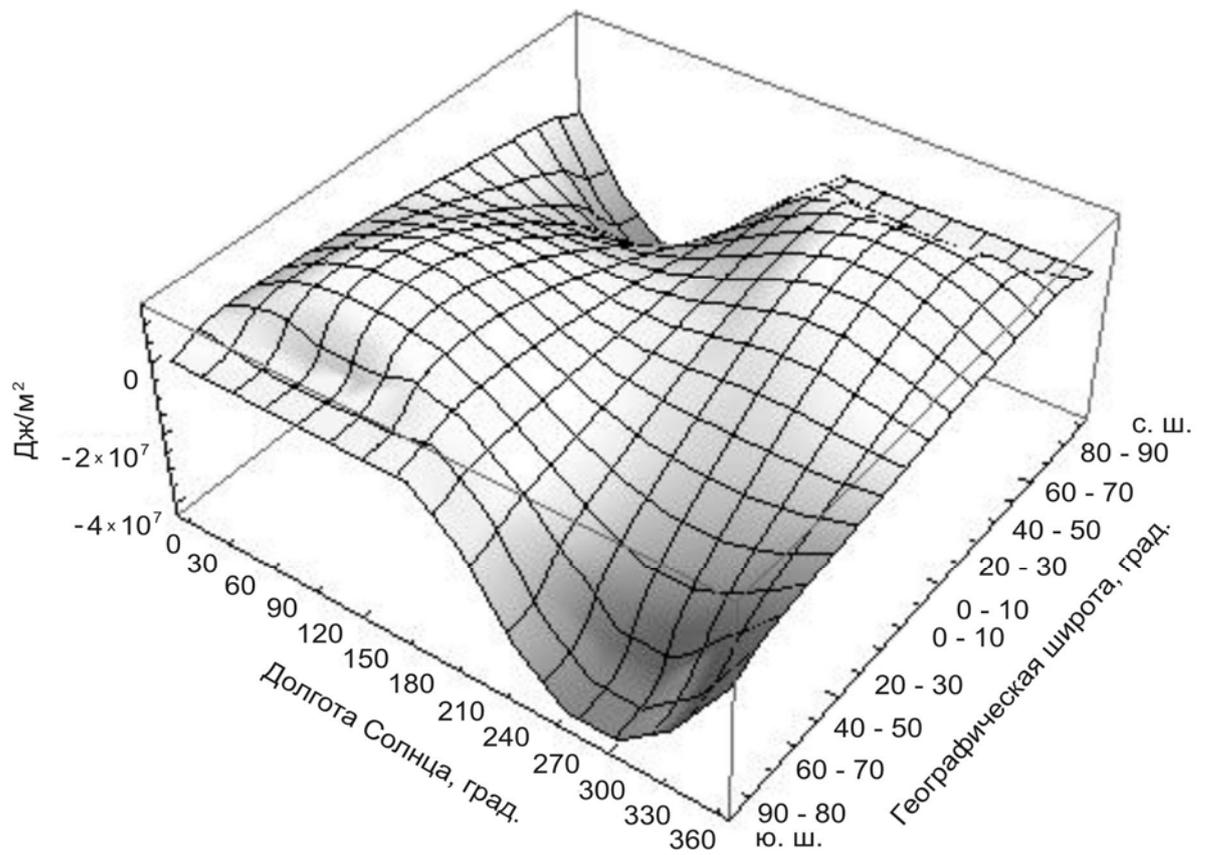


Рис. 5. Пространственно-временное распределение разности солнечной радиации ($\text{Дж}/\text{м}^2$) поступающей в 2999 г. н.э. и 3000 г. до н.э. в отсутствии атмосферы для соответствующих географических широтных зон и астрономических сезонов (с разрешением в $1/3$ сезона).

Таблица 5. Числовые значения распределения разности солнечной радиации (Дж/м²) поступающей в 2999 г. н.э. и 3000 г. до н.э. в отсутствии атмосферы для соответствующих географических широтных зон и астрономических сезонов (с разрешением в 1/3 сезона).
Заливкой показаны градации пространственно-временных различий в поступлении солнечной радиации

