

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДОЗ В ОКТЯБРЕ – НОЯБРЕ 2003 ГОДА НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ПО ДАННЫМ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ.

**В.М. ПЕТРОВ<sup>1)</sup>, В.В. БЕНГИН<sup>1)</sup>, В.А. ШУРШАКОВ<sup>1)</sup>,  
М.И. ПАНАСЮК<sup>2)</sup>, Ю.В. КУТУЗОВ<sup>2)</sup>, О.В.МОРОЗОВ<sup>2)</sup>, А. МЯСНИКОВ<sup>2)</sup>  
М.В. ТЕЛЬЦОВ<sup>2)</sup>,  
А.В. МАРКОВ<sup>3)</sup>, А.Н. ВОЛКОВ<sup>3)</sup>, В.И. ЛЯГУШИН<sup>3)</sup>, И.В. НИКОЛАЕВ<sup>3)</sup>,  
А.П. АЛЕКСАНДРИН<sup>3)</sup>.**

1) ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН.

2) НИИ ядерной физики МГУ.

3) Ракетно-космическая корпорация "ЭНЕРГИЯ".

Во время солнечных протонных событий конца октября – начала ноября 2003 года на Служебном модуле МКС функционировала система радиационного контроля (СРК), предназначенная для определения уровня радиационного воздействия на экипаж МКС. Чувствительные элементы системы размещены в блоках ДБ-8 и в дозиметре Р-16.

Все 4 блока ДБ-8 идентичны. В каждом из них есть 2 полностью независимых канала, состоящих из кремниевого полупроводникового детектора толщиной 300 мкм и площадью 1 см<sup>2</sup>, и последующей схемы обработки сигнала. При этом один из двух детекторов, входящих в состав каждого блока ДБ-8, защищен слоем свинца толщиной 2,5 мм. Чувствительными элементами дозиметра Р-16 являются 2 ионизационные камеры, одна из которых имеет дополнительную защиту из оргстекла толщиной 3 см.

Таблица 1.

Точки размещения блоков СРК на служебном модуле МКС.

Наименование блока	Размещение блока.
ДБ-8 №1	По правому борту, за панелью № 410
ДБ-8 №2	По левому борту, за панелью № 244 (каюта)
ДБ-8 №3	По правому борту, за панелью № 447 (каюта)
ДБ-8 №4	По правому борту, за панелью № 435
Р-16	На потолке салона большого диаметра, за панелью 327
БКП	По правому борту, за панелью № 447 (каюта)
АИ	По правому борту, за панелью № 447 (каюта)

Существенное значение при организации радиационного контроля имело размещение блоков ДБ-8 на борту станции. Точки размещения выбирались таким образом, чтобы обеспечить различные условия экранированности детекторов СРК оборудованием станции. Это необходимо для того, чтобы при анализе результатов определять кривую ослабления дозы и использовать ее для расчета поглощенной дозы в любой точке станции. Данные о размещении блоков СРК представлены в таблице 1.

### Результаты измерений.

Результаты измерений передавались на Землю по телеметрическому каналу. На рис. 1. представлены данные о динамике накопления дозы по данным незэкранированных детекторов наименее защищенного блока ДБ-8 № 1 и наиболее защищенного блока ДБ-8 № 4. В качестве начального уровня были использованы показания детекторов на 0 часов 21 октября 2003 года. Здесь и далее используется Гринвичское время.

