

Система декаметровых радиотелескопов УРАН как инструмент для исследований космической погоды

И. С. Фалькович, Н. Н. Калиниченко, А. А. Коноваленко, Я. С. Яцкив¹,
Л. Н. Литвиненко, В. Н. Мельник, М. Р. Оляк, В. В. Доровский, А. И. Браженко²,
О. А. Литвиненко, И. Н. Бубнов, А. А. Гридин, В. В. Соловьев

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: falk@ri.kharkov.ua, kalinich@ri.kharkov.ua, marinaolyak@gmail.com*

*¹Главная астрономическая обсерватория НАН Украины,
ул. Академика Заболотного, 27, г. Киев, МСП, 03680, Украина*

*²Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36029, Украина*

Статья поступила в редакцию 3 февраля 2011 г.

При проведении комплексных радиоастрономических исследований показано, что система декаметровых радиотелескопов УРАН Радиоастрономического института НАН Украины имеет большой потенциал для исследований космической погоды. Система УРАН дает возможность получать важную информацию о всех звеньях цепи Солнце – межпланетная среда – ионосфера Земли. В частности, получены новые результаты исследований спорадического солнечного радиоизлучения, потоковой структуры солнечного ветра за орбитой Земли, корреляции индекса ионосферных мерцаний и плотности потока электронов в околоземном пространстве.

Ключевые слова: космическая погода, спорадическое солнечное радиоизлучение, солнечный ветер, ионосфера Земли

1. Введение

По мере развития науки и техники становится все более очевидным, что космические факторы оказывают заметное влияние на работу и надежность технологических систем и в ряде случаев могут угрожать здоровью людей. Понятие “космическая погода” включает в себя ряд явлений, которые наблюдаются на Земле и в околоземном пространстве, но имеют внешнее космическое происхождение, в первую очередь солнечное [1]. В настоящее время большое внимание уделяется изучению солнечно-земных связей, мониторингу и прогнозированию космической погоды. Сопоставление солнечных явлений с возник-

новением геомагнитных бурь показывает, что эффективность предсказания геомагнитных бурь в настоящее время не превышает 30 ÷ 40 % [1, 2]. В связи с этим особый интерес представляет анализ солнечных данных и выявление новых подходящих для прогнозирования характеристик, которые должны помочь повысить надежность прогноза.

Наибольшее влияние на изменения космической погоды оказывают, как известно, солнечные вспышки, корональные выбросы массы (КВМ), области сжатия, возникающие в результате взаимодействия потоков быстрого и медленного солнечного ветра [1]. Одними из устройств, которые предназначены для обнаружения КВМ на Солнце, являются оптичес-

кие коронографы (например, широкоугольный спектрометрический коронограф LASCO на борту космического аппарата НАСА SOHO [3]). К сожалению, оптические коронографы позволяют получать только проекцию скорости КВМ на картинную плоскость. При этом реальная скорость КВМ может превышать измеренную коронографом в несколько раз, что может привести к существенной ошибке в прогнозе времени прихода КВМ к Земле. Локальный характер измерений на борту космических аппаратов не гарантирует регистрацию всех возмущений солнечного ветра, движущихся к Земле. Особенно это касается сравнительно компактных возмущений межпланетной плазмы, вызванных КВМ на Солнце, которые наиболее часто вызывают геомагнитные бури. Между тем наблюдения межпланетных мерцаний большого количества космических радиостанций с разными координатами позволяют надежно обнаруживать возмущения межпланетной плазмы в гелиосфере, определять спектры плазменных неоднородностей и скорость солнечного ветра [4].

Наблюдения спорадического декаметрового радиоизлучения Солнца позволяют получать дополнительную информацию о скорости, ускорении, направлении движения и массе КВМ. Наиболее заметным проявлением КВМ в радиодиапазоне являются всплески II и IV типов. Наблюдения всплесков II типа в декаметровом диапазоне наиболее информативны при прогнозировании магнитных бурь на Земле, поскольку эти всплески порождаются наиболее массивными КВМ, распространяющимися со скоростью порядка 1000 км/с и более [5]. Всплески IV типа имеют вид длительного (до нескольких часов) подъема континуального радиоизлучения Солнца и часто наблюдаются одновременно либо через некоторое время после всплесков II типа. Как и всплески II типа, всплески IV типа связаны с КВМ, поэтому есть веские основания полагать, что изучение характеристик солнечных всплесков позволит получить новую информацию о параметрах КВМ и будет способствовать усовершенствованию методик прогнозирования космической погоды.

Система декаметровых радиотелескопов УРАН Радиоастрономического института НАН Украины [6] благодаря уникальным характе-

ристикам входящих в нее антенн – УТР-2 (радиоастрономическая обсерватория им. С. Я. Брауде, пос. Граково Харьковской обл.), УРАН-1 (г. Змиев Харьковской обл.), УРАН-2 (г. Полтава), УРАН-3 (г. Шацк Волынской обл.), УРАН-4 (г. Маяки Одесской обл.) – и удачному диапазону рабочих частот позволяет получать важную информацию о всех звеньях цепи Солнце – межпланетная среда – ионосфера и, таким образом, эффективно работать как в кооперации с системами космического базирования, так и самостоятельно. Целью настоящей работы является демонстрация возможностей системы радиотелескопов УРАН как современного надежного инструмента для изучения космической погоды, а также представление некоторых результатов исследований солнечно-земных связей, полученных в последнее время.

