

УДК 612.014

ГЕЛИОКОСМИЧЕСКИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ СВЯЗИ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

В. И. Ермаков^{1,3}, В. П. Охлопков², Ю.И. Стожков³

Изложены результаты изучения вариаций потоков электромагнитных и корпускулярных излучений, падающих на верхнюю границу атмосферы Земли, в зависимости от уровня солнечной активности. Приведены временные зависимости ежемесячных данных о числах Вольфа (W), ионосферного индекса (I_{yf}), интенсивности радиоизлучения Солнца на 10.7 см (R), солнечной постоянной, интенсивности космических лучей ($I_{кл}$), плотности и скорости солнечного ветра за время их совместных наблюдений в период с (1953 – 1964) по 2001 г. Найдены регрессионные связи между указанными параметрами и числами Вольфа. Показано, что наблюдается сильная связь I_{yf} с W , R с W и $I_{кл}$ с W (коэффициенты корреляции $K > 0.8$). Первые три параметра имеют также одинаковые спектры. Связь остальных параметров с W весьма слабая ($K < 0.5$).

Существует большое число фактов, свидетельствующих в пользу того, что активные явления на Солнце воздействуют на погоду, а долговременные изменения количества энергии, поступающей от Солнца, влияют на климат на Земле. Проблема влияния

¹Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, г. Долгопрудный Московской области.

²Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва.

³Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва.

солнечной активности (СА) на погоду и климат на Земле интенсивно изучается, особенно в последние годы. Главной целью изучения этой проблемы является прогноз погоды и климата на Земле.

Для решения указанной проблемы с энергетической точки зрения необходимо знать, во-первых, как в зависимости от активности Солнца изменяются потоки электромагнитных и корпускулярных излучений, падающих на верхнюю границу атмосферы Земли, во-вторых, каким образом эти потоки усиливаются в атмосфере до значений, достаточных для заметного изменения погоды (климата) на Земле. Кроме того, необходимо уметь прогнозировать изменения СА и по ним – изменения погоды и климата. Настоящая работа посвящена изучению первого из указанных вопросов.

Одним из главных показателей СА являются числа Вольфа W , которые характеризуют пятнообразовательную деятельность Солнца. В настоящей работе именно значения W были использованы в качестве показателя СА.

В качестве показателей, характеризующих потоки электромагнитных и корпускулярных гелиокосмических излучений, падающих на верхнюю границу атмосферы Земли, использованы лишь те, наблюдения за которыми проводились в течение не менее одного 11-летнего цикла СА.

Для описания потоков электромагнитных излучений Солнца использованы: интенсивность мягкого рентгеновского излучения X , ионосферный индекс $I_{y\phi}$, пропорциональный потоку ультрафиолетового излучения Солнца, солнечная постоянная S и интенсивность радиоизлучения R .

Измерения рентгеновского излучения X проводятся на спутниках *Yokho* с 1992 г. по настоящее время [1]. Ионосферный индекс $I_{y\phi}$ рассчитывался по результатам наблюдений за слоем E ионосферы на станции Москва, которые проводились в период с 1956 по 1992 годы [2]. Этот индекс характеризует солнечное коротковолновое ультрафиолетовое излучение (УФ). Он использован потому, что в настоящее время другого длительного мониторинга указанного излучения не существует. Измерения солнечной постоянной S проводятся на спутниках с 1978 года [3]. Измерения интенсивности радиоизлучения R проводятся с помощью наземных станций, так как это излучение слабо поглощается атмосферой Земли. Эти измерения проводятся с 1947 г. по настоящее время [4].

В качестве показателей, характеризующих потоки корпускулярных излучений, падающих на верхнюю границу атмосферы Земли, использованы результаты баллонных и наземных наблюдений за вариациями галактических космических лучей, а также спутниковые данные о вариациях плотности и скорости солнечного ветра. В работе исполь-

зованы данные нейтронного монитора Climax, $I'_{\kappa\lambda}$, с 1953 г. по настоящее время [4] и данные баллонных наблюдений за космическим излучением в диапазоне энергий первичных частиц (0.1 – 1.5) ГэВ, полученные в ФИАН'е, $I''_{\kappa\lambda}$. Спутниковые наблюдения за плотностью и скоростью солнечного ветра проводятся с 1964 года [4].

Результаты наблюдений за перечисленными выше параметрами представлены на рис. 1.

Главной целью проведенного в этой работе анализа было установление связей между вышеизложенными параметрами, характеризующими падающие на верхнюю границу атмосферы Земли электромагнитные и корпускулярные излучения, и числами Вольфа, характеризующими солнечную активность.

В результате анализа были найдены регрессионные связи между X и W , $I_{y\phi}$ и W , S и W , R и W , $I'_{\kappa\lambda}$ и W , $I''_{\kappa\lambda}$ и W , а также определены коэффициенты корреляции между ними.

