

УДК 523.62-726

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В 20–23 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© 2011 г. В. И. Власов

Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва
e-mail: vlasov@prao.ru

Поступила в редакцию 25.05.2009 г.
После доработки 13.05.2010 г.

Проанализированы вариации параметров межпланетной плазмы, полученные по радиоастрономическим наблюдениям мерцаний космических радиоисточников в течение четырех 11-летних циклов солнечной активности, начиная с 1966 г. и по настоящее время. Показано, что состояние межпланетной плазмы непрерывно изменяется в согласии с цикличностью в активности Солнца. В рассматриваемый период кроме 11-ти летних вариаций скорости и индекса мерцаний обнаруживается растущий линейный тренд этих величин, предположительно связанный с вековым 80–90 летним циклом солнечной активности. Наблюдаемые при этом различия между 11-летними изменениями и трендами в величине скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний предполагают различную природу 11-летней и вековой цикличности. Выясняется, что подобные тренды обнаруживаются в рассматриваемый период времени в каждом звене системы Солнце–Земля: в индексах солнечной активности, в характеристиках межпланетной среды и практически во всех показателях геофизических, демографических, медицинских и других земных процессов. По совокупности фактов можно, в частности, утверждать, что в большинстве рассмотренных земных процессов определяющая роль принадлежит не антропогенным причинам, а влиянию вековых циклических процессов солнечной активности.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время внимание к солнечно-земным связям, к проблеме Солнце–Земля и солнечно-земной физике в целом заметно растет. Образованы даже отдельные программы исследований, нацеленные на прямое практическое использование результатов исследований для прогнозирования космической погоды. Влияние Солнца на Землю является характерным во все времена, носит глобальный характер, охватывая всю Землю, и будет повторяться и в будущем, потому изучение проблем Солнце–Земля представляет не только общенаучный, но жизненно важный интерес. Основной причиной того, что солнечно-земные связи долго не изучались, является отсутствие соответствующих наблюдательных возможностей. Долгое время экспериментальной основой для таких исследований были только астрономические наблюдения Солнца и регистрация разнообразных событий на Земле. Промежуточное связующее звено между Солнцем и Землей, межпланетная среда, серьезно не рассматривалось. И только в 1951 году косвенно, на основе наблюдений ионизированных хвостов комет был сделан вывод о постоянном присутствии в межпланетном пространстве солнечного корпускулярного излучения. Позже этот постоянно существующий в околосолнечном и межпланетном

пространстве поток солнечной плазмы был назван солнечным ветром.

Радиоастрономические исследования солнечного ветра фактически берут начало еще от первых наблюдений рассеяния радиоисточников в свехкороне [Виткевич, 1951]. Наш интерес к цикличности солнечного ветра проявился уже на этапе таких наблюдений. Так, по результатам десятилетних наблюдений затмения Крабовидной туманности свехкороной Солнца делалось предположение о закономерном изменении размеров и формы свехкороны в зависимости от фазы цикла солнечной активности [Бабий и др., 1965]. Отмечалось, в частности, что размер свехкороны в полярном направлении в годы максимума больше, чем в годы минимума солнечной активности. В дальнейшем эти выводы хорошо подтвердились наблюдениями межпланетных мерцаний. Мерцания космических радиоисточников малых угловых размеров впервые были обнаружены в 1964 году [Hewish et al., 1964]. С этого времени “метод мерцаний”, как наиболее информативный, стал основным радиоастрономическим методом исследования солнечного ветра. В это же время, с первых запусков космических аппаратов, начались прямые измерения в межпланетной среде. Ранее мы в основном уделяли внимание 11-летней цикличности в наблюдаемых характери-

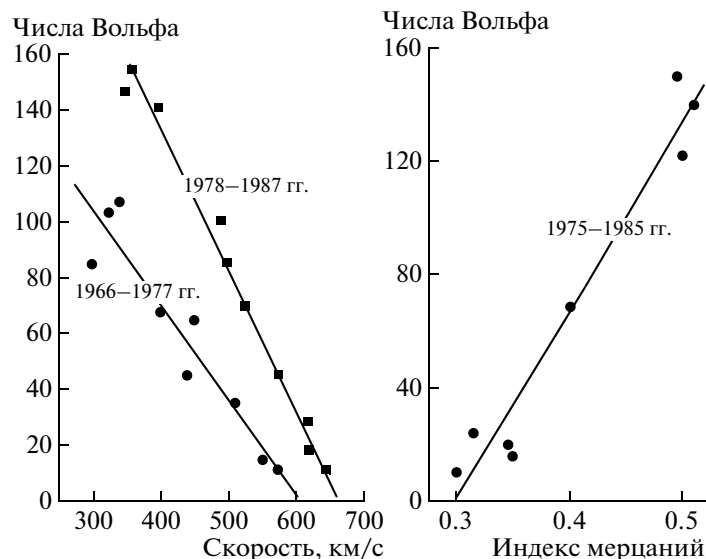


Рис. 1. Соотношение между числами Вольфа и скоростью солнечного ветра, между числами Вольфа и индексом межпланетных мерцаний.

ках солнечного ветра [Власов, 1975, 1983], но обнаруживаются также более продолжительные, предположительно вековые изменения, положительный тренд в параметрах солнечного ветра [Власов, 2000]. Сейчас по этим наблюдениям и измерениям получены массивы данных, охватывающие четыре 11-летних цикла солнечной активности общей протяженностью 40–45 лет. В данной работе приведены результаты систематических (начиная с 1966 года и по настоящее время) измерений скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний, полученных по радиоастрономическим наблюдениям космических радиоисточников. Проведен также поиск и сопоставление трендов в числовых рядах солнечных, межпланетных и земных данных, полученных различными методами за аналогичный период измерений.

2. СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР ПО РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИМ ДАННЫМ В 20–23-ем ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Основными используемыми величинами при радиоастрономических наблюдениях межпланетных мерцаний являются индекс мерцаний m и скорость V дифракционной картины. Индекс мерцаний определяется как относительная дисперсия флуктуаций интенсивности мерцающего радиоисточника. Он характеризует величину неоднородностей и среднюю плотность электронной концентрации солнечного ветра. Скорость определяется из наблюдений мерцаний на нескольких пространственно разнесенных радиотелескопах по расстоянию и соответствующему времени запаздывания мерцаний между ними.

