

## 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; при этом 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 являются 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 большого пространственного масштаба трехмерной космической системы магнитосферы Земли (7 радиусов Земли в направлении на Солнце, 10 радиусов Земли в перпендикулярном направлении и практически необходимые 15 радиусов в антисолнечном 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 отчетливо видна в настоящее время. 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  $\sim 0,1$ —10 МэВ, ионы  $\sim 1$ —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 (закрыто сеткой), 4 — электростатический анализатор, 5 — выходное окно анализатора (место регистрации частиц).

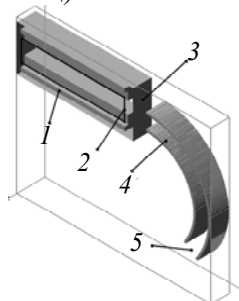


Рис. 2

В качестве прототипа анализатора электронов предполагается использование модификации прибора БАЭС, 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.

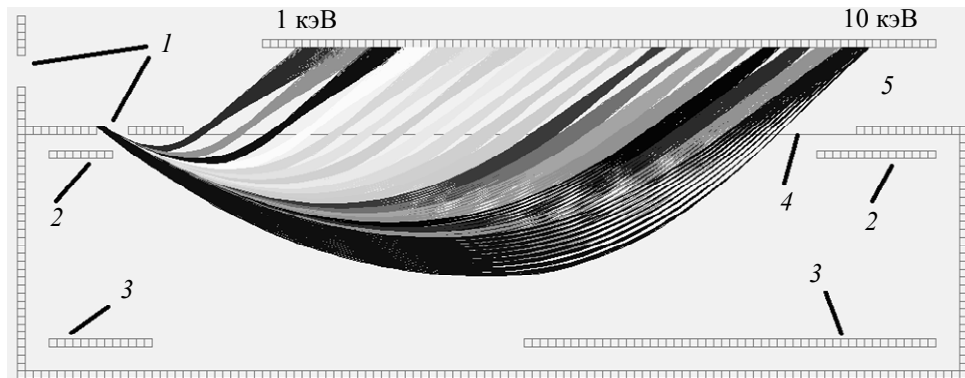


Рис. 3

Прибор предназначен для измерения энергетического спектра электронов в диапазоне 1—10 000 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.

## COMPLEX OF SMALL-SIZED APPLIANCES FOR SPACE WEATHER RESEARCH

O. L. Vaisberg, A. Yu. Shestakov, S. D. Shuvalov, R. N. Zhuravlev, D. A. Moiseenko

*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 117997, Moscow, Russia**E-mail: olegv@iki.rssi.ru*

A brief review of methods of diagnostics and monitoring of space weather in the Earth's magnetosphere, and the diagnostic instruments currently in use, is presented. The large scale of the magnetosphere, the presence of several mutually related regions and processes, the variability of the structural variations are shown to necessitate monitoring of these magnetospheric regions simultaneously or with a slight enough time delay. Considering the large spatial scale of the three-dimensional space system of the Earth's magnetosphere (7 radii of the Earth in the direction of the Sun, 10 radii of the Earth in the perpendicular direction, and practically 15 radii in the anti-solar direction), it is possible to roughly estimate the required number of diagnostic stations (satellites) as 100. It is concluded that creation and launch of such a number of modern research and service-class satellites is very expensive enterprise and not an obligatory for complex monitoring of the magnetosphere. The discussed rational approach to the problem suggests creation of a system of magnetospheric nanosatellites equipped with a minimum number of diagnostic instruments.

**Keywords:** space weather, space plasma, solar wind, magnetosphere, nanosatellites, instrument complex

**Data on authors**

- Oleg L. Vaisberg** — Dr. Sci., Professor; Space Research Institute of the RAS, Department of Space Plasma Physics; E-mail: olegv@iki.rssi.ru
- Artem Yu. Shestakov** — Master of Sci.; Space Research Institute of the RAS, Department of Space Plasma Physics; Junior Scientist; E-mail: sartiom1@yandex.ru
- Sergey D. Shuvalov** — Master of Sci.; Space Research Institute of the RAS, Department of Space Plasma Physics; Junior Scientist; E-mail: shuvalovsergei@gmail.com
- Roman N. Zhuravlev** — Master of Sci.; Space Research Institute of the RAS, Department of Space Plasma Physics; Leading Engineer; E-mail: winged.photo@gmail.com
- Dmitry A. Moiseenko** — Master of Sci.; Space Research Institute of the RAS, Department of Space Plasma Physics; Engineer; E-mail: moiseenko-da@ya.ru

**For citation:** Vaisberg O. L., Shestakov A. Yu., Shuvalov S. D., Zhuravlev R. N., Moiseenko D. A. Complex of small-sized appliances for space weather research. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 5. P. 398—402 (in Russian).

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