Широтные зоны / Астрономические сезоны	Весенний			Летний			Осенний			Зимний		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
85 – 90 с.ш.	-1,11E+07	-3,09E+07	-4,22E+07	-4,22E+07	-3,09E+07	-1,11E+07	2,53E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,55E+05
80 - 85	-9,99E+06	-3,07E+07	-4,19E+07	-4,19E+07	-3,07E+07	-9,99E+06	1,27E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,30E+06
75 - 80	-8,02E+06	-2,98E+07	-4,12E+07	-4,13E+07	-2,99E+07	-8,01E+06	3,05E+06	3,75E+05	0,00E+00	0,00E+00	3,76E+05	3,10E+06
70 - 75	-6,89E+06	-2,63E+07	-4,03E+07	-4,03E+07	-2,63E+07	-6,89E+06	3,92E+06	3,20E+06	0,00E+00	0,00E+00	3,21E+06	3,97E+06
65 - 70	-6,23E+06	-2,12E+07	-3,65E+07	-3,66E+07	-2,12E+07	-6,23E+06	4,24E+06	7,39E+06	2,45E+06	2,45E+06	7,41E+06	4,29E+06
60 - 65	-5,70E+06	-1,80E+07	-2,84E+07	-2,84E+07	-1,81E+07	-5,70E+06	4,35E+06	9,35E+06	9,07E+06	9,08E+06	9,38E+06	4,40E+06
55 - 60	-5,21E+06	-1,58E+07	-2,36E+07	-2,37E+07	-1,58E+07	-5,22E+06	4,33E+06	1,03E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,03E+07	4,39E+06
50 -55	-4,74E+06	-1,38E+07	-2,00E+07	-2,00E+07	-1,38E+07	-4,75E+06	4,23E+06	1,07E+07	1,35E+07	1,35E+07	1,08E+07	4,28E+06
45 - 50	-4,27E+06	-1,19E+07	-1,69E+07	-1,69E+07	-1,20E+07	-4,29E+06	4,07E+06	1,08E+07	1,42E+07	1,42E+07	1,08E+07	4,11E+06
40 - 45	-3,80E+06	-1,02E+07	-1,40E+07	-1,40E+07	-1,03E+07	-3,81E+06	3,84E+06	1,06E+07	1,45E+07	1,45E+07	1,07E+07	3,88E+06
35 - 40	-3,31E+06	-8,51E+06	-1,13E+07	-1,13E+07	-8,57E+06	-3,33E+06	3,57E+06	1,03E+07	1,44E+07	1,44E+07	1,03E+07	3,60E+06
30 - 35	-2,82E+06	-6,87E+06	-8,72E+06	-8,75E+06	-6,93E+06	-2,84E+06	3,25E+06	9,70E+06	1,39E+07	1,39E+07	9,72E+06	3,28E+06
25 - 30	-2,31E+06	-5,25E+06	-6,24E+06	-6,28E+06	-5,31E+06	-2,34E+06	2,90E+06	8,99E+06	1,32E+07	1,32E+07	9,00E+06	2,92E+06
20 -25	-1,81E+06	-3,66E+06	-3,86E+06	-3,89E+06	-3,72E+06	-1,83E+06	2,51E+06	8,13E+06	1,23E+07	1,23E+07	8,14E+06	2,53E+06
15 - 20	-1,29E+06	-2,10E+06	-1,57E+06	-1,60E+06	-2,16E+06	-1,31E+06	2,10E+06	7,15E+06	1,11E+07	1,11E+07	7,15E+06	2,11E+06
10 - 15	-7,77E+05	-5,84E+05	6,20E+05	5,90E+05	-6,43E+05	-8,01E+05	1,66E+06	6,06E+06	9,71E+06	9,71E+06	6,06E+06	1,66E+06
05 - 10	-2,65E+05	8,86E+05	2,71E+06	2,68E+06	8,29E+05	-2,89E+05	1,20E+06	4,88E+06	8,17E+06	8,16E+06	4,86E+06	1,19E+06
00 – 05 с.ш.	2,42E+05	2,30E+06	4,68E+06	4,65E+06	2,24E+06	2,17E+05	7,21E+05	3,61E+06	6,47E+06	6,46E+06	3,59E+06	7,09E+05
00 – 05 ю.ш.	7,38E+05	3,65E+06	6,52E+06	6,49E+06	3,60E+06	7,13E+05	2,31E+05	2,26E+06	4,63E+06	4,61E+06	2,23E+06	2,11E+05
05 - 10	1,22E+06	4,92E+06	8,22E+06	8,19E+06	4,87E+06	1,20E+06	-2,69E+05	8,50E+05	2,65E+06	2,64E+06	8,14E+05	-2,96E+05
10 - 15	1,69E+06	6,11E+06	9,76E+06	9,74E+06	6,06E+06	1,66E+06	-7,75E+05	-6,16E+05	5,67E+05	5,46E+05	-6,58E+05	-8,09E+05
15 - 20	2,13E+06	7,20E+06	1,11E+07	1,11E+07	7,16E+06	2,11E+06	-1,28E+06	-2,13E+06	-1,63E+06	-1,65E+06	-2,18E+06	-1,32E+06
20 -25	2,55E+06	8,18E+06	1,23E+07	1,23E+07	8,14E+06	2,53E+06	-1,79E+06	-3,68E+06	-3,91E+06	-3,94E+06	-3,74E+06	-1,84E+06
25 - 30	2,94E+06	9,04E+06	1,33E+07	1,32E+07	9,00E+06	2,92E+06	-2,29E+06	-5,26E+06	-6,30E+06	-6,33E+06	-5,33E+06	-2,35E+06
30 - 35	3,30E+06	9,75E+06	1,40E+07	1,40E+07	9,72E+06	3,28E+06	-2,79E+06	-6,88E+06	-8,77E+06	-8,80E+06	-6,95E+06	-2,85E+06
35 - 40	3,62E+06	1,03E+07	1,44E+07	1,44E+07	1,03E+07	3,60E+06	-3,28E+06	-8,52E+06	-1,13E+07	-1,14E+07	-8,60E+06	-3,35E+06
40 - 45	3,90E+06	1,07E+07	1,45E+07	1,45E+07	1,07E+07	3,88E+06	-3,76E+06	-1,02E+07	-1,40E+07	-1,41E+07	-1,03E+07	-3,83E+06
45 - 50	4,12E+06	1,09E+07	1,43E+07	1,43E+07	1,08E+07	4,11E+06	-4,23E+06	-1,19E+07	-1,69E+07	-1,70E+07	-1,20E+07	-4,31E+06
50 -55	4,29E+06	1,08E+07	1,35E+07	1,35E+07	1,08E+07	4,28E+06	-4,69E+06	-1,38E+07	-2,01E+07	-2,01E+07	-1,39E+07	-4,78E+06
55 - 60	4,39E+06	1,03E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,03E+07	4,38E+06	-5,15E+06	-1,57E+07	-2,37E+07	-2,37E+07	-1,58E+07	-5,24E+06
60 - 65	4,40E+06	9,38E+06	9,08E+06	9,08E+06	9,38E+06	4,39E+06	-5,63E+06	-1,80E+07	-2,84E+07	-2,85E+07	-1,81E+07	-5,73E+06
65 - 70	4,29E+06	7,41E+06	2,45E+06	2,45E+06	7,41E+06	4,28E+06	-6,15E+06	-2,11E+07	-3,66E+07	-3,66E+07	-2,12E+07	-6,26E+06
70 - 75	3,97E+06	3,21E+06	0,00E+00	0,00E+00	3,21E+06	3,97E+06	-6,80E+06	-2,62E+07	-4,03E+07	-4,04E+07	-2,64E+07	-6,91E+06
75 - 80	3,10E+06	3,76E+05	0,00E+00	0,00E+00	3,76E+05	3,10E+06	-7,92E+06	-2,98E+07	-4,12E+07	-4,13E+07	-2,99E+07	-8,04E+06
80 - 85	1,30E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,30E+06	-9,88E+06	-3,06E+07	-4,19E+07	-4,20E+07	-3,08E+07	-1,00E+07
85 – 90 ю.ш.	2,56E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,57E+05	-1,10E+07	-3,08E+07	-4,22E+07	-4,23E+07	-3,10E+07	-1,12E+07
Среднее	-7,25E+05	-3,06E+06	-4,82E+06	-4,84E+06	-3,10E+06	-7,38E+05	-7,21E+05	-3,07E+06	-4,85E+06	-4,87E+06	-3,11E+06	-7,47E+05

Из анализа полученных результатов (рис. 5, табл. 5) выделяются следующие особенности в вековой тенденции изменения приходящей солнечной радиации.

1). В зимние для полушарий полугодия поступление солнечной радиации увеличивается, а в летние полугодия сокращается (сезонные различия сглаживаются). Анализ изменения приходящей радиации на рассматриваемом интервале к Земле по полушариям и полугодиям показывает, что в летние для полушарий полугодия сокращение составляет $1,19E+09$ Дж/м², а в зимнее увеличение составляет $6,10E+08$ Дж/м².

2). В зимнее для полушарий полугодие наиболее существенное увеличение отмечается в 3-й месяц (точнее, в последнюю 1/3 часть) осеннего сезона и 1-й месяц зимнего сезона в каждом полушарии. Максимальное увеличение приходящей радиации отмечается в широтном диапазоне, расположенном между 35 градусами и 50 градусами широты в обоих полушариях.