2. Спорадическое радиоизлучение Солнца по наблюдениям на радиотелескопе УТР-2

В период с 2008 по 2010 г. на радиотелескопе УТР-2 [7], самом крупном радиотелескопе системы УРАН, проводился мониторинг декаметрового радиоизлучения Солнца с целью регистрации спорадического радиоизлучения, которое связано с активными процессами на Солнце. В качестве приборов регистрации использовались новые широкополосные цифровые спектральные анализаторы ROBIN (полоса рабочих частот 16 ÷ 30 МГц, временное разрешение 50 мс и частотное разрешение 6.8 кГц) и DSP-z (полоса рабочих частот 10 ÷ 30 МГц, временное разрешение 50 мс и частотное разрешение около 5 кГц) [8]. В указанный период была отмечена низкая активность Солнца в радиодиапазоне, регистрировались лишь одиночные слабые бури всплесков III и IIIb типов. Динамический спектр (интенсивность принимаемого сигнала в плоскости частота – время) одной из таких бурь, полученный 8 июля 2009 г. цифровым спектральным анализатором ROBIN, показан на рис. 1, а. Возможности спектроанализатора ROBIN демонстрируются на рис. 1, б, где приведен фрагмент бури 8 июля 2009 г. (рис. 1, а) со значительно большим разрешением.

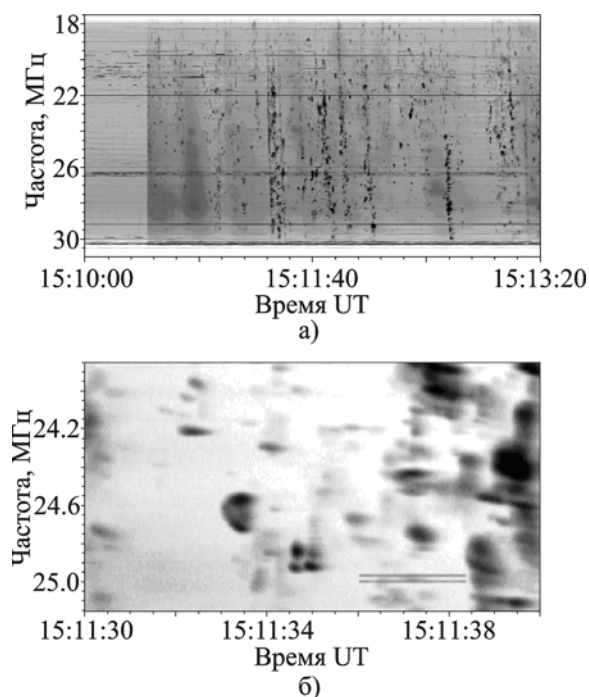


Рис. 1. а) – фрагмент регистрации бури всплесков III и IIIb типа 8 июля 2009 г.; б) – небольшая область с большим разрешением из того же временного интервала (справа виден всплеск IIIb типа, а в центре – одиночные стриа-всплески)

Не были зарегистрированы радиовсплески II типа, которые связаны с активными процессами на Солнце. Отсутствие радиовсплесков II типа в указанный период подтверждается данными космических аппаратов НАСА STEREO [9]. Низкая солнечная активность также проявлялась в оптическом диапазоне по данным коронографа LASCO космического аппарата НАСА SOHO. Такая ситуация легко объяснима, поскольку период с 2008 по 2010 г. соответствует минимуму 23–24 циклов солнечной активности.

3. Поляризация и тонкая структура всплесков IV типа по данным радиотелескопа УРАН-2

Важной особенностью радиотелескопа УРАН-2 [10] является его способность принимать сигнал в двух линейных или круговых поляризациях, что позволяет исследовать поляризационные характеристики принимаемого

радиоизлучения. Анализ данных мониторинга солнечного радиоизлучения на радиотелескопе УРАН-2 в 2003–2010 гг. позволил обнаружить изменение степени поляризации всплеска IV типа во времени. На рис. 2 показана временная зависимость степени круговой поляризации ξ всплеска IV типа. Из этой зависимости видно, что степень поляризации растет от начала всплеска, достигая максимального значения 55 %, а затем быстро убывает к концу всплеска до значений около 10 %. Зависимость степени поляризации в течение всплеска имеет немонотонный характер (в отличие от излучения на метровых волнах). Подобный эффект может быть обусловлен как изменениями в самом источнике всплеска, так и турбулентностью в окружающей источник плазме. Имеют место также различия в поведении степени поляризации для различных всплесков IV типа.

