

# ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНОГО ХОДА ПОТОКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ GOES-13 И GOES-14

А.А. Абунина<sup>1</sup>, М.А. Абунина<sup>1</sup>, А.В. Белов<sup>1</sup>, Н.С. Шлык<sup>1</sup>, И.И. Прямушкина<sup>1</sup>, О.Н. Крякунова<sup>2</sup>, Н.Ф. Николаевский<sup>2</sup>

[<sup>1</sup> ИЗМИРАН, г. Москва, Россия – <sup>2</sup> Институт ионосферы, г. Алма-Ата, Казахстан ]

**Аннотация.** Одной из задач солнечно-земной физики является исследование поведения электронов в околоземном космическом пространстве. В данной работе исследуется суточный ход потока релятивистских электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите с учетом местоположения космических аппаратов GOES-13 и GOES-14. Это позволит в дальнейшем более точно прогнозировать поведение потока этих частиц.

## Введение

Потоки высокоэнергичных электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите являются важнейшим аспектом при анализе состояния космической погоды [2, 8]. Это связано с тем, что данные релятивистские частицы могут вызывать сбои в работе космических аппаратов вплоть до их полной потери [1, 5, 12, 16-18]. Высокоэнергичные электроны могут вызывать, например, глубокий диэлектрический заряд космических аппаратов, ускорять деградацию солнечных батарей и т.д.

В научной литературе представлено множество работ, посвященных изучению физики процессов генерации этих частиц [3, 6, 9, 11, 13-15], а также методам прогнозирования поведения потока высокоэнергичных электронов [2, 4, 7, 10]. Несмотря на множество проведенных в этой области исследований, до сих пор нет полного понимания того, каким образом происходит генерация этих частиц в околоземном пространстве во время межпланетных возмущений. Тем не менее, существуют модели, позволяющие достаточно хорошо прогнозировать поведение этих частиц. Большинство этих моделей опираются на информацию о состоянии солнечного ветра и уровня геомагнитной активности.

Целью данной работы является исследование суточного хода потока релятивистских электронов для дальнейшего учета полученных зависимостей при прогнозировании поведения этих частиц.

## Используемые данные

В качестве основной анализируемой характеристики поведения электронов магнитосферного происхождения на геостационарной орбите был выбран измеряемый на космических аппаратах серии GOES поток этих частиц с энергиями более 2 МэВ. В частности, анализировались данные с космических аппаратов GOES-13 (орбитальная позиция или местоположение приблизительно равняется 75°W) и GOES-14 (орбитальная позиция – 105°W). Для анализа использовались данные за период с 2010 по 2017 гг. (для GOES-13) и с 2010 по 2020 гг. (для GOES-14).

## Обсуждение результатов

Для примера на рис. 1 изображено поведение потока электронов с энергиями более 2 МэВ по данным GOES-13 за период с 14 по 24 ноября 2016 г. При детальном рассмотрении данных можно выделить суточную волну потока высокоэнергичных частиц. Это связано с местоположением космического аппарата. Суточную волну можно увидеть практически всегда, за исключением тех дней, когда значения потока частиц находятся на уровне фоновых значений или в момент прихода мощных межпланетных возмущений.

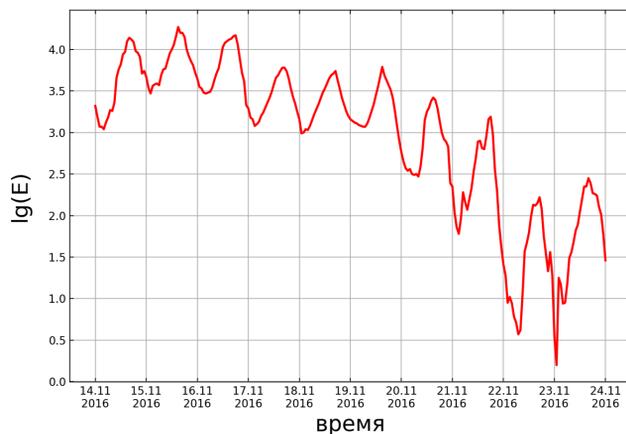


Рис. 1. Поведение потока электронов с энергиями более 2 МэВ по данным GOES-13 за период с 14 по 24 ноября 2016 г.

В ходе анализа была получена усредненная суточная кривая за период с 2010 по 2017 гг. по данным GOES-13 (см. рис. 2а) и за период с 2010 по 2020 гг. по данным GOES-14 (рис. 2б). По оси ординат отложен поток электронов, нормированный следующим образом:

$$E^* = \sum_{h=1}^{24} \frac{E_h - \bar{E}}{\bar{E}}$$

где  $E_h$  – поток электронов за конкретный час в сутках,  $\bar{E}$  – усредненное значение потока электронов за сутки. Таким образом, при усреднении использовались данные за 2647 дней (рис. 2а). Из рисунка видно, что максимум суточной волны приходится на 16 UT.

