

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СЕЗОННОЙ КАРТИНЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И СОПРЯЖЁННЫХ ВАРИАЦИЙ ПОВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. ВОЛКОВ*, А.А. ХАДАРЦЕВ*, Б.Г. ВАЛЕНТИНОВ**

*Тулский государственный университет, пр-т Ленина, д. 92, Тула, 300028, Россия

**АНО «ФАРМА 2030», рабочий посёлок Шаховская,
деревня Судислово, дом 2б часть 2, помещение 2, Московская область, 143700, Россия

Аннотация. Целью исследования является анализ сезонной динамики солнечной активности, обеспечивающей вариабельность поведения биологических систем. **Материалы и методы исследования.** Анализ сезонной динамики солнечной активности базировался на ежедневных значениях величин относительных чисел Вольфа. Соответствующие ряды формируются National Research Council of Canada и представлены в базах данных <https://www.ngdc.noaa.gov> и <http://www.wdcb.ru>. Последовательность статистической обработки данных – одинакова для рядов чисел Вольфа и величин радиоизлучения на длине волны 10,7 см. Ряд величин относительных чисел Вольфа охватывает интервал от 2010 до 2014 годов и включает 1826 значений. **Результаты и их обсуждение.** Рассмотрены результаты анализа временного ряда ежедневных относительных чисел Вольфа, включая результаты разделения поля на фоновую и диагностическую компоненты и статистического анализа последней. Установлено, что дисперсия компоненты, в целом, увеличивается от фазы минимума солнечной активности к фазе максимума, а затем вновь снижается. В границах каждого года себя проявляют три сезонных максимума солнечной активности: первый – в конце зимы – в апреле; второй – в окрестности июля; третий – в окрестности октября. Однако в один год более выражены максимумы переходных периодов, а на следующий год – летний максимум, при несколько меньшем эффекте максимумов переходных периодов. Возможно, с этими фазами связан рост сезонной заболеваемости населения, включая обострение психосоматических патологий. **Заключение.** Междисциплинарные подходы нуждаются в дальнейшем их использовании для перспективного развития общей гигиены.

Ключевые слова: солнечная активность, относительные числа Вольфа, статистический анализ рядов наблюдений, компоненты поля, изменения параметров окружающей среды, сезонная заболеваемость населения.

IDENTIFICATION OF PATTERNS OF SEASONAL PATTERNS OF SOLAR ACTIVITY AND ASSOCIATED VARIATIONS IN THE BEHAVIOR OF BIOLOGICAL SYSTEMS

A.V. VOLKOV*, A.A. KHADARTSEV*, B.G. VALENTINOV**

*Tula State University, 92 Lenin Ave., Tula, 300028, Russia

**ANO "PHARMA 2030", Shakhovskaya work settlement, Sudislovo village, house 2b part 2, room 2, Moscow region, 143700, Russia

Abstract. The aim of the study is to analyze the seasonal dynamics of solar activity, providing variability in the behavior of biological systems. **Materials and methods of research.** The analysis of seasonal dynamics of solar activity was based on daily values of relative Wolf numbers. The corresponding series are formed by the National Research Council of Canada and are presented in databases <https://www.ngdc.noaa.gov> and <http://www.wdcb.ru>. The sequence of statistical data processing is the same for the series of Wolf numbers and radio emission values at a wavelength of 10.7 cm. The series of values of the relative Wolf numbers covers the interval from 2010 to 2014 and includes 1826 values. **Results and their discussion.** The results of the analysis of the time series of daily relative Wolf numbers are considered, including the results of the division of the field into background and diagnostic components and statistical analysis of the latter. It is established that the dispersion of the component, as a whole, increases from the phase of minimum solar activity to the phase of maximum, and then decreases again. Within the boundaries of each year, three seasonal peaks of solar activity manifest themselves: the first - at the end of winter – in April; the second is in the vicinity of July; the third is in the vicinity of October. However, one year the maxima of the transition periods are more pronounced, and the next year - the summer maximum, with a slightly smaller effect of the maxima of the transition periods. It is possible that these phases are associated with an increase in seasonal morbidity of the population, including an exacerbation of psychosomatic pathologies. **Conclusion.** Interdisciplinary approaches need to be further used for the long-term development of general hygiene.

Key words: solar activity, relative Wolf numbers, statistical analysis of observation series, components

Введение. Изучение общих закономерностей влияния факторов окружающей среды на здоровье человека и обеспечение методических подходов к их исследованию – являются основной задачей, которая решается общей гигиеной. Поэтому изучение гелиогеофизических зависимостей, отражающихся на здоровье человека, как биологической динамической системы, представляется важной проблемой, интегрирующей закономерности макро- и микромира [2, 4, 6, 8, 9, 10, 14, 15]. Проводятся исследования солнечного, космо- и геофизического события, их мониторингования [5, 13]. Наблюдаемые всеми изменения климата были оценены Правительством РФ, утвердившим своим распоряжением национальный план мероприятий по адаптации к изменениям климата [11].

Цель исследования – анализ сезонной динамики солнечной активности, обеспечивающей вариативность поведения биологических систем.

Материалы и методы исследования. Анализ сезонной динамики солнечной активности базировался на ежедневных значениях величин относительных чисел Вольфа. Соответствующие ряды формируются *National Research Council of Canada* и представлены в базах данных <https://www.ngdc.noaa.gov> и <http://www.wdcb.ru>. Последовательность статистической обработки данных – едина для рядов чисел Вольфа (W) и величин радиоизлучения на длине волны 10,7 см ($F_{10,7}$). Ряд величин относительных чисел Вольфа охватывает интервал от 2010 до 2014 годов и включает 1826 значений.

Результаты и их обсуждение. На начальном этапе обработки данных рассчитывается периодограмма, или «сырой спектр», исходного ряда, с учётом выполняемого программой вычитания средней величины и линейного тренда. Общий вид периодограммы изучаемого ряда представлен на рис. 1.

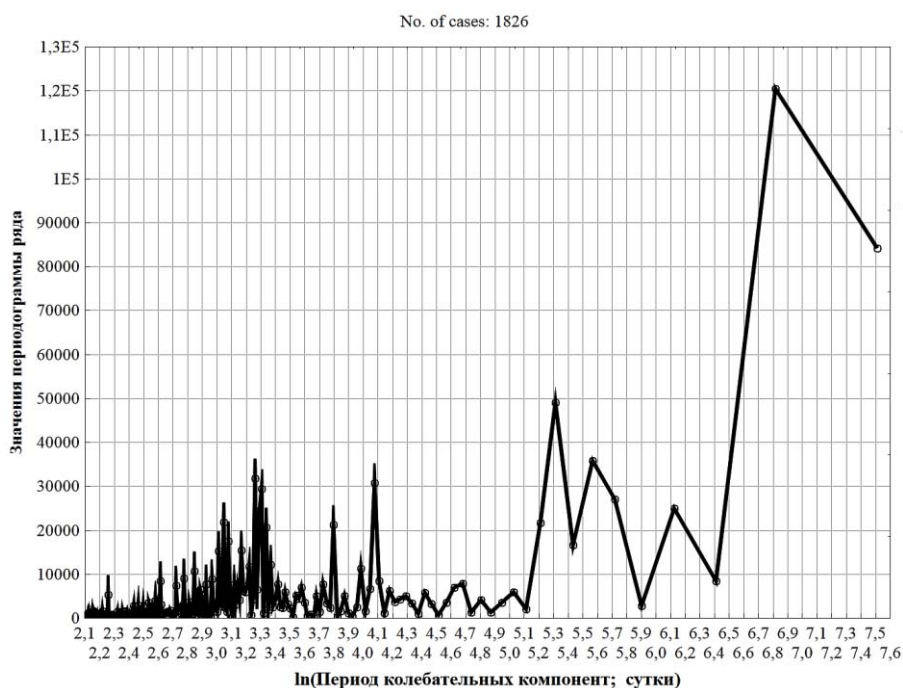


Рис. 1. Периодограмма ряда величин относительных чисел Вольфа, характеризующая выборку 2010-2014 годов объёмом 1826 значений

Согласно рис. 1, спектр включает два выраженных блока колебательных мод: блок относительно высокочастотных и низкочастотных компонент. Поэтому необходимо, по возможности, удалить низкочастотный тренд и рассмотреть высокочастотные компоненты более детально.

Для формирования линейной модели низкочастотной компоненты поля определим численные значения периодов, входящих в низкочастотный блок периодограммы. Трансформация периодограммы в функцию спектральной плотности ряда выполняется путём сглаживания периодограммы окном Р.У. Хэмминга длиной 5 позиций. Столь небольшое окно, видимо, не сказывается на характеристиках пиков в низкочастотной области спектра.

Значения низкочастотных периодов представлены в табл. 1.

Величины периодов колебательных мод, характеризующих низкочастотный блок поля величин относительных чисел Вольфа

№	T, сутки	$a = 2\pi / T$
1	202,889	0,030969
2	260,857	0,024087
3	456,500	0,013764
4	913,000	0,006882
5	4058,8*	0,001548

Примечание: *T = 4058,8 = 11,12×365 суток.

На основе результатов первого этапа сформируем модель низкочастотного тренда ряда (переменная SP), опираясь на весь массив никак не преобразованных данных. Численные значения коэффициентов модели представлены в табл. 2.