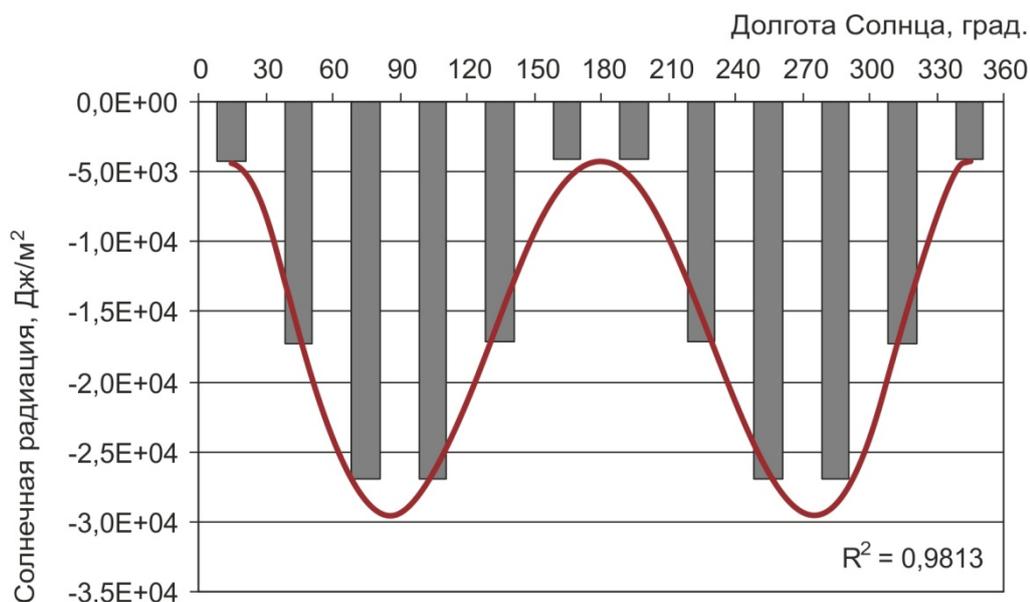


Рис. 6. Вековые тенденции в годовом ходе приходящей к Земле солнечной радиации за период с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. с шагом в 1/12 часть тропического года (начало соответствует точке весеннего равноденствия).

График аппроксимирован полиномом 6-й степени.

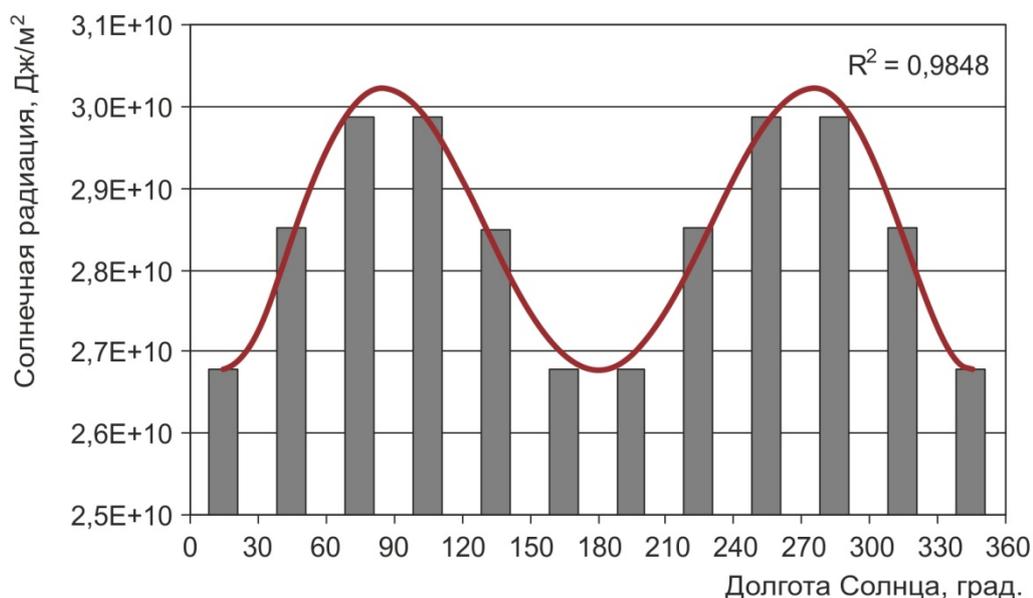


Рис. 7. Годовой ход приходящей солнечной радиации (в отсутствии атмосферы) с шагом в 1/12 часть тропического года к Земле в 2014 г. Календарному году соответствует начало тропического года (весеннее равноденствие).
График аппроксимирован полиномом 6-й степени.

3). В летнее для полушарий полугодие наиболее существенное сокращение характерно для 2-го и 3-го месяцев весеннего сезона и 1-го и 2-го месяцы летнего сезона в каждом полушарии. Сокращение в отмеченные сезоны последовательно увеличивается с увеличением широты.

4). Выделяются «мертвые» зоны – полярные области, не получающие на протяжении всего интервала (5999 лет) солнечной радиации в отдельные сезоны. В течение 2-го и 3-го осенних месяцев и двух первых зимних месяцев (двух первых третей сезона) широтные зоны от 80 до 90 градусов широты в каждом полушарии солнечной радиации не получают вовсе. В последнюю треть осени и первую треть зимы приход солнечной радиации также равен нулю в зонах от 70 до 80 градусов широты в каждом полушарии.

5). Выделяется приэкваториальная зона от 5 градусов ю.ш. до 5 градусов с.ш., для которой характерно увеличение приходящей радиации на исследуемом интервале в течение всего года. Эта область расширяется до широты 10 градусов во 2-й и 3-й месяцы весны и первые две трети лета каждого полушария, и до широты 15 градусов в последнюю треть весеннего сезона и первую треть летнего сезона в каждом полушарии.

Вековая тенденция в поступлении солнечной радиации характеризуется максимальным сокращением в периоды года близкие к солнцестояниям и минимальным сокращением в периоды, близкие к равноденствиям (рис. 6). Годовое поступление солнечной радиации имеет обратную направленность по отношению к годовому ходу вековой изменчивости сокращения солнечной радиации (рис. 7) т.е. на исследуемом интервале вековая изменчивость приходящей радиации (3000 г. до н.э. – 2999 г. н.э.) и приходящая за год радиация находятся в противофазе. Отмеченное противофазное распределение проявляется, во-первых, в том, что в летних полушариях приходящая радиация сокращается, а в зимних – увеличивается. В годовом же приходе максимальные значения приходятся на летние полушария, а минимальные – на зимние. Во-вторых, максимальные сокращения в вековой изменчивости приходятся на равноденствия, а минимальные – на солнцестояния. В годовом приходе радиации, наоборот, для равноденствий отмечается максимальное поступление радиации, а для солнцестояний – минимальное. Это свидетельствует о сглаживании различий между полугодиями в обеспеченности солнечной радиацией. Этот вывод подтверждается сравнением рис. 5, табл. 5 и рис. 8, табл. 6.