Радиоастрономические измерения скорости солнечного ветра по наблюдениям межпланетных мерцаний одновременно на трех пространственно разнесенных радиотелескопах были начаты нами в 1966 г. [Виткевич и Власов, 1969; 1972]. Начиная с 1973 года и по настоящее время, такие радиоастрономические измерения скорости солнечного ветра практически в непрерывном режиме ведутся в Нагойском Университете (Япония).

Первые наши работы на тему цикличности в солнечном ветре опирались на радиоастрономические данные, полученные в относительно коротких интервалах времени, едва соизмеримых с одним 11-летним циклом [Власов, 1975; 1983]. Однако уже в них были получены основные результаты относительно цикличности скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний. Показано в частности, что состояние межпланетной плазмы высоких гелиоширот (>10 – 20°) существенно меняется в 11-летнем цикле солнечной активности. Показано, что 11-летние вариации скорости происходят в противофазе, а вариации индекса мерцаний происходят в фазе с числом солнечных пятен. Это хорошо видно из сопоставления временных рядов для среднегодовых значений чисел Вольфа, скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний, а также из взаимных зависимостей этих значений, показанных на рис. 1 и 2 для отдельных 11-летних циклов солнечной активности. Скорость солнечного ветра и индекс мерцаний на низких гелиоширотах в среднем слабо меняются со временем. Поэтому в дальнейшем мы основное внимание уделяли цикличности этих характеристик солнечного ветра высоких гелиоширот. Последний

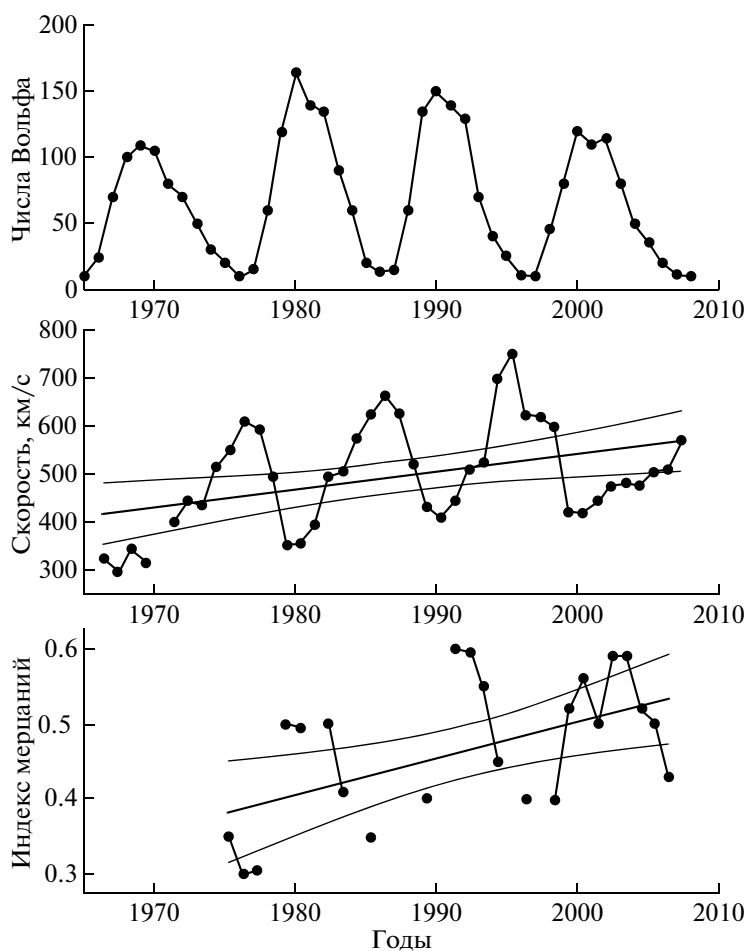


Рис. 2. Временные ряды среднегодовых значений чисел Вольфа W , значений скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний (по радиоастрономическим данным).

наиболее представительный анализ вариаций параметров межпланетной плазмы, охватывающий период трех (20, 21 и 22) циклов солнечной активности, представлен в работе [Власов, 2000]. В ней кратко суммированы результаты первых работ и показано, что все их выводы о характере изменений параметров солнечного ветра на масштабе 11-летнего цикла подтверждаются данными, полученными в пределах этих трех циклов. Заметим кстати, что все результаты радиоастрономических исследований солнечного ветра хорошо подтверждаются прямыми измерениями на космическом аппарате Ulyssis [Marsden, 1996; 1998] и (<http://helio.estec.esa.nl/ulyssis/archive/>), проводимых с февраля 1992 года в режиме гелиоширотного сканирования межпланетной среды. Новым результатом, полученным в работе [Власов, 2000], было обнаружение долговременного изменения (положительного тренда) величины скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний предположительно связанного с “вековым” солнечным циклом в 60 или более лет. В течение последних десяти лет нами получены ин-

дексы мерцаний посредством регулярных наблюдений межпланетных мерцаний нескольких космических радиоисточников на частоте 151 МГц. Эти наблюдения велись на специализированном радиотелескопе РВК ФИАН [Власов и др., 1998].

В это же время продолжались также радиоастрономические измерения скорости солнечного ветра в Нагойском Университете (Япония) [Kakinuma et al., 1975–1988; Kojima and Kakinuma, 1990] по наблюдениям мерцаний в среднем примерно 30 радиоисточников ежедневно. Результаты их измерений опубликованы в интернете (<http://stesun5.stelab.nagoya-u.ac.jp/index-e.html>). Поэтому сейчас мы можем продлить ряды этих данных до 2006 года и, придерживаясь той же методики, что и в прежних работах, проанализировать изменения в солнечном ветре уже в течение четырех циклов солнечной активности.

На рис. 2 сопоставлены кривые зависимости от времени для чисел Вольфа, для средних значений скорости V солнечного ветра высоких гелио-

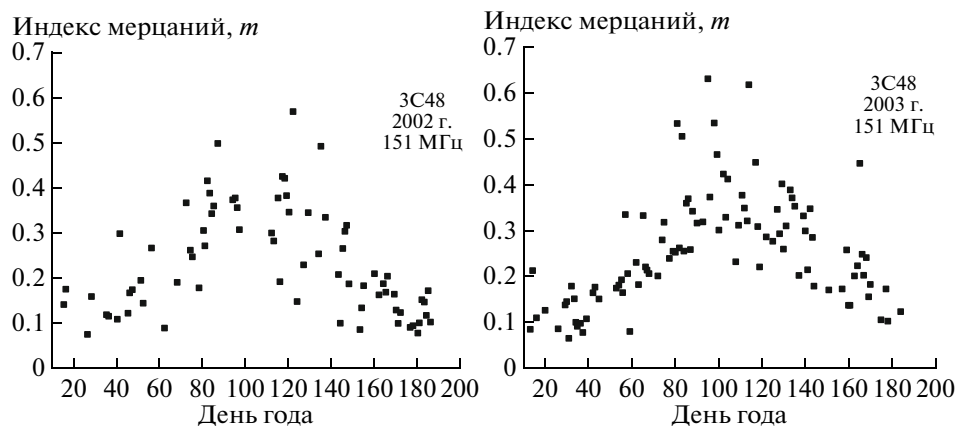


Рис. 3. Примеры массивов индексов межпланетных мерцаний радиоисточника 3C48 по наблюдениям на частоте 151 МГц.