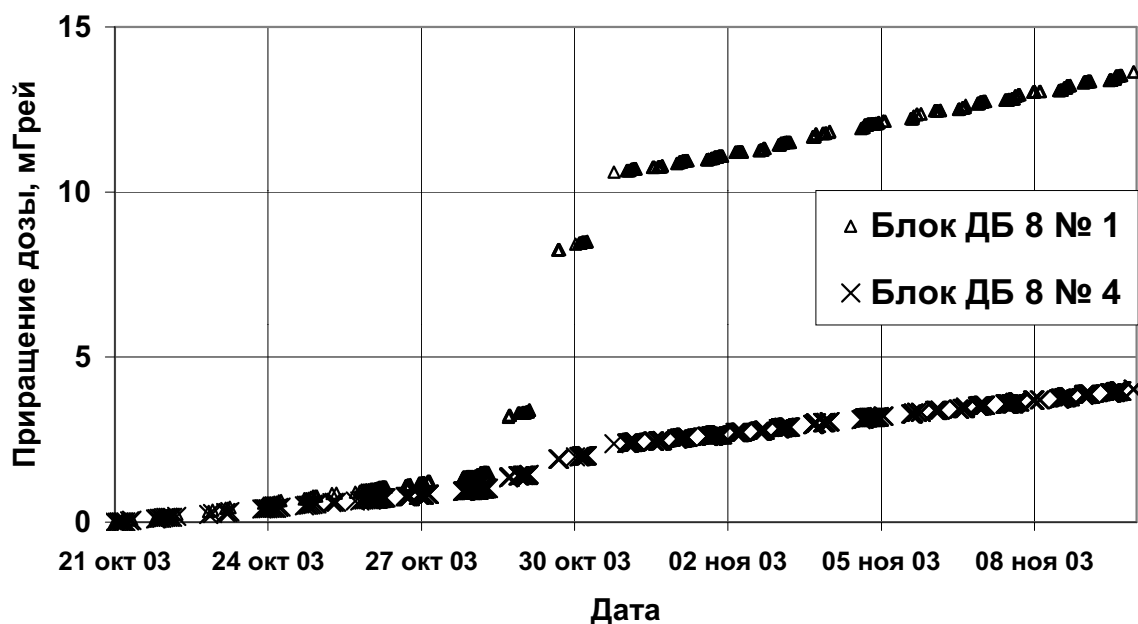


Рис. 1 Динамика накопления дозы по данным незэкранированных детекторов блоков ДБ-8 № 1 и №4.

Хорошо видно, что, как и следовало ожидать, во время рассматриваемых солнечных протонных событий наблюдался значительный перепад дозы в отсеках станции. Наблюдались 3 периода значительного увеличения темпа накопления дозы на борту.

Первый период начался 28 октября в 15 часов 25 минут после появления высокоэнергичных протонов СКЛ в околоземном пространстве <sup>1/1</sup>. В это время траектория полета МКС проходила через зону проникновения высокоэнергичных заряженных частиц, расположенную над южной частью

Индийского океана. К 19 часам 28 октября траектория МКС перестала проходить через высокоширотные зоны проникновения высокоэнергичных заряженных частиц. Поэтому темп накопления дозы на борту стал соответствовать обычному уровню до 8 часов 29 октября, не смотря на то, что именно в этот период наблюдался максимум потока протонов.

Второй период начался в 8 часов 15 минут 29 октября после того, как траектория полета МКС вновь начала проходить через зоны проникновения высокоэнергичных заряженных частиц. Закончился второй период в 12 часов 15 минут 29 октября после прохождения зоны над севером Канады вследствие уменьшения потоков протонов СКЛ.

Третий период обусловлен новой солнечной вспышкой, которая произошла 29 октября в 20 часов 40 минут <sup>2/</sup>. Однако увеличение темпа накопления дозы на борту наблюдалось в период с 7 до 13 часов 30 октября, что обусловлено временем очередного прохождения МКС через зоны проникновения высокоэнергичных заряженных частиц.

Для первого периода характерен жесткий спектр протонов, падающих на магнитосферу Земли, и низкий уровень геомагнитной возмущенности <sup>3/</sup>.

Второй, наибольший по накопленной дозе период характеризуется более мягким спектром протонов и умеренным уровнем геомагнитной возмущенности <sup>3/</sup>.

Третий период походил на фоне сильнейшей геомагнитной бури <sup>3/</sup>. Поэтому, не смотря на то, что потоки протонов были заметно меньше, чем во время предыдущего возрастания СКЛ, значения поглощенных доз на борту станции оказались лишь немного меньше.

