

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ДИНАМИКУ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВНЕШНЕМ РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ ЗЕМЛИ

М.Н. Будяк,
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА

Период максимума вспышечной солнечной активности (СА) считают радиационноопасным для оптической и электронной аппаратуры космических аппаратов (КА). В максимуме вспышечной СА обычно ожидается повышение интенсивности потоков заряженных частиц на орбитах КА, поскольку к потоку захваченной геомагнитным полем радиации добавляются потоки солнечных космических лучей (СКЛ). Периоды, когда на Солнце наблюдается минимальная вспышечная активность, часто считают малоопасным в радиационном плане для находящихся в магнитосфере Земли КА из-за практически отсутствующих СКЛ. В минимуме СА при отсутствии солнечных вспышек существует вероятность увеличения потоков заряженных частиц во внешнем радиационном поясе Земли (ВРПЗ) за счет взаимодействия высокоскоростных рекуррентных потоков плазмы солнечного ветра (СВ) с магнитосферой Земли.

Исследования динамики интенсивности релятивистских электронов для периода вблизи минимума 20 цикла вспышечной СА показало, что амплитуда вариаций потоков релятивистских электронов, связанных с рекуррентными потоками плазмы СВ из корональных дыр может увеличиваться в 10 раз. [1, 5] Подобные вариации амплитуды потоков электронов на геостационарной орбите (ГСО) были обнаружены для периода 2006-2010 гг., который и анализируется в этой работе.

Могут ли учитываться подобные проявления СА на формирование радиационных условий в РПЗ, программным обеспечением для прогноза радиационных условий на орбитах КА? Ответить на данный вопрос можно только, сравнив реальную радиационную обстановку на ГСО в исследуемый период 2006-2010 гг. и прогнозную радиационную обстановку, оцененную с помощью доступного программного обеспечения «COSRAD» РФ и «SPENVIS» Европейского Космического Агентства (ЕКА).

Оценка поглощенных доз радиации от потоков электронов на геостационарной орбите

Поглощенные дозы радиации на ГСО для кремния за экраном из алюминия массовой толщиной $0,216 \text{ г/см}^2$ были найдены тремя способами: путем расчета по данным прямых измерений потоков электронов (данные с космического аппарата «GOES»), путем оценки уровней поглощенной радиации по программе «COSRAD» РФ, а также по программе «SPENVIS», разработанной ЕКА. При использовании для проведения данной оценки программного обеспечения «SPENVIS» ЕКА была выбрана

модель распределения заряженных частиц в РПЗ АЕ8 и АР8.

Экспериментальные данные, использованные для расчета поглощенной дозы радиации по методике с использованием линейной потери энергии (ЛПЭ) электронов в алюминии [2], представляли собой два интегральных потока электронов с энергией $E > 0,6$ МэВ и $E > 2,0$ МэВ с одного из аппаратов серии «GOES», находящихся на ГСО. [3] Результаты реальной поглощенной дозы радиации за год представлено на рис. 1.