широт и, соответственно, для значений индексов m межпланетных мерцаний. В первые (1966–1969) годы для радиоастрономических измерений скорости солнечного ветра использовались всего 3–5 мерцающих радиоисточников. Здесь на графике использованы значения скорости, полученные по наблюдениям радиоисточника 3C48. Он оказался наиболее оптимальным для анализа цикличности в солнечном ветре. Это достаточно мощный хорошо мерцающий радиоисточник, просвечивающий межпланетную плазму в области высоких гелиоширот, (~ 20 – 70°). Этот источник был одним из основных при первых радиоастрономических измерениях скорости солнечного ветра и почти всегда неизменно присутствует в списке мерцающих источников при всех последующих измерениях. Все значения скорости на графике представляют собой средние величины приблизительно за трехмесячные интервалы каждого года измерений. Представленные на рис. 2 индексы мерцаний m за период с 1975 г. по 1996 г. являются величинами, усредненными по двухмесячным интервалам времени наблюдений на частоте 102.5 МГц для источников, просвечивающих высокоширотные области межпланетной плазмы. Индексы мерцаний m за период с 1998 по 2006 гг. получены по наблюдениям радиоисточника 3C48 на частоте 151 МГц. Примеры массивов этих данных показаны на рис. 3. На графике рис. 2 нанесены их значения, усредненные по двух-трех месячным интервалам наблюдений. Для однородности числового ряда данных эти значения индексов мерцаний пересчитаны к условиям прежних наблюдений на частоте 102.5 МГц.

Итак, получены временные ряды скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний (плотности межпланетной плазмы) в 20, 21, 22 и 23 циклах солнечной активности (1966–2006 гг.). Видно, что это увеличение ряда данных не выявило новых свойств в основной (11-ти лет-

ней) цикличности солнечного ветра. Подтверждаются полученные ранее выводы о вариациях параметров солнечного ветра в 11-летних циклах активности Солнца. Можно считать, что общий характер 11-летней цикличности в параметрах солнечного ветра по радиоастрономическим данным в основном установлен. Теперь основное внимание акцентируем на продолжительном (вековом) тренде в характеристиках солнечного ветра. На рис. 2 видно, что подтверждается, обнаруженное в работе [Власов, 2000], долговременное изменение (положительный тренд) величины скорости и индекса мерцаний в солнечном ветре, предположительно связанное с “вековым” солнечным циклом. Видно также, что в период последнего 11-летнего цикла намечилось изменение в характере тренда. Но, если справедливо наше предположение о вековом 60–90 летнем цикле в солнечном ветре, основанное на тренде параметров солнечного ветра, полученном на интервале трех 11-летних циклов с 1966 по 1997 годы, то, действительно, сейчас (через 10 лет) уже можно ожидать изменения знака такого тренда. Характерно, что эти долговременные изменения (тренд) скорости и индекса мерцаний происходят в фазе, тогда как 11-летние вариации этих величин происходят в противофазе. По-видимому, это может свидетельствовать о различной “природе” 11-летней и долговременной (вековой) цикличности в активности Солнца. К сожалению, сейчас мы можем делать лишь подобные предварительные предположения о характере обнаруженных долговременных изменений в солнечном ветре. Делать более определенные выводы препятствует относительная краткость рядов полученных данных. Потому главной задачей пока остается накопление и предварительный анализ данных для всех звеньев единой цепи от Солнца до Земли, по-

лученных всеми доступными к настоящему времени методами измерений.

3. ТРЕНД В ЧИСЛОВЫХ РЯДАХ СОЛНЕЧНЫХ, МЕЖПЛАНЕТНЫХ И ГЕОСФЕРНЫХ ДАННЫХ

Поскольку мы предположительно связываем обнаруженный в радиоастрономических данных тренд с вековым циклом Солнца, было бы логично обнаружить такие совпадающие по времени тренды и в индексах солнечной активности. И поскольку многие активные явления на Солнце в той или иной мере проявляются как в межпланетном пространстве, так и в околоземной среде, логично искать подобные тренды и в индексах земных процессов. Обратимся для этого к архивам первичных данных и к графическим данным опубликованных работ. Применим простую (на уровне качественных оценок) процедуру поиска линейных трендов (как положительных, так и отрицательных) ко всем искомым числовым рядам солнечных, межпланетных и земных данных. Примем за основу линейные зависимости от времени (линейные тренды для скорости V солнечного ветра и индекса m межпланетных мерцаний), полученные по радиоастрономическим данным, приведенным на рис. 2. С этими зависимостями будем сопоставлять все другие данные.

3.1. Солнце

Имеется более десятка индексов и физических характеристик активности Солнца. Однако в таких, например, наиболее широко распространенных индексах, как числа Вольфа, картина довольно неоднозначна (рис. 2). Здесь можно обнаружить растущий тренд в период 20–21-го циклов и отрицательный тренд в период 21–23-го 11-летних циклов солнечной активности. Но непосредственно в полном ряду данных, интересующего нас периода с 1965 г. по настоящее время, ожидаемый линейный тренд не просматривается. К сожалению, и в литературных источниках информация о тренде в числовых рядах индексов солнечной активности для этих лет довольно ограничена. В работах [Friis-Christensen and Lassen, 1991; Sandahl 1997], например, графически показаны, оцененные по числам Вольфа за период с 1860 по 1986 годы, вековые изменения в продолжительности 11-летних циклов. Здесь, на конечном интервале данных (1965–1986 гг.), наблюдается положительный тренд этих величин. Однако, это тот же короткий период 20–21-м циклов солнечной активности. Заметим также, что многие индексы солнечной активности, подобные числам солнечных пятен, являются в основном обобщающими характеристиками, своего

рода индикаторами состояния Солнца, и не содержат четкого физического смысла.