На рис. 2 представлены аналогичные результаты, полученные по данным прибора Р-16. К сожалению, 25 октября перестал нормально функционировать канал Д2 прибора Р-16. Ионизационная камера этого канала не имеет дополнительной защиты из оргстекла и поэтому оказывается более чувствительной к изменениям радиационной обстановки. Восстановить функционирование канала Д2 удалось только после 20 часов 28 октября, поэтому первая часть возрастания в показаниях данного канала оказалась пропущенной (горизонтальный участок на рис. 2). Тем не менее наличие данных по остальным детекторам позволило уверенно контролировать радиационную обстановку на борту МКС в течение всего возмущенного периода.

В таблице 2 представлены значения поглощенных доз, обусловленных вкладом СКЛ. (Из зарегистрированных приращений доз вычтены значения, характерные для уровня доз ГКЛ и РПЗ в невозмущенных условиях.) Представленные в таблице 2 данные иллюстрируют значительный перепад доз в отсеках станции в периоды ухудшения радиационной обстановки и эффективность мероприятий по снижению уровней радиационного воздействия на экипаж за счет перехода в более защищенные зоны МКС.

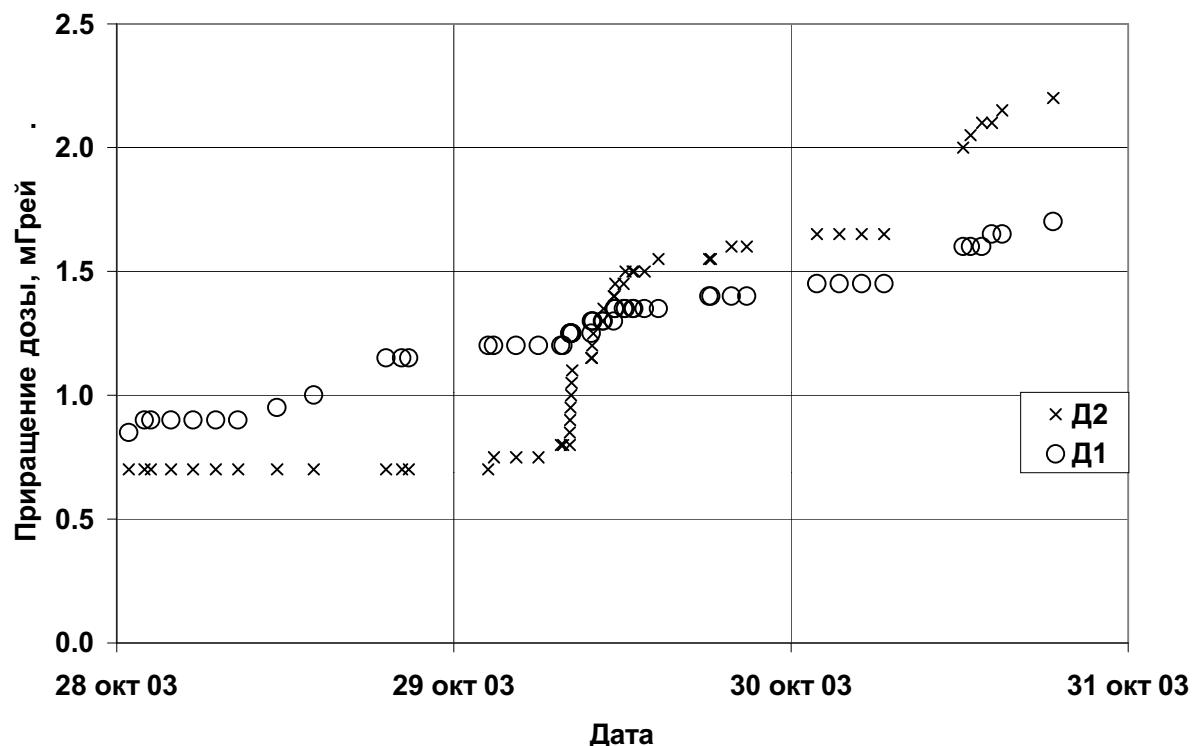


Рис. 2 Динамика накопления дозы по данным дозиметра Р-16.