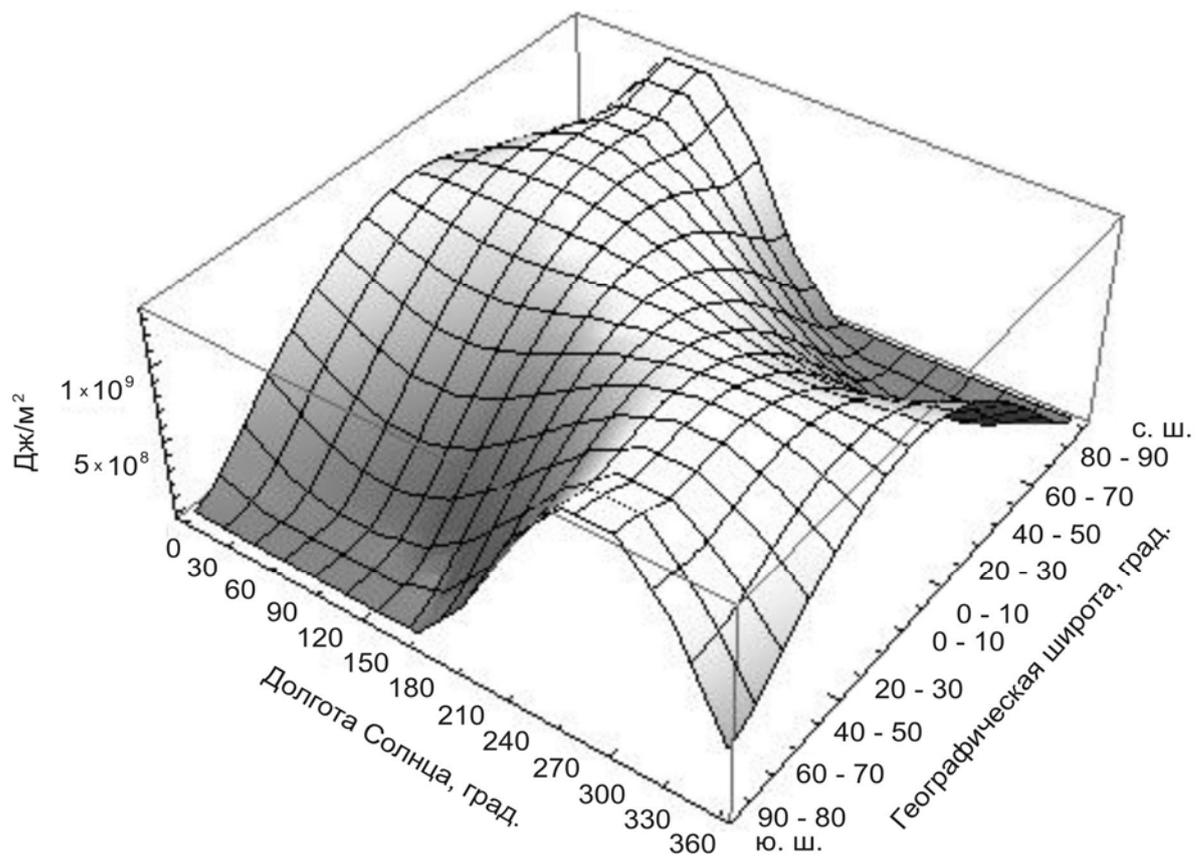


Рис. 8. Пространственно-временное распределение поступающей на поверхность эллипсоида Земли солнечной радиации в отсутствии атмосферы в 2014 тропическом году.

Табл. 6. Числовые значения распределения поступающей на поверхность эллипсоида Земли
солнечной радиации в отсутствии атмосферы в 2014 тропическом году (Дж/м²).

Заливкой выделены пространственно-временные интервалы с максимальным поступлением солнечной радиации