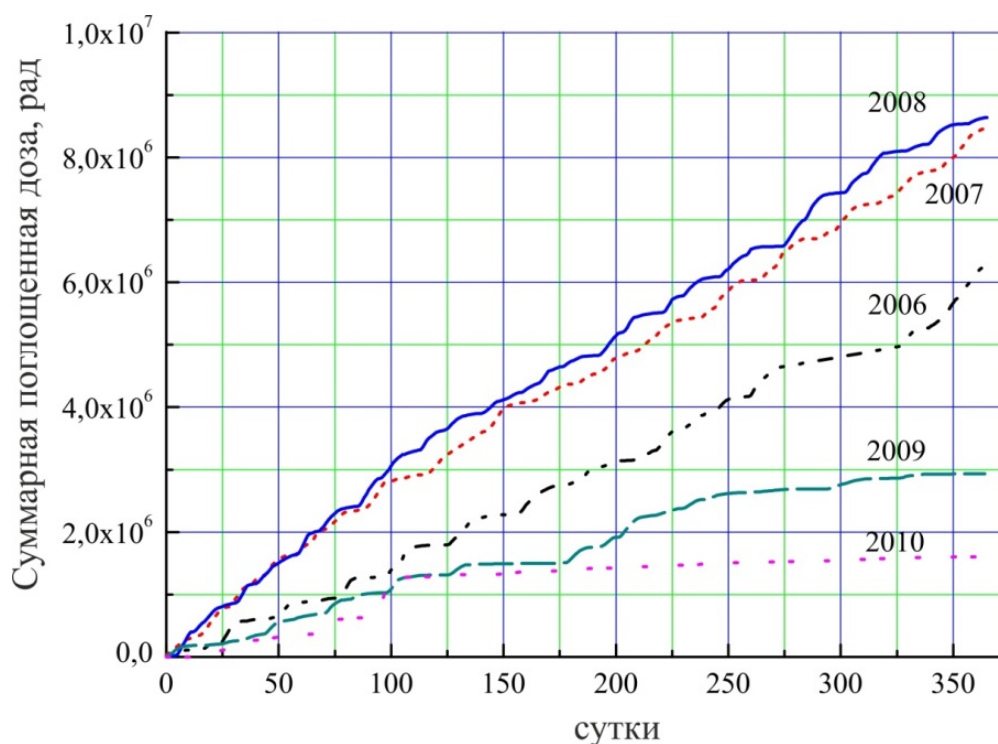


Рисунок 1. Накопленная поглощенная доза радиации по данным прямых измерений потоков электронов на ГСО за 2006-2010 годы. [2, 4]

На рисунке 1 можно заметить, что суммарные поглощенные дозы за 2008 и 2007 годы имеют наибольшее значение за рассматриваемый период.

Для периода 2006-2010 гг. в программах «COSRAD» и «SPENVIS» была проведена оценка уровня поглощенной радиации от потоков электронов. На рисунке 2 представлены результаты оценки уровней прогнозируемых радиационных нагрузок и суммарная реальная поглощенная доза радиации для 2006-2010 гг.

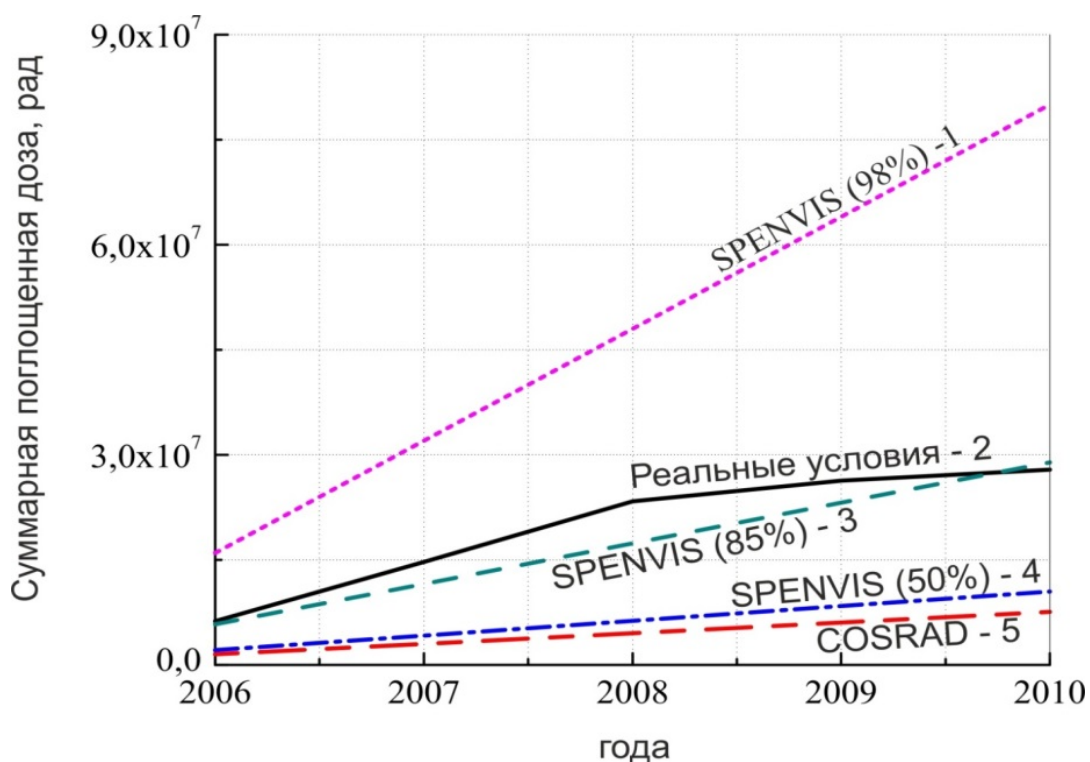


Рисунок 2. Накопленные поглощенные дозы за период с 2006 по 2010 гг. на ГСО, полученные с использованием реальных экспериментальных данных КА «GOES» и рассчитанные с использованием программы «COSRAD»(5) и программы «SPENVIS» при доверительных уровнях $\approx 50\%$ (4), $\approx 85\%$ (3), $\approx 98\%$ (1) для частиц РПЗ, за пятилетний период. [2]

Обсуждение и анализ результатов

С целью более полного объяснения результатов сравнения поглощенных доз радиации, было дано краткое

описание событий, происходящих на Солнце и влиявших на формирование радиационных условий для 2006-2010 гг. на ГСО (см. рис. 3).