Таблица 2.

Значения поглощенных доз, обусловленных вкладом СКЛ.

Измерительный прибор		Доза, за период с 15:00 по 20:00 UT 28 октября 2003 мГр (мрад)	Доза, за период с 8:00 по 20:00 UT 29 октября 2003 мГр (мрад)	Доза, за период с 9:00 по 20:00 UT 30 октября 2003 мГр (мрад)
ДБ-8 №1	не экр.	1,73 (173)	4,90 (490)	2,02 (202)
	Защищенный	1,19 (119)	2,00 (200)	1,20 (120)
ДБ-8 №2	не экр.	0,80 (80)	2,08 (208)	0,906 (90,6)
	Защищенный	0,50 (50)	0,66 (66)	0,49 (49)
ДБ-8 №3	не экр.	0,88 (88)	1,32 (132)	0,86 (86)
	Защищенный	0,69 (69)	0,76 (76)	0,64 (64)
ДБ-8 №4	не экр.	0,31 (31)	0,42 (42)	0,28 (28)
	Защищенный	0,30 (30)	0,294 (29,4)	0,246 (24,6)
Р-16	канал Д2 (не экр)	-	0,60 (60)	0,40 (40)
	канал Д1 (защищенный)	0,15 (15)	0,10-0,15 (10-15)	0,05 – 0,10 (5 – 10)

Отметим, что значения поглощенных доз на борту МКС, обусловленные солнечными протонными событиями октября 2003 года, оказались существенно меньше значений доз, зарегистрированных на станции «МИР» в октябре 1989 года. Сопоставляя величины, представленные в таблице 2 можно оценить суммарное значение дозы по каналу Д2 прибора Р-16. Исходя из значений наиболее близкого по показаниям защищенного канала блока ДБ-8 №2 суммарное значение дозы по каналу Д2 прибора Р-16 оценивается 1,4 мГр (140 мрад). Суммарное значение дозы по каналу Д2 прибора Р-16 от солнечных протонных событий, зарегистрированное на станции «МИР» в октябре 1989 года составило 30,7 мГр (3070 мрад) <sup>4</sup>/. Как показано в работе Бондаренко и др. <sup>5</sup>/ столь значительное различие доз при близких параметрах потоков и спектров протонов СКЛ обусловлено различием в условиях проникновения на траекторию полета станций, а также более высокой степенью защищенности прибора Р-16 на МКС по сравнению со станцией «МИР».

Значения поглощенных доз, обусловленные протонами СКЛ в октябре 2003, года близки, но несколько превышают значения, зарегистрированные в периоды возмущенной радиационной обстановки на МКС осенью 2001 года. В таблице 3 приведены соответствующие значения, взятые из работы <sup>6</sup>/.

Таблица 3.

Значения поглощенных доз, обусловленные протонами СКЛ в периоды возмущенной радиационной обстановки на МКС осенью 2001 года.

Измерительный прибор		Доза, за событие 24 сентября 2001 мГр (мрад)	Доза, за событие 04 ноября 2001 г мГр (мрад)
ДБ-8 №1	не экр.	1,65 (165)	2,60 (260)
	Защищенный	0,75 (75)	1,10 (110)
ДБ-8 №2	не экр.	1,26 (126)	1,14 (114)
	Защищенный	0,80 (80)	0,40 (40)
ДБ-8 №3	не экр.	0,59 (59)	0,75 (75)
	Защищенный	0,41 (41)	0,39 (39)
ДБ-8 №4	не экр.	0,19 (19)	0,09 ( 9)
	Защищенный	0,14 (14)	< 0,04 ( < 4)
Р-16	канал Д2 (не экр)	1,25 (125)	0,60 (60)
	канал Д1 (защищенный)	0,20 (20)	0,10-0,15 (10-15)