Широтные зоны / Астрономические сезоны	Весенний			Летний			Осенний			Зимний		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
85 – 90 с.ш.	3,73E+08	9,98E+08	1,36E+09	1,36E+09	9,98E+08	3,73E+08	8,25E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,25E+06
80 - 85	4,04E+08	9,90E+08	1,35E+09	1,35E+09	9,90E+08	4,04E+08	4,14E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,14E+07
75 - 80	4,64E+08	9,76E+08	1,33E+09	1,33E+09	9,76E+08	4,64E+08	1,08E+08	1,07E+06	0,00E+00	0,00E+00	1,07E+06	1,08E+08
70 - 75	5,43E+08	9,71E+08	1,30E+09	1,30E+09	9,71E+08	5,43E+08	1,94E+08	1,91E+07	0,00E+00	0,00E+00	1,91E+07	1,94E+08
65 - 70	6,23E+08	9,95E+08	1,27E+09	1,27E+09	9,95E+08	6,23E+08	2,85E+08	7,23E+07	5,12E+06	5,12E+06	7,23E+07	2,85E+08
60 - 65	7,02E+08	1,03E+09	1,26E+09	1,26E+09	1,03E+09	7,02E+08	3,77E+08	1,49E+08	4,76E+07	4,76E+07	1,49E+08	3,77E+08
55 - 60	7,76E+08	1,08E+09	1,27E+09	1,27E+09	1,08E+09	7,76E+08	4,68E+08	2,34E+08	1,17E+08	1,17E+08	2,34E+08	4,68E+08
50 -55	8,46E+08	1,11E+09	1,28E+09	1,28E+09	1,11E+09	8,46E+08	5,56E+08	3,22E+08	1,99E+08	1,99E+08	3,23E+08	5,56E+08
45 - 50	9,09E+08	1,15E+09	1,29E+09	1,29E+09	1,15E+09	9,09E+08	6,40E+08	4,13E+08	2,86E+08	2,86E+08	4,13E+08	6,40E+08
40 - 45	9,67E+08	1,18E+09	1,30E+09	1,30E+09	1,18E+09	9,67E+08	7,20E+08	5,02E+08	3,76E+08	3,76E+08	5,02E+08	7,20E+08
35 - 40	1,02E+09	1,20E+09	1,30E+09	1,30E+09	1,20E+09	1,02E+09	7,94E+08	5,90E+08	4,67E+08	4,67E+08	5,90E+08	7,94E+08
30 - 35	1,06E+09	1,21E+09	1,29E+09	1,29E+09	1,21E+09	1,06E+09	8,63E+08	6,74E+08	5,57E+08	5,57E+08	6,74E+08	8,63E+08
25 - 30	1,09E+09	1,22E+09	1,28E+09	1,28E+09	1,22E+09	1,09E+09	9,26E+08	7,55E+08	6,45E+08	6,45E+08	7,55E+08	9,26E+08
20 -25	1,12E+09	1,21E+09	1,25E+09	1,25E+09	1,21E+09	1,12E+09	9,81E+08	8,31E+08	7,31E+08	7,31E+08	8,31E+08	9,81E+08
15 - 20	1,14E+09	1,20E+09	1,22E+09	1,22E+09	1,20E+09	1,14E+09	1,03E+09	9,01E+08	8,13E+08	8,13E+08	9,01E+08	1,03E+09
10 - 15	1,15E+09	1,18E+09	1,19E+09	1,19E+09	1,18E+09	1,15E+09	1,07E+09	9,66E+08	8,90E+08	8,90E+08	9,66E+08	1,07E+09
05 - 10	1,15E+09	1,15E+09	1,14E+09	1,14E+09	1,15E+09	1,15E+09	1,10E+09	1,02E+09	9,62E+08	9,62E+08	1,02E+09	1,10E+09
00 – 05 с.ш.	1,14E+09	1,12E+09	1,09E+09	1,09E+09	1,12E+09	1,14E+09	1,13E+09	1,08E+09	1,03E+09	1,03E+09	1,08E+09	1,13E+09
00 – 05 ю.ш.	1,13E+09	1,08E+09	1,03E+09	1,03E+09	1,08E+09	1,13E+09	1,14E+09	1,12E+09	1,09E+09	1,09E+09	1,12E+09	1,14E+09
05 - 10	1,10E+09	1,02E+09	9,62E+08	9,62E+08	1,02E+09	1,10E+09	1,15E+09	1,15E+09	1,14E+09	1,14E+09	1,15E+09	1,15E+09
10 - 15	1,07E+09	9,66E+08	8,90E+08	8,90E+08	9,66E+08	1,07E+09	1,15E+09	1,18E+09	1,19E+09	1,19E+09	1,18E+09	1,15E+09
15 - 20	1,03E+09	9,01E+08	8,13E+08	8,13E+08	9,01E+08	1,03E+09	1,14E+09	1,20E+09	1,22E+09	1,22E+09	1,20E+09	1,14E+09
20 -25	9,81E+08	8,31E+08	7,31E+08	7,31E+08	8,31E+08	9,81E+08	1,12E+09	1,21E+09	1,25E+09	1,25E+09	1,21E+09	1,12E+09
25 - 30	9,26E+08	7,55E+08	6,45E+08	6,45E+08	7,55E+08	9,26E+08	1,09E+09	1,22E+09	1,28E+09	1,28E+09	1,22E+09	1,09E+09
30 - 35	8,63E+08	6,74E+08	5,57E+08	5,57E+08	6,74E+08	8,63E+08	1,06E+09	1,21E+09	1,29E+09	1,29E+09	1,21E+09	1,06E+09
35 - 40	7,94E+08	5,90E+08	4,67E+08	4,67E+08	5,90E+08	7,94E+08	1,02E+09	1,20E+09	1,30E+09	1,30E+09	1,20E+09	1,02E+09
40 - 45	7,20E+08	5,02E+08	3,76E+08	3,76E+08	5,02E+08	7,20E+08	9,67E+08	1,18E+09	1,30E+09	1,30E+09	1,18E+09	9,67E+08
45 - 50	6,40E+08	4,13E+08	2,86E+08	2,86E+08	4,13E+08	6,40E+08	9,09E+08	1,15E+09	1,29E+09	1,29E+09	1,15E+09	9,09E+08
50 -55	5,56E+08	3,23E+08	1,99E+08	1,99E+08	3,23E+08	5,56E+08	8,46E+08	1,11E+09	1,28E+09	1,28E+09	1,11E+09	8,46E+08
55 - 60	4,68E+08	2,34E+08	1,17E+08	1,17E+08	2,34E+08	4,68E+08	7,76E+08	1,08E+09	1,27E+09	1,27E+09	1,08E+09	7,76E+08
60 - 65	3,77E+08	1,49E+08	4,76E+07	4,76E+07	1,49E+08	3,77E+08	7,02E+08	1,03E+09	1,26E+09	1,26E+09	1,03E+09	7,02E+08
65 - 70	2,85E+08	7,23E+07	5,12E+06	5,12E+06	7,23E+07	2,85E+08	6,23E+08	9,95E+08	1,27E+09	1,27E+09	9,95E+08	6,23E+08
70 - 75	1,94E+08	1,91E+07	0,00E+00	0,00E+00	1,91E+07	1,94E+08	5,43E+08	9,71E+08	1,30E+09	1,30E+09	9,71E+08	5,43E+08
75 - 80	1,08E+08	1,07E+06	0,00E+00	0,00E+00	1,07E+06	1,08E+08	4,64E+08	9,76E+08	1,33E+09	1,33E+09	9,76E+08	4,64E+08
80 - 85	4,14E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,14E+07	4,04E+08	9,90E+08	1,35E+09	1,35E+09	9,90E+08	4,04E+08
85 – 90 ю.ш.	8,25E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,25E+06	3,73E+08	9,98E+08	1,36E+09	1,36E+09	9,98E+08	3,73E+08
Сумма	7,44E+08	7,92E+08	8,30E+08	8,30E+08	7,92E+08	7,44E+08	7,44E+08	7,92E+08	8,30E+08	8,30E+08	7,92E+08	7,44E+08

Межгодовая изменчивость солнечной радиации

Отдельно исследовались особенности межгодовой изменчивости поступающей к Земле за год (рис. 4, табл. 7) и полугодия (рис. 9, 10, 11) солнечной радиации в интервале с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. В летнее (для северного полушария) полугодие средняя амплитуда межгодовой изменчивости в южном полушарии составляет 0,00342% по отношению к суммарной за полугодие (абсолютные значения амплитуды межгодовой изменчивости приведены на графиках). В северном полушарии это значение составляет 0,00155%. В 2-х и 3-х летних циклах амплитуда межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации возрастает до 0,00399% в южном полушарии и до 0,00198% – в северном. В 8-ми, 11-ти и 19-ти летних циклах амплитуда межгодовой изменчивости достигает максимальных величин – 0,00486% в южном полушарии и 0,0024% – в северном. В южной полярной области (85 – 90 градусов ю.ш.) в это время средняя величина межгодовой изменчивости составляет 0,04338%. В 2-х и 3-х летних циклах она увеличивается до 0,05381%, в 8-ми и 11-ти летних – до 0,06779%. В северной полярной области (85 – 90 градусов с.ш.) в летнее полугодие среднее значение межгодовой изменчивости составляет 0,00211. В ее изменчивости проявляется только 19-ти летний цикл, средняя амплитуда которого равняется 0,0037%.