В этом отношении положительно выделяются характеристики магнитного поля Солнца, которое, по-видимому, является основной определяющей силой, непосредственно контролирующей состояние солнечного ветра. В материалах некоторых работ близкой тематики действительно наблюдаются долговременные изменения в характеристиках Солнца, более четко совпадающие по времени и характеру с обсуждаемым трендом в солнечном ветре. Например, в работе [Веселовский и др., 2002] в графическом виде приведены среднемесячные значения величины общего магнитного поля Солнца (как звезды) за период с 1968 по 1997 гг. Средняя временная зависимость, полученная для этих данных, показана на рис. 4. Таким образом, на Солнце действительно наблюдаются долговременные процессы сходные с трендом в характеристиках солнечного ветра. К сожалению, ограниченность временных рядов по-прежнему затрудняет их анализ и интерпретацию.

3.2. Межпланетная среда

3.2.1. Солнечный ветер. Регулярные радиоастрономические наблюдения и прямые измерения на космических аппаратах характеристик солнечного ветра начались практически одновременно в середине 60-х годов. Они непрерывно развиваются и ведутся по настоящее время. За этот период накоплен огромный объем данных о таких характеристиках межпланетной среды как плотность, скорость, температура, химический состав межпланетной плазмы, напряженность межпланетного магнитного поля и т.д. Все эти параметры солнечного ветра испытывают разнообразные как относительно высокочастотные, так и долговременные изменения, вызванные крупномасштабными переменными процессами на Солнце. В работе [Веселовский и др., 2002] графически приведены ряды среднемесячных значений гелиосферных параметров: скорость и плотность солнечного ветра, модуль межпланетного магнитного поля, а также солнечных индексов: числа Вольфа, поток радиоизлучения на волне 10.7 см и напряженность магнитного поля Солнца, просуммированная по всему диску. Видно, что в солнечных индексах хорошо просматриваются как высокочастотные, так и 11-летние вариации. Просматриваются также медленные изменения, тренд в рядах данных солнечного и межпланетного магнитного поля.

Также заметно отсутствие 11-летних циклов и тренда в данных о скорости и плотности солнечного ветра. Заметим, что это вполне ожидаемо, поскольку такие данные получены из спутниковых измерений в околоземном пространстве, т.е. на низких гелиоширотах $\pm 7^\circ$. Ранее нами по ра-

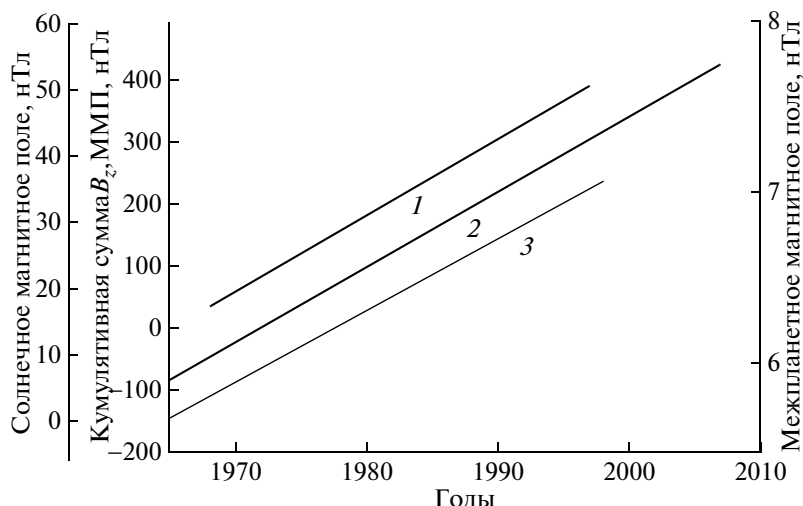


Рис. 4. Среднее магнитное поле Солнца как звезды — (1), кумулятивная сумма V_z компоненты межпланетного магнитного поля — (2), межпланетное магнитное поле — (3).

диоастрономическим наблюдениям [Власов, 1975; 1983] было показано, что скорость солнечного ветра на низких гелиоширотах и индекс мерцаний радиоисточников, просвечивающих низкоширотные области межпланетной плазмы, а следовательно и плотность плазмы, слабо меняются со временем. В работе [Веселовский и др., 2002] приведены также усредненные по полугодовым интервалам времени значения потоков энергии S , и потоков массы J гелиосферной плазмы, полученные по околоземным спутниковым данным за период 1965–1995 гг. Здесь прямо отмечается наличие положительного тренда в интегральных потоках массы и энергии солнечного ветра, предположительно связанного с “вековым” солнечным циклом длительностью более 60–70 лет.

3.2.2. Межпланетное магнитное поле и галактические космические лучи. В работе [Мордвинов, 2006] анализируются кумулятивные суммы значений межпланетного магнитного поля, как функции времени. Это приводит к усреднению короткопериодических вариаций магнитного поля, выявляя его долговременные циклические 11-ти, 22-х летние и более длительные изменения. Для нас наибольший интерес представляют вариации во времени V_z компоненты межпланетного магнитного поля. Эта, перпендикулярная к плоскости солнечного экватора компонента, является одним из наиболее геоэффективных параметров солнечного ветра. В работе [Мордвинов, 2008] подчеркивается, что одной из особенностей кумулятивных сумм V_z компоненты является наличие значительного положительного тренда. Линейный тренд, оцененный по ряду этих данных за период с 1965 по 2005 гг., показан на рис. 4. На этом рисунке построена также линейная зависи-

мость для значений межпланетного магнитного поля по данным, приведенным в работе [Веселовский и др., 2002] для периода 1965–1997 гг.

Видно, что в обсуждаемый период на масштабах времени порядка 30–40 лет для значений межпланетного магнитного поля V , его V_z компоненты, также как для значений общего магнитного поля Солнца, обнаруживается значительный растущий тренд. Очевидно, что подобные изменения следует ожидать и в других параметрах и процессах межпланетной среды. Известно, например, что изменения напряженности межпланетного магнитного поля V являются основной причиной модуляции галактических космических лучей. В частности, увеличение межпланетного магнитного поля вызывает уменьшение потока космических лучей и наоборот, уменьшение магнитного поля ведет к увеличению их потока в гелиосфере. С этим связаны все наблюдаемые вариации космических лучей. Соотношение магнитного поля V и потока космических лучей N хорошо показано в работе [Стожков, 2002]. Из сопоставления этих величин четко видна противофазная связь в их 11-летней цикличности. Также хорошо просматриваются долговременные и тоже противофазные изменения этих величин. По приведенным в этой работе среднегодовым значениям потока космических лучей на интервале времени с 1965 по 1995 гг., четко наблюдается спадающий тренд. Аналогичный тренд наблюдается в вариациях интенсивности галактических космических лучей с энергией 10 ГэВ по приведенным в работе [Веселовский и др., 2002] данным мировой сети нейтронных мониторов.