Из данных, представленных в таблицах 2 и 3 можно видеть также, что поставленная при создании СРК задача - обеспечить различные условия

экранированности детекторов СРК оборудованием станции - успешно выполнена. Полученные данные были использованы для оценок зависимости ослабления дозы от толщины защиты. Для этого были рассчитаны эффективные значения толщины экранировки детекторов для каждого из рассмотренных периодов. Исходной информацией для расчетов служили функции экранированности детекторов ДБ-8 полученные Митрикасом <sup>7/</sup>. Результаты для наибольшего значения дозы СКЛ, наблюдавшегося 29 октября 2003 представлены на рис. 3. в виде зависимости дозы (в кремнии) от толщины защиты. Ромбиками отмечены данные измерений (из таблицы 2). Кривая представляет собой аппроксимирующую зависимость, рассчитанную по методике <sup>8/</sup> для экспоненциальной по жесткости формы представления спектра протонов СКЛ <sup>9/</sup>. Параметры спектра, использованные для аппроксимации, имели значения  $R_0 = 100 \text{ MV}$ ,  $N_0 = 8.5 \times 10^6 \text{ протон/см}^2$ . Отметим, что за счет влияния геомагнитного поля и орбитального движения станции, значения характеристической жесткости спектра  $R_0$ , формирующего дозы в станции, оказались заметно больше, чем соответствующее значения, вычисляемые на основе спектров протонов, зарегистрированных на спутниках GOES <sup>1/</sup>. Это связано с повышенным вкладом высокоэнергичных протонов из-за влияния границы области проникновения.

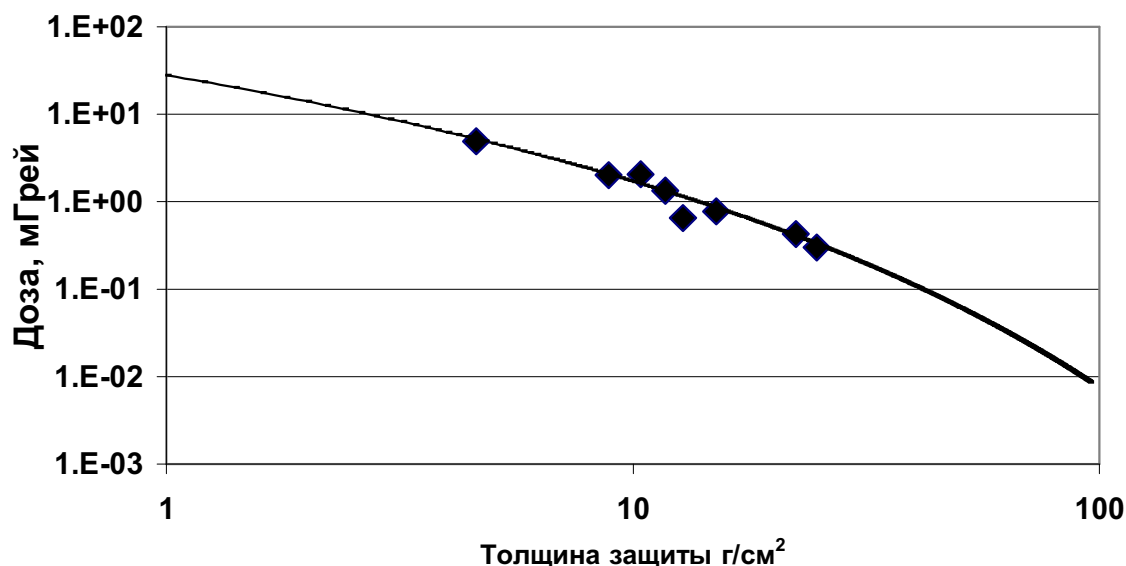


Рис. 3. Зависимость дозы от толщины защиты за период с 8:00 по 20:00 UT 29 октября 2003 года. Ромбиками отмечены данные измерений.