Использование новых цифровых спектральных анализаторов, о которых шла речь выше, позволило обнаружить и изучить тонкую структуру всплесков IV типа. Оказалось, что на декаметровых волнах всплеск IV типа состоит из всплесков-волокон (fiber bursts) в излучении и поглощении. Присутствие всплесков с положительным и отрицательным знаками частотного дрейфа указывает на то, что быстрые электроны, генерирующие эти всплески, распространяются как по направлению от Солнца, так и к Солнцу. Длительность всплесков-волокон в излучении составляет около 6 с на всех

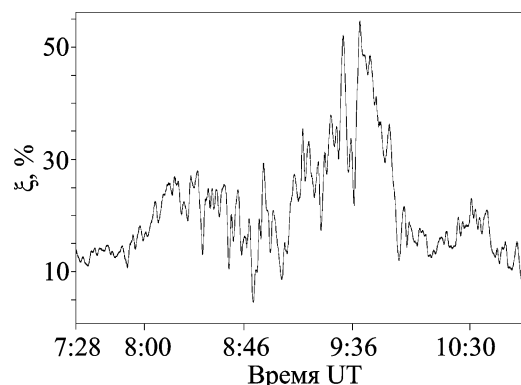


Рис. 2. Временная зависимость степени поляризации всплеска IV типа по данным наблюдений 13 июня 2003 г.

частотах и не зависит от местоположения активной области на диске Солнца. В то же время длительность всплесков в поглощении в несколько раз больше – до $20 \div 22$ с, и для этих всплесков имеет место существенная зависимость от положения на диске Солнца соответствующей активной области. Что касается параметров потоков быстрых частиц, которые являются причиной как всплесков в излучении, так и всплесков в поглощении, то они приблизительно одинаковы, так как и те и другие всплески генерируются в результате взаимодействия ударных волн, распространяющихся в корональных магнитных структурах.

4. Синхронные наблюдения межпланетных мерцаний космических радиоисточников на декаметровых радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2

В период с 2008 по 2010 г. на радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 в ночное время ежемесячно синхронно в течение одной недели наблюдались мерцания квазара 3С196 при углах элонгации $\epsilon \geq 90^\circ$ с целью обнаружения дисперсионной зависимости фазовой скорости мерцаний. Прием сигналов осуществлялся корреляционным радиометром с общей полосой пропускания 2.4 МГц [11] (на радиотелескопе УТР-2) и широкополосным радиометром с общей полосой пропускания 16 МГц [12] (на радиотелескопе УРАН-2).

Обработка данных наблюдений состояла в анализе дисперсионных зависимостей фазовой скорости мерцаний $V(f) = \frac{2\pi fr}{\Delta\phi(f)}$, где r – расстояние между пунктами наблюдения; $\Delta\phi(f) = \arctg \frac{\text{Im}W(f)}{\text{Re}W(f)}$ – фаза кросс-спектра мерцаний, $W(f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} B(r, \tau) \exp(2\pi i f \tau) d\tau$ – кросс-спектр мерцаний, $B(r, \tau)$ – кросс-корреляционная функция мерцаний [13]; f – текущая линейная частота кросс-спектра.

Анализ дисперсионных зависимостей фазовой скорости мерцаний $V(f)$ применяется для обнаружения тонкой структуры скорости солнечного ветра или присутствия различных скоростей на луче зрения [13]. Для сферически сим-

метричного солнечного ветра дисперсионная зависимость $V(f)$ обусловлена так называемым геометрическим эффектом, поскольку для этой модели солнечного ветра проекция скорости на картинную плоскость v_\perp убывает пропорционально расстоянию от Солнца, а электронная концентрация – пропорционально квадрату расстояния. Дисперсионная кривая в этом случае монотонно возрастает от значения средней вдоль луча зрения проекции скорости на картинную плоскость при $f = 0$ до максимального значения проекции скорости солнечного ветра на картинную плоскость на частотах f , превышающих френелевскую частоту f_{FR} [13, 14]. Для углов элонгации $\epsilon > 90^\circ$ и $f \geq f_{FR}$ максимальная величина фазовой скорости мерцаний $V_{\max}(f) = v \sin \epsilon$ [14]. Отсюда несложно восстановить значение скорости v сферически симметричного солнечного ветра. Как показывают расчеты, для декаметрового диапазона при $\epsilon \geq 90^\circ$ и $f_{\min} = 0.03$ Гц величина дисперсионного разброса $\delta V = (V_{\max}(f) - V_{\min}(f_{\min})) / V_{\max}(f)$, характеризующая наклонный участок дисперсионной кривой, не превышает $0.3 \div 0.4$.