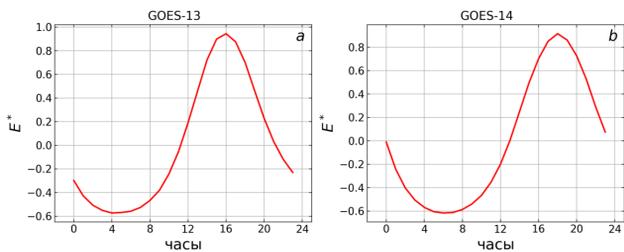


Рис. 2. Суточный ход потока электронов, полученный путем усреднения часовых данных: (а) по данным GOES-13 (орбитальная позиция ~75°W, за период с 2010 по 2017 гг. – всего 2647 дней), (б) по данным GOES-14 (орбитальная позиция ~105°W, за период с 2010 по 2020 гг. – всего 1345 дней)

Следует отметить, что при изменении местоположения космического аппарата будет изменяться и фаза. На рис. 2б представлена усредненная суточная кривая по данным GOES-14 (орбитальная позиция – 105°W). Из-за пропусков в данных было рассмотрено всего 1345 дней. Максимум суточной волны для GOES-14 сдвинут на два часа вправо относительно максимума суточной волны, полученной по данным GOES-13, и приходится на ~18 UT. В обоих случаях волна достаточно выражена.

Если же вычислить фазу суточной вариации логарифма потока электронов за более длительный период, то можно увидеть ее значительные изменения (рис. 3). Это объясняется тем, что положение космических аппаратов серии GOES в определенные периоды времени изменялось.

Если же рассматривать данные только одного конкретного аппарата, то хорошо будет видна стабильность фазы, а ее достаточно редкие, но большие изменения связаны с низкими значениями амплитуды вариаций потока электронов в отдельные дни, а также с приходом мощных межпланетных возмущений.

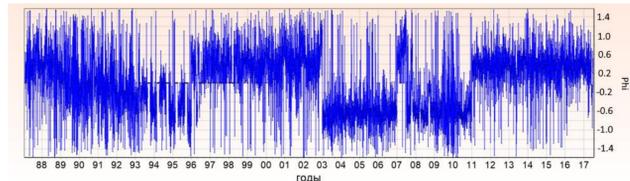


Рис. 3. Поведение фазы суточной вариации логарифма потока релятивистских электронов в 1987-2017 гг.

## Заключение

Как было отмечено выше, существует ряд моделей, которые позволяют прогнозировать поведение потока электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите. Зная суточную вариацию потока этих частиц можно более точно спрогнозировать его поведение. Кроме того, в дальнейшем при помощи гармонического анализа планируется получить в аналитическом виде функцию, отражающую суточный ход потока высокоэнергичных электронов. Это поможет учитывать местоположение космических аппаратов в прогностических моделях и, тем самым, улучшить качество прогнозов.

Работа поддержана Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант N AP08855916).

## Литература

1. Белов А.В. и др. // ГиА. 2004. Т. 44. № 4. С. 502-510.
2. Белов А.В. и др. // Изв. РАН: Сер. физ. 2017. Т. 81. № 2. С. 244-247.
3. Потапов А.С. // С.-З. Физ. 2017. Т. 3. № 1. С. 46-58.
4. Потапов А.С. и др. // Вестник СибГАУ. 2016. Т. 17. № 3. С. 611-617.
5. Baker D.N. // Space Storms and Space Weather Hazards. 2001. V. 38. P. 285-311.
6. Baker D.N. et al. // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. № A8. P. 17279-17291.
7. Degtyarev V.I. et al. // Adv. Sp. Res. 2009. V. 43. P. 829-836.
8. Gaidash S.P. et al. // G&A. 2017. V. 57. № 7. P. 869-876.
9. Lazutin L.L. et al. // S.-T. Phys. 2018. V. 4. I. 1. P. 51-60.
10. Mathie R.A., Mann I.R. // GRL. 2000. V. 27. P. 3261-3264.
11. Meredith N.P. et al. // Space Weather. 2015. V. 13. I. 3. P. 170-184.
12. Reagan J.B. et al. // IEEE Transactions on Electrical Insulation. 1983. V. EI-18. P. 345-348.
13. Reeves G.D. et al. // GRL. 1998. V. 17. I. 25. P. 3265-3268.
14. Thorne R.M. // GRL. 2010. V. 37. I. 22. L22107.
15. Vassiliadis D. et al. // GRL. 2005. V. 110. A04201.
16. Webb D.F. and Allen J.H. // Space Weather. 2004. V. 2. I. 3. №S03008.
17. Wrenn G.L. // J. Atm.-Sol.-Ter. Phys. V. 71. I. 10-11. P. 1210-1218. 2009.
18. Wrenn G.L. et al. // Ann. Geophys. V. 20. I. 7. P. 953-956. 2002.