Значения коэффициентов регрессионной модели

Model: SP=A1*cos(0,030969*d+B1)+A2*cos(0,024087*d+B2)+A3*c... (SolarPoint -2) Dep. var: SP Loss: (OBS-PRED)**2 Final loss: 829874,53269 R= ,74302 Variance explained: 55,207%														
N=1826	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5	A6	T	Z	C
Estimate	6,579375	-1,53787	-6,99710	-0,878502	-4,87719	1,710148	14,11520	1,638998	34,36241	10,40244	-3,05798	0,109832	7,951203	37,16934

Общий вид модели таков:

$$SP = \sum a_i,$$

где $a_1 = 6,579375 \cdot \cos(0,030969 \cdot d - 1,53787)$;

$a_2 = -6,9971 \cdot \cos(0,024087 \cdot d - 0,878502)$;

$a_3 = -4,87719 \cdot \cos(0,013764 \cdot d + 1,710148 \cdot \cos(0,034243 \cdot d - 1,51395))$;

$a_4 = 14,1152 \cdot \cos(0,006882 \cdot d + 1,638998)$;

$a_5 = 34,36241 \cdot \cos(0,001548 \cdot d + 10,40244)$;

$a_6 = -3,05798 \cdot \cos(1,009106 \cdot d - 7,59667 \cdot \cos(0,109832 \cdot d + 7,951203)) + 37,16934$,

где d – аргумент ряда: номер значения в массиве данных.

Временной ход исходных ежедневных величин относительных чисел Вольфа за период 2010-2014 годы (1), величин низкочастотной (2) и высокочастотной, или диагностической (3), компонент ряда представлен на рис. 2. Шаг по оси аргумента составляет 30,4 суток или один месяц. Общий объем выборки – 1826 значений (4×365 + 366) и охватывает 2010, 2011, 2012, 2013 и 2014 годы.

Стоит уточнить, что средняя продолжительность месяца принята 30,4 суток, а не (3×365 + 366)/(4×12) = 30,438 суток. А для всего ряда 2010-2014 годов она составляет (4×365 + 366)/60 = 30,433 суток. Поэтому последняя позиция, вынесенная на рисунок, – 1824, а не 1826.

Согласно результату расчёта (рис. 2), дисперсия высокочастотной, или диагностической, части ряда, в целом, увеличивается при переходе от минимума солнечного цикла к фазе его максимума. Таким образом, подтверждается заключение климатологов, согласно которому, в условиях переходных процессов, дисперсия параметров возрастает в фазе выраженного максимума процессов, а затем вновь снижается. По-видимому, это заключение может быть распространено и на процессы в пространственной области их исчисления, а также на социально-экономические процессы. В последнем случае дисперсия, как фактор неопределённости принятия решений, существенно возрастает в фазе максимума развития каких-либо событий, а затем снижается.

Рассчитаем основные статистики диагностической части изучаемого ряда (рис. 2, позиция 3). Результаты расчёта представлены в табл. 3.

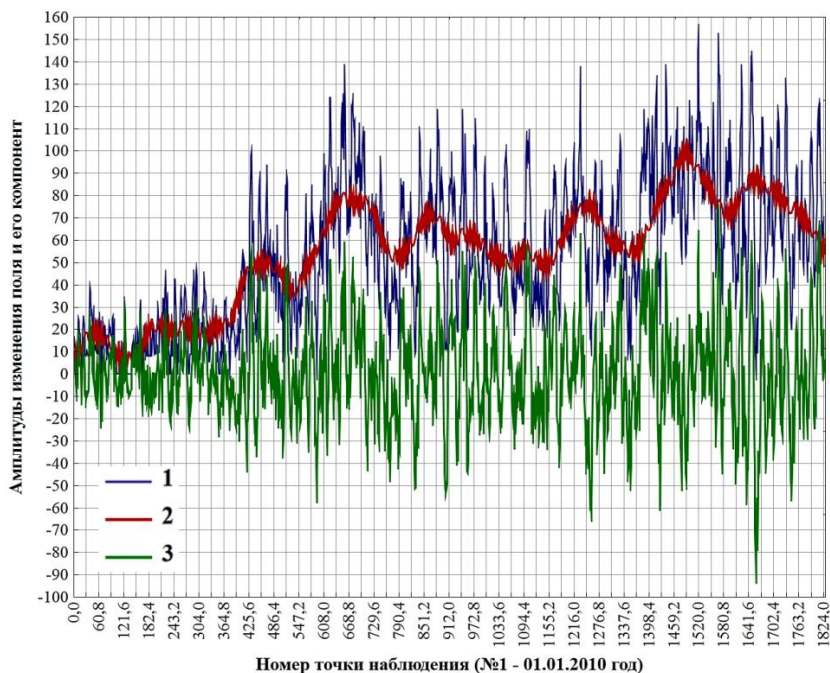


Рис. 2. Разделение поля относительных чисел Вольфа на фоновую и диагностическую компоненты (2010-2014 годы)

Таблица 3

**Величины основных статистик диагностической компоненты
 ряда относительных чисел Вольфа**

Variable	Descriptive Statistics (SolarPoint -2)													
	Valid N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Standard Error	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
SPhi	1826	-0,001081	-0,983847	Multiple	1	-89,6954	72,12512	454,7258	21,32430	0,499027	0,096339	0,057276	0,578337	0,114489

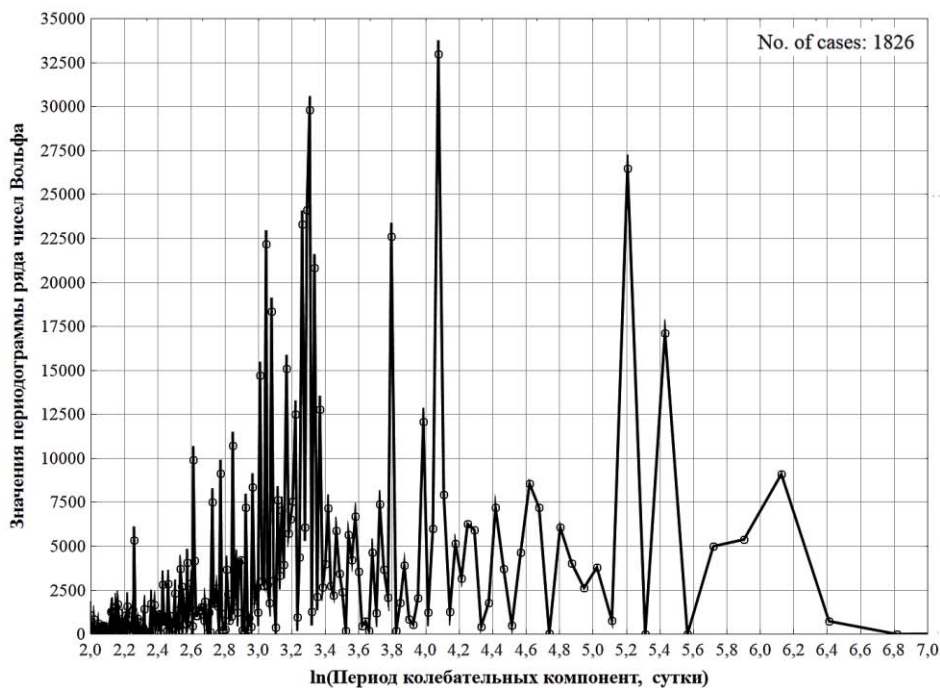


Рис. 3. Периодограмма диагностической компоненты величин относительных чисел Вольфа (2010-2014 годы)

Укажем, что среднее исходного ряда – величин относительных чисел Вольфа (переменная SP) составляет 54,743. А среднее значение диагностической части данного ряда (переменная $SPhi$) – $-0,0011$, что по абсолютной величине составляет 0,002 %. Таким образом, выделение диагностической части ряда с нулевым средним можно считать адекватным. Однако этот массив данных не следует считать шумом, в т.ч. «белым шумом», поскольку, помимо нулевого математического ожидания, представлены закономерное изменение дисперсии ряда, а также циклические компоненты, определяющие неслучайные свойства ряда.

Выполним спектральный анализ диагностической компоненты ряда (переменная $SPhi$). Периодограмма изучаемого массива данных представлена на рис. 3.

Расчётный «сырой спектр» сложен в силу, видимо, наличия компонент с весьма близкими величинами периодов колебаний. Об этом, в частности, свидетельствуют т.н. «зеркальные пики» приблизительно равной амплитуды, расположенные симметрично – слева и справа – от основного пика.

Поэтому выделим из периодограммы относительно низкочастотные компоненты ($\ln(T) > 4$), а относительно высокочастотные компоненты примем по графику функции спектральной плотности ряда.

Фрагмент периодограммы ряда $SPhi$ – относительно низкочастотной его части представлен на рис. 4.

