

КОМПЛЕКС МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

О. Л. ВАЙСБЕРГ, А. Ю. ШЕСТАКОВ, С. Д. ШУВАЛОВ,
Р. Н. ЖУРАВЛЕВ, Д. А. МОИСЕЕНКО

*Институт космических исследований Российской академии наук, 117997, Москва, Россия
E-mail: olegv@iki.rssi.ru*

Представлено краткое изложение актуальности проблемы, методов диагностики и мониторинга космической погоды в магнитосфере Земли, приведено описание применяемых в настоящее время диагностических инструментов. Показано, что с учетом очень большого объема магнитосферы, наличия нескольких взаимно связанных областей и процессов, переменчивости структурных изменений, необходимо одновременно или с небольшим запаздыванием производить диагностику этих магнитосферных областей; можно ориентировочно оценить необходимое количество диагностических постов (спутников) — 100. Очевидно, что создание и запуск такого количества спутников современного исследовательского и служебного класса — очень дорогое и для комплексного мониторинга магнитосферы не обязательное предприятие. Поэтому рациональным решением может быть создание системы магнитосферных наноспутников, оснащенных минимальным количеством диагностических приборов. Обсуждается подход к решению этой задачи.

Ключевые слова: космическая погода, космическая плазма, солнечный ветер, магнитосфера, наноспутники, комплекс приборов

Основную роль в космической погоде в гелиосфере играет ближайшая к Земле звезда — Солнце. Активность Солнца имеет ярко выраженный переменный характер с периодом около 11 лет. В минимумах активности Солнце пребывает в относительно спокойном состоянии. Однако в период повышения активности на Солнце происходят катастрофические (экстремальные) события, такие как вспышки, эрупции протуберанцев, корональные выбросы массы, приводящие к серьезным возмущениям космического пространства (магнитным бурям), изменению внешних оболочек планет (ионосферы, атмосферы), а также к существенному увеличению уровня естественной радиации вследствие прихода солнечных энергичных частиц (солнечных космических лучей).

По мере развития технологий и техники влияние космической погоды становится более ощутимым для человечества. Эффекты солнечной активности сказываются, в частности, на состоянии трубопроводов и линий электропередач, на радиосвязи (особенно на высоких геоширотах, в Арктике и Антарктике), электронной аппаратуре самолетов, спутников и космических аппаратов, на климате, здоровье и самочувствии людей, состоянии иных биологических объектов [1]. Дальнейшее освоение и использование космического пространства вероятно может быть связано с увеличением количества спутников, космических аппаратов и станций, использованием более сложных электрорадиоизделий и электронной аппаратуры, применением роботов и созданием баз на Луне и ближайших планетах (в частности, на Марсе), развитием космического туризма.

Очевидно, что проблема мониторинга и прогнозирования космической погоды все более приобретает актуальность [2—4]. Это требует создания новой научно-измерительной аппаратуры для слежения за активностью Солнца и диагностики параметров испускаемого им

солнечного ветра, магнитного поля и солнечных энергичных частиц в околоземном и межпланетном космическом пространстве.

Магнитосфера Земли является средой, чувствительной к нестационарным явлениям в солнечном ветре, который, в свою очередь, сохраняет следы событий на Солнце. Магнитосфера представляет собой большую систему, состоящую из взаимодействующих областей, заполненных плазмой и энергичными частицами. Источниками плазмы в магнитосфере является солнечный ветер и ионосфера Земли. В магнитосфере и по ее поверхности текут токи, частицы, заполняющие магнитосферу, дрейфуют, ускоряются и высыпаются в атмосферу. В магнитосфере происходят магнитные бури и суббури. Состояние магнитосферы постоянно изменяется из-за происходящих в ней процессов и изменяющегося влияния солнечного ветра. Для определения состояния магнитосферы и происходящих в ней событий космической погоды необходима диагностика различных областей.

В настоящее время в магнитосфере имеется три системы спутников, работающих в относительно близких форматах и предназначенных для исследования процессов в магнитосферной плазме: CLUSTER, THEMIS и MSS. На ряде спутников установлены приборы, измеряющие те или иные характеристики космической среды.

Также для диагностики и прогнозирования космической погоды, используются лаборатории, размещенные в точке либрации L_1 системы Солнце — Земля, расположенной на расстоянии около 1,5 млн. км от Земли по направлению к Солнцу. Там располагаются такие космические аппараты, как SOHO и ACE. Это расстояние медленный солнечный ветер преодолевает примерно за 1 ч, что определяет временной масштаб данного вида прогнозирования. Однако в случае корональных выбросов плазмы, скорость которых может превышать скорость медленного солнечного ветра в 5—6 раз (и более в случае экстремального события), время прогноза снижается всего до десятка минут (и менее), что находится на грани возможности практического реагирования космическими и наземными системами. В связи с этим предлагаются проекты по размещению космических аппаратов на более значительных расстояниях от Земли [5].