На рис. 3, а, сплошной линией показан пример кросс-корреляционной функции в случае отсутствия дисперсии фазовой скорости мерцаний радиоисточника 3С196 (21 декабря 2008 г.), а пунктирной – когда заметная дисперсия присутствует (23 декабря 2008 г.). Видна высокая кросс-корреляция мерцаний в двух пунктах (кросс-корреляционная функция в максимуме порядка 0.7), что гарантирует отсутствие влияния ионосферы Земли и помех. Дисперсия фазовой скорости проявляется в асимметрии кросс-корреляционной функции. Соответствующие дисперсионные зависимости фазовой скорости мерцаний приведены на рис. 3, б. Отсутствие заметной дисперсионной зависимости на сплошной кривой позволяет предположить, что вблизи Земли располагалась относительно узкая область очень медленного и плотного солнечного ветра, скорость которого была порядка 200 км/с. Далее по лучу зрения проходил поток с более высокой скоростью, что, в соответствии с выводами работы [15], компенсировало наклон дисперсионной кривой вследствие геометрического эффекта. Пунктирной кривой показана дисперсионная зависимость фазовой скорости

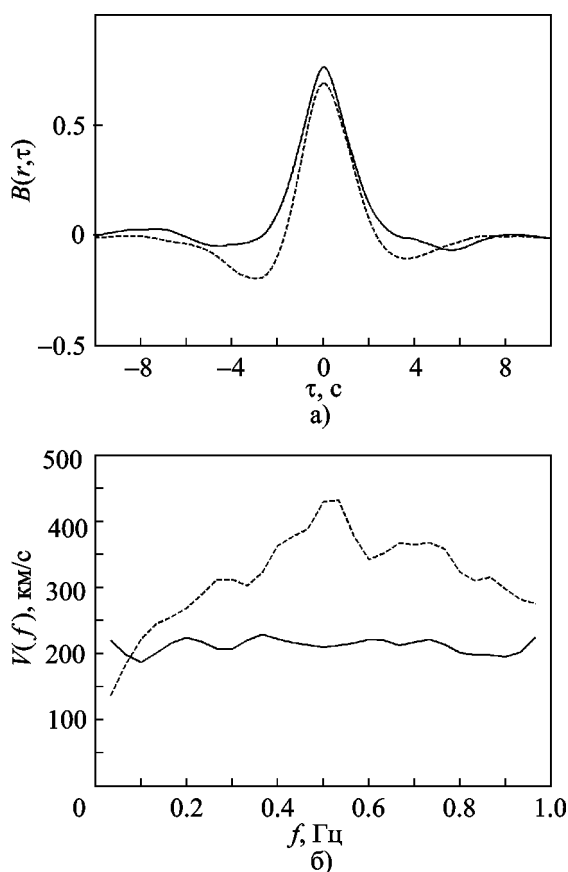


Рис. 3. а) – кросс-корреляционная функция мерцаний радиоисточника 3C196 $V(r, \tau)$ при отсутствии дисперсии фазовой скорости мерцаний (сплошная линия) и в случае, когда заметная дисперсия имеет место (пунктирная линия); б) – дисперсионная зависимость фазовой скорости мерцаний для тех же случаев

мерцаний 23 декабря 2008 г. В этом случае значение скорости солнечного ветра составило приблизительно $300 \div 350$ км/с и $\delta V \approx 0.6$. Увеличение наклона дисперсионной кривой по сравнению с наклоном вследствие геометрического эффекта может означать как наличие разброса скоростей в потоке солнечного ветра с одной средней скоростью, так и присутствие на луче зрения нескольких потоков с различными средними скоростями [14, 15]. В последнем случае вблизи Земли будет проходить поток солнечного ветра с более высокой средней скоростью. Для более точного определения скорости солнечного ветра в исследуемой области необходимо наряду с дисперсионной кривой анализировать также спектры мерцаний [15].

5. Исследование возмущений в межпланетной среде по наблюдениям межпланетных мерцаний на радиотелескопе УТР-2

В 2003 – 2005 гг. и в 2007 г. на радиотелескопе УТР-2 были проведены наблюдения межпланетных мерцаний компактных космических радиоисточников. В 2003–2004 гг. наблюдались радиоисточники 3C144, 3C196, 3C254, 3C273, 3C280, 3C380, расположенные на гелиоширотах от -1.3° до 71.8° при углах элонгации $\epsilon \approx 85.3^\circ \div 173.6^\circ$. В 2005 г. наблюдались радиоисточники 3C144, 3C154, 3C196, 3C208, 3C254, 3C280 ($\epsilon \approx 95.5^\circ \div 175.5^\circ$). И в 2007 г. проводились наблюдения источников 3C144, 3C196, 3C254 ($\epsilon \approx 82.6^\circ \div 154.7^\circ$). Радиоисточники наблюдались в ночное время вблизи верхней кульминации. Скорость солнечного ветра оценивалась путем совмещения усредненных экспериментальных спектров мерцаний, полученных за одну ночь наблюдений, с модельными спектрами, рассчитанными согласно методике [15].