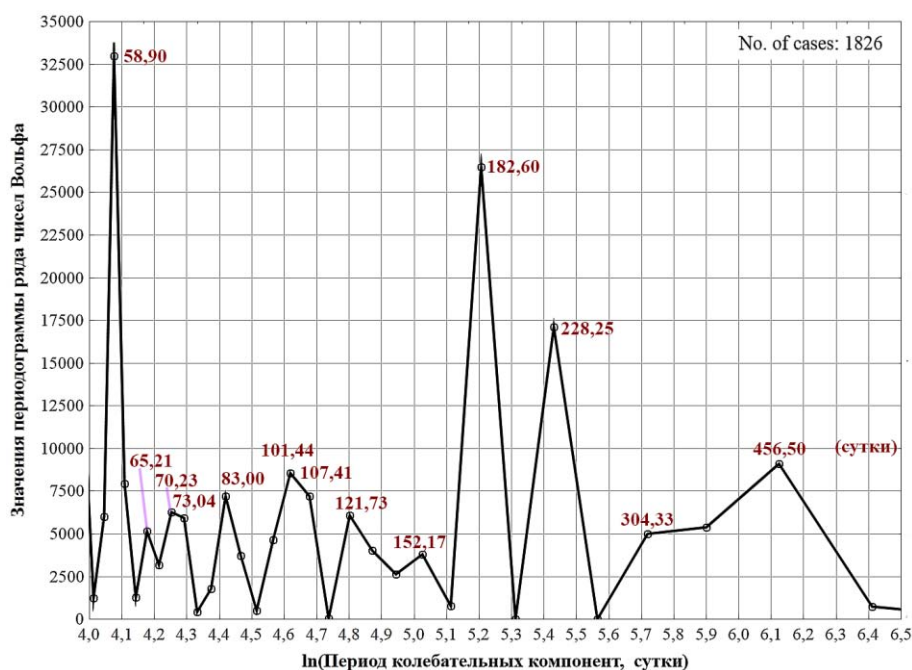


Рис. 4. Фрагмент периодограммы диагностической части ряда относительных чисел Вольфа с указанием величин периодов колебательных мод (сутки)

В ходе построения периодограммы и функции спектральной плотности ряда, указанные периоды определены как статистически значимые, или достоверные, расчётные величины.

Поскольку объём изучаемой выборки составляет 1826 позиций (наблюдений), достоверно выделяемая наиболее низкочастотная компонента ряда характеризуется величиной периода не более $1826/(7...10) = 183...261$ суток. Поэтому компоненты с периодами 304,33 и 456,5 суток никак не могут считаться выделенными достоверно. Кроме того, «сырой спектр» не обеспечил должного различения компонент с периодами около $(70,23 + 73,04)/2 = 71,64$ суток и около $(101,44 + 107,41)/2 = 104,43$ суток.

Далее рассмотрим именно функцию спектральной плотности (энергетический спектр) наиболее высокочастотной части ряда с $\ln(T) \leq 4$.

Спектр наиболее высокочастотного блока колебательных мод диагностической части ряда с вынесенными периодами колебаний в сутках представлен на рис. 5. Помимо вынесенных на рисунок значений периодов, существует весьма невыраженный пик с $T = 53,706$ суток и выраженный пик с $T = 58,903$ суток.

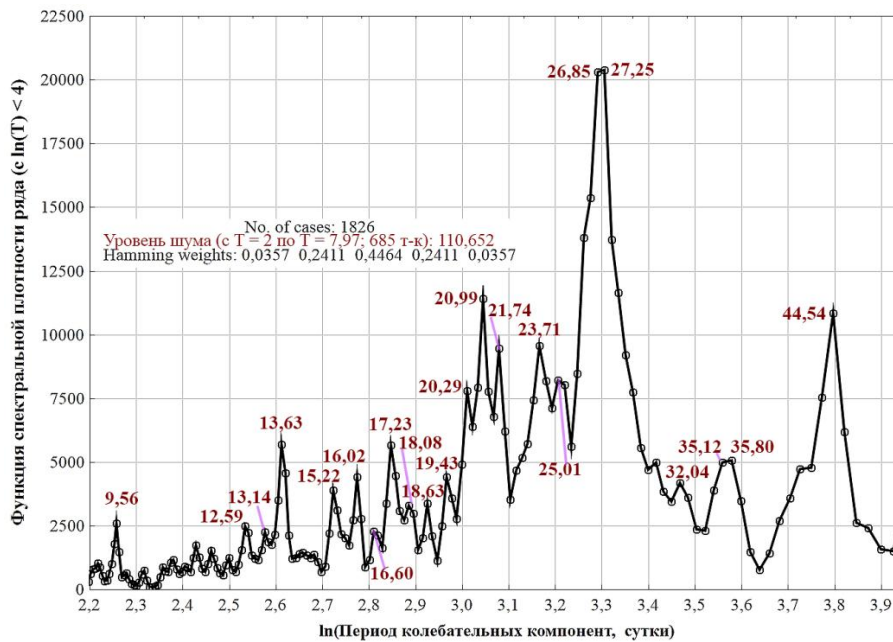


Рис. 5. Функция спектральной плотности наиболее высокочастотного блока мод диагностической части ряда величин относительных чисел Вольфа (W)

Определение среднего уровня шума спектра осуществлялось по расчётным позициям с $T = 2$ по $T = 7,974$ включительно, что составляет 685 позиций или 75,03 % количества расчётных позиций спектра. Уровень шума для функции спектральной плотности составил 110,652 единицы, а для периодограммы («сырого спектра») – 110,762 единицы. Поэтому все вынесенные на рисунок величины амплитуд «пиков» значительно (на порядок и более) превышают уровень шума.

Наибольшую амплитуду в спектре имеет ротационный период, близкий к 27 суткам. По-видимому, наличие «биений» в данном механизме обуславливает присутствие в спектре двух мод с очень близкими периодами колебаний, не получившими должного разрешения.

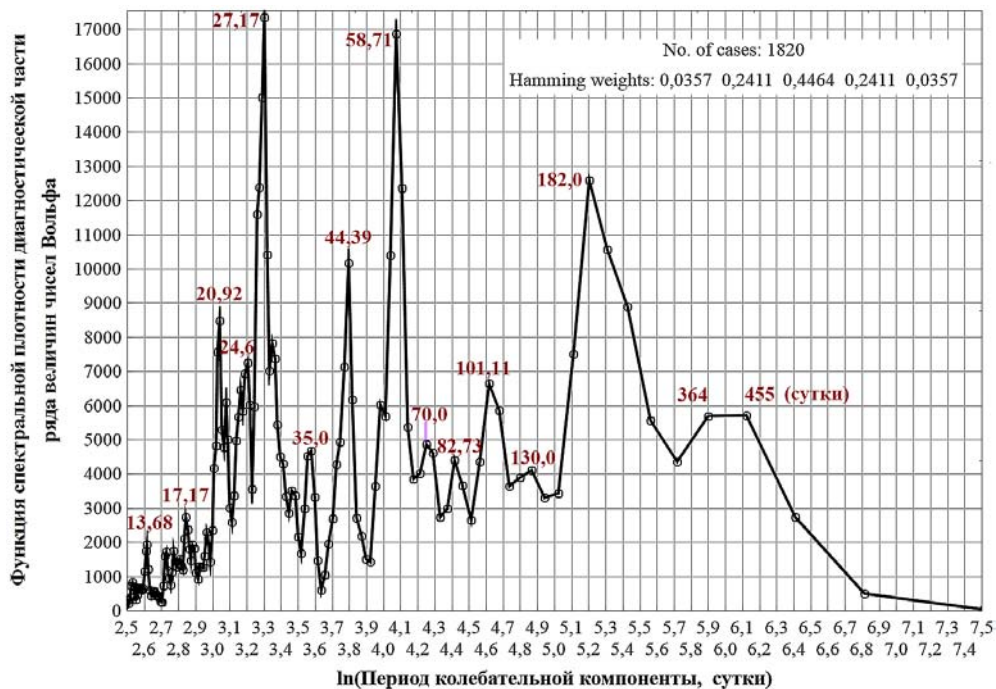


Рис. 6. Энергетический спектр сглаженной диагностической компоненты поля относительных чисел Вольфа

Сгладим диагностическую часть ряда W скользящим окном Р.У. Хэмминга длиной 7 позиций (неделя; переменная $SPhiG17$) и вновь рассчитаем функцию спектральной плотности. Спектр сглаженной диагностической компоненты ряда с вынесенными периодами показан на рис. 6.

Последний спектр представляется более понятным, чем спектры несглаженных компонент поля. Однако все периоды главных колебательных мод, выделенные в несглаженных вариантах рядов (с точностью до дробной части), представлены и в последнем спектре. Компоненты с $T = 364$ и $T = 455$ суток выделены недостоверно.

Рассчитаем первую производную, или градиент, высокочастотной компоненты ряда величин относительных чисел Вольфа. Фрагмент используемой базы данных представлен в табл. 4.

Таблица 4

Фрагмент базы данных, дающий представление о методе расчёта первой производной, или градиента, изучаемого поля

6 SP	7 SPlow	8 SPhi	9 SPhiG17	10 q	11 GRSPhi
12	10,53851	1,461			
14	9,043728	4,956		1,461	3,494782
11	5,145232	5,855		4,956	0,898496
10	8,532809	1,467	-0,66052	5,855	-4,38758
7	11,50371	-4,504	-0,84658	1,467	-5,9709
0	7,878913	-7,879	-1,90469	-4,504	-3,3752
0	5,980753	-5,981	-2,03268	-7,879	1,89816
10	9,840892	0,159	0,305369	-5,981	6,139861
10	12,45051	-2,451	3,227371	0,159	-2,60961
15	10,04115	4,959	5,720404	-2,451	7,409352
25	7,166487	17,834	7,172814	4,959	12,87467
24	8,049699	15,950	7,768217	17,834	-1,88321

В приведённой таблице приняты следующие обозначения: SP – исходные, или фактические, величины чисел Вольфа; $SPlow$ – значения низкочастотной компоненты поля исходных величин; $SPhi$ – значения высокочастотной (диагностической) компоненты поля; $SPhiG17$ – те же значения, но сглаженные окном Р.У. Хэмминга длиной 7 позиций; q – те же значения, но сдвинутые на один шаг вперёд по ряду; $GRSPhi = (SPhi - q)$ – оценка изменения величин диагностической компоненты ряда за один день, или градиент компоненты. Сгладим величину градиента (переменная $GRSPhi = (SPhi - q)$) окном Р.У. Хэмминга длиной 31 позиция и рассмотрим, как пример, графики временного хода переменных $SPhiG17$ и $GRSPhiG131$ для двух лет – для 2010 и 2011 годов (рис. 8).

