

УДК 523.1

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ПРОТОНОВ ВО ВНУТРЕННЕМ РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ ЗЕМЛИ В ТЕЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

© 2019 г. С. Ю. Александрин<sup>1</sup>, \*, А. М. Гальпер<sup>1</sup>, Т. Р. Жараспаев<sup>1</sup>, С. В. Колдашов<sup>1</sup>,  
В. В. Малахов<sup>1</sup>, В. В. Михайлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
“Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

\*E-mail: SYAleksandrin@mephi.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

В работе представлены результаты анализа потоков протонов внутреннего радиационного пояса, полученных с помощью спектрометра “Арина”. Спутниковый эксперимент “Арина” выполнялся на борту российского низкоорбитального аппарата “Ресурс-ДК1” (высота 350–600 км, наклонение 70°, с 2006 по 2016 гг.). Спектрометр регистрировал высокоэнергичные протоны (30–100 МэВ) с энергетическим разрешением 10% и угловым разрешением 7°. Проанализированы географические и пичч-угловые распределения потоков протонов в период убывающей фазы 23-го солнечного цикла и основной части 24-го. Показано, что интенсивность протонов зависит от фазы солнечного цикла (минимальная интенсивность наблюдается в период максимума и наоборот) и она варьируется в 2–7 раз для различных  $L$ -оболочек.

DOI: 10.1134/S0367676519050053

### ВВЕДЕНИЕ

Внутренний пояс состоит преимущественно из протонов с энергией несколько десятков МэВ [1, 2]. В нем потоки протонов на несколько порядков выше, чем вне областей захвата частиц. Потоки частиц во внутреннем РП довольно стабильны, но границы его могут меняться во времени [3]. Существуют различные причины, влияющие на потоки частиц в РП, как внешние (солнечная активность), так и внутренние (геомагнитное поле). Изучение потоков представляет научный и практический интерес [4].

### ИНСТРУМЕНТЫ

Основной частью спектрометра “АРИНА” является многослойный сцинтилляционный детектор [5]. Прибор измеряет потоки электронов с энергиями 3–30 МэВ и протонов с энергиями 30–100 МэВ. Разрешение спектрометра для электронов составляет 15%, а для протонов ~10%. Угловое разрешение составляет  $\pm 7^\circ$ .

Спектрометр “АРИНА” был установлен на КА “Ресурс-ДК1”, который был запущен летом 2006 года с наклонением  $\sim 70^\circ$  и высотой орбиты 350–600 км. Осенью 2009 г. орбиту КА изменили

на круговую с высотой  $\sim 600$  км. Спутник функционировал до января 2016 г.

### ПОТОКИ ПРОТОНОВ ВО ВНУТРЕННЕМ РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ ЗЕМЛИ

Потоки протонов в области Южно-атлантической аномалии могут испытывать как кратковременные вариации, так и долговременные изменения. В данной работе изучались потоки протонов с энергиями от 30 до 100 МэВ. Были получены зависимости потоков от величины магнитного поля Земли для различных  $L$ -оболочек от 1.13 до 2.5 (рис. 1). В минимуме солнечной активности граница РП ниже, чем в период максимума солнечной активности, атмосфера разогревается и “распухает”, когда Солнце активно [6]. Это и приводит к уменьшению потоков высокоэнергичных протонов на  $L$ -оболочках 1.13–1.16.

На рис. 2 приведены зависимости интегрального потока протонов с энергией 30–100 МэВ для оболочек  $L = 1.16$ . Данные приведены для 2009 и 2014 годов, которые являются периодами минимума и максимума солнечной активности соответственно (в минимуме поток выше, чем в период максимума солнечной активности). Наблюдается

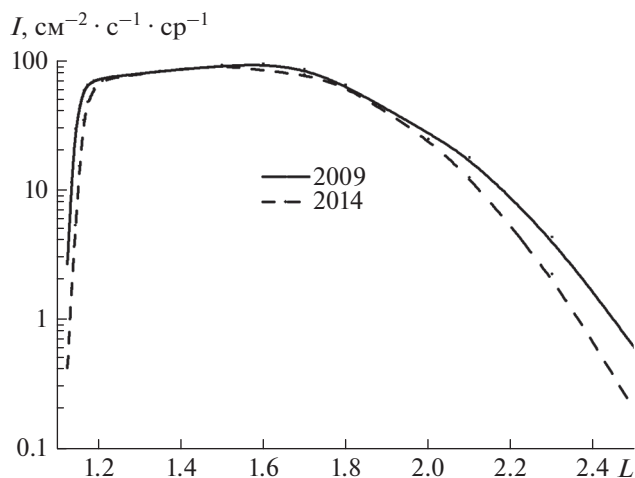


Рис. 1. Зависимость интенсивности потока протонов с энергией 30–100 МэВ от  $L$ -оболочки.