Эти связи выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= 1.025 \cdot W - 3.000; & K(X, W) &= +0.85 & \text{при} & \Delta t = 1 \text{ мес.} \\ R &= 0.912 \cdot W + 60.975; & K(R, W) &= +0.98 & \text{при} & \Delta t = 0 \text{ мес.} \\ I_{y\phi} &= 1.058 \cdot W + 138.398; & K(I_{y\phi}, W) &= +0.91 & \text{при} & \Delta t = 0 \text{ мес.} \\ I'_{\kappa\lambda} &= -4.058 \cdot W + 4239.604; & K(I'_{\kappa\lambda}, W) &= -0.84 & \text{при} & \Delta t = (9 - 10) \text{ мес.} \\ I''_{\kappa\lambda} &= -4.692 \cdot W + 1010.160; & K(I''_{\kappa\lambda}, W) &= -0.82 & \text{при} & \Delta t = (9 - 10) \text{ мес.} \end{aligned}$$

Δt – временной сдвиг между рассматриваемыми величинами.

Коэффициенты корреляции между этими параметрами высокие, $K > 0.8$. Коэффициенты корреляции плотности и скорости солнечного ветра ρ и V с числами Вольфа W оказались весьма малыми ($K < 0.5$). Также низким оказался коэффициент корреляции между aa-индексом, характеризующим геомагнитную активность, и числами Вольфа.

Кроме того, Фурье-анализ вышеперечисленных данных за один и тот же промежуток времени показал, что в спектрах $I_{y\phi}$, R и W присутствуют одни и те же линии с периодами 35; 17.5; 10.77; 7.78 и 5.19 года (рис. 2). Спектры остальных параметров за этот же период времени другие.

Из рисунка 1 видно, что в ряде чисел Вольфа W четко прослеживается 11-летний цикл. Значения W в цикле изменяются в широких пределах от 0 до ~ 200 . Этот же цикл прослеживается в рентгеновском излучении X , ионосферном индексе $I_{y\phi}$, солнечной постоянной S и в радиоизлучении R . При этом в цикле наиболее сильно изменяются значения X (в десятки раз) и менее всего изменяются значения S (на $\sim 0.1\%$ от значения 1365.6 Вт/м^2). Изменения указанных излучений происходят в фазе с W , т.е. с

пятнообразовательной деятельностью Солнца. Чем выше активность Солнца, тем больше потоки электромагнитных излучений, падающих на верхнюю границу атмосферы Земли.

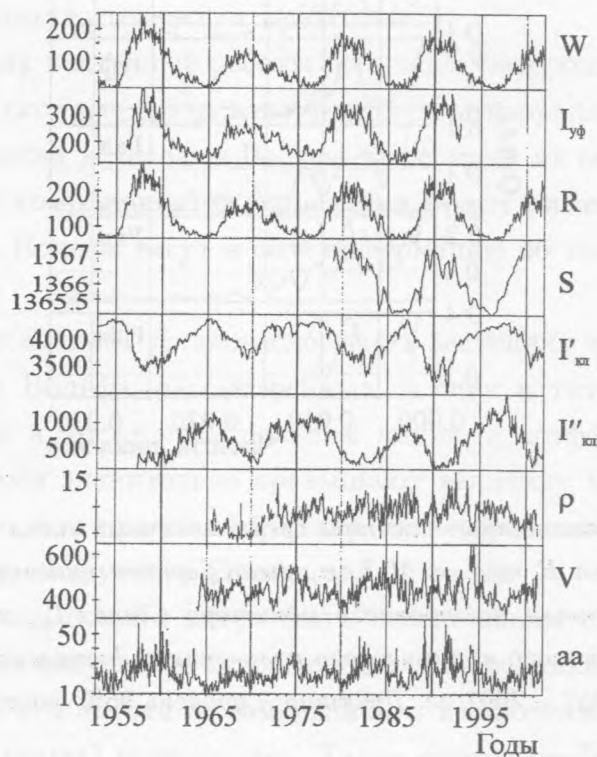


Рис. 1. Временные зависимости среднемесячных чисел Вольфа W , ионосферного индекса I_{yf} , интенсивности радиоизлучения Солнца R , солнечной постоянной S , интенсивности космических лучей по данным нейтронного монитора Climax $I'_{кл}$, данные по первичному космическому излучению $I''_{кл}$, плотности ρ и скорости V солнечного ветра и aa-индекса геомагнитной активности.

В то же время корпускулярные излучения, падающие на верхнюю границу атмосферы Земли, ведут себя совсем иначе. Интенсивность космических лучей в 11-летнем цикле изменяется в противофазе с активностью Солнца: на $\sim 200\%$ по первичному космическому излучению (частицы с энергией $0.1 < E < 1.5 \text{ ГэВ}$) и \sim на 35% в средних широтах (Climax).