Итак, дисперсия (амплитуда колебаний) диагностической компоненты поля солнечной активности, характеризуемого величиной чисел Вольфа, а также её градиента (первой производной), в целом, увеличиваются в марте-апреле и октябре-ноябре каждого года. Причём в фазе подъёма солнечной активности подобный эффект выражен сильнее, чем в фазе минимума активности Солнца. Следствием увеличения дисперсии компонент поля, по-видимому, является усиление патогенности (вирулентности; от лат. *virulentus* – ядовитый; степень болезнетворности биологического агента, которая зависит как от свойств самого агента, так и от восприимчивости заражаемого им организма) биологических агентов – вирусов и бактерий, что, в свою очередь, обуславливает подъём уровня сезонной заболеваемости населения.

В 2011 году, в фазе резкого подъёма уровня солнечной активности, дисперсия диагностической компоненты ряда и её градиента возростала и в мае-июне, что напоминает подобный эффект в фазе подъёма солнечной активности между двумя её экстремумами в 2013 году. В случае появления нового патогенного агента вне указанных сезонов, обострение эпидемиологической обстановки следует ожидать именно в марте-апреле и октябре-ноябре. Ход компонент изучаемого поля в 2012-2013 годах представлен на рис. 9. В 2012 году достигнут один из экстремумов бимодального максимума 11-летнего солнечного цикла. Подобно фазе минимума, в фазе максимума цикла степень внутригодовых вариаций дисперсии диагностической компоненты ряда (позиция 2) уменьшается: на протяжении года цикличность подобных вариаций сглаживается. Тем не менее, с учётом хода её градиента (3), максимумы дисперсии двух рядов вновь пришлось на март-апрель и октябрь-ноябрь. Существенный рост величины градиента диагностической компоненты и самой компоненты пришёлся на декабрь 2012 – январь 2013 годов (по сути, на границу, разделяющую два экстремума единой фазы максимума солнечной активности). Рост дисперсии параметров отмечен и в июне-августе 2013 года. Итак, не повторяясь в всех деталях, картина сезонной динамики солнечной активности, установленная по ряду относительных чисел Вольфа, видимо, воспроизводится из года в год. Таким образом, в фазе локальных минимумов солнечной активности

(включая и минимум между двумя модами единого максимума), выделяемых в многолетней динамике 11-летнего цикла, различия внутригодного изменения дисперсии диагностической компоненты ряда и её градиента проявляются менее выражено, по сравнению с фазами резкого возрастания активности Солнца. Кроме того, в фазах подъёма активности добавляется третий выраженный интервал увеличения дисперсии, в целом, приходящийся на конец весны – лето (рис. 10).

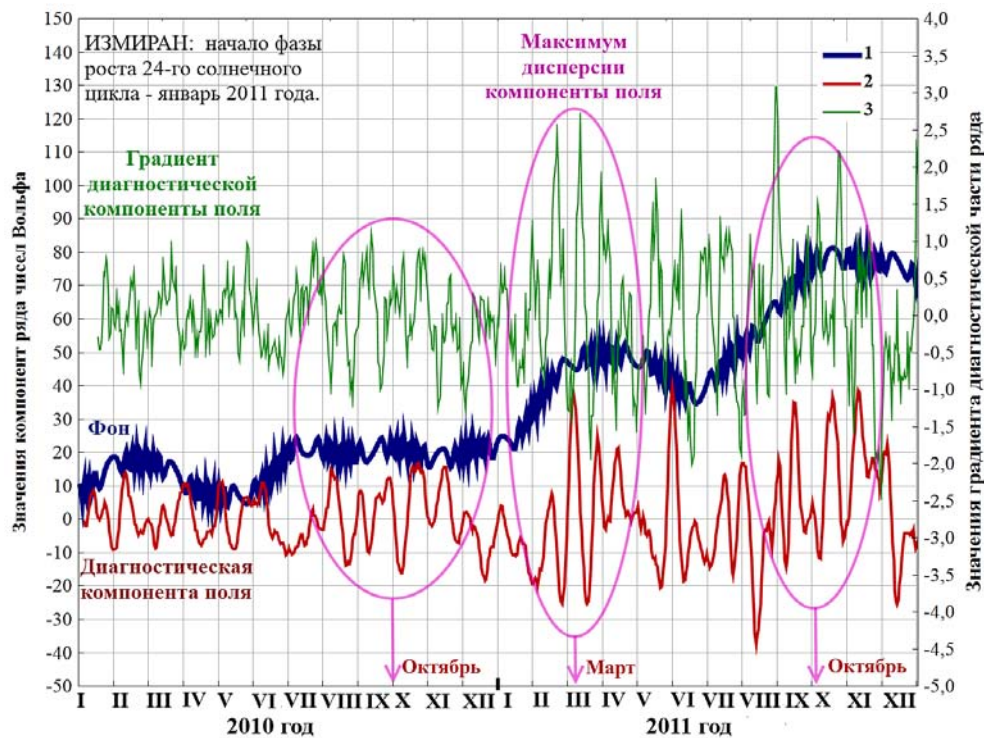


Рис. 8. Временной ход фоновой компоненты ряда относительных чисел Вольфа (1), его диагностической компоненты (2), а также первой производной диагностической компоненты (3) в 2010 и 2011 годах

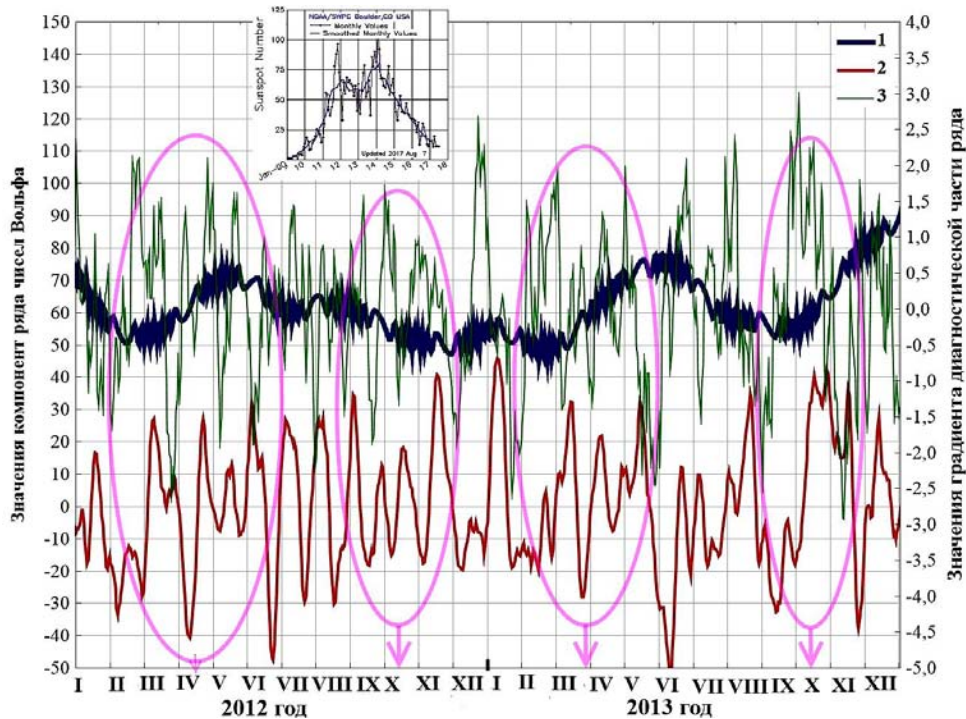


Рис. 9. Временной ход фоновой компоненты ряда относительных чисел Вольфа (1), его диагностической компоненты (2), а также первой производной диагностической компоненты (3) в 2012 и 2013 годах