В соответствии с полученными значениями скорости данные наблюдений мерцаний были разбиты на две группы: первая группа включала наблюдения, из которых были получены значения скорости $v < 500$ км/с, что соответствует медленному солнечному ветру [16], во вторую группу вошли наблюдения высокоскоростного солнечного ветра с $v \geq 500$ км/с. На рис. 4 показано разделение данных наблюдений межпланетных мерцаний радиоисточников в 2003 и 2007 гг. по группам, отражающее характерные особенности наблюдаемой скорости потоков солнечного ветра. Как видно из рисунка, в 2003 г. (рис. 4, а) преобладал высокоскоростной солнечный ветер на всех гелиоширотах, в то время как в 2007 г. (рис. 4, б) солнечный ветер с высокой скоростью практически не наблюдался, за исключением нескольких случаев, когда возмущение солнечного ветра распространялось строго в плоскости эклиптики (источник 3C144). Наблюдения 2003 г. относятся к периоду спада максимума 23-го цикла солнечной активности. Как известно (см., например, [17]), источниками высокоскоростного солнечного ветра вблизи максимума солнечного цикла могут быть не только полярные корональные дыры, но и корональ-

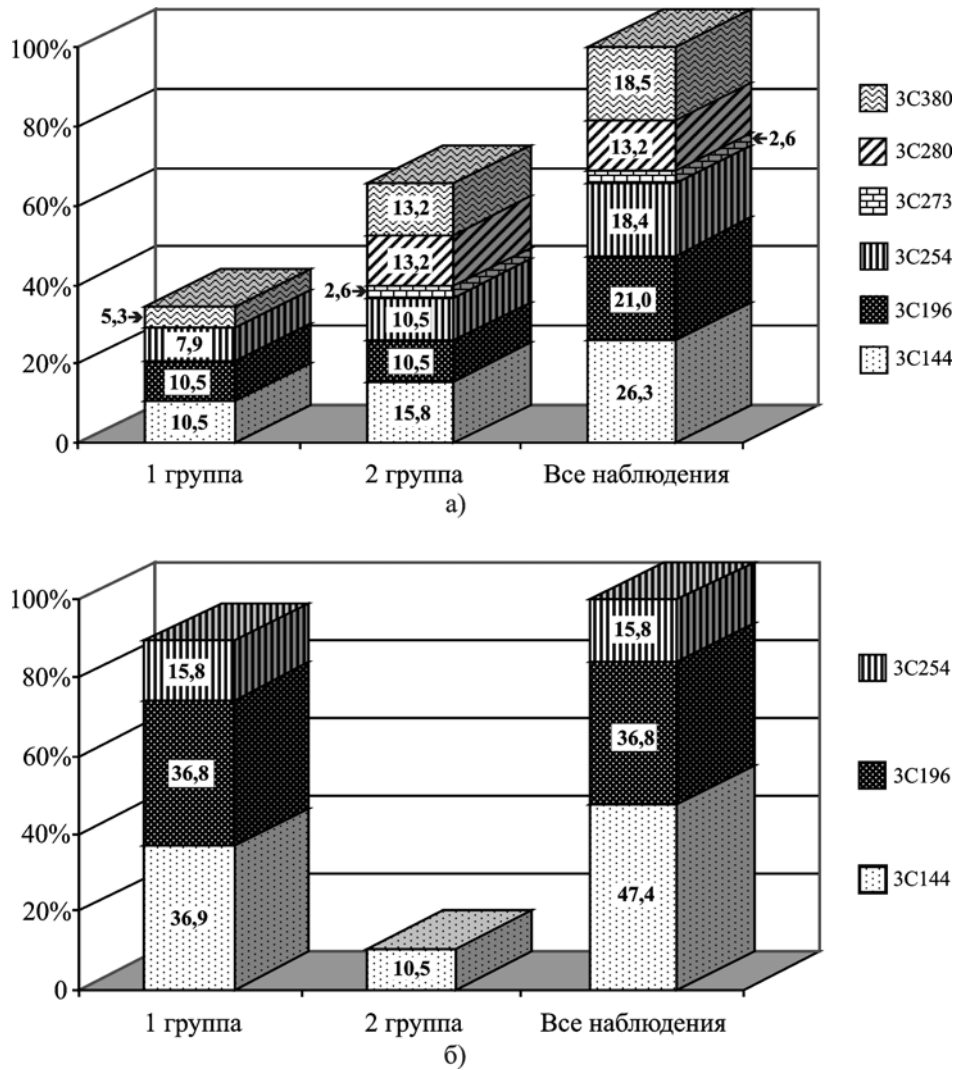


Рис. 4. Разделение данных наблюдений мерцаний радиоисточников в 2003 г. (а) и 2007 г. (б) по группам. Группа 1 содержит наблюдения, из которых были получены значения скорости, характерные для медленного солнечного ветра, группа 2 – соответственно для быстрого солнечного ветра, в третьем столбце представлен состав выборки наблюдений в 2003 г. и в 2007 г.

ные дыры, расположенные на более низких гелиоширотах. Наблюдения 2007 г. относятся к периоду минимума солнечной активности. В такой период согласно [18, 19] источники высокоскоростного солнечного ветра расположены преимущественно вблизи солнечных полюсов. Плотность вещества в потоках медленного солнечного ветра, источником которого являются экваториальный гелиосферный токовый слой и пояс стримеров, убывает пропорционально расстоянию от Солнца, в то время как в высокоскоростных радиально направленных потоках солнечного ветра – пропорционально

квадрату расстояния. В соответствии с этим наибольшее влияние на наблюдаемые спектры мерцаний оказывает проходящий вблизи Земли поток более плотного медленного солнечного ветра, что объясняет результаты наблюдений, представленные на рис. 4, б.