Из рисунка 1 видно, что вариации параметров солнечного ветра ρ и V в первом

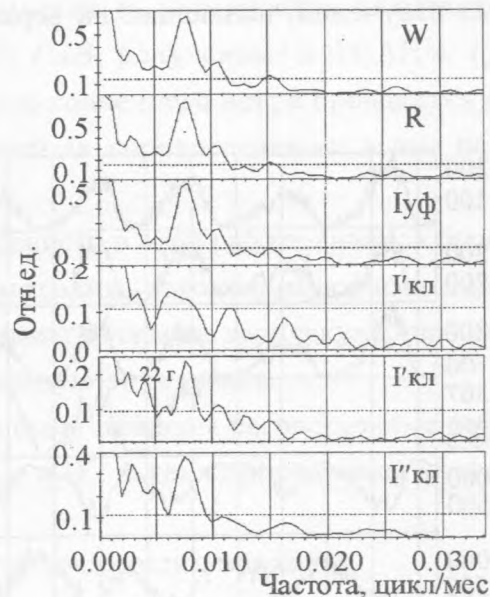


Рис. 2. Амплитудно-частотные спектры среднемесячных чисел Вольфа W , интенсивности радиоизлучения Солнца R на $\lambda = 10.7$ см, ионосферного индекса I_{yf} , интенсивности космических лучей по данным нейтронного монитора *Climate* $I'_{кл}$ за период 1953 – 1992 гг. и 1953 – 2001 гг. и первичного космического излучения в диапазоне энергий частиц (0.1 – 1.5) ГэВ , $I''_{кл}$, за период 1957 – 2001 гг. Пунктир – уровень 95% значимости.

приближении слабо связаны с 11-летним циклом солнечной активности. Это подтверждается также проведенными расчетами коэффициентов корреляций.

Следует обратить особое внимание на тот факт, что коэффициенты корреляции X с W , I_{yf} с W и R с W являются высокими, а спектры этих параметров полностью совпадают (рис. 2). Этот факт является важным для изучения проблемы происхождения солнечной активности. Он свидетельствует в пользу того, что причина вариаций пятнообразовательной деятельности, рентгеновского, ультрафиолетового и радиоизлучения Солнца одна и та же.

Рассматривая вариации интенсивности космических лучей $I_{кл}$, представленных на рис. 1, можно заметить, что они находятся в противофазе с числами Вольфа. Можно заметить также, что в отличие от чисел Вольфа в вариациях $I_{кл}$ присутствует 22-летний цикл. Как видно из этого рисунка, геометрические формы четных и нечетных циклов различны. В одном случае они имеют треугольную форму, а в другом – трапециевидаль-

ную. Из рис. 1 также видно, что связь между $I_{\kappa, \lambda}$ и параметрами солнечного ветра ρ и V практически отсутствует.

Анализ спектров всех рассмотренных видов излучений показал, что линия с 22-летним периодом присутствует лишь в $I'_{\kappa, \lambda}$ (в данных баллонных наблюдений эта линия размыта из-за малой продолжительности наблюдений).

В процессе выполнения настоящей работы получены следующие результаты:

– рассчитаны регрессионные связи и коэффициенты корреляции между потоками гелиокосмических излучений и числами Вольфа за периоды их одновременных наблюдений. Наличие высоких коэффициентов корреляции между ними ($K > 0.8$) свидетельствует о том, что числа Вольфа несут в себе информацию об энергетических потоках этих излучений;

– в результате Фурье-анализа установлено, что в значениях ионосферного индекса, радиоизлучения и чисел Вольфа, рассмотренных за один и тот же период наблюдений, присутствуют одни и те же спектральные линии, а коэффициенты корреляции между этими параметрами значительно превышают величину 0.9. Этот факт свидетельствует в пользу того, что причина вариаций пятнообразовательной деятельности, ультрафиолетового и радиоизлучения Солнца одна и та же.

Найденные регрессионные связи могут быть использованы при оценках вариаций потоков гелиокосмических излучений, которые падали на верхнюю границу атмосферы Земли в прошлом, когда эти потоки не измерялись, а наблюдения за солнечной активностью (солнечными пятнами) проводились. Такие оценки необходимы для изучения механизма солнечно-земных погодно-климатических связей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ (тема N 14: "Взаимодействие гелиокосмических факторов с атмосферой Земли").

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P e v t s o v A. A. and L o r o n W. *Astrophys. Journ.* **554**, 416 (2001).
- [2] А н т о н о в а Л. А., И в а н о в - Х о л о д н ы й Г. С., Ч е р т о п р у д В. Е. *Аэрoнoмия слoя Е. М.*, Янус, 1996, с. 168.
- [3] F r ö l i c h G., L e a n J. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 4377 (1998).
- [4] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/>.

Поступила в редакцию 31 октября 2002 г.