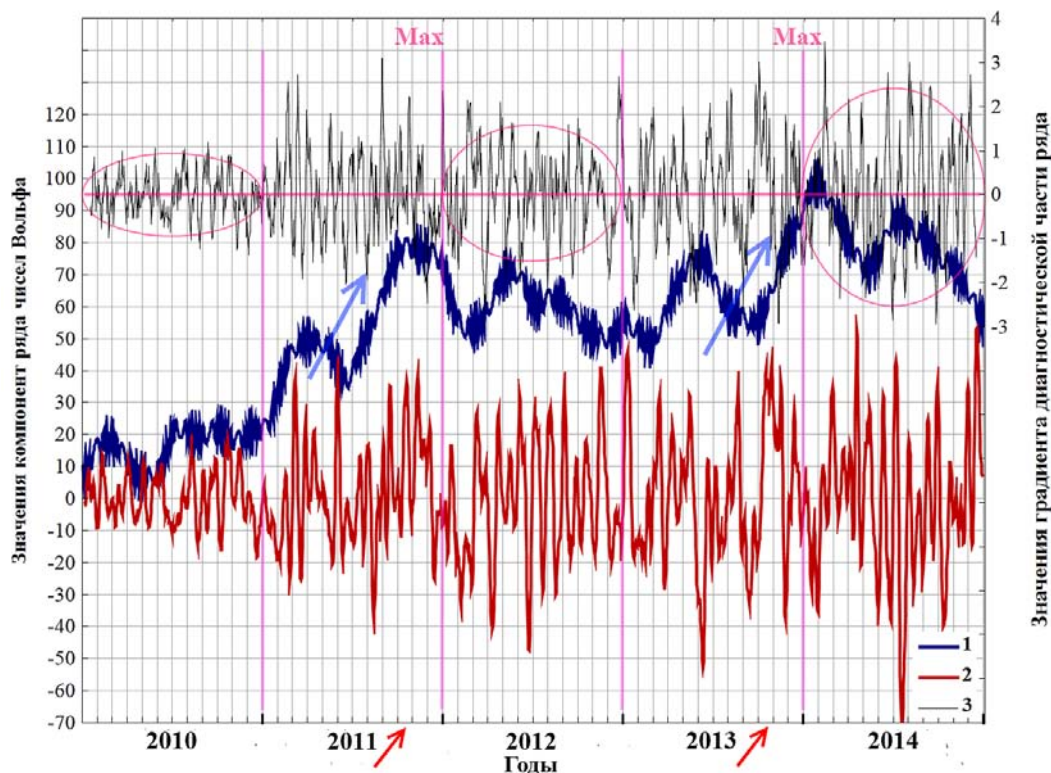


Рис. 10. Временной ход фоновой компоненты ряда относительных чисел Вольфа (1), его диагностической компоненты (2), а также первой производной диагностической компоненты (3) в 2010-2014 годах. Стрелками отмечены фазы резкого возрастания активности Солнца

Как нам представляется, в границах фаз подъёма солнечной активности, что отражает ход фоновой компоненты (рис. 10, позиция 1; 2011 и 2013 годы), наличие именно сезонной динамики процесса (сезонных колебаний) выражено более отчётливо, по сравнению с фазами спада активности (либо её роста с малыми скоростями). В фазе главного максимума 24-го цикла (завершение 2013 – начало 2014 годов) дисперсия всех рассматриваемых параметров также достигает максимума.

Таблица 5

Результаты расчёта основных статистик годовых блоков диагностической компоненты ряда относительных чисел Вольфа и её производной

Параметр	Интервал наблюдения хода 24-го солнечного цикла				
	2010 год	2011 год	2012 год	2013 год	2014 год
№ начала	1	366	731	1097	1462
№ окончания	365	730	1096	1461	1826
Фаза цикла активности	Начало роста	Max рост и 1-й max	Спад между 2-мя max	Max рост и 2-й max	Начало снижения
Диагностическая компонента ряда чисел Вольфа (<i>W</i>)					
$m_{cp.}$	0,1276	1,2752	-1,4910	0,9816	-0,8948
N	365	365	366	365	365
\sqrt{D}	10,0960	19,7851	21,5784	24,1046	27,0723
V	101,9294	391,4500	465,6259	581,0316	732,9083
Градиент диагностической компоненты ряда чисел Вольфа					
$m_{cp.}$	0,0004	-0,0238	0,0518	-0,0093	-0,0068
N	364	365	366	365	365
\sqrt{D}	6,4467	10,5307	10,4565	11,5198	12,4853
V	41,5595	110,8954	109,3381	132,7068	155,8832

Следовательно, можно заключить, что, как минимум, в многолетнем аспекте анализа, дисперсия изучаемых параметров не остаётся постоянной, а закономерно меняется, в зависимости от текущей фазы 11-летнего солнечного цикла. Вполне вероятно, что данная закономерность распространяется и на вековую динамику солнечной активности. Однако контролироваться она будет ходом более низкочастотных мод процесса изменения активности Солнца.

Рассчитаем статистики годовых блоков диагностической компоненты исходного ряда W и её первой производной. Значение данного расчёта состоит в том, чтобы количественно подтвердить вывод об увеличении величины среднего квадратического отклонения ($SD = \sqrt{D}$) и коэффициента вариации данных (V) как самой диагностической компоненты ряда W , так и величины её градиента от фазы вблизи минимума солнечной активности 24-го цикла (2010 год) к фазе его максимума (2011-2013 годы). Основные статистики, используемые для построения графиков, представлены в табл. 5.

Указанные в табл. 4 значения статистик (m_{cp} , SD , V) являются среднегодовыми величинами диагностической компоненты ряда W и её производной для каждого учитываемого в таблице года (2010-2014 годы). Они условно относятся к середине каждого года – середине сезона «лето».

Далее рассчитаем для тех же рядов величины математического ожидания (m_{cp}) и SD для каждого сезона (зима, весна, лето осень) каждого года. Пример результатов расчёта для 2010 и 2011 годов представлен в табл. 6. В верхней части таблицы указан интервал аргументов d , который характеризует тот или иной сезон и функции которого принимались в расчёт.

Результаты подобного расчёта для 2012-2014 годов не приводятся. Так называемой точкой записи результата расчёта является середина каждого сезонного интервала – $d = 30$ (+365, +366, +365, +365); $d = 106$; $d = 198$; $d = 289$. Сезонный ход величин среднего квадратического отклонения диагностической компоненты ряда и её градиента представлен на рис. 11.

Таблица 6

Средние за сезон величины математического ожидания и среднего квадратического отклонения изучаемых рядов

Границы интерв. 2012 год	«Зима» d 1 – 60	«Весна» 61 – 152	«Лето» 153 – 244	«Осень» 245 – 335
Остальные годы	d 1 – 59	60 – 151	152 – 243	244 – 334
Параметры	Диагностическая компонента ряда W (2010 год)			
m_{cp}	1,1429	0,3730	-1,7466	3,1276
\sqrt{D}	8,6716	8,4247	10,0276	11,1400
	Градиент диагностической компоненты ряда W (2010 год)			
m_{cp}	-0,1524	0,1091	-0,0228	-0,0353
\sqrt{D}	5,9672	6,2701	6,8875	6,3871
	Диагностическая компонента ряда W (2011 год)			
m_{cp}	-8,9344	3,1903	-3,4991	12,1206
\sqrt{D}	11,7747	20,0448	19,0989	19,8288
	Градиент диагностической компоненты ряда W (2011 год)			
m_{cp}	-0,3102	0,5796	-0,0544	-0,2161
\sqrt{D}	7,2871	11,1495	10,4252	11,8783

Далее размещаем расчётные величины SD диагностической компоненты ряда W и её градиента на числовой оси «сквозного» аргумента (d от 1 до 1826). Значения функций между отдельными точками аргумента получаем линейной интерполяцией, используя возможности программного обеспечения при выполнении сглаживания какого-либо ряда скользящим средним с окном минимальной длины – 3 дискрета. Поскольку величины SD и самой диагностической компоненты ряда W и её градиента, в целом, возрастают от начала цикла к его максимуму (от 2010 года к 2014), в качестве простейших моделей трендов рассматриваемых рядов примем полиномы второй степени. Расчёт коэффициентов моделей трендов осуществлялся методом наименьших квадратов по значениям интерполированных рядов:

$$SD_W = 6,794 + 0,021 \cdot d - 5,7 \cdot 10^{-6} \cdot d^2;$$

$$SD_{Trend} = 5,753 + 0,0075 \cdot d - 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot d^2.$$

Вычтем из исходных – интерполированных – рядов значения этих простейших трендов; получим ход показателей со снятым многолетним трендом, который представлен на рис. 12, 13, 14.

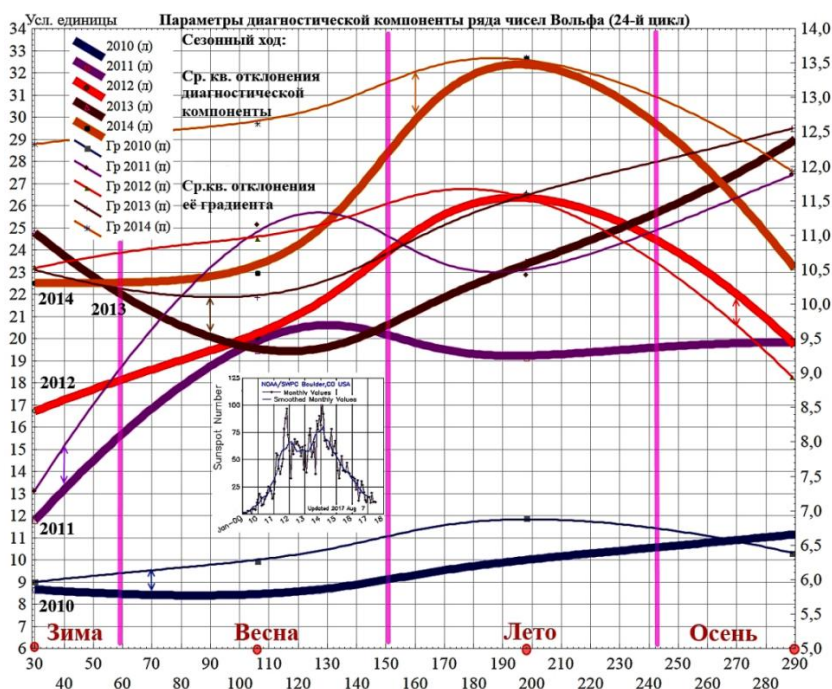


Рис. 11. Сезонный ход величин SD диагностической компоненты ряда W и её градиента для 2010-2014 годов (сплайн-интерполяция). Ось SD градиента – справа

