

УДК 523.62-726

О ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ С ВОЗМОЖНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ К ПРОБЛЕМЕ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА

В. И. Власов, Р. Д. Дагкесаманский, В. А. Потапов,
С. А. Тюльбашев, И. В. Чашей

По данным 20–24 цикла солнечной активности проведено сопоставление долговременных вариаций среднегодовых значений скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний с вариациями чисел Вольфа. Показано, что параметры мерцаний на средних и высоких гелиоширотах обнаруживают медленный немонотонный тренд с характерным масштабом порядка векового цикла. Для длительных рядов данных с 1610 г. по настоящее время анализируется корреляция вариаций чисел Вольфа и аномалий температуры воздуха. Обсуждается возможное приложение результатов к проблеме глобального климата.

Ключевые слова: солнечная активность, солнечный ветер, долговременные вариации.

Введение. Межпланетные мерцания обусловлены дифракцией радиоволн на движущихся неоднородностях солнечного ветра [1]. Наблюдения межпланетных мерцаний позволяют определять параметры солнечного ветра в широкой области гелиоцентрических расстояний и гелиоширот, а также исследовать их эволюцию в цикле солнечной активности [1] и на более длительных временных интервалах [2–4]. В настоящей работе на основании накопленных наблюдательных данных рассмотрены вариации параметров межпланетных мерцаний на длительном временном интервале, охватывающем 4 последних цикла солнечной активности. Приведенные данные позволяют выявить немонотонный тренд в изменениях параметров солнечного ветра, проводится сравнение этого тренда с циклом солнечной активности. Сопоставление аналогичных трендов

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: vlasov@prao.ru, chashey@prao.ru.

в архивных данных о солнечной активности с изменениями глобального климата Земли позволяет сделать прогноз о возможных климатических тенденциях в предположении об определяющей роли влияния Солнца.