Итак, из рассмотренных выше примеров видно, что в большинстве характеристик Солнца и межпланетной среды, полученных различными

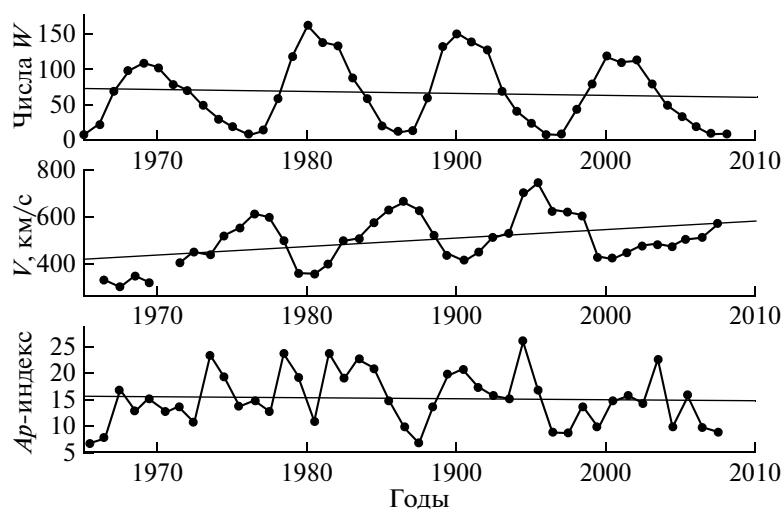


Рис. 5. Временные ряды среднегодовых значений чисел Вольфа W , средних за период измерений (~3 месяца) ежегодных значений скорости V солнечного ветра по радиоастрономическим данным и средних (за соответствующие 3-х месячные периоды времени) значений Ap -индекса и их линейные зависимости, соответственно.

методами измерений, наблюдаются долговременные изменения подобные тренду в величине скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний (рис. 2), полученных по данным радиоастрономических наблюдений. Посмотрим, наконец, как отражаются подобные изменения непосредственно на Земле, в последнем звене цепочки солнечно-земных связей.

3.3. Геосфера

3.3.1. Геомагнитное поле. Поскольку Земля постоянно находится под влиянием Солнца через посредство межпланетной среды, все проявления солнечной активности в той или иной мере отражаются и в земных процессах. Находясь в такой агрессивной среде, Земля создала вокруг себя многослойную защиту, своеобразный космический скафандр. Самым внешним таким защитным слоем, первым принимающим на себя удары корпускулярного излучения Солнца и солнечного ветра, является геомагнитное поле. Очевидно что, имея много подтверждений наличия тренда в характеристиках Солнца и межпланетной среды, мы вправе ожидать подобных долговременных изменений и в геомагнитных индексах.

Для примера на рис. 5 показан ряд геомагнитных Ap -индексов в сопоставлении со среднегодовыми значениями чисел Вольфа и со значениями скорости солнечного ветра по радиоастрономическим данным. Значения Ap -индекса усреднялись за интервалы времени 3 месяца согласно периодам измерений скорости по наблюдениям мерцаний радиосточника ЗС48. Видно, что здесь так же, как и в числах Вольфа, можно обнаружить растущий тренд в период 20–21-го циклов и отрицательный тренд в период 21–23-го 11-летних

циклов активности Солнца. Видно также, что в полном ряду геомагнитных индексов интересующего нас периода с 1965 г. по настоящее время, ожидаемый тренд, как и в числах Вольфа, не наблюдается. Имеются, однако, указания наличия тренда и в индексах геомагнитной активности. Так, например, в работе [Стожков, 2002] графически показан временной ход среднегодовых значений геомагнитного aa -индекса (возмущенность геомагнитного поля по данным двух антиподальных станций геомагнитных измерений) в интервале времени с 1935 по 1999 гг. Отчетливо виден растущий тренд в значениях aa -индекса на интервале 1965–1999 годы. В этот период, например, наблюдается также аналогичный тренд временного ряда для количества дней в году с геомагнитным индексом $Ap > 40$, по данным, приведенным в [<http://www.ngdc.noaa.gov>].

3.3.2. Атмосфера Земли. Другим защитным слоем является атмосфера Земли. При этом, например, климат Земли по наиболее широко установленному мнению практически полностью определяется атмосферным углекислым газом (двуокись углерода, CO_2) и озоном (O_3). Углекислый газ в нижней тропосфере, совместно с водяным паром и облаками почти полностью поглощают тепловое излучение от поверхности Земли, пропуская в космос лишь часть тепла в диапазоне волн 8–13 мкм. Этот радиационный нагрев атмосферы получил название парникового эффекта. С другой стороны озон, поглощая ультрафиолетовое (УФ) излучение Солнца, разогревает верхнюю стратосферу, которая передает тепло тропосфере и поверхности Земли. Таким образом, углекислый газ и озон, составляющие ничтожные доли процента от всей суммы атмосферных газов (преимущественно это азот, кислород и аргон), в ос-

новном формируют климат Земли, определяя такие его основные характеристики, как среднегодовые значения поверхностной температуры воздуха и количество осадков.

Регулярные измерения концентрации CO_2 были начаты в 1958 году на станции Мауна-Лоа в Тихом океане. В первые же годы были зарегистрированы сезонные колебания, составляющие в пределах года 2–3% от общего содержания углекислого газа. Помимо таких сезонных изменений был также зарегистрирован постоянный рост концентрации CO_2 в атмосфере. Сейчас эти результаты подтверждаются по многолетним измерениям, проводимым в различных районах Земли. Для примера на рис. 6 показан линейный ход содержания атмосферного углекислого газа по таким мониторинговым измерениям в период с 1965 по 1997 гг. на станции в Мауна-Лоа [Тарко, 2002]. Такой же линейный тренд имеет место в значениях атмосферного CO_2 по измерениям в центральной части Евразийского континента (северный берег озера Иссык-Куль) с 1980 по 2000 г. [Арефьев и др., 2002].