Более детальный анализ данных, полученных в ноябре 2007 г., показал, что значения скорости солнечного ветра, рассчитанные по наблюдениям мерцаний лежащего в плоскости эклиптики радиоисточника 3C144 (гелиоширота $\beta = -1.3^\circ$), хорошо соответствовали значениям скорости по данным космического

аппарата SOHO [20], зафиксировавшего в этот период увеличение скорости солнечного ветра. В то же время значения скорости солнечного ветра, найденные по результатам наблюдений мерцаний радиоисточников 3C196 и 3C254, лежащих на более высоких гелиоширотах ($\beta = 27.6^\circ$ и $\beta = 32.5^\circ$ соответственно), практически не изменялись и в среднем составили $300 \div 350$ км/с. Аналогичный результат был получен при сопоставлении данных наблюдений, проведенных в декабре 2005 г., с данными [20]. Следует отметить, что, несмотря на заметное увеличение скорости солнечного ветра, в эти периоды не были зафиксированы геомагнитные возмущения и бури [21]. Как известно [1], возникновение геомагнитных бурь возможно только тогда, когда межпланетное магнитное поле содержит большую и длительную южную компоненту. В наблюдавшихся в декабре 2005 г. и в ноябре 2007 г. возмущениях солнечного ветра, зафиксированных в узком диапазоне гелиоширот вблизи плоскости эклиптики, южная компонента межпланетного магнитного поля могла отсутствовать. В то же время при распространении возмущений солнечного ветра, вызвавших геомагнитные бури в период наблюдений в 2003–2004 гг., имело место заметное увеличение скорости солнечного ветра не только в плоскости эклиптики, но и на более высоких гелиоширотах [4].

6. Исследование влияния солнечной и геомагнитной активности на турбулентность ионосферной плазмы по данным радиотелескопа УРАН-4

В период с 2006 по 2007 гг. на радиотелескопе УРАН-4 проведены наблюдения группы мощных космических радиоисточников (3C144, 3C274, 3C405, 3C461) с целью оценки влияния солнечной и геомагнитной активности на турбулентность ионосферной плазмы. Наблюдения проводились в режиме мониторинга на двух фиксированных частотах (20 и 25 МГц) в двух линейных поляризациях. Полученные данные об ионосферных мерцаниях в декаметровом диапазоне волн относятся к периоду низкой солнечной активности (конец 23-го солнечного цикла). Большой объем наблюдательных данных (около 10000 ч) позволил провести статисти-

ческое исследование зависимости индекса ионосферных мерцаний, характеризующего уровень турбулентности ионосферы, от параметров солнечной и геомагнитной активности. При анализе использовались данные о солнечных пятнах и потоке радиоизлучения на длине волны 10.7 см, данные о рентгеновском излучении Солнца и солнечных вспышках, данные о КВМ, данные об интегральных плотностях корпускулярных потоков в околоземном пространстве, данные об индексах геомагнитной активности.

Установлено, что в минимуме солнечного цикла на средних широтах индекс ионосферных мерцаний ($S4$) практически не зависит от числа солнечных пятен, радиопотока на волне 10.7 см, потока рентгеновского излучения, количества рентгеновских вспышек класса C, потока протонов с энергией >1 МэВ. Взаимные корреляционные функции $S4$ с названными характеристиками космической погоды имеют слабо выраженные максимумы (от 0.11 до 0.04). В то же время обнаружено заметное уменьшение индекса ионосферных мерцаний $S4$ при увеличении плотности потока электронов (>0.6 МэВ) $El-1$, измеренного спутником НАСА GOES12 [22], и индекса геомагнитной активности Ap [21]. Максимум корреляционной функции индекса мерцаний $S4$ и потока электронов $El-1$ равен -0.18 (при запаздывании ряда $S4$ относительно ряда $El-1$ на 6 суток). Максимум корреляционной функции индекса мерцаний $S4$ и индекса геомагнитной активности Ap имеет такое же значение (-0.18) и наблюдается, когда временной ряд $S4$ запаздывает относительно Ap на 2 суток. Следует отметить, что для рассматриваемого временного периода максимум взаимной корреляционной функции $El-1$ и Ap достиг значения 0.48. На рис. 5 приведена диаграмма рассеяния, отражающая взаимосвязь между плотностью потока электронов $El-1$ и индексом ионосферных мерцаний $S4$. Сплошная линия на рис. 5 – линия регрессии, штриховыми линиями обозначены границы 95 %-го доверительного интервала (более подробно описание используемых статистических методов см., например, в работах [23, 24]). Обнаруженная зависимость между плотностью потока электронов в околоземном пространстве и индексом $S4$, а также индексом $S4$ и индексом геомагнитной активности