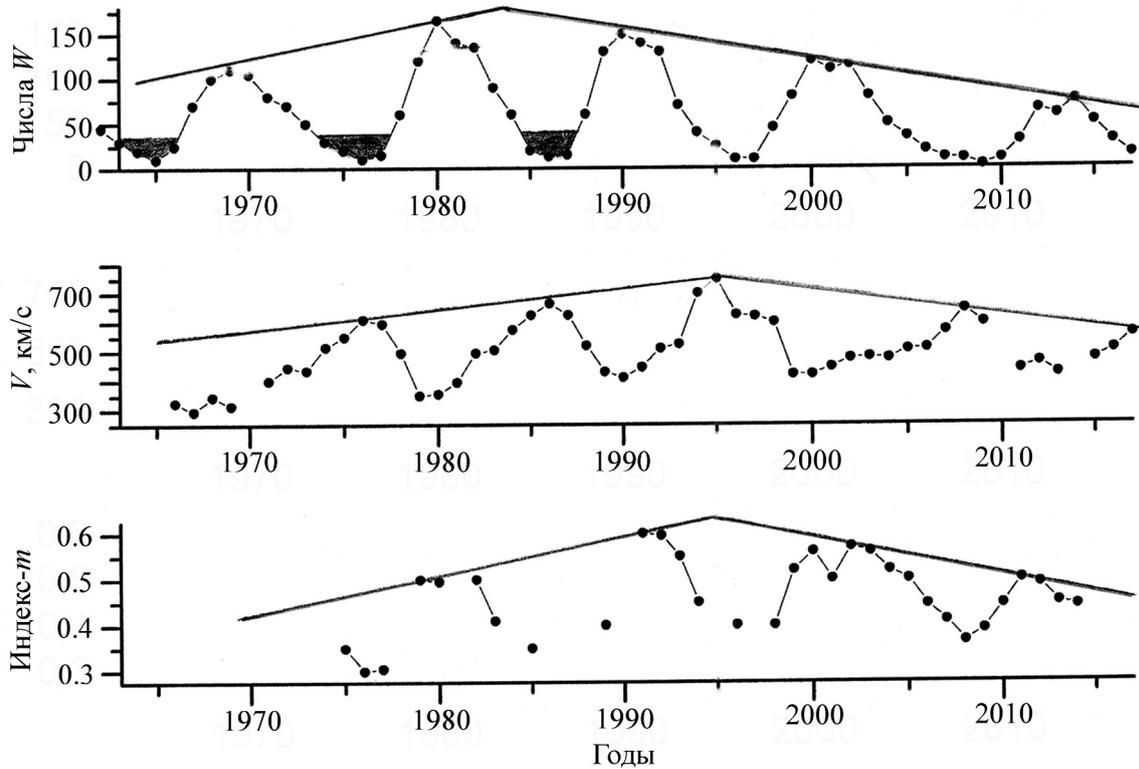


Рис. 1: Ряды среднегодовых значений чисел Вольфа W , значений скорости солнечного ветра V и индекса мерцаний m (по радиоастрономическим данным).

Долговременные вариации параметров межпланетных мерцаний. Далее будут рассмотрены вариации двух основных параметров межпланетных мерцаний: индекса мерцаний и скорости движения дифракционной картины. Индекс мерцаний m определяется как относительные флуктуации потока излучения просвечивающего радиоисточника с характерным временным масштабом порядка 1 секунды [1]. Обычно предполагается, что этот параметр пропорционален средней по лучу зрения концентрации плазмы солнечного ветра [1]. Скорость движения картины мерцаний V измеряется по одновременным наблюдениям на разнесенных на расстояние порядка сотен километров радиотелескопах. Этот параметр примерно совпадает с усредненной по лучу зрения скоростью солнечного ветра [4]. На второй и третьей панелях рис. 1 приведены усредненные по годичным интервалам данные измерений индекса мерцаний m и скорости V за пери-

од около 40 лет (20–24 циклы активности) для одного и того же радиоисточника ЗС 48, который просвечивает солнечный ветер в области гелиоширот 20° – 70° . Индексы мерцаний измерялись в Пушинской Радиоастрономической обсерватории ФИАН, все значения приведены к частоте 100 МГц. Данные по скорости солнечного ветра получены на частоте 327 МГц на системе из трех радиотелескопов Нагойского университета, Япония (<https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/en/>). На первой панели рис. 1 приведены числа Вольфа W , характеризующие уровень солнечной активности. Сравнение данных второй и третьей панелей рис. 1 показывает, что внутри каждого цикла активности имеется антикорреляция между индексом мерцаний и скоростью: в максимуме активности скорость минимальна, а индекс мерцаний максимален; в минимуме активности скорость максимальна, а индекс мерцаний минимален. Такая динамика связана с тем, что в минимуме активности на высоких широтах преобладает быстрый разреженный солнечный ветер, а на низких широтах – более плотный медленный ветер; в максимуме активности на всех широтах преобладает медленный солнечный ветер [1, 4]. На фоне циклических вариаций имеется немонотонный медленный тренд одинакового характера для скорости и индекса мерцаний. Максимум тренда в параметрах мерцаний примерно на длительность одного цикла запаздывает по отношению к максимуму в уровне солнечной активности.

В работе [5] приведены данные о магнитном поле, концентрации и скорости солнечного ветра по измерениям на спутнике *Wind*, также в 20–24 циклах активности. В этих данных для указанных параметров солнечного ветра отсутствуют как циклическая динамика, так и медленный тренд. Данные *Wind* [5] не противоречат данным радиоастрономических наблюдений, поскольку спутник находился в области низких гелиоширот, вблизи плоскости солнечного экватора, тогда как данные второй и третьей панелей рис. 1 относятся к средним и высоким гелиоширотам. Поэтому можно утверждать, что как циклическая динамика, так и медленный тренд в солнечном ветре обусловлены переменностью на средних и высоких гелиоширотах. В части циклической динамики этот вывод согласуется и с измерениями на космическом аппарате *Ulysses* при его пролетах через экваториальные области и над полюсами в минимуме и максимуме солнечной активности [6].