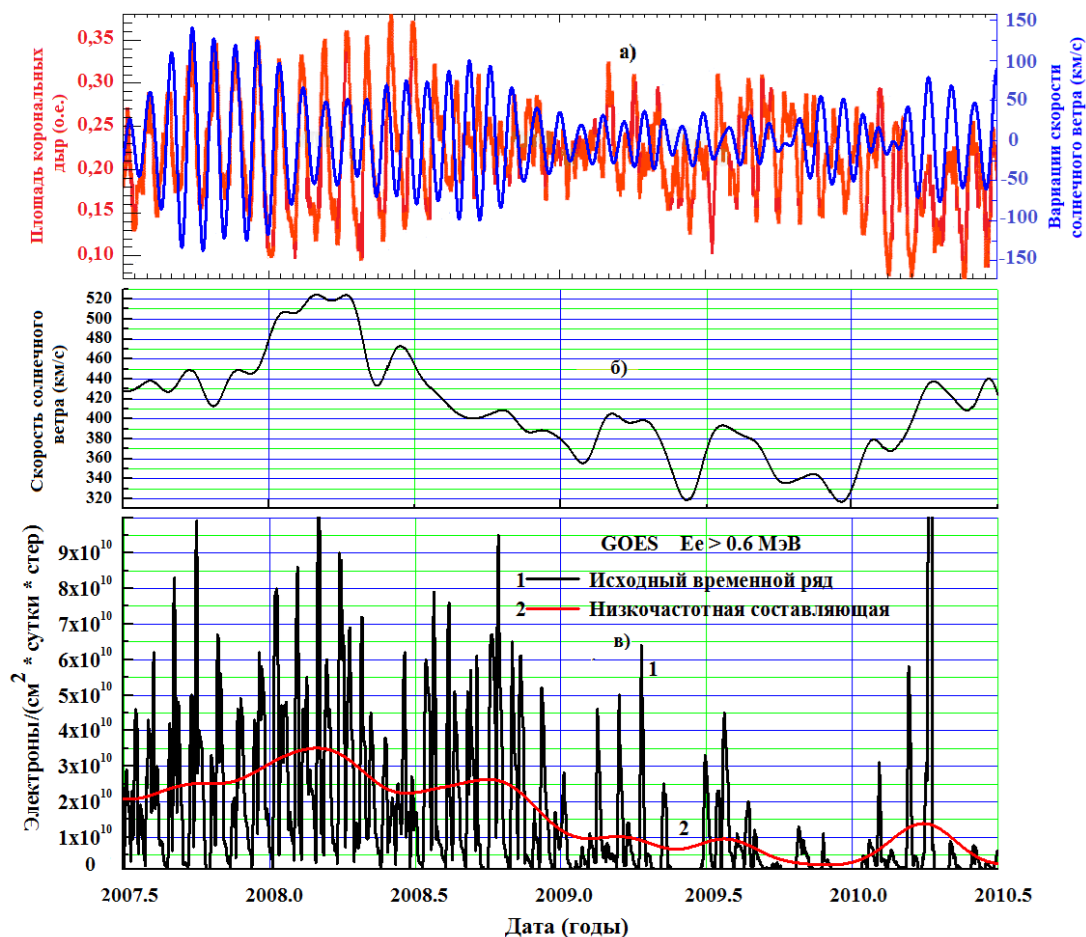


Рисунок 3. Для периода с 2007 по 2010 гг. показаны :
а) периодические вариации площади корональных дыр (красная кривая) и флуктуаций скорости солнечного ветра с периодом 26 суток (синяя кривая);
б) зависимость скорости рекуррентных потоков плазмы СВ от времени (вариации с периодами меньше 50 суток удалены);
в) динамика интенсивности потока релятивистских электронов с $E_e > 0,6$ МэВ на геостационарной орбите.
[4]

На полученных результатах оценки и сравнения радиационной обстановки в ВРПЗ по реальным данным измерения с КА и при помощи программ для прогноза радиационной обстановки «COSRAD» и «SPENVIS» для 2006-2010 гг. отразились следующие условия формирования космической погоды:

1. С 2007 г. до конца 2008 г. на Солнце наблюдались долгоживущие источники высокоскоростных рекуррентных потоки плазмы СВ – корональные дыры нижних и средних гелиоширотах, которые и обусловили появление высокоскоростных рекуррентных потоков плазмы СВ вблизи магнитосферы Земли.
2. Наибольшая в 2007-2008 гг. относительно остальных годов наблюдения вариация суммарной площади низкоширотных корональных дыр, следствием чего, вероятно, стала большая вариация скорости потока плазмы СВ (см. рис. 3, б).
3. Возрастание средней скорости рекуррентных потоков плазмы СВ в 2007-2008 гг. повлияло на эффективность заполнения ВРПЗ релятивистскими электронами и на повышение рассчитанной поглощенной дозы от электронов (см. рис. 3, б).
4. В 2009 г. вариация площади корональных дыр, расположенных в средних гелиоширотах уменьшается вместе с вариацией скорости рекуррентных потоков плазмы СВ (см. рис. 3, а).