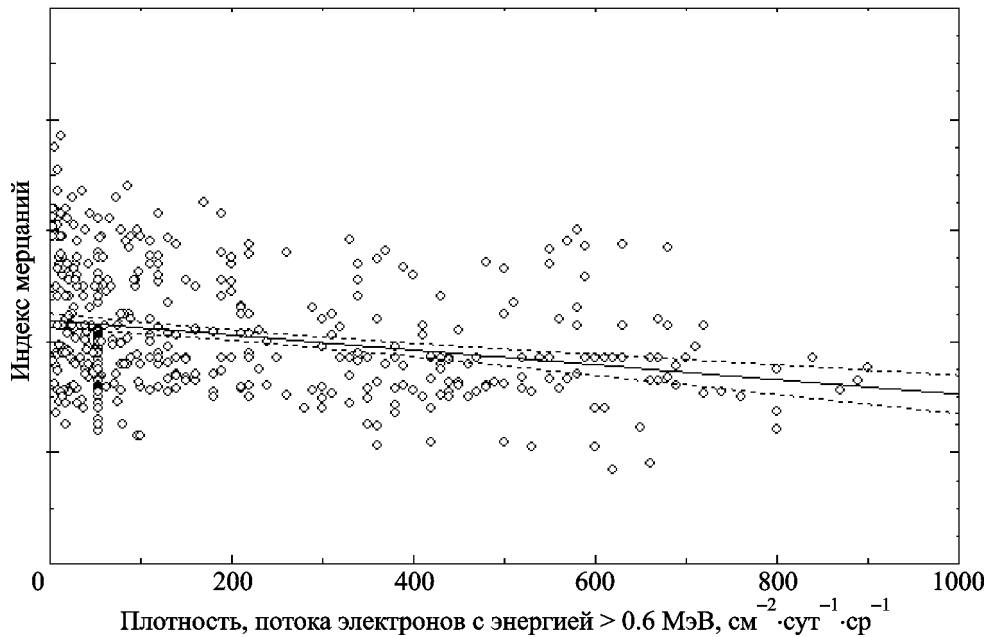


Рис. 5. Диаграмма рассеяния, отражающая взаимосвязь между плотностью потока электронов *El-1* и индексом ионосферных мерцаний *S4*. Ряд данных *El-1* на 6 суток опережает ряд данных *S4*

может быть использована в алгоритмах предсказания уровня ионосферной турбулентности на средних широтах для минимума солнечного цикла. Следует, однако, учитывать, что коэффициенты корреляции между индексом ионосферных мерцаний и параметрами солнечной и геомагнитной активности в период наблюдений не превышали 0.2. В целом это свидетельствует о слабом непосредственном влиянии различных проявлений солнечной активности в рассматриваемый период на ионосферу Земли, а также о слабой корреляционной связи между процессами в ионосфере и геомагнитной активностью.

7. Заключение

В представленной работе показаны возможности декаметровых радиотелескопов системы УРАН в исследованиях солнечно-земных связей. В рамках этих исследований в 2006–2010 гг. был проведен мониторинг спорадического радиоизлучения Солнца, наблюдения межпланетных мерцаний космических радиоисточников на радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 и наблюдения ионосферных мерцаний на радиотелескопе УРАН-4. В указанный период была отмечена слабая активность Солнца в радиодиапазоне, что согла-

суется с данными космических аппаратов НАСА STEREO и SOHO. Регистрация всплесков IV типа на радиотелескопе УРАН-2 позволила получить информацию о поляризации всплесков IV типа и их тонкой структуре. Наблюдения мерцаний квазара 3C196 на радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 выявили тонкую структуру скорости солнечного ветра за орбитой Земли. Проведенный сравнительный анализ типов потоков солнечного ветра в различные периоды солнечного цикла установил характерные черты гелиоширотной зависимости скорости солнечного ветра в периоды спада максимума и минимума 23-го цикла солнечной активности. Обнаружена корреляционная зависимость между плотностью потока электронов в околоземном пространстве, индексом геомагнитной активности и индексом ионосферных мерцаний.

Проведенные исследования подтвердили высокий потенциал системы декаметровых радиотелескопов УРАН как инструмента для изучения космической погоды и позволили получить ряд новых научных результатов.

Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке целевой программы НАН Украины “Научные основы, методическое обеспечение создания системы мониторинга геосистем на территории Украины (GEO-UA)”.

Авторы выражают благодарность А. А. Станиславскому за полезные замечания.