Учитывая очень большие размеры магнитосферы, в которой имеются взаимосвязанные области (радиационные пояса, плазмосфера, хвост, каспы, полярные шапки) и токовые системы, взаимодействующие между собой, необходима разветвленная сеть диагностических платформ. С учетом при этом большого пространственного масштаба трехмерной космической системы магнитосферы Земли (7 радиусов Земли в направлении на Солнце, 10 радиусов Земли в перпендикулярном направлении и практически необходимыми 15 радиусами в анти-солнечном направлении). Можно очень грубо оценить, что для полноценной диагностики и прогнозирования состояния магнитосферы необходимо порядка 100 спутников. Очевидно, что это может быть сделано только на основе создания наноспутников. Тенденция быстрого развития наноспутников и проведения на них различных технологических и научных исследований в настоящее время хорошо видна. Начинают развиваться системы спутников, предназначенных для целевых исследований и мониторинга определенных областей околоземного космического пространства.

В качестве диагностических средств может оказаться целесообразным использование комплекса научно-измерительной аппаратуры, содержащего базовый набор миниатюрных приборов для диагностики космической плазмы:

- анализатор ионов (0,5—10 кэВ);
- анализатор электронов (30 эВ — 10 кэВ);
- телескоп энергичных частиц (электроны с энергиями ~0,1—10 МэВ, ионы ~1—100 МэВ/нуклон);
- магнитометр.

Такой комплекс приборов позволит, в случае развертывания системы наноспутников, диагностировать текущее состояние магнитосферы и наряду с системой спутников для мониторинга ионосферы и спутника, предназначенного для измерения параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и солнечного ультрафиолетового излучения, обеспечить надежную систему мониторинга космической погоды и получение достаточного количества данных для ее прогнозирования.

В качестве прототипа анализатора ионов рассматривается семейство приборов с широким полем зрения. В это семейство входят прибор ДИ (КА „Фобос-Грунт“), а также создаваемые АРИЕС-Л (КА „Луна-Глоб-ПсМ“, КА „Луна-Ресурс-1“), ЛИНА-Р (КА „Луна-Ресурс-1“ (ОА)), Камера-ОВ (КА „Странник“). В ходе функциональных испытаний конструкторско-доводочного образца прибора АРИЕС-Л для миссии „Луна-Глоб“ (рис. 1) были подтверждены работоспособность и целевые характеристики прибора.



Рис. 1

Альтернативным вариантом может быть упрощение конструкции прибора и детекторной части с переходом на схему с использованием комбинации фильтра Вина и электростатического анализатора; детектирование частиц предполагается вести на основе ВЭУ-6 либо аналогичного канального умножителя. В настоящее время проводится компьютерное моделирование схемы такого прибора и оптимизация характеристик схемы в части измерений. Компьютерная модель прототипа ионного анализатора на основе фильтра Вина представлена на рис. 2, где 1 — электростатические электроды, 2 — магнитные пластины, 3 — выходное окно фильтра Вина, закрытое сеткой, 4 — электростатический анализатор, 5 — выходное окно анализатора (место регистрации частиц).

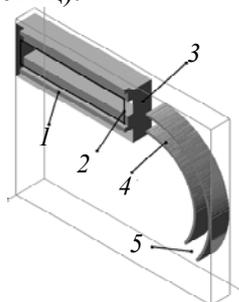


Рис. 2

В качестве прототипа анализатора электронов мы предполагаем использование модификации прибора БАЭС Авторы! Желательно „развернуть“ аббревиатуру!, разрабатываемого для микроспутника „Трабант“. Компьютерная модель прибора БАЭС показана на рис. 3,

где 1 — коллиматор и входные диафрагмы, 2 — 1-й электрод (до 500 В), 3 — 2-й электрод (до 7500 В), 4 — заземленная сетка, 5 — область детектирования частиц.