5. Средняя скорость рекуррентных потоков плазмы СВ достигла своего минимума в 2009 г. относительно исследуемого периода 2006-2010 гг., что повлияло на интенсивность заполнения заряженными частицами ВРПЗ и на уменьшение поглощенной дозы радиации (см. рис. 3, б, в).

6. С 2009 года начинается слабая вспышечная активность Солнца. В 2010 г. она возрастает.

По результатам оценки и сравнения суммарных поглощенных доз радиации на ГСО для кремния, находящегося за экраном из алюминия массовой толщиной $0,216 \text{ г/см}^2$, которые были получены по данным прямых измерений потоков электронов на данной орбите, и рассчитаны по программе «COSRAD», а также по программе «SPENVIS», можно сказать следующее:

1. Расчет по экспериментальным данным поглощенной дозы радиации на ГСО показал, что в 2007-2008 гг., годах наибольшего минимума СА, поглощенная суммарная доза для алюминия на ГСО до четырех раз больше чем в 2009 и 2010 гг. (см. рис. 1).
2. Сравнительная оценка реальной накопленной поглощенной дозы за 2006-2010 гг. и полученной в программе «COSRAD» поглощенной дозы для периода показала, что реальная накопленная поглощенная доза радиации примерно в 4 раза больше прогнозной (см. рис. 2).
3. Программа «SPENVIS» предоставляет пользователю больше возможностей для оценки радиационных условий, в данном случае поглощенной дозы

радиации от потока электронов, путем изменения величины доверительного уровня.

4. При доверительном уровне $\approx 50\%$ для частиц РПЗ поглощенная доза радиации, полученная при помощи программы «SPENVIS», соотносилось с поглощенной дозой радиации, рассчитанной в программе «COSRAD» (см. рис. 2).
5. Доза по «SPENVIS» при доверительном уровне около $\approx 85\%$ для частиц РПЗ наиболее близка к поглощенной дозе по данным прямых измерений потоков электронов на ГСО за 2006-2010 гг. Близкое подобие двух значений поглощенных доз радиации в конце пятилетнего периода появилось в результате низких дозовых нагрузок в 2009-2010 гг. (см. рис. 2).

Заключение

Из вышеперечисленных результатов следует, что оценки уровня радиации, выполненные по моделям AE8 и AP8, могут быть существенно занижены относительно реальных значений поглощенных доз радиации для периода, схожего с 2006-2010 гг. Прогноз уровня поглощенных доз радиации для орбит во внешнем РПЗ, выполняемый в программах на основе моделей распределения заряженных частиц РПЗ AE8 и AP8, для периода, который предположительно будет захватывать

минимум и время вблизи минимума вспышечной активности Солнца, лучше проводить с использованием доверительного уровня для частиц РПЗ в «SPENVIS» не ниже 85%. Уровень поглощенной радиации, получаемый с помощью программы «COSRAD» для подобного периода времени необходимо увеличивать минимум в 4 раза.

Список используемых источников

1. И.П. Безродных, Ю.Г. Шафер / Динамика потоков электронов на геостационарной орбите и их связь с солнечной активностью. – 1983. – Т.47. - №9. – С.1684 – 1686.
2. Научно-технический отчет «Оценка поглощенных доз радиации в магнитосфере земли по данным прямых измерений ионизирующих излучений на геостационарной орбите в период минимума солнечной активности» ТАИК.001226.329 // АО «Корпорация «ВНИИЭМ» - 35 стр., 2014 г.
3. Access to NOAA National Geophysical Data Center (NGDC) [электронный ресурс]. – База данных. – Режим доступа: <http://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/>, свободный.
4. И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович, М.Н. Будяк, В.Т. Семенов / Формирование периодических структур в потоках солнечного ветра и в магнитосфере земли в период минимума солнечной активности 2006 – 2010 гг. // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ». -2015 г. Том. 145, № 2.

5. И. П. Безродных, А.П. Тютнев, В.Т. Семенов. Радиационные эффекты в космосе. Часть 1. Радиация в околоземном космическом пространстве – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»», 2014 г. – 106 с.