Литература

1. Зеленый Л. М., Ермолаев Ю. И. Ветер, ветер, ты могуч... // Природа. – 2005. – Т. 5, №9. – С. 4-14.
2. Joselyn J. A. Geomagnetic activity forecasting: the state of the art // Rev. Geophys. – 1995. – Vol. 33, No. 3. – P. 383-401.
3. <<http://lasco-www.nrl.navy.mil/lasco.html>>.
4. Фалькович И. С., Коноваленко А. А., Калиниченко Н. Н., Оляк М. Р., Гридин А. А., Бубнов И. И., Лекашо А, Рукер Х. О. Вариации параметров струйной структуры солнечного ветра на расстояниях более 1 а. е. в 2003-2004 гг. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2006. – Т. 11, №1. – С. 31-41.
5. Gopalswamy N., Yashiro S., Akiyama S. Geoeffectiveness of halo coronal mass ejections // JGR-Space Physics. – 2007. – Vol. 112, Is. A6. – P. 112-125.
6. Коноваленко А. А. Перспективы низкочастотной радиоастрономии // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, спец. выпуск. – С. S86-S114.
7. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 // Антенны. – М.: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 3-15.
8. New digital spectrometers for ground based decameter radio astronomy/ Kleewein P., Rosolen C., Lecacheux A. / Ed. by H. O. Rucker, S. J. Bauer, A. Lecacheux. – Planetary Radio Emissions IV. – Vienna: Austrian Academy of Sciences Press. – 1997. – P. 349-358.
9. <<http://lep694.gsfc.nasa.gov/waves/waves.html>>.
10. Мень А. В., Шарыкин Н. К., Захаренко В. В., Булацен В. Г., Браженко А. И., Вашишин Р. В. Радиотелескоп декаметрового диапазона длин волн УРАН-2 // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, №4. – С. 345-356.
11. Фалькович И. С., Калиниченко Н. Н., Гридин А. А., Бубнов И. Н. О возможности широкополосных наблюдений межпланетных мерцаний на декаметровых волнах // Радиофизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №2. – С. 121-129.
12. Фалькович И. С., Гридин А. А., Калиниченко Н. Н., Бубнов И. Н. Шестнадцатиполосный корреляционный радиометр для наблюдения межпланетных мерцаний // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, №4. – С. 392-397.
13. Лотова Н. А., Чашей И. В. Тонкая структура скорости солнечного ветра в модели степенного спектра неоднородностей // Геомагнетизм и аэрономия. – 1975. – Т. 15, №5. – С. 769-776.
14. Оляк М. Р. Об особенностях применения метода дисперсионного анализа при исследованиях солнечного ветра в декаметровом диапазоне радиоволн // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, №4. – С. 385-391.
15. Оляк М. Р. О влиянии турбулентных течений в солнечном ветре на мерцания в декаметровом диапазоне длин волн // Кинематика и физика небесных тел. – 2009. – Т. 25, №4. – С. 297-306.
16. Sorriso-Valvo L., Carbone V., Vетtri P., Consolini G., and Bruno R. Intermittency in the solar wind turbulence through probability distribution functions of fluctuations // Geophys. Res. Lett. – 1999. – Vol. 26, No. 13. – P. 1801-1804.
17. Лотова Н. А., Владимирский К. В., Обридко В. Н. Диагностика потоков солнечного ветра // Письма в АЖ. – 2008. – Т. 34, №7. – С. 551-560.
18. Коваленко В. А. Солнечный ветер. – М.: Наука, 1983. – 272 с.
19. Хвиюзова Т. А. Солнечные источники и типы потоков солнечного ветра // В сб. ПГИ “Физика околоземного космического пространства”. – Апатиты: ПГИ. – 2000. – Т. 2. – <<http://www.kosmofizika.ru/owz/starkov/hvijuzova.htm>>.
20. <<http://umtof.umd.edu/pm/>>.
21. <<http://www.wdcb.ru/stp/data/geomagni.ind/>>.
22. <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices.html>.
23. Диммельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
24. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2003. – 688 с.

Система декаметрових радіотелескопів УРАН як інструмент для досліджень космічної погоди

**І. С. Фалькович, М. М. Калиниченко,
О. О. Коноваленко, Я. С. Яцків,
Л. М. Литвиненко, В. М. Мельник,
М. Р. Оляк, В. В. Доровський,
О. О. Литвиненко, А. І. Браженко,
І. М. Бубнов, А. О. Грідін,
В. В. Соловійов**

У виконанні комплексних радіоастрономічних досліджень показано, що система декаметрових радіотелескопів УРАН Радіоастрономічного інституту НАН України має великий потенціал для досліджень космічної погоди. Система УРАН уможливило отримання важливої інформації про всі ланки ланцюга Сонце – міжпланетне середовище – іоносфера Землі. Зокрема, отримано нові результати дослідження спорадичного сонячного радіовипромінювання, потокової структури сонячного вітру поза орбітою Землі, кореляції між індексом іоносферного мерехтіння і густиною потоку електронів у навколосемному просторі.

**The URAN Decameter Radiotelescope
System as an Instrument
for Space Weather Investigations**

**I. S. Falkovich, N. N. Kalinichenko,
A. A. Konovalenko, Y. S. Yatskiv,
L. M. Lytvynenko, V. N. Melnik,
M. R. Olyak, V. V. Dorovsky,
A. I. Brazhenko, O. A. Lytvynenko,
I. N. Bubnov, A. A. Gridin,
and V. V. Solov'ev**

The integrated radioastronomy study has shown a large potential of the URAN system of decameter radiotelescopes for space weather investigations. The URAN system allows obtaining the important information about all links of the chain Sun – interplanetary medium – Earth's ionosphere. In particular, new results are obtained for the solar sporadic radio emission, solar wind flow structure behind the Earth's orbit, and correlation between the ionospheric scintillation index and the electron flux density in the near Earth medium.