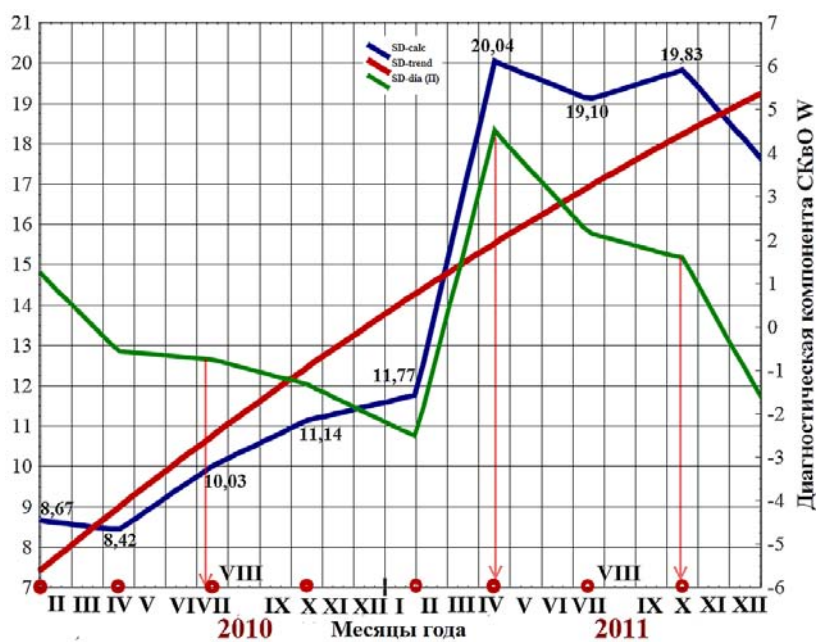


Рис. 12. Сезонный ход величин расчётных величин SD ряда W_{dia} , его многолетний тренд и ряда со снятым трендом ($SD-dia$; ось – справа)

Согласно рис. 12, в 2010 году единственный вырожденный максимум параметра локализован в середине лета – начале осени. В 2011 году отчётливый и мощный максимум пришёлся на апрель, вырожденный и меньший по амплитуде – на октябрь.

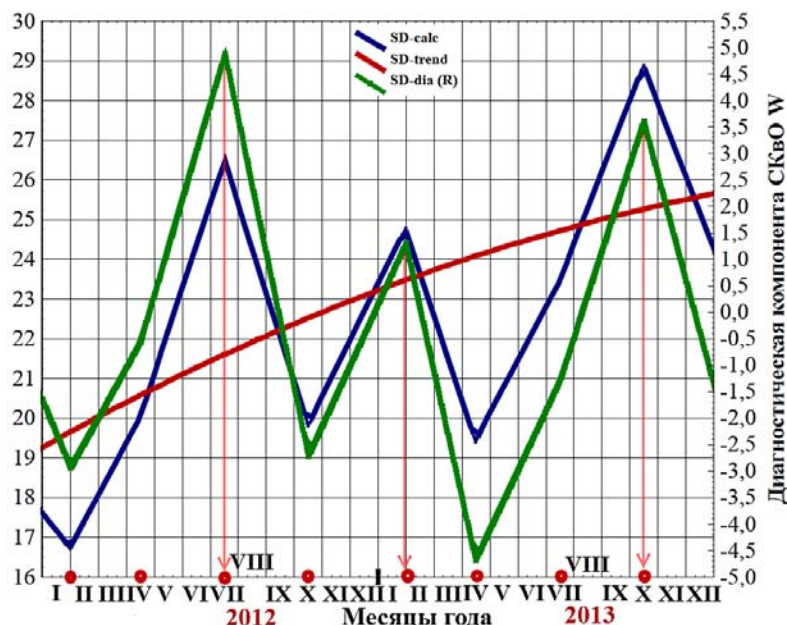


Рис. 13. Сезонный ход величин расчётных величин SD ряда W_{dia} , его многолетнего тренда и ряда со снятым трендом ($SD-dia$; ось – справа)

Согласно рис. 13, в 2012 году единственный мощный максимум параметра пришёлся на середину лета – июль. В 2013 году отчётливый максимум пришёлся на вторую половину зимы, а более мощный максимум – на октябрь.

В 2014 году единственный мощный максимум вновь пришёлся на июль.

По-видимому, этот результат можно обобщить так: чётный год – единственный выраженный максимум – в июле; нечётный год – два максимума. Первый – в конце зимы – в апреле, второй – в октябре.

Однако возможна и расширенная формулировка данной закономерности: в границах каждого года, так или иначе, проявят себя все три сезонных максимума солнечной активности: первый – в конце зимы – в апреле; второй – в окрестности июля; третий – в окрестности октября. При этом важно подчеркнуть: в один год более выражены максимумы переходных периодов, а на следующий год – летний максимум, при несколько меньшем эффекте максимумов переходных периодов. Рост вирулентности биологических агентов и иные реакции систем биосферы следует ожидать *после* прохождения параметров соответствующего максимума, то есть с некоторым лагом, или отставанием, от даты соответствующего максимума.

Данное заключение справедливо и для многолетнего хода величин SD для ряда градиента диагностической части поля W (рис. 14). Кроме того, в фазе максимальной скорости возрастания активности Солнца и вблизи первой моды её максимума амплитуды пиков достигают наибольших значений (2011 год). На второй позиции – амплитуды фазы увеличения скорости между двумя модами и в районе второй моды максимума (2013 год). На третьем – пик фазы некоторого спада активности между двумя модами. На последнем – пик фазы относительно спокойного Солнца.

Следует заметить, что в фазе локальных минимумов солнечной активности (включая и минимум между двумя модами общего максимума), выделяемых в многолетней динамике 11-летнего цикла, различия внутригодового изменения дисперсии диагностической компоненты ряда и её градиента проявляются менее выражено, по сравнению с фазами резкого изменения активности Солнца.

Таким образом, не повторяясь во всех деталях, картина сезонной динамики солнечной активности, установленная по ряду относительных чисел Вольфа, видимо, воспроизводится из года в год.

Закономерности проявления сезонной динамики величин SD , установленные по ряду ежедневных значений относительных чисел Вольфа (W) за 2010-2014 годы в течении второй и третьей фаз 24-го солнечного цикла, представлены в табл. 7.

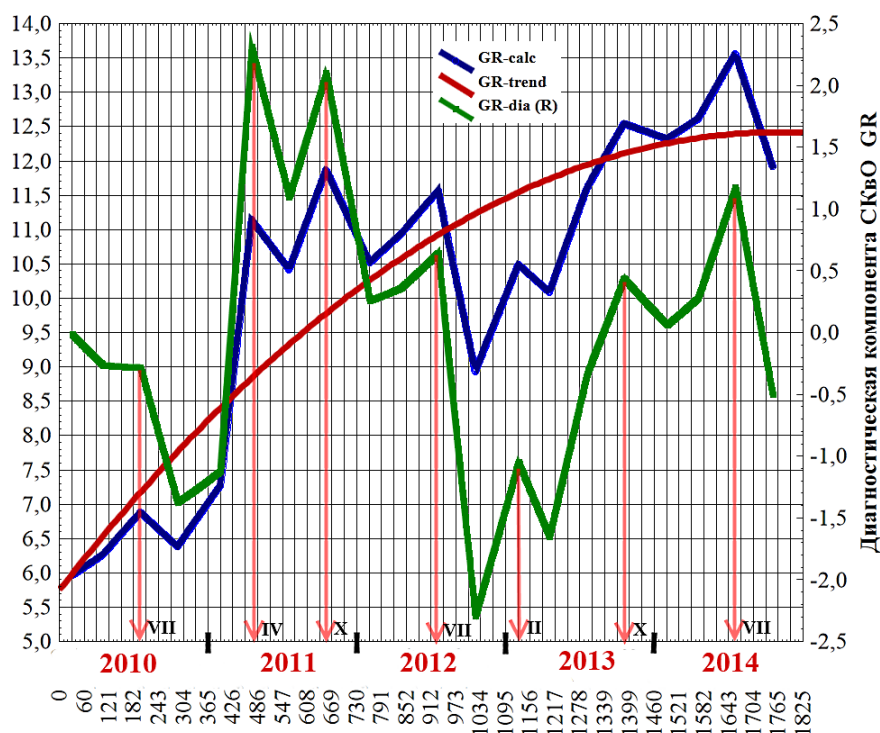


Рис. 14. Сезонный ход величин расчётных величин SD ряда градиента W_{dia} , его многолетнего тренда и ряда со снятым трендом ($SD-dia$; ось – справа)

Таблица 7

Закономерности сезонной динамики величин среднего квадратического отклонения диагностических блоков рядов солнечной активности

Характеристика	Годы				
	2010	2011	2012	2013	2014
Номер фазы	II фаза историометр. цикла		III фаза историометрического цикла		
Тип фазы	Ядро – кризис; окрестность – <i>pes</i>		Ядро – « <i>opt</i> » ($\rightarrow 0$); Окрестность – стресс ($\rightarrow max$)		
Абсолютная величина <i>grad</i>	Мала (<i>grad</i> \uparrow)	Экстремальна (<i>grad</i> $\uparrow\uparrow$)	Мала (<i>grad</i> \downarrow)	Экстремальна (<i>grad</i> \uparrow)	Мала (<i>grad</i> \downarrow)
Картина сезонности SD^*	Выражена слабо	Выражена	Выражена слабо	Выражена	Выражена слабо
Локализация $max SD^{**}$	Лето (VII)	Весна (II-IV), осень (X)	Лето (VII)	Весна (II-IV), осень (X)	Лето (VII)

Примечание: * SD – величина среднего квадратического отклонения диагностической части ряда W и его градиента (*grad*)

Стоит сказать, что медики вполне допускают подобную закономерность: «во все фазы цикла солнечной активности наблюдается зимне-весенний и осенний максимумы госпитализации психических больных. Резонансный и пороговый характер воздействия... геомагнитных пульсаций малой напряженности свидетельствует об их информационной роли в регулировании психической деятельности человека» [12]. Многолетняя регулярность обращения в травмопункт *The Mount Lebanon Hospital* лиц с поражениями различного рода, по-видимому, связанная с вариациями электромагнитного поля Земли, подмечена Т.А. Бочаровой [3].

