

## Аннотация

**Авторы:** Литвак М.Л., Митрофанов И.Г., Санин А.Б., Нуждин И.О.

**Название:** «Вариации космических лучей в околоземном пространстве по данным различных российских экспериментов»

### Ссылки на публикации:

1) «Наблюдение пространственных и временных вариаций спектральной плотности нейтронного потока вне российского сегмента международной космической станции по данным космического эксперимента «БТН-нейтрон», М.Л. Литвак, И.Г. Митрофанов, И.О. Нуждин, А.В. Вострухин, Д.В. Головин, А.С. Козырев, А.В. Малахов, М.И. Мокроусов, А.Б. Санин, В.И. Третьяков, Ф.С. Федосов, Космические исследования, принята к печати 27.09.2016 и будет опубликована в Т.55, №2, 2017 г.

2) «The variations of neutron component of lunar radiation background from LEND/LRO observations», M.L. Litvak, I.G. Mitrofanov, A.B. Sanin, B.N. Bakhtin, J.G. Bodnarik, W.V. Boynton, G. Chin, L.G. Evans, D.V. Golovin, K. Harshman, T.A. Livengood, A.V. Malakhov, M.I. Mokrousov, T.P. McClanahan, R.Z. Sagdeev, R. Starr, A.V. Vostrukhin, Planetary and Space Science Volume 122, Pages 53-65, doi: 10.1016/j.pss.2016.01.006

### Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:

Известно, что Солнце не является идеальным источником излучения, а подвержено периодическим 11-и летним изменениям, также известным как цикл Швабе-Вольфа. Активность Солнца проще всего и наиболее корректно рассматривать как число солнечных пятен (число Вольфа). При минимуме солнечной активности, который пришёлся на конец 2009 года, поток галактических космических лучей был максимален. Каждый Солнечный цикл активности отличается от предыдущего, а 24-й цикл Солнечной активности был довольно уникальным в современной истории, так как Солнечная активность была гораздо ниже 23-го цикла. Это наводит на мысли о возможном минимуме Дальтона (1790 – 1830 гг.), который может длиться на протяжении двух – трёх циклов Солнечной активности. При длительных измерениях потока солнечных и галактических космических лучей на поверхности Земли при помощи нейтронных телескопов и дополнением этих данных наблюдениями в околоземном пространстве на протяжении многих циклов активности Солнца, возможно, позволит создать теорию точного предсказания числа Вольфа.

### Конкретная решаемая в работе задача и её значение:

Продолжительное время работы нейтронных детекторов HEND на орбите Марса в составе космического эксперимента Mars Odyssey (с 2002 года), «БТН-Нейтрон», расположенного вне гермоотсека Международной космической станции (с 2007 года) и LEND в составе космического эксперимента LRO на орбите Луны (с 2009 года) позволяет регистрировать изменение нейтронного потока, вызванного вариацией потока солнечных и галактических космических лучей, состоящих на 98% из протонов. Известно, что солнечные и галактические космические лучи имеют различную энергию, что приводит к образованию нейтронов различных энергий. Нейтронная доза облучения, получаемая человеком в околоземном пространстве, экспоненциально зависит от энергии нейтронов, которая, в свою очередь зависит от энергии протонов, породивших их. На протяжении многих лет проводились различные эксперименты по нейтронной дозиметрии околоземного пространства. В большинстве случаев, эти эксперименты являлись пассивными, то есть проводили экспозицию на протяжении определённого времени на околоземной орбите, затем возвращались на Землю для определения суммарной накопленной нейтронной дозы. Новый – активный – метод регистрации нейтронной дозы позволяет делать широтно-

долготную привязку для определения наиболее неблагоприятных мест на орбите Марса, МКС, и Луны.

**Используемый подход, его новизна и оригинальность:**

Представляемый цикл работ посвящён анализу данных приборов «БТН-Нейтрон», расположенного вне гермоотсека Международной космической станции, прибора LEND, расположенного на борту космического эксперимента LRO на орбите Луны и прибора HEND на орбите Марса в составе космического эксперимента Mars Odyssey. Уникальность приборов заключается в длительности бесперебойной работы. Комплексный анализ данных, накопленных за почти 10 лет непрерывной регистрации нейтронного потока на околоземной орбите, орбите Луны и наземных мониторах, позволяет изучать вариации потока солнечных и галактических космических лучей, что соответствует различной активности. Одновременная регистрация потока нейтронов и гамма-квантов на орбитах разных небесных тел позволяет исследовать распространение солнечных протонных событий и рентгеновских вспышек.

**Полученные результаты и их значимость:**

В первой статье цикла представлены результаты измерения спектральной плотности потока нейтронов в окрестности Международной Космической Станции (МКС) по данным космического эксперимента БТН-Нейтрон, полученные за период 2007-2014 гг. Показано, что при пролете МКС над различными участками поверхности Земли поток нейтронов в диапазоне 0.4 эВ – 15 МэВ меняется от 0.1 н/см<sup>2</sup>/сек в экваториальных районах до 50 н/см<sup>2</sup>/сек при пролете над центром Южно-Атлантической Магнитной Аномалии. Проведенные измерения были использованы для оценки вклада нейтронной компоненты в мощность эквивалентной радиационной дозы. Суммарный вклад быстрых нейтронов составляет в среднем 0.1-0.4 мкЗв в час на экваторе и более 50 мкЗв в час при пролете над Южно-Атлантической Магнитной Аномалией. Анализ данных эксперимента БТН-Нейтрон также показал, что во временном профиле потока нейтронов присутствуют долгопериодические вариации. Обнаружено, что под действием солнечной модуляции Галактических Космических Лучей (ГКЛ) в течение 24-го солнечного цикла величина потока нейтронов (при пролете над высокоширотными областями) менялась почти в два раза. Максимальные значения нейтронного потока наблюдались в январе 2010 года, а минимальные в январе 2014 года.

Во второй статье из цикла представлены результаты обработки данных космического эксперимента LEND на борту космического аппарата NASA LRO на орбите луны. Прибор ЛЕНД – это первый в мире нейтронный телескоп, отправленный к другому небесному телу и успешно работающий там с 2009 года по настоящее время. Он оснащен модулем коллимации нейтронного потока от Луны, обеспечивающим высокое пространственное разрешение – до 10 км с орбиты высотой 50 км. Представлено численное моделирование наведённого нейтронного потока от спутника, рассчитан нейтронный поток от поверхности Луны в зависимости от широтно-долготной привязки. Данные космического эксперимента LEND дополняют данные приборов «БТН-Нейтрон» и HEND и находятся в хорошей корреляции с данными наземного нейтронного телескопа McMurdo.