Итак, видно, что за обсуждаемый период времени наблюдается положительный тренд в концентрации атмосферного углекислого газа. Очевидно, что если CO_2 действительно играет ведущую роль в формировании климата на Земле, должны наблюдаться аналогичные тренды и в характеристиках климата и, в первую очередь, в числовом ряду значений поверхностной температуры воздуха. Действительно, на протяжении последних уже более 40 лет на Земле наблюдается непрерывное возрастание среднегодовой температуры, глобальное потепление. Сейчас имеются различные объяснения причин такого глобального потепления, начиная от увеличения концентрации CO_2 в атмосфере, вызванного человеческой деятельностью, до увеличения вклада разнообразных факторов солнечной активности.

Так, например, в работах [Жеребцов и др., 2007; 2008], посвященных разработке модели, основанной на физическом механизме влияния солнечной активности на климат Земли посредством изменений атмосферного электричества, утверждается закономерность наблюдаемого потепления в рассматриваемый период. Аргументы вполне убедительны и подтверждаются обширными экспериментальными данными измерений температуры в различных слоях тропосферы и в различных широтных поясах Земли широкой сетью метеорологических станций за период времени с 1948 по 2005 годы. На рис. 6, в качестве примера, приведен линейный растущий тренд, полученный по приведенным в этих работах графическим данным среднегодовых поверхностных температур Северного полушария Земли за период с 1965 по 2005 гг.

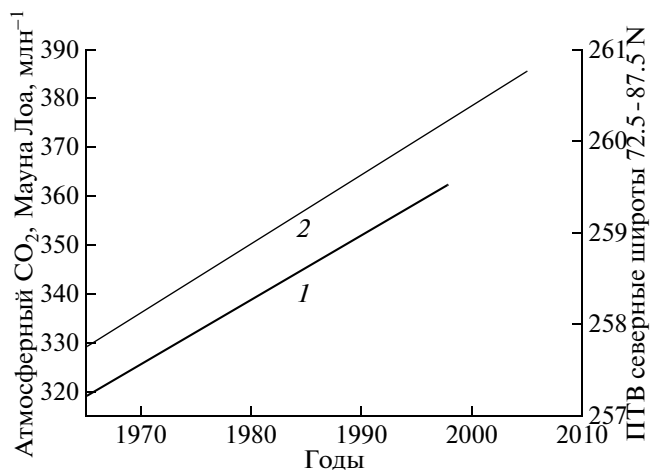


Рис. 6. Изменение концентрации атмосферного CO_2 по данным мониторинга на станции Мауна Лоа с 1965 по 1997 годы — (1), поверхностная температура воздуха в северных — (2) широтах, 72.5–87.5°.

Таким образом, как это и ожидалось, тренд в концентрации атмосферного углекислого газа полностью согласуется с трендом в значениях приземной температуры воздуха. (Подчеркнем, однако, что никакие существующие варианты механизмов глобального потепления мы сейчас не сопоставляем и не сравниваем).

Определенный вклад в формирование климата на Земле, как это отмечалось выше, вносит также распределенный в стратосфере озон (O_3). Однако, озон выполняет и другую, даже более важную защитную функцию. Он практически полностью поглощает жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, ограничивая его доступ непосредственно к поверхности Земли. Известно, что избыток такого излучения опасен и даже может быть губителен для всей биосферы Земли. Сейчас измерения общего содержания озона (ОСО) так же, как и средней по высотам объемной концентрации углекислого газа в атмосфере, ведутся непрерывно уже много лет (начиная с 1970-х годов) в различных местах земного шара. По данным таких измерений в последние десятилетия наблюдается устойчивое уменьшение (отрицательный тренд) общего содержания озона в атмосфере Земли. При этом особенно заметно уменьшение ОСО в высоких широтах. В более низких широтах такой тренд менее выражен и практически не наблюдается в тропических широтах. Примеры таких изменений ОСО за период с конца 70-х по 2000 годы, в умеренных широтах (район озера Иссык-Куль) [Арефьев и др., 2002] и в относительно высоких северных (Архангельская область) [Юдахин и др., 2002] широтах, показаны на рис. 7.

3.3.3. Медицинские и демографические процессы. Уменьшение концентрации озона в атмосфере увеличивает интенсивность ультрафиолетово-

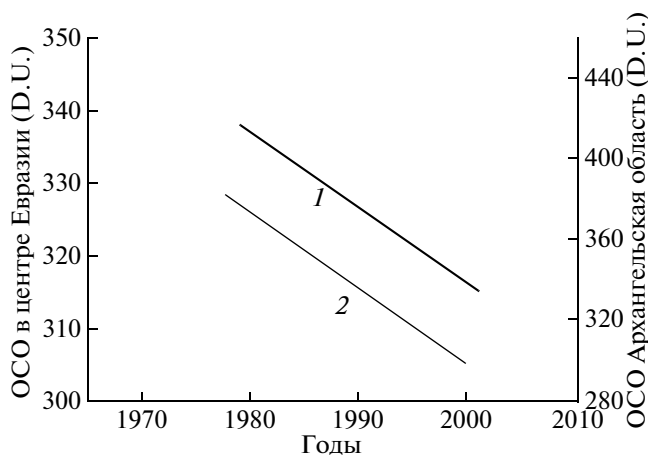


Рис. 7. Общее содержание озона в центре Евразии – (1) по данным измерений на северном берегу озера Иссык-Куль с 1980 по 2000 годы и по данным измерений в Архангельской области – (2) с 1978 по 1999 гг.

го излучения, достигающего поверхности Земли. Как следствие, это может вызывать отрицательные последствия на Земле, в частности, в состоянии людей. Действительно, например, наблюдаемое уменьшение ОСО над Архангельском (отрицательный тренд на рис. 7) показывает четкую взаимосвязь с увеличением числа заболеваний раком кожи у населения Архангельской области [Юдахин и др., 2002]. Вообще, вероятно, наблюдаемые долговременные изменения геофизических процессов в той или иной мере, прямо или косвенно влияют на все проявления жизни на Земле. Сейчас имеются многочисленные данные для обсуждаемого периода времени по динамике медицинских, демографических, социальных и иных процессов, подтверждающие такие предположения. Для примера, на рис. 8 показана динамика прироста (положительный тренд) общего количества заболеваний злокачественными новообразованиями в России за период с 1965 по 1998 г. [Аксель, 2002] и динамика общего числа умерших в России с 1965 по 1999 годы [Андреев и Вишневский, 2002].

