

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ВАРИАЦИИ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

К.Р. Распов¹, И.К. Едемский^{1,2}

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия, rkrwete@yandex.ru

²Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

LONG-PERIOD VARIATIONS OF SPACE WEATHER INDICES

K.R. Raspopov¹, I.K. Edemsky^{1,2}

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, rkrwete@yandex.ru

²Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Аннотация. В данной работе сделана попытка выделения долгопериодных закономерностей в значениях нескольких ключевых индексов космической погоды по данным базы OMNI. Мы также оцениваем связь частоты пропусков значений индексов с уровнем солнечной активности и предлагаем подход по заполнению таких пропусков.

Ключевые слова: космическая погода, солнечный цикл, геомагнитные индексы, ММП, F10.7, Dst.

Abstract. This paper makes an attempt to identify long-term patterns in the values of several key space weather indices based on data from the OMNI database. We also evaluate the relationship between the frequency of missing index values and the level of solar activity and propose an approach to filling such gaps.

Keywords: space weather, solar cycle, geomagnetic indices, IMF, F10.7, Dst.

Концепция космической погоды охватывает множество явлений, происходящих в околоземном пространстве (ОКП) и оказывающих влияние на нашу планету. Одним из ключевых индикаторов солнечной активности можно считать индекс радиочастотного излучения F10.7, измеряющий поток солнечного излучения на частоте 2800 МГц. По уровню F10.7 вполне однозначно выделяются максимумы и минимумы солнечной активности, сменяющиеся циклически. Активное Солнце чаще и интенсивнее возмущает магнитосферу земли во время вспышек и корональных выбросов массы. Развитие этих процессов отслеживают по таким параметрам солнечного ветра как скорость V_{sw} , плотность D_{sw} и температура T_{sw} . Кроме того, направление вектора межпланетного магнитного поля (ММП) B , особенно его компонент B_y и B_z , является определяющим в вопросе возникновения и развития магнитных бурь. Процессы в магнитосфере и ионосфере во время магнитных бурь в достаточной мере характеризуются значениями индексов аврального электроджета (AE, AL, AU), кольцевого тока Dst, планетарных индексов возмущения геомагнитного поля Kp и Ap.

Величины индексов космической погоды удобно получать из базы данных OMNI (Operational and Modernized National Institute), содержащей разноплановые данные, полученные как с наземных станций, так и со спутников, таких как: Advanced Composition Explorer (измеряет свойства солнечного ветра и состав космических частиц), Deep Space Climate Observatory (предоставляет данные о солнечном ветре и магнитном поле), Solar and Heliospheric Observatory (изучает Солнце и солнечный ветер) [King J.H., Papitashvili]. База содержит данные с 1 января 1970 г., позволяя таким образом

исследовать динамику индексов ОКП за период с 20-го по текущий 25-ый солнечный циклы. В настоящей работе мы пользовались библиотекой PySpaceweather [URL: <https://github.com/st-bender/pyspaceweather>] для языка Python, облегчающей получение данных из OMNI.

Вся космическая погода подчинена активности Солнца, уровень которой имеет известную цикличность. Наиболее значительными следует считать 11-летний (22-летний) и 27-дневный циклы, связанные с процессами на Солнце, и годовой, и полугодовой, определяемые положением Земли [Adriane Marques de Souza Franco et al., 2021]. Существуют и более длинные периоды активности Солнца, вызвавшие, например, минимум Маундера, однако в настоящей работе мы опирались на базу OMNI и рассматривали данные только за период 1970–2024 гг.

27-дневный цикл обусловлен ротацией Солнца и повторяющимися структурами на его поверхности, такими как активные области. Этот цикл особенно заметен в индикаторах солнечного ветра и компонент межпланетного магнитного поля, которые показывают периодические изменения каждые 27 дней.

Каждые полгода наблюдаются вариации в геомагнитной активности, которые могут быть связаны с эффектами, такими как внеэкваториальное перемещение магнитного экватора Земли. Полугодовой цикл влияет на индексы, связанные с полярным сиянием и радиационными поясами.

Годовой цикл обусловлен влиянием геометрии Земной орбиты на уровни солнечной активности и показатели космической погоды, такие как Kp и Dst индексы. Годовой цикл может отражать сезонные изменения в геомагнитной активности из-за вариаций в ориентации магнитного поля Земли и интенсивности солнечного излучения.

11-летний цикл (цикл Швабе-Вольфа) — это период солнечной активности, характеризуемый увеличением и уменьшением числа солнечных пятен. 11-летний цикл является наиболее известным и исследованным циклом, который оказывает значительное влияние на многие параметры космической погоды, включая индекс F10.7, солнечный ветер и геомагнитную активность.

22-летний цикл (магнитный цикл Хейла) состоит из двух 11-летних циклов, во время которых магнитное поле Солнца меняет свою полярность. Этот цикл особенно важен для понимания изменений в межпланетном магнитном поле и солнечном ветре.

В ходе этой работы мы оцениваем, насколько эти циклы сказываются на значениях различных индексов, и пробуем определить циклические закономерности изменения индексов. Исходя из того, что пропуски значений индексов вызваны аппаратными проблемами, которые также могут быть связаны с активностью Солнца, мы анализируем наличие закономерностей в пропусках данных. Так наиболее часто оказываются недоступными значения компонент ММП: Tsw.

Число пропущенных значений для различных индексов распределилось по циклам активности следующим образом в таблице 1.

Таблица 1.

Количество пропущенных значений для индексов.

Период\ Индекс	F107	Vsw	Dsw	Tsw	Bz
1976.1.1 – 1986.1.1	1	28495	29550	42368	30456
1986.1.1 – 1996.1.1	1	46916	46916	46916	46043
1996.1.1 – 2009.1.1	7	456	4367	4458	270
2009.1.1 – 2020.1.1	3	15	759	279	33

В работе мы также предлагаем метод восстановления пропущенных значений компонент ММП по известным данным Vsw, Dsw, Tsw, F107 и Dst.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

King J.H., Papitashvili N.E. Solar wind spatial scales in and comparisons of hourly Wind and ACE plasma and magnetic field data // J. Geophys. Res. 2005. V. 110, N A2. A02209.

Adriane Marques de Souza Franco, Rajkumar Hajra, Ezequiel Echer, and Mauricio José Alves Bolzan Seasonal features of geomagnetic activity: a study on the solar activity dependence // European Geosciences, 2021. URL: <https://angeo.copernicus.org/articles/39/929/2021/> (дата обращения: 31.05.24)