О возможном приложении к проблеме глобального климата. В последние годы в научной литературе и в СМИ интенсивно обсуждается проблема глобального роста температуры земной атмосферы. Основываясь на архивных данных, рассмотрим возможную связь глобальной температуры с долговременными циклическими изменениями

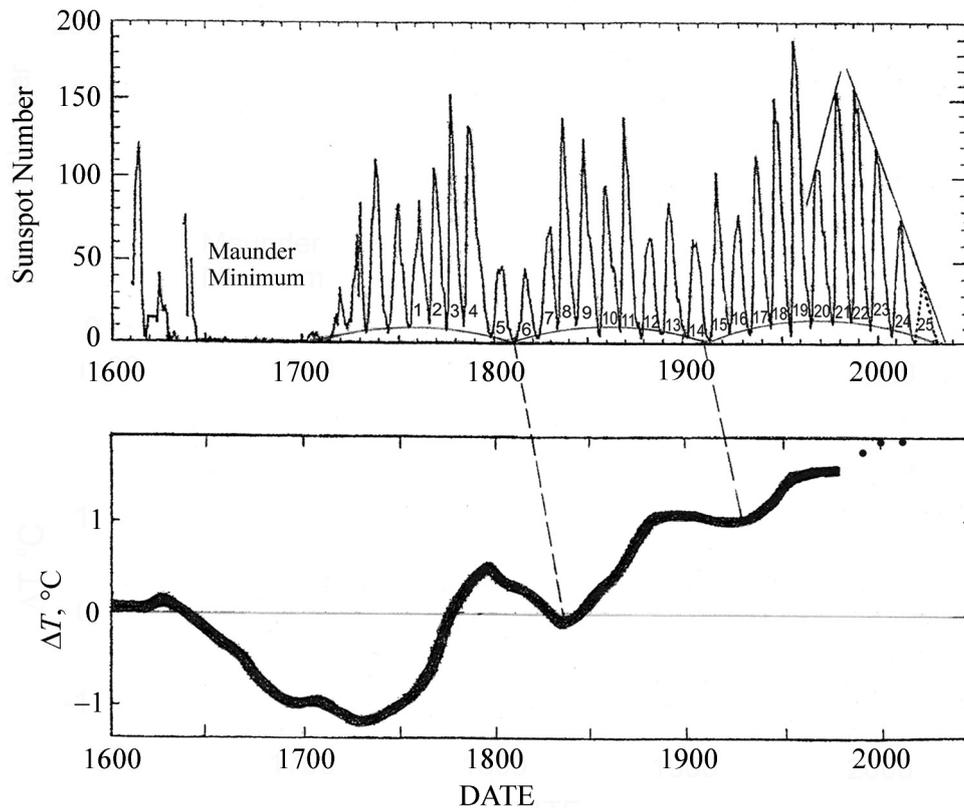


Рис. 2: Сравнение температурной аномалии ΔT , реконструированной по данным ^{18}O , в континентальной Сибири (Алтайский край, ледник Белуха) с числом солнечных пятен (числа Вольфа) на интервале времени 1610–2019 г.г.

солнечной активности. С этой целью данные для последних циклов активности, приведенные на рис. 1, следует, насколько возможно, расширить, используя имеющиеся данные о солнечной активности для предыдущих периодов времени. Первые инструментальные измерения чисел Вольфа в Цюрихской обсерватории относятся к 1610 году. На верхней панели рис. 2 приведен наиболее длинный из имеющихся ряд чисел Вольфа. Немонотонный тренд рис. 1 изображен сплошными прямыми, проведенными как огибающая максимумов 11-летних циклов с 20-го по 24-й. Прогнозируемый по экстраполяции спадающего линейного тренда уровень начавшегося 25-го цикла показан на рис. 2 пунктиром. Представленный на нижней панели рис. 2 фрагмент графика из работы [7] соответствует значениям аномалий поверхностной температуры воздуха до 1980 г., реконструированной по данным ^{18}O . Точками на нижней панели рис. 2 изображены значения температурной аномалии в текущий период, данные заимствованы с сайта (<http://www.climate4you.com>). Два предыдущих вековых минимума в величинах