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Итак, в работе, во-первых, приведены результаты систематических, начиная с 1966 года и по настоящее время, измерений скорости солнечного ветра и индекса межпланетных мерцаний (характеризует электронную плотность межпланетной среды), полученных по радиоастрономическим наблюдениям мерцаний космических радиоисточников. Показано, что состояние межпланетной плазмы непрерывно изменяется в согласии с цикличностью в активности Солнца. По приведенным результатам с учетом результатов

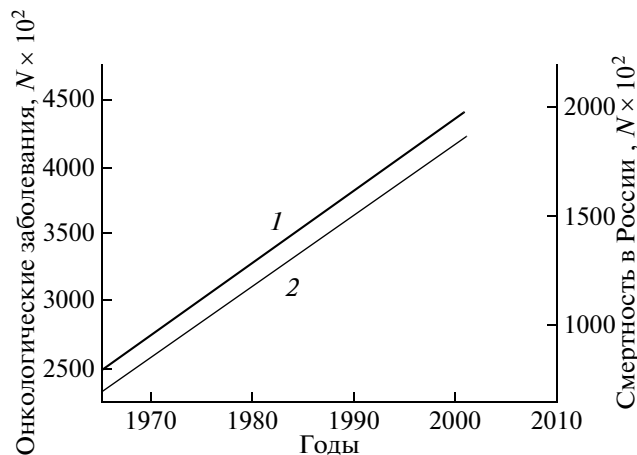


Рис. 8. Онкологические заболевания в России – (1), смертность в России – (2).

предыдущих работ кратко можно сделать следующие выводы.

1. Основная (11-летняя) цикличность в характеристиках солнечного ветра проявляется в основном на высоких гелиоширотах (приблизительно $>10-20^\circ$). А на низких гелиоширотах, вблизи солнечного экватора ($\pm 5^\circ$) скорость солнечного ветра и индекс межпланетных мерцаний радиоисточников, просвечивающих низкоширотные области межпланетной плазмы, в среднем слабо меняются со временем [Власов, 1975; 1983]. Это вполне согласуется (и вполне естественно) с характером распределения солнечных пятен по широте в 11-летних циклах активности Солнца.

2. Индекс мерцаний радиоисточников, просвечивающих высокоширотные области межпланетной среды, изменяется в фазе, а скорость солнечного ветра изменяется в противофазе с 11-летними изменениями чисел Вольфа. Таким образом, индекс мерцаний (следовательно, плотность межпланетной плазмы) коррелирует, а скорость солнечного ветра антикоррелирует с уровнем солнечной активности.

3. Кроме 11-летних вариаций скорости солнечного ветра V и индекса мерцаний m наблюдается на рассматриваемом интервале времени растущий тренд этих величин. Такой же положительный тренд наблюдается и для значений mV и mV^2 [Власов, 1983; 2000], соответствующих потоку массы и динамическому давлению солнечного ветра. Можно, по-видимому, предполагать, что такие медленные вариации параметров солнечного ветра связаны с вековым 80–90-летним циклом солнечной активности.

Таким образом, в рассматриваемый период в характеристиках межпланетной среды четко просматриваются одновременно 11-летний и вековой циклические процессы. При этом весьма

важным для дальнейшего анализа представляются две особенности этих циклов.

4. Долговременные изменения (тренды) величины скорости солнечного ветра и индекса мерцаний (электронной плотности) коррелируют между собой, а 11-летние вариации этих величин антикоррелируют. Кроме того, значения скорости и индекса мерцаний представляют собой аддитивные величины, результат простого наложения двух независимых процессов 11-летних и вековых циклов. Эти два факта, возможно, свидетельствуют о различной природе 11-летней и вековой цикличности.

И, наконец, не вдаваясь в подробности, отметим следующий важный вывод практического характера.

5. Минимально необходимую информацию о долговременной (11-летней и вековой) цикличности в солнечном ветре можно непрерывно получать посредством измерений только индексов межпланетных мерцаний по однопунктовым наблюдениям нескольких (порядка 3–5) высокоширотных, мощных мерцающих радиоисточников. Для этого необходимо и достаточно иметь простой специализированный радиотелескоп, функционирующий постоянно желательным в автоматическом режиме мониторинговых наблюдений, минуя тем самым проблему использования крупных радиотелескопов.

Во-вторых, в работе проведен простой предварительный поиск подобных линейных трендов в числовых рядах солнечных, межпланетных и земных данных, полученных различными методами измерений. Такие тренды действительно обнаруживаются в рассматриваемый период времени от 1965 года по настоящее время, как в различных характеристиках межпланетной среды, так и в индексах солнечной активности. Таким образом, наличие тренда (предположительно векового цикла) в характеристиках солнечного ветра, полученных по радиоастрономическим наблюдениям межпланетных мерцаний космических радиоисточников, подтверждается данными других различных методов измерений. Такие линейные тренды (либо положительные, либо отрицательные) обнаруживаются также практически во всех числовых рядах земных данных (в геофизических, медицинских, демографических и др. процессах на Земле).

Заметим, что относительные изменения демографических медицинских и социальных процессов на Земле составляют разы, но в защитных слоях земной атмосферы и магнитосферы такие относительные изменения значительно меньше. Например, общее содержание озона за обсуждаемый период уменьшилось, а содержание атмосферного углекислого газа в среднем увеличилось примерно в 1.1 раза. Среднегодовая поверхност-

ная температура воздуха в среднем по Земле увеличилась всего лишь примерно на 1 градус, но мы уже воспринимаем изменение климата, как “глобальное потепление”. Заметим также, что сложность проблемы солнечно-земных связей вызвана ее особенностями. Во-первых, причинно-следственные связи между солнечными и земными процессами разнообразны и многочисленны. Это многозвенная система с многочисленными внутренними связями, привлекающая большое число участников с различной методикой, возможностями и нацеленностью исследований. Вторая важная особенность состоит в том, что прямых экспериментальных возможностей данная проблема не имеет. Можно лишь наблюдать и измерять протекающие независимо от нас процессы. Ясно, что в таких условиях проблему эффективно можно решать только концентрированными усилиями всех участников и главное по единому плану на основе необходимых и достаточных экспериментальных (наблюдательных) данных и эффективных методов научных исследований. Заметим, что в качестве примера такого эффективного метода исследований можно было бы рассматривать метод индукции в форме “метода строгих выводов” [Платт, 1965], содержащего выдвижение альтернативных гипотез и постановку решающих экспериментов, опровергающих те или иные из выдвинутых гипотез.

5. ВЫВОДЫ

Итак, на основании радиоастрономических наблюдений межпланетных мерцаний, а также по данным других методов измерений характеристик солнечных, межпланетных и земных процессов за период с 1965 г. можно сделать следующие основные выводы:

1. В процессах на Солнце и в солнечном ветре кроме 11-летних циклических изменений наблюдаются долговременные изменения (положительный тренд), предположительно связанные с “вековым” циклом солнечной активности.