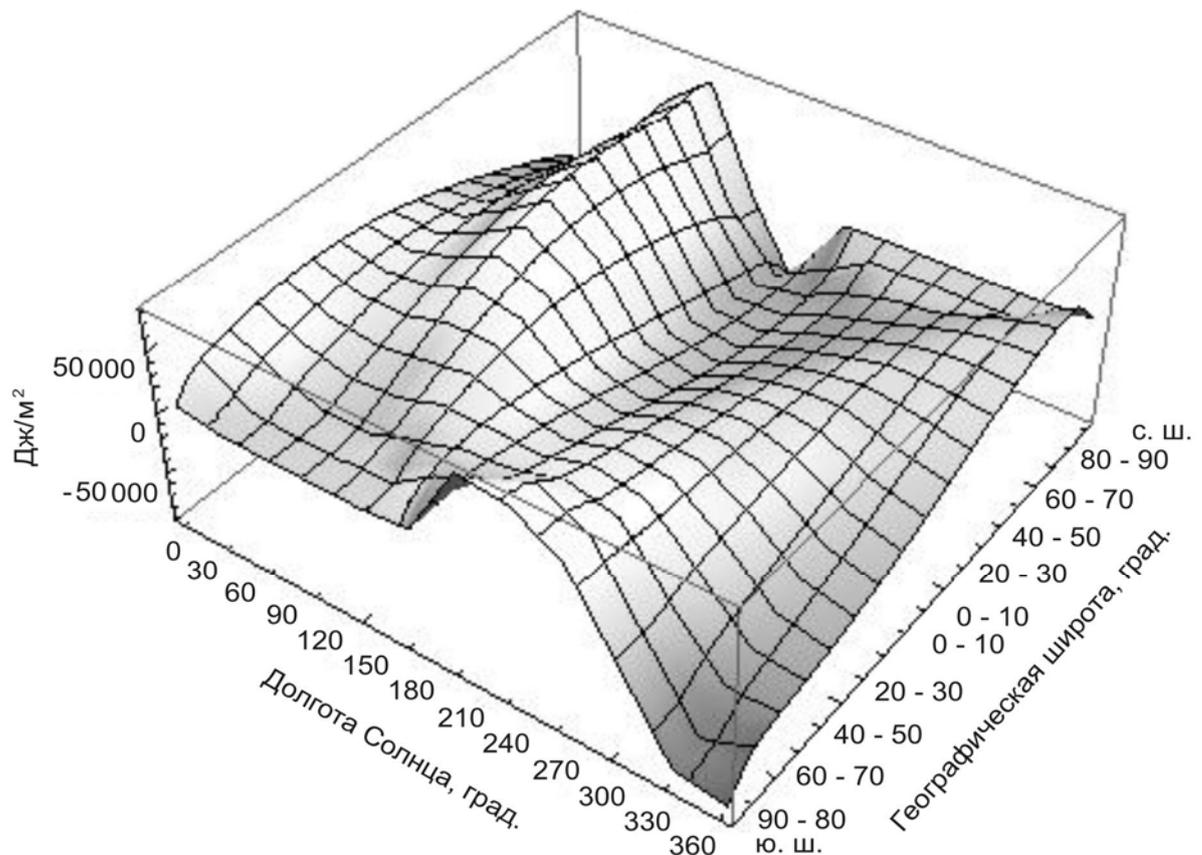


Рис. 9. Пространственно-временное распределение разности солнечной радиации ($\text{Дж}/\text{м}^2$) поступающей в 2012 и 2013 гг. в отсутствие атмосферы для соответствующих географических широтных зон и астрономических сезонов (с разрешением в 1/3 сезона).

Табл. 7. Числовые значения распределения разности солнечной радиации (Дж/м²) поступающей в 2012 и 2013 гг. в отсутствии атмосферы для соответствующих географических широтных зон и астрономических сезонов (с разрешением в 1/3 сезона).
Заливкой показаны градации пространственно-временных различий в поступлении солнечной радиации

Широтные зоны / Астрономические сезоны	Весенний			Летний			Осенний			Зимний		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
85 – 90 с.ш.	-4,03E+04	-1,15E+04	4,50E+04	7,45E+04	-6,97E+03	-7,04E+04	-1,45E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,16E+03
80 - 85	-2,66E+04	-1,14E+04	4,47E+04	7,39E+04	-6,92E+03	-5,54E+04	-1,30E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,68E+04
75 - 80	-1,89E+04	-1,04E+04	4,40E+04	7,28E+04	-6,05E+03	-4,61E+04	-2,42E+04	-1,82E+02	0,00E+00	0,00E+00	4,24E+02	2,65E+04
70 - 75	-1,39E+04	-3,31E+03	4,30E+04	7,11E+04	2,81E+03	-4,22E+04	-2,84E+04	-5,53E+03	0,00E+00	0,00E+00	8,46E+03	2,83E+04
65 - 70	-9,43E+03	2,64E+03	4,32E+04	7,08E+04	9,90E+03	-3,94E+04	-3,03E+04	-1,25E+04	-1,19E+03	1,77E+03	1,67E+04	2,78E+04
60 - 65	-5,18E+03	6,93E+03	4,59E+04	7,28E+04	1,51E+04	-3,70E+04	-3,11E+04	-1,48E+04	-3,67E+03	6,29E+03	1,94E+04	2,61E+04
55 - 60	-1,05E+03	1,07E+04	4,81E+04	7,49E+04	1,97E+04	-3,46E+04	-3,12E+04	-1,54E+04	-3,88E+03	8,48E+03	2,01E+04	2,38E+04
50 -55	2,98E+03	1,40E+04	5,01E+04	7,69E+04	2,39E+04	-3,21E+04	-3,09E+04	-1,51E+04	-3,27E+03	9,88E+03	1,97E+04	2,10E+04
45 - 50	6,92E+03	1,71E+04	5,18E+04	7,86E+04	2,77E+04	-2,96E+04	-3,01E+04	-1,43E+04	-2,21E+03	1,09E+04	1,85E+04	1,79E+04
40 - 45	1,08E+04	2,00E+04	5,32E+04	7,99E+04	3,12E+04	-2,69E+04	-2,90E+04	-1,29E+04	-8,66E+02	1,15E+04	1,69E+04	1,45E+04
35 - 40	1,45E+04	2,26E+04	5,42E+04	8,08E+04	3,44E+04	-2,41E+04	-2,76E+04	-1,13E+04	6,79E+02	1,20E+04	1,48E+04	1,08E+04
30 - 35	1,81E+04	2,50E+04	5,49E+04	8,11E+04	3,73E+04	-2,12E+04	-2,59E+04	-9,35E+03	2,37E+03	1,22E+04	1,24E+04	6,99E+03
25 - 30	2,15E+04	2,71E+04	5,52E+04	8,10E+04	3,98E+04	-1,82E+04	-2,39E+04	-7,19E+03	4,16E+03	1,23E+04	9,65E+03	3,05E+03
20 -25	2,47E+04	2,90E+04	5,51E+04	8,03E+04	4,20E+04	-1,51E+04	-2,16E+04	-4,85E+03	6,01E+03	1,21E+04	6,70E+03	-9,74E+02
15 - 20	2,77E+04	3,06E+04	5,46E+04	7,91E+04	4,39E+04	-1,19E+04	-1,92E+04	-2,35E+03	7,91E+03	1,18E+04	3,56E+03	-5,05E+03
10 - 15	3,05E+04	3,20E+04	5,38E+04	7,74E+04	4,53E+04	-8,64E+03	-1,66E+04	2,71E+02	9,83E+03	1,14E+04	2,67E+02	-9,13E+03
05 - 10	3,30E+04	3,31E+04	5,25E+04	7,52E+04	4,64E+04	-5,36E+03	-1,38E+04	2,98E+03	1,17E+04	1,08E+04	-3,15E+03	-1,32E+04
00 – 05 с.ш.	3,53E+04	3,39E+04	5,09E+04	7,24E+04	4,71E+04	-2,08E+03	-1,08E+04	5,77E+03	1,36E+04	1,01E+04	-6,65E+03	-1,72E+04
00 – 05 ю.ш.	3,73E+04	3,44E+04	4,90E+04	6,91E+04	4,74E+04	1,19E+03	-7,76E+03	8,60E+03	1,55E+04	9,28E+03	-1,02E+04	-2,11E+04
05 - 10	3,90E+04	3,46E+04	4,67E+04	6,54E+04	4,73E+04	4,42E+03	-4,60E+03	1,14E+04	1,73E+04	8,32E+03	-1,38E+04	-2,49E+04
10 - 15	4,04E+04	3,45E+04	4,40E+04	6,13E+04	4,68E+04	7,58E+03	-1,36E+03	1,43E+04	1,90E+04	7,24E+03	-1,74E+04	-2,86E+04
15 - 20	4,14E+04	3,41E+04	4,11E+04	5,67E+04	4,60E+04	1,06E+04	1,93E+03	1,72E+04	2,07E+04	6,05E+03	-2,10E+04	-3,20E+04
20 -25	4,22E+04	3,34E+04	3,79E+04	5,18E+04	4,47E+04	1,36E+04	5,25E+03	2,00E+04	2,23E+04	4,75E+03	-2,45E+04	-3,53E+04
25 - 30	4,25E+04	3,24E+04	3,44E+04	4,66E+04	4,31E+04	1,64E+04	8,58E+03	2,27E+04	2,38E+04	3,35E+03	-2,80E+04	-3,84E+04
30 - 35	4,26E+04	3,12E+04	3,07E+04	4,11E+04	4,11E+04	1,90E+04	1,19E+04	2,55E+04	2,52E+04	1,85E+03	-3,15E+04	-4,12E+04
35 - 40	4,23E+04	2,96E+04	2,68E+04	3,54E+04	3,87E+04	2,15E+04	1,52E+04	2,82E+04	2,66E+04	2,44E+02	-3,49E+04	-4,38E+04
40 - 45	4,16E+04	2,77E+04	2,27E+04	2,95E+04	3,59E+04	2,37E+04	1,84E+04	3,09E+04	2,79E+04	-1,48E+03	-3,83E+04	-4,62E+04
45 - 50	4,06E+04	2,56E+04	1,86E+04	2,36E+04	3,28E+04	2,57E+04	2,17E+04	3,35E+04	2,92E+04	-3,35E+03	-4,16E+04	-4,83E+04
50 -55	3,92E+04	2,31E+04	1,44E+04	1,77E+04	2,94E+04	2,73E+04	2,48E+04	3,63E+04	3,05E+04	-5,42E+03	-4,51E+04	-5,02E+04
55 - 60	3,74E+04	2,03E+04	1,01E+04	1,20E+04	2,55E+04	2,86E+04	2,80E+04	3,93E+04	3,20E+04	-7,79E+03	-4,88E+04	-5,19E+04
60 - 65	3,53E+04	1,71E+04	5,96E+03	6,64E+03	2,12E+04	2,95E+04	3,12E+04	4,27E+04	3,41E+04	-1,08E+04	-5,30E+04	-5,35E+04
65 - 70	3,27E+04	1,32E+04	1,57E+03	1,87E+03	1,63E+04	2,98E+04	3,47E+04	4,74E+04	3,81E+04	-1,60E+04	-5,87E+04	-5,52E+04
70 - 75	2,96E+04	7,61E+03	0,00E+00	0,00E+00	9,46E+03	2,92E+04	3,86E+04	5,63E+04	4,06E+04	-1,84E+04	-6,94E+04	-5,73E+04
75 - 80	2,57E+04	7,44E+02	0,00E+00	0,00E+00	7,67E+02	2,70E+04	4,43E+04	6,31E+04	4,15E+04	-1,88E+04	-7,92E+04	-6,11E+04
80 - 85	1,86E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,88E+04	5,67E+04	6,43E+04	4,22E+04	-1,91E+04	-8,09E+04	-7,21E+04
85 – 90 ю.ш.	5,31E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,37E+03	6,87E+04	6,48E+04	4,25E+04	-1,93E+04	-8,15E+04	-8,65E+04
Сумма	7,44E+05	6,68E+05	1,28E+06	1,89E+06	9,73E+05	-1,82E+05	-1,26E+04	5,10E+05	5,70E+05	6,22E+04	-6,20E+05	-6,67E+05