чисел Вольфа и температуры воздуха соединены штриховыми линиями, которые, как видно из рис. 2, оказываются параллельными, причем имеется запаздывание глобальной температуры по отношению к числам Вольфа. Можно предположить, что связь между температурой и числами Вольфа сохраняется и в текущем цикле, и тогда максимальная температура будет с некоторым запаздыванием соответствовать максимуму в числах Вольфа. Минимум активности в текущем вековом цикле пока не достигнут, но спадающая огибающая в правой части верхней панели рис. 2 позволяет предположить, что уже в течение начавшегося 25 цикла, то есть в пределах 10 лет, можно ожидать смену фазы роста глобальной температуры на фазу спада.

Мы предполагаем, что вариации глобальной температуры, наряду с влиянием других факторов земного и антропогенного происхождения, могут в значительной мере зависеть и от вековых изменений в уровне солнечной активности. Для проверки гипотезы о влиянии солнечной активности мы провели сравнительный анализ вариаций средней концентрации атмосферного CO_2 (www.climate4you.com/GreenhouseGasses.htm) и глобальной температуры (www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm). Кросскорреляция двух временных рядов показывает, что вариации CO_2 запаздывают по отношению к вариациям температуры со временем запаздывания около одного года. Аналогичная оценка запаздывания углекислого газа относительно температуры получена также в работе [8].

Выводы. Результаты наблюдений межпланетных мерцаний, охватывающих период около 4 циклов солнечной активности, показывают, что в солнечном ветре на фоне циклических вариаций имеется медленный немонотонный тренд. Поскольку аналогичная переменность в околоземной плазме солнечного ветра не наблюдается, то можно заключить, что как циклическая переменность, так и медленный тренд проявляются в переменности на средних и высоких гелиоширотах. В отличие от циклической переменности, для которой скорость и концентрация плазмы варьируются в противофазе, для медленной переменности скорость и концентрация меняются сходным образом. Циклическая переменность, как известно, связана с появлением в минимуме активности полярных корональных дыр. Можно предположить, что и медленная переменность каким-то образом связана с вековой модуляцией магнитной структуры солнечной атмосферы. Медленный тренд солнечного ветра примерно на длительность солнечного цикла запаздывает по отношению к солнечной активности.

Проведенный анализ возможной связи медленных вариаций глобальной температуры атмосферы Земли с солнечной активностью позволил сделать предположение о

переходе от потепления к похолоданию в пределах ближайших 10 лет. Этот сценарий, один из возможных, требует дополнительного изучения с привлечением как модельных расчетов, так и анализа ожидаемых данных солнечных и наземных измерений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] В. И. Власов, И. В. Чашей, В. И. Шишов, Т. Д. Шишова, *Геомагнетизм и аэрон.* **19**(3), 401 (1979).
- [2] В. И. Власов, *Астрономический вестник* **34**(2), 117 (2000).
- [3] В. И. Власов, *Геомагнетизм и аэрномия* **51**(1), 30 (2011). DOI: 10.1134/S0016793211010166.
- [4] M. Tokumaru, M. Kojima, K. Fujiki, *J. Geophys. Res.* **117**(6), 06108 (2012). DOI: 10.1029/2011JA017379.
- [5] J.-L. Zerbo, J. D. Richardson, *J. Geophys. Res. Space Physics* **120**, 10,250 (2015). DOI: 10.1002/2015JA021407.
- [6] D. J. McComas, H. A. Elliott, N. A. Schwadron, et al., *Geophysical Research Letters* **30**(10), 1517 (2003). DOI: 10.1029/2003GL017136.
- [7] В. А. Дергачев, *Геомагнетизм и аэрномия* **55**(2), 3 (2015). DOI: 10.1134/S0016793215020036.
- [8] O. Humlum, K. Stordal, J-E. Solheim, *Global and Planetary Change* **100**, 51 (2013). DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.008.

Поступила в редакцию 27 октября 2021 г.

После доработки 22 ноября 2021 г.

Принята к публикации 23 ноября 2021 г.