Кроме того, именно в октябре наблюдается минимум общего содержания озона в атмосферном воздухе (рис. 15).

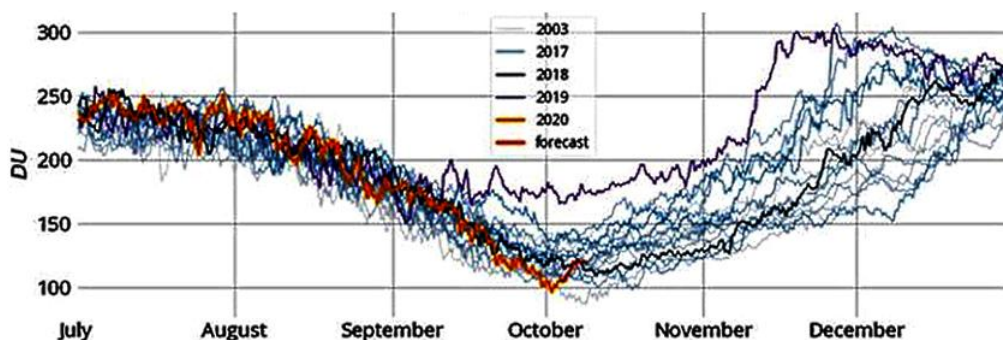


Рис. 15. Многолетние данные о сезонной динамике общего содержания озона в атмосферном воздухе (<https://meteoinfo.ru/>)

Таблица 8

Периоды, выделяемые путём спектрального анализа рядов показателей солнечной активности

ВЧ-1		ВЧ-2		ВЧ сглажен. ряда		НЧ	
1	9,56	1		1		1	
2	12,59*	2		2		2	
3	13,14	3		3		3	
4	13,63/ 5**	4		4	13,68	4	
5	15,22 (15,64)	5		5		5	
6	16,06	6		6		6	
7	17,23/ 6	7		7	17,17	7	
8	18,08	8		8		8	
9	18,63	9		9		9	
10	19,43	10		10		10	
11	20,29; 20,99; 21,74/ 2	11		11	20,92/ 5	11	
12	23,71/ 4 (24,57)	12		12		12	
13	25,01	13		13	24,60/ 6	13	
14	26,85; 27,25/ 1	14		14	27,17/ 1	14	
15	32,04	15		15		15	
16	35,12; 35,80	16		16	35,00	16	
17	44,54/ 3	17		17	44,39/ 4	17	
18	53,71	18		18		18	
		19	58,90/ 1	19	58,71/ 2	19	
		20	65,21	20		20	
		21	70,23; 73,04	21	70,00	21	
		22	83,00	22	82,73 (90)	22	
		23	101,44; 107,41	23	101,11	23	
		24	121,73	24	130,0	24	
		25	152,17	25		25	
		26	182,60/ 2	26	182,0/ 3	26	
		27		27		27	202,89/ 2
		28	228,25/ 3	28		28	260,86/ 3
		29	304,33; 456,50	29	364; 455	29	456,50/ 4
						30	913,00/ 1
						31	4058,80***

Примечание: *Выделение значения полужирным начертанием отражает совпадение данного значения с величиной ритма индивидуальной жизнедеятельности, заявленного в таблице (Безопасность жизнедеятельности. М: Новые технологии, 2005. № 9. С. 49). Значения в скобках являются полусуммой значений, приведённых в основной таблице. ** Номер условно характеризует амплитуду пика (№ 1 – максимальная амплитуда). *** $T = 4058,8 = 11,12 \times 365$. $T \approx 20...35$ суток – ротационные периоды Солнца

Специалистами ИЗМИРАН «в рекордно глубоком минимуме 23-24-го циклов солнечной активности и во время фазы её роста в 24-м цикле выявлены <аномальные> особенности изменения различных характеристик активности, по сравнению с соответствующими эпохами предшествующих циклов. Эти аномалии нашли отражение... <даже> в модуляции космических лучей» [1].

В заключении, сведём все расчётные периоды колебательных мод, характеризующих процесс изменения солнечной активности во внутригодовом и многолетнем аспектах, в одну таблицу (T , сутки; табл. 8).

Согласно табл. 8, представительную группу колебательных мод формируют так называемые ротационные периоды Солнца (рис. 16).

Локализация областей повышенной солнечной активности – пятен, факелов и факельных полей подчиняются закону 11-летней периодичности [7]. Наблюдениями движений солнечных пятен и спектральными наблюдениями других деталей поверхности Солнца установлено, что оно вращается вокруг своей оси не как твёрдое тело. Различные участки его поверхности движутся с различной скоростью. Наиболее быстрое вращение – у экваториальной зоны: точки солнечного экватора совершают полный оборот за 25,38 земных дней. Эту величину называют сидерическим периодом вращения Солнца (по отношению к звёздам). Синодический период вращения Солнца (промежуток времени между двумя одинаковыми конфигурациями объекта с учётом положения Земли) составляет 27,35 суток. На широте 15° время полного оборота светила составляет 25,50 суток; на широте 30° – 26,53 суток; на широте 60° – 31,0 суток, а вблизи полюса – около 35 земных суток [7].

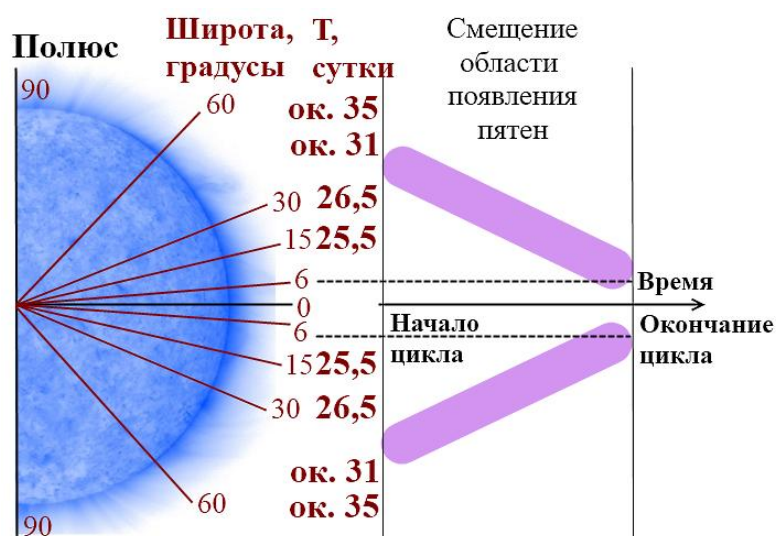


Рис. 16. Закономерное изменение величины ротационного периода Солнца в зависимости от начальной локализации солнечного пятна на солнечном диске (гелиографической широты) и фазы солнечного цикла (начало цикла отмечено появлением пятен в высоких широтах, окончание – пятен ближе к экватору)

Замечено, что чаще всего пятна появляются не на всей поверхности Солнца. В начале каждого нового цикла пятна появляются (часто парами) по обе стороны от солнечного экватора, на гелиографических широтах около $\pm 35^\circ$ (однако иногда они появляются значительно дальше от экватора – на широте приблизительно $\pm 50^\circ$), причём в северном полушарии Солнца в каждой паре первым (по ходу вращения Солнца) располагается пятно с северным магнетизмом, а вторым – с южным. Это же правило распространяется на магнитные поля факелов, окружающих солнечные пятна. С течением времени пятна начинают появляться всё ближе и ближе к экватору (закон Шперера), но редко – ближе 6° от него. К фазе минимума цикла пятна исчезают. Наибольшее число солнечных пятен наблюдается вблизи широт $\pm 16^\circ$. При новом появлении пятна вновь располагаются в полосе $\pm 35^\circ$ гелиографической широты, но теперь в северном полушарии первым движется пятно с южным магнетизмом, а позади него – пятно с северным магнетизмом. В южном полушарии Солнца изменение полярности пятен происходит в обратном порядке. Таким образом, полагают, что полный период изменения солнечной активности составляет около 22 лет (цикл Хэйла, или магнитный цикл) [7].

Установлено, что в течение 11 лет развивается не один, а два максимума солнечной активности, отделённые 2-3 годами. Во время первого максимума увеличивается число пятен на всех широтах, а во время второго – преимущественно в экваториальной зоне. Наложение этих процессов даёт постепенное уменьшение средней широты пятнообразовательной деятельности. Именно этим эффектом учёные объясняют факт усилен-

ния ионосферных и геомагнитных явлений Земли, что весьма важно для долгосрочного прогнозирования погоды [7].

Заключение. Таким образом, гелиогеофизические процессы – часть единого физического процесса, который начинается на Солнце и заканчивается на Земле. Влияние фактора солнечной активности на организм человека осложняется одновременным действием социальных, психолого-эмоциональных, производственных и других факторов повседневной жизни. Кроме того, электромагнитные и корпускулярные излучения Солнца оказывают воздействие на все геосферы Земли.