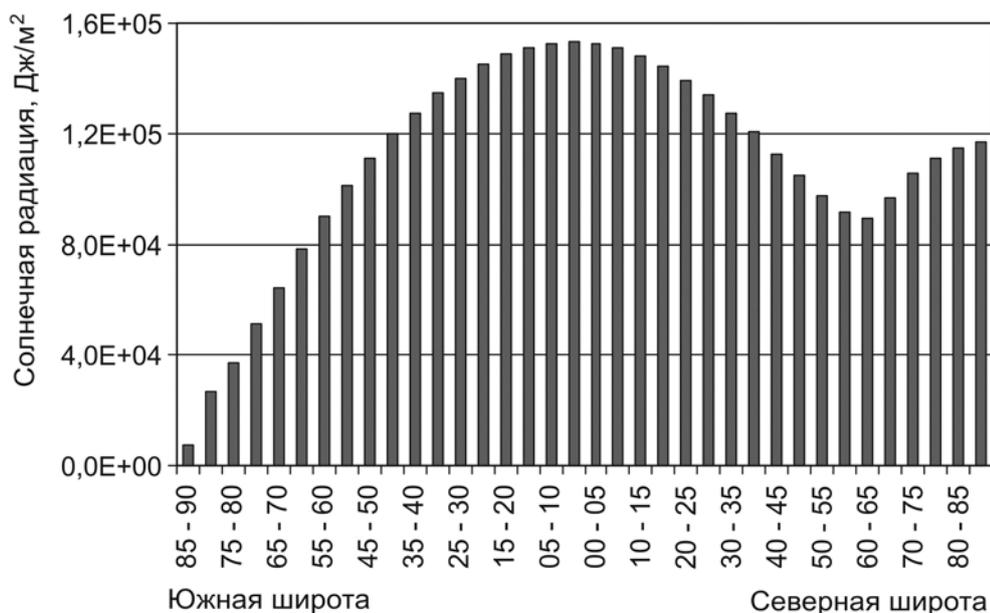


Рис. 10. Широтное распределение средней амплитуды межгодовой изменчивости солнечной радиации поступающей в летнее (для северного полушария) полугодие на поверхность земного эллипсоида в отсутствии атмосферы.