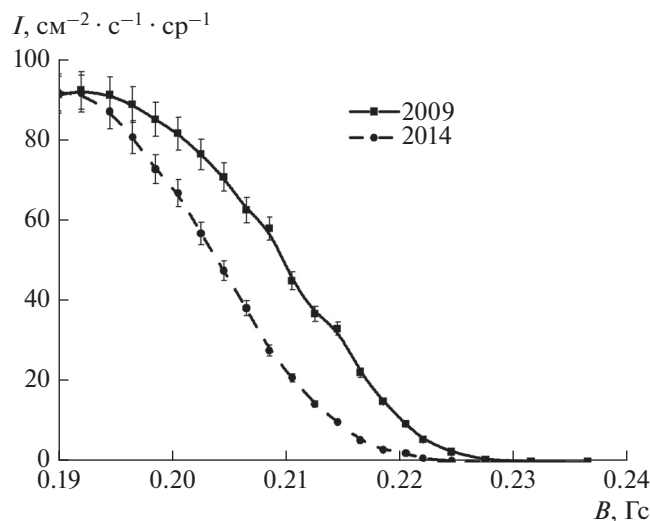


Рис. 2. Зависимость потока протонов с энергией 30–100 МэВ от величины геомагнитной индукции вдоль  $L$ -оболочки  $L = 1.16$  для фаз минимума (2009 г.) и максимума (2014 г.) солнечной активности.

уменьшение потока при увеличении напряженности геомагнитного поля, т.е. уменьшение высоты точек отражения захваченных частиц. Как уже говорилось выше, плотность остаточной атмосферы на спутниковых высотах возрастает в период максимума солнечной активности, соответственно уменьшается время жизни протонов при дрейфе вокруг Земли по долготе [3].

На рис. 3 приведена зависимость интенсивности потока протонов от года наблюдения для выбранной  $L$ -оболочки в заданном интервале напряженности магнитного поля Земли вдоль этой оболочки, т.е. от фазы солнечного цикла. Для  $L =$

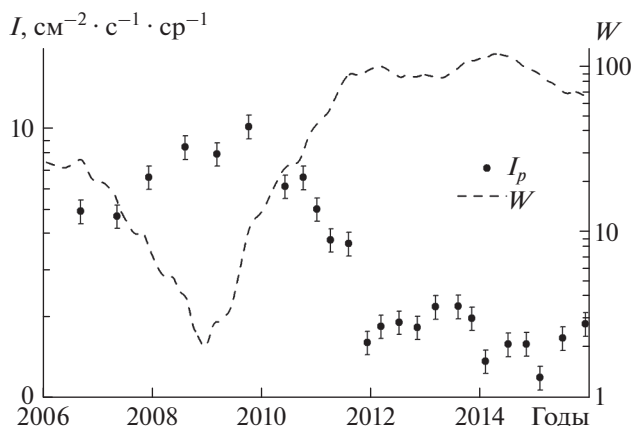


Рис. 3. Изменение потока протонов с энергией 30–100 МэВ во время солнечного цикла (непрерывная линия) и число Вольфа (штриховая линия) за этот же период.

$= 1.13$ – $1.14$  потоки протонов в период фазы максимума солнечного цикла в несколько раз меньше, чем в период минимальной солнечной активности. На этом же графике приведено количество солнечных пятен, характеризуемых числом Вольфа (штриховая линия). Видно, что в период фазы максимума солнечной активности, характеризуемого максимальным числом Вольфа, потоки захваченных частиц уменьшаются в 5–7 раз по сравнению с интенсивностью в период спокойного Солнца, т.е. в фазе минимума солнечной активности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ обработанных данных по космическому эксперименту “АРИНА” показал зависимость интенсивности потока протонов от солнечной активности. Показано, что потоки могут возрастать на различных  $L$ -оболочках до 5–7 раз ( $L = 1.16$ ) в период минимума солнечной активности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернов С.Н., Чудаков А.Е. // УФН. 1960. Т. 70. № 4. С. 585; Vernov S.N., Chudakov A.E. // Sov. Phys. Usp. 1960. V. 3. P. 230.
2. Ван-Аллен Дж.А. // УФН. 1983. Т. 70. № 4. С. 715.
3. Kuznetsov N.V., Nikolaeva N.I., Panasyuk M.I. // Cosmic Res. 2010. V. 48. № 1. P. 80.
4. Ishikawa H., Miyake W., Matsuoka A. // Earth Planets and Space. 2013. V. 65. № 2. P. 121.
5. Александрин С.Ю., Гальпер А.М., Колдашов С.В. и др. // Труды 31-й Всерос. конф. по космич. лучам. Москва. МГУ. 2010. С. GEO\_9.
6. Miyoshi Y., Morioka A., Misawa H. // Atmosph. Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. № 14. P. 2169.