Междисциплинарные подходы нуждаются в дальнейшем их использовании для перспективного развития общей гигиены.

*Исследование выполнено при финансовой поддержки РФФИ и
Тульской области в рамках научного проекта №19-413-710011*

Литература

1. Балабин Ю.В., Белов А.В., Гущина Р.Т. Годовые вариации космических лучей в 24-м солнечном цикле // Известия РАН. Серия «Физическая». 2015. Т. 79, № 5. С. 676–680. DOI: 10.7868/S0367676515050105
2. Бобровницкий И.Л., Нагорнев С.Н., Яковлек М.Ю., Шашлов С.В., Банченко А.Д., Груздева А.Ю., Леви Д., Палумбо О. Перспективы исследований влияния метеорологических и магнитных параметров на заболеваемость и смертность населения // Гигиена и санитария. 2018. № 97(11). С. 1064-1067.
3. Бочарова Т.А., Воронов И.А. Хронопсихотелесные причины травматизма и случаев проявления неадекватного поведения // Учёные записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2013. № 9 (103). С. 36–41.
4. Выхованец Ю.Г., Тетюра С.М., Андреев Р.Н., Черняк А.Н., Выхованец Т.А., Лахно О.В. Изучение влияния гелиогеофизических факторов на состояние здоровья человека // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2019. Т. 23, № 4. С. 323–325.
5. Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю. Мониторинг предвестников геомагнитных возмущений по данным наземных измерений космических лучей // Известия РАН. Серия «Физическая». 2017. Т. 81, № 2. С. 219–221.
6. Камбалов М.Н. Риски перфоративных язв в индивидуальном годовом цикле пациентов с язвенной болезнью // Военная медицина. 2017. №1(42). С. 32–36.
7. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: Наука, 1971. 632 с.
8. Мартиросян В.В., Долгушева Ю.А. Вероятностный анализ влияния экзогенных факторов риска на частоту возникновения геморрагического инсульта в периоды высокой и низкой солнечной активности // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2016. №1. С. 52–59.
9. Меденков А.А. О влиянии космической погоды на психофизиологию человека // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. № 52(1). С. 24–36.
10. Помыткина Н.В., Сорокин Е.Л., Егоров В.В. Изучение роли геомагнитной обстановки в формировании тромбозов ретинальных вен // Здравоохранение Дальнего Востока. 2018. №1(75). С. 86–94.
11. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года» № 3183-р от 25 декабря 2019 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73266443/> (дата обращения: 30.12. 2019).
12. Рудавина Л.В. Закономерности влияния гелиогеофизических факторов на психическую патологию по данным клинических наблюдений за два 11-летних цикла солнечной активности. URL: <http://www.psychiatry.ua/books/saburka/paper166.htm> (дата обращения: 19.10.2007).
13. Стародубцев С.А., Баишев Д.Г., Григорьев В.Г. Анализ солнечных, космо- и геофизических событий в сентябре 2017 г. по комплексным наблюдениям ИКФИА СО РАН // Солнечно-земная физика. 2019. Т. 5, № 1. С. 17–38.
14. Цандеков П.А. Зависимость психоэмоционального состояния и физиологических систем организма от солнечной активности // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: Педагогика. Психология. 2017. №1(7). С. 169–174.
15. Эфендиева Л.Г., Азизов В.А., Етирмишли Г.Д. Влияние геофизических параметров на организм человека // Медицинские новости. 2020. №1(304). С. 43–47.

References

1. Balabin JuV, Belov AV, Gushhina RT. Godovye variacii kosmicheskikh luchej v 24-m solnechnom cikle [Annual variations of cosmic rays in the 24th solar cycle]. Izvestija RAN. Serija «Fizicheskaja». 2015;79(5):676-80. DOI: 10.7868/S0367676515050105. Russian.
2. Bobrovnickij IL, Nagornev SN, Jakovlek MJ, Shashlov SV, Banchenko AD, Gruzdeva AJu, Levi D, Palumbo O. Perspektivy issledovanij vlijanija meteorologicheskikh i magnitnyh parametrov na zabolevaemost' i

smertnost' naselenija [Prospects of research on the influence of meteorological and magnetic parameters on morbidity and mortality of the population]. *Gigiena i sanitarija*. 2018; 97(11):1064-7. Russian.

3. Bocharova TA, Voronov IA. Hronopsihotelesnye prichiny travmatizma i sluchaev projavlenija neadekvatnogo povedenija [Chronopsychothelial causes of injuries and cases of inappropriate behavior]. *Uchjonye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2013;9 (103):36-41. Russian.

4. Vyhovaneц JuG, Tetjura SM, Andreev RN, Chernjak AN, Vyhovaneц TA, Lahno OV. Izuchenie vlijanija geliogeofizicheskih faktorov na sostojanie zdorov'ja cheloveka [Studying the influence of heliogeophysical factors on human health]. *Vestnik gigieny i jepidemiologii*. 2019;23(4):323-5. Russian.

5. Grigor'ev VG, Starodubcev SA, Gololobov PJu. Monitoring predvestnikov geomagnitnyh vozmushhenij po dannym nazemnyh izmerenij kosmicheskikh luchej [Monitoring of precursors of geomagnetic disturbances based on ground measurements of cosmic rays]. *Izvestija RAN. Serija «Fizicheskaja»*. 2017;81(2):219-21. Russian.

6. Kambalov MN. Riski perforativnyh jazv v individual'nom godichnom cikle pacientov s jazvennoj bolezn'ju [Risks of perforated ulcers in the individual annual cycle of patients with peptic ulcer disease]. *Voennaja medicina*. 2017;1(42):32-6. Russian.

7. Kulikovskij PG. Spravochnik ljubitelja astronomii [Handbook of amateur astronomy]. Moscow: Nauka; 1971. Russian.

8. Martirosjan VV, Dolgusheva JuA. Veroyatnostnyj analiz vlijanija jekzogenykh faktorov riska na chastotu vozniknovenija gemorragicheskogo insulta v periody vysokoj i nizkoj solnečnoj aktivnosti [Probabilistic analysis of the influence of exogenous risk factors on the incidence of hemorrhagic stroke during periods of high and low solar activity]. *Zhurnal fundamental'noj mediciny i biologii*. 2016;1:52-9. Russian.

9. Medenkov AA. O vlijanii kosmicheskoy pogody na psihofiziologiju cheloveka [On the influence of space weather on human psychophysiology]. *Aviakosmicheskaja i jekologicheskaja medicina*. 2018; 52(1): 24-36. Russian.

10. Pomytkina NV, Sorokin EL, Egorov VV. Izuchenie roli geomagnitnoj obstanovki v formirovanii trombozov retinal'nyh ven [Studying the role of the geomagnetic situation in the formation of retinal vein thrombosis]. *Zdravoohranenie Dal'nego Vostoka*. 2018;1(75):86-94. Russian.

11. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF «Ob utverzhenii nacional'nogo plana meroprijatij pervogo jetapa adaptacii k izmenenijam klimata na period [The decree of the RF Government "On approval of the national plan of activities of the first phase of adaptation to climate change for the period] do 2022 goda» № 3183-r ot 25 dekabrja 2019 g. Russian. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73266443/> (data obrashhenija: 30.12. 2019).

12. Rudavina LV. Zakonomernosti vlijanija geliogeofizicheskih faktorov na psihicheskiju pa-tologiju po dannym klinicheskikh nabljudenij za dva 11-letnih cikla solnečnoj aktivnosti [regularities of the influence of heliogeophysical factors on mental PA-tologia according to clinical observations of two 11-year solar cycle]. Russian. Available from: <http://www.psychiatry.ua /books/saburka/ paper166.htm> (data obrashhenija: 19.10.2007).

13. Starodubcev SA, Baishev DG, Grigor'ev VG. Analiz solnechnykh, kosmo- i geofizicheskih sobytij v sentjabre 2017 g. po kompleksnym nabljudenijam IKFIA SO RAN [Analysis of solar, cosmo- and geophysical events in September 2017 according to complex observations of ICFIA SB RAS]. *Solnečno-zemnaja fizika*. 2019;5(1):17-38. Russian.

14. Candekov PA. Zavisimost' psihojemocional'nogo sostojanija i fiziologicheskikh sistem organizma ot solnečnoj aktivnosti [Dependence of the psycho-emotional state and physiological systems of the body on solar activity]. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Serija: Pedagogika. Psihologija*. 2017;1(7):169-74. Russian.

15. Jefendieva LG, Azizov VA, Etirmishli GD. Vlijanie geofizicheskih parametrov na organizm cheloveka [The influence of geophysical parameters on the human body]. *Medicinskie novosti*. 2020;1(304):43-7. Russian.

Библиографическая ссылка:

Волков А.В., Хадарцев А.А., Валентинов Б.Г. Выявление закономерностей сезонной картины солнечной активности и сопряжённых вариаций поведения биологических систем // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2021. №5. Публикация 2-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-5/2-1.pdf> (дата обращения: 26.10.2021). DOI: 10.24412/2075-4094-2021-5-2-1*

Bibliographic reference:

Volkov AV, Khadartsev AA, Valentinov BG. Vyjavlenie zakononomernostej sezonnoj kartiny solnečnoj aktivnosti i sopryazhjonnykh variacij povedenija biologicheskikh sistem [Identification of patterns of seasonal patterns of solar activity and associated variations in the behavior of biological systems]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2021 [cited 2021 Oct 26];5 [about 17 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-5/2-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-5-2-1

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-5/e2021-5.pdf>