2. Характер корреляции различных параметров солнечного ветра в 11-летнем цикле и долговременном тренде различен.

3. Такие долговременные изменения (вековая цикличность) в процессах на Солнце имеют глобальный характер и проявляются во всей гелиосфере в целом и прямо или косвенно – в некоторых процессах на Земле.

4. В рассматриваемый период в таких земных процессах как увеличение содержания атмосферного углекислого газа, уменьшение общего содержания озона, изменение климата (глобальное потепление), ухудшение медицинских и демографических показателей, определяющая роль, по видимому, принадлежит не антропогенным фак-

торам, а влиянию вековых циклических процессов солнечной активности.

Автор благодарен И.В. Чашею за полезные замечания. С благодарностью отметим, что созданию специализированного радиотелескопа на 151 МГц, на котором проведены наблюдения межпланетных мерцаний последних десяти лет, большую поддержку оказало сотрудничество с Институтом Прикладной Геофизики им. Е.К. Федорова. Работа поддержана РФФИ и Программой Президиума РАН № 16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Аксель Е.М.* Динамика и компоненты прироста заболеваемости злокачественными новообразованиями // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. М.: “Янус-К”, Т. 3. С. 563–567. 2002.
- *Андреев Е.М., Вишневецкий А.Г.* Анализ демографических данных // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. “Янус-К”. Т. 3. С. 569–576. М.: 2002.
- *Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Вишератин К.Н., Каменогородский Н.Е., Устинов В.П., Семенов В.К., Синяков В.П.* Вариации радиационно-активных компонент атмосферы в центральной части Евразии // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. “Янус-К”. Т. 3. С. 352–358. М.: 2002.
- *Бабий В.И., Виткевич В.В., Власов В.И., Горелова М.В., Суховой А.Г.* Сверхкорона Солнца по наблюдениям 1959–1963 гг. // Астрон. журн. Т. 42. № 1. С. 107–116. 1965.
- *Веселовский И.С., Дмитриев А.В., Суворова А.В., Тарсина М.В.* Ритмические и аритмические изменения условий в околоземной гелиосфере // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. “Янус-К”. Т. 3. С. 457–462. М.: 2002.
- *Виткевич В.В.* Новый метод исследования солнечной короны // Докл. АН СССР. Т. 77. С. 585–593. 1951.
- *Виткевич В.В., Власов В.И.* Характеристики межпланетных электронных неоднородностей по наблюдениям 1967–1969 гг. // Астрон. журн. Т. 49. С. 595–607. 1972.
- *Виткевич В.В., Власов В.И.* Радиоастрономические исследования дрейфа неоднородной межпланетной плазмы // Астрон. журн. Т. 46. № 4. С. 851–861. 1969.
- *Власов В.И.* О гелиоширотной зависимости скорости солнечного ветра // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 15. № 3. С. 542–543. 1975.
- *Власов В.И.* Межпланетная плазма в 11-ти летнем цикле солнечной активности (по радиоастрономическим данным) // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 23. № 3. С. 475–477. 1983.
- *Власов В.И.* Межпланетная плазма в 20–23 циклах солнечной активности по радиоастрономическим данным // Астрон. вестн. Т. 34. № 2. С. 117–120. 2000.
- *Власов В.И., Кутузов С.М., Шишов В.И., Азаренков Ю.И., Исаев Е.А., Костромин В.И., Соломин Н.С.* Радиоастрономическая антенна на 151 МГц из элементов волновой канал // Изв. вузов. Радиофизика. Т. 41. № 7. С. 824–840. 1998.
- *Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцов О.А., Васильева Л.А., Микуцкий В.С.* Воздействие солнечной активности на тропосферу Земли // Солнечно-земная физика. Вып. 10. С. 5–9. 2007.
- *Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцов О.А., Васильева Л.А.* Влияние гелиогеофизических возмущений на термобарические и климатические характеристики тропосферы Земли // Космич. исслед. Т. 46. № 4. С. 368–377. 2008.
- *Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М., Перов С.П.* Пространственно-временная изменчивость озонового слоя Земли и “ультрафиолетовая опасность” // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Научный мир, Т. 2. С. 282–291. М.: 1998.
- *Мордвинов А.В.* Долговременные изменения асимметрии магнитного поля Солнца и гелиосферы // Астрон. журн. Т. 83. № 11. С. 1042–1049. 2006.
- *Мордвинов А.В.* Долговременные изменения асимметрии магнитного поля Солнца и геометрии межпланетного магнитного поля // Космич. исслед. Т. 46. № 4. С. 323–328. 2008.
- *Платт Дж.* Метод строгих выводов // Вопросы философии. Т. 9. С. 68–78. 1965.
- *Стожков Ю.И.* Магнитный поток Солнца в прошлом столетии // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 42. № 6. С. 746–751. 2002.
- *Тарко А.М.* Моделирование глобального цикла двуокиси углерода в биосфере // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. “Янус-К”. Т. 3. С. 322–323. М.: 2002.
- *Юдахин С.П., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Левит М.Л., Попова Л.Н.* Изменения содержания озона в атмосфере и динамика раковых новообразований кожи у населения Европейского Севера России (Архангельская область) // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. “Янус-К”. Т. 3. С. 546–549. М.: 2002.
- *Friis-Christensen E., Lassen K.* Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate // Science. V. 259. P. 698–700. 1991.
- *Hewish A., Scott P.J., Wills D.* Interplanetary scintillation of small diameter radio sources // Nature. V. 203. P. 1214–1217. 1964.
- *Kakinuma T., Watanabe T., Kodjima M.* Solar Wind Speed from IPS measurements // Proc. Nagoya University. P. 1–73. 1975–1988.
- *Kojima M., Kakinuma T.* Solar cycle dependence of global distributions of solar wind speed // Space Sci. Rev. V. 53. P. 173 – 222. 1990.
- *Coles W.A. et al.* Solar cycle changes in the polar solar wind // Nature. V. 286. P. 239–241. 1980.
- *Marsden R.G.* Ulysses: a status report and resent result // International Heliospheric Study, Newsletter. V 10. P. 19–31. 1996.
- *Marsden R.G.* Ulysses Update // International Heliospheric Study, Newsletter. V. 11. P. 5–11. 1998.
- *Sandahl I.* The Influence of space factor variations on the biogeosphere // Phis. Chem. Earth. V. 22. № 7–8. P. 777–781. 1997.