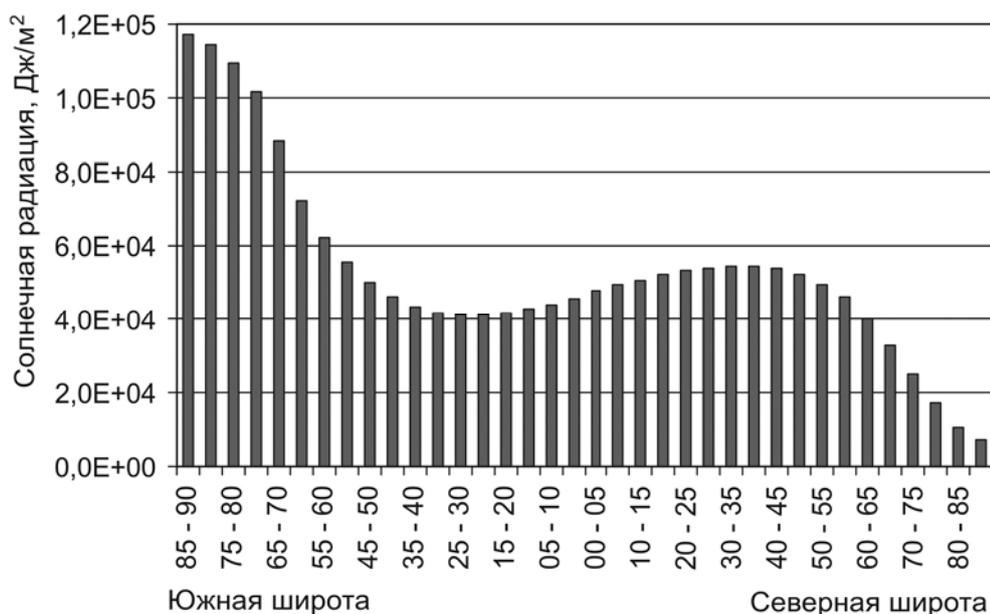


Рис. 11. Широтное распределение средней амплитуды межгодовой изменчивости солнечной радиации поступающей в зимнее (для северного полушария) полугодие на поверхность земного эллипсоида в отсутствии атмосферы.

В зимнее (для северного полушария) полугодие межгодовая изменчивость существенно меньше, чем в летнее полугодие. В южном полушарии среднее значение межгодовой изменчивости составляет 0,0008% (в 19-ти летнем цикле – 0,00169%). В северном полушарии средняя амплитуда межгодовой изменчивости несколько больше – 0,00134%. Межгодовая изменчивость в южной полярной области в это время характеризуется средней амплитудой равной 0,00213% (в 19-ти летнем цикле – 0,00376). Средняя величина межгодовой изменчивости в северной полярной области составляет 0,04286%, в 2-х и 3-х летних циклах – 0,05359%, в 8-ми и 11-ти летних циклах – 0,06781%.

Таким образом, максимальные амплитуды межгодовой изменчивости в летнее (для Северного полушария) полугодие характерны для Южной полярной области (где для нее отмечаются 2-, 3-, 8- и 11-летние колебания). В Северной полярной области в это время межгодовая изменчивость характеризуется 19-ти летней периодичностью. В зимнее (для Северного полушария) полугодие максимальные значения характерны для Северной полярной области, где они характеризуются колебаниями с периодами 2, 3, 8 и 11 лет. В Южной полярной области в это время межгодовая изменчивость регулируется 19-летним циклом. В зимнее для полушарий полугодие амплитуды межгодовой изменчивости по средним значениям уступают летним.

Заключение

Анализ результатов расчетов приходящей солнечной радиации к земному эллипсоиду в отсутствие атмосферы позволяет сделать следующие выводы:

1. В современную эпоху (от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э.) происходит сокращение приходящей солнечной радиации к Земле. Сокращение радиации связано с вековым изменением наклона оси вращения Земли. В приходящей к Земле солнечной радиации проявляется межгодовая изменчивость и периодичность равная 2-м, 3-м, 8-ми, 11-ти и 19-ти годам. В полярных районах преобладает 19-ти летняя периодичность. В экваториальных районах максимальные амплитуды отмечаются для 2-х и 3-х летней периодичности. 2-х и 3-х летняя периодичность образует 8-ми и 11-ти летние циклы (2+3+3 и 2+3+3+3) которые в сумме составляют 19-ти летний цикл. Полученная периодичность определяется суперпозицией и синхронизацией нутационного цикла и возмущением, связанным с соизмеримостью в орбитальных движениях Земли, Марса и Венеры.

2. Поступление солнечной радиации в экваториальные районы Земли в современную эпоху несколько увеличивается, а в полярные районы существенно сокращается. Таким образом, происходит увеличение межширотного градиента в поступающей на земной эллипсоид в отсутствие атмосферы солнечной радиации (широтные контрасты увеличиваются).

3. Для нутационного 19-ти летнего цикла отмечается смена сокращения и увеличения поступающей солнечной радиации в экваториальных и полярных районах по фазам цикла приблизительно равным половине периода. Этот эффект связан с наклоном оси вращения Земли в результате нутации.

4. В вековой тенденции в летних полушариях приходящая радиация сокращается, а в зимних – увеличивается (сезонные различия сглаживаются). Максимальные сокращения в вековой изменчивости приходятся на равноденствия, а минимальные – на солнцестояния. В годовом поступлении радиации, наоборот, для равноденствий отмечается максимальное поступление радиации, а для солнцестояний – минимальное.

5. Максимальные абсолютные значения амплитуды межгодовой изменчивости солнечной радиации отмечаются в экваториальной и полярной областях. Минимальные значения характерны для широтных зон 60° – 65° в каждом полушарии

6. В летнее для Северного полушария полугодие максимальные (по абсолютным значениям) амплитуды межгодовой изменчивости характерны для экваториальной области, минимальные - для широтной зоны 60° – 65° с.ш. В зимнее для Северного полушария полугодие максимальные значения амплитуды межгодовой изменчивости отмечаются в Южной полярной области, минимальные – в Северной полярной области и широтной зоне 25° – 30° с.ш.

Отмеченные особенности в поступлении солнечной радиации и ее распределении по поверхности земного эллипсоида могут иметь значение при исследовании изменений глобального климата Земли, изучении атмосферы и Мирового океана, криосферы Земли и, состояния и динамики биосферы.

Литература

1. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. – М.: Наука, 1972. – 360 с.
2. Владимирова Д.О., Екайкин А.А. Климатическая изменчивость в секторе моря Дейвиса (Восточная Антарктида) за последние 250 лет по данным геохимических исследований ледяного ядра из скважины 105-й км. // Проблемы Арктики и Антарктики. - № 1 (99). – 2014. – с. 102 – 113.
3. Гребеников Е.А., Рябов Ю.А. Резонансы и малые знаменатели в небесной механике. – М.: Наука, 1978. – 128 с.
4. Дроздов О.А., Васильев Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
5. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.–Л.: ГОНТИ, 1939. – 208 с.
6. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 408 с.
7. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
8. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук, 2000. – т. 170. – № 4. – с. 419 – 445.
9. Федоров В.М. Теоретический расчет межгодовой изменчивости солнечной постоянной // Астрономический вестник, 2012. – т. 46. – № 2. – с. 184 – 189.
10. Федоров В.М. Межгодовые вариации продолжительности тропического года // Доклады РАН, 2013. – т. 451. – № 1. – с. 95 – 97.
11. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. – М.: МГУ, 2006. – 582 с.
12. Borisenkov; E. P., Tsvetkov A.V., Agaponov S.V. On some characteristics of insolation changes in the past and the future // Climatic Change, 1983. – № 5. – pp. 237-244.
13. Borisenkov E. P., Tsvetkov A.V., Eddy J.A. 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, 1985. – v. 42. – № 9. – pp. 933 – 940.
14. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant // Solar System Research, 2012. – v. 46. – №. 2. – pp. 170 – 176.
15. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year // Doklady Earth Sciences, 2013. – v. 451. – Part 1. – pp. 750–753.
16. 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.