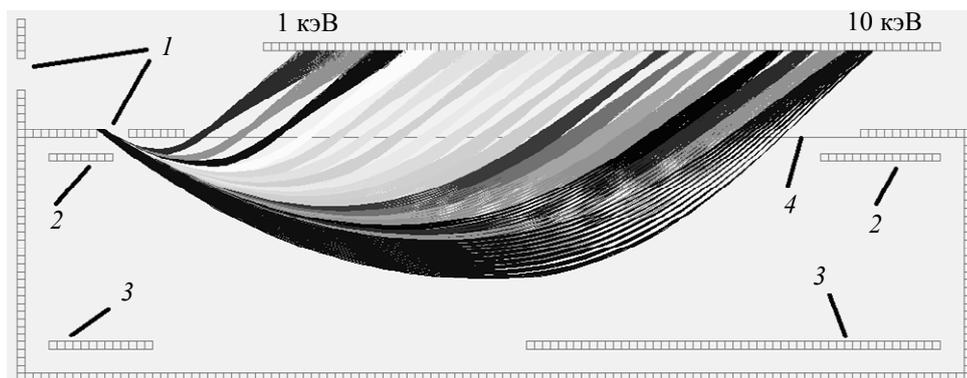


Рис. 3

Прибор предназначен для измерения энергетического спектра электронов в диапазоне 1—10000 эВ, с разрешением $\Delta E/E$ не хуже 10 %, однако обладает сравнительно небольшим полем зрения. В настоящее время изготовлен лабораторный физический макет прибора с подтвержденной работоспособностью и целевыми характеристиками в части измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрукович А. А., Дмитриев А. В., Струминский А. Б. Солнечно-земные связи и космическая погода // Плазменная гелиофизика; Пол ред. Л. Зеленого, И. Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. Т. 2. С. 55.
2. Schwenn R. Space weather: The Solar perspective // Living Reviews in Solar Physics. 2006. N 2.
3. Кузнецов В. Д. Космическая погода и риски космической деятельности // Космическая техника и технологии. 2014. № 3(6). С. 3—13.
4. Schrijver C. J. et al. Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015—2025 commissioned by COSPAR and ILWS // Advances in Space Research. 2015. Vol. 55, iss. 12. P. 2745—2807.
5. Кузнецов В. Д. Космические исследования Солнца: состояние и перспективы // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 16. С. 39—44.

Сведения об авторах

Олег Леонидович Вайсберг

— д-р физ.-мат. наук, профессор; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; E-mail: olegv@iki.rssi.ru

Артем Юрьевич Шестаков

— магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; мл. научный сотрудник; E-mail: sartiom1@yandex.ru

Сергей Димитриевич Шувалов

— магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; мл. научный сотрудник; E-mail: shuvalovsergei@gmail.com

Роман Николаевич Журавлев

— магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; ведущий инженер; E-mail: winged.photo@gmail.com

Дмитрий Александрович Моисеенко

— магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; инженер; E-mail: moiseenko-da@ya.ru

Поступила в редакцию
14.02.18 г.

Ссылка для цитирования: Вайсберг О. Л., Шестаков А. Ю., Шувалов С. Д., Журавлев Р. Н., Моисеенко Д. А. Комплекс малогабаритных приборов для исследования космической погоды // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 5. С. 398—402.

**КОМПЛЕКС МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРИБОРОВ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ**

О. Л. Вайсберг, А. Ю. Шестаков, С. Д. Шувалов,
Р. Н. Журавлев, Д. А. Моисеенко

Институт космических исследований Российской академии наук, 117997, Москва, Россия
E-mail: olegv@iki.rssi.ru

Представлено краткое изложение актуальности проблемы, методов диагностики и мониторинга космической погоды в магнитосфере Земли, приведено описание применяемых в настоящее время диагностических инструментов. Показано, что с учетом очень большого объема магнитосферы, наличия нескольких взаимно связанных областей и процессов, переменчивости структурных изменений, необходимо одновременно или с небольшим запаздыванием производить диагностику этих магнитосферных областей; можно ориентировочно оценить необходимое количество диагностических постов (спутников) — 100. Очевидно, что создание и запуск такого количества спутников современного исследовательского и служебного класса — очень дорогое и для комплексного мониторинга магнитосферы не обязательное предприятие. Поэтому рациональным решением может быть создание системы магнитосферных наноспутников, оснащенных минимальным количеством диагностических приборов. Обсуждается подход к решению этой задачи.

Keywords: космическая погода, космическая плазма, солнечный ветер, магнитосфера, наноспутники, комплекс приборов

Data on authors

- Олег Л. Вайсберг** — д-р физ.-мат. наук, профессор; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; E-mail: olegv@iki.rssi.ru
- Артём Ю. Шестаков** — магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; мл. научный сотрудник; E-mail: sartiom1@yandex.ru
- Сергей Д. Шувалов** — магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; мл. научный сотрудник; E-mail: shuvalovsergei@gmail.com
- Роман Н. Журавлев** — магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; ведущий инженер; E-mail: winged.photo@gmail.com
- Дмитрий А. Моисеенко** — магистр; ИКИ РАН, отдел физики космической плазмы; инженер; E-mail: moiseenko-da@ya.ru

For citation: Вайсберг О. Л., Шестаков А. Ю., Шувалов С. Д., Журавлев Р. Н., Моисеенко Д. А. Комплекс малогабаритных приборов для исследования космической погоды. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 5. P. 398—402 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-5-398-402