Заметного влияния других солнечных протонных событий конца октября – начала ноября 2003 года на радиационную обстановку на борту МКС обнаружено не было. Можно отметить небольшое увеличение среднесуточной мощности дозы после 30 октября. В таблице 4 представлены

значения среднесуточной мощности дозы до и после рассмотренных возрастаний по каждому из детекторов блоков ДБ-8.

Таблица 4.

Измерительный прибор		Среднесуточная мощность дозы за период с 0:00 UT 21 октября по 7:00 UT 28 октября мГр/сутки	Среднесуточная мощность дозы за период с 0:30 UT 31 октября по 22:50 UT 9 ноября мГр/сутки
ДБ-8 №1	не экр.	0.207	0.301
	Защищенный	0.210	0.271
ДБ-8 №2	не экр.	0.234	0.240
	Защищенный	0.247	0.228
ДБ-8 №3	не экр.	0.175	0.242
	Защищенный	0.188	0.232
ДБ-8 №4	не экр.	0.140	0.165
	Защищенный	0.163	0.184

По всем блокам, кроме ДБ-8 №2, наблюдается возрастание, особенно заметное для наименее защищенного блока ДБ-8 №1. Причиной увеличения среднесуточной мощности дозы является, по-видимому, вариация структуры радиационного пояса Земли <sup>10, 11, 12</sup>.

На рис. 4 представлен график мощности дозы, зарегистрированной 1 ноября 2003 г. незащищенным детектором блока ДБ-8 №1 на нисходящем участке траектории, проходящем через зону ЮАА. Хорошо видно наличие второго максимума мощности дозы после прохождения зоны Южно-атлантической аномалии. Это иллюстрирует влияние нестационарных процессов в РПЗ на радиационную обстановку на борту МКС.



Рис. 4. Мощность дозы, зарегистрированная 1 ноября 2003 г. незащищенным детектором блока ДБ-8 №1 на нисходящем участке траектории.

## Заключение

Работа СРК РС МКС позволила уверенно контролировать радиационную обстановку на борту МКС в период крупных солнечных протонных событий октября 2003 года. Вклад солнечных космических лучей в поглощенную дозу за 2 суток полета с 15 часов 28 октября до 15 часов 30 октября составил 0.85 мГр (85 мрад) в районе рабочего стола отсека большого диаметра Служебного модуля (панель № 435) и 8.65 мГр (865 мрад) в районе панели № 410. Это наибольшие значения за период регистрации дозы на борту МКС. Полученные данные дают исходную информацию для верификации модельных описаний радиационных условий на траектории полета МКС, методик расчета условий защищенности и значений доз на борту станции в период солнечных протонных событий.

## Литература.

1 <http://www.sel.noaa.gov/ftpmenu/lists/particle.html>

2 [http://www.sel.noaa.gov/ftpdire/lists/xray/20031029\\_G10xr\\_1m.txt](http://www.sel.noaa.gov/ftpdire/lists/xray/20031029_G10xr_1m.txt)

3 <http://swdcbd.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

4 V.V.Benghin, V.M.Petrov, M.V.Teltsov, I.V.Chernykh, V.I.Shumshurov. Dosimetric control on board the MIR space station during the solar proton events of September - October 1989. Nucl Traks Radiation meas. Vol 20, No 1, pp. 21-23, 1992.

5 В.А. Бондаренко, В.Г. Митрикас, В.В. Цетлин. КРУПНЫЕ ПРОТОННЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НА ОРБИТЕ. 14 ЛЕТ СПУСТЯ.

<http://www.imbp.ru/webpages/win1251/Science/articlies/2003/proton.doc>

6 V.M. Petrov, V.V. Benghin, V.A. Shurshakov, I.V. Chernykh, A.V. Markov, V.I. Lyagushin, A.N. Volkov, A.P. Aleksandrin, Yu.L. Germantsev, M.I. Panasyuk, G.Ya. Kolesov, M.V. Tel'tsov, Yu.V. Kutuzov, O.V. Morozov. Characteristics of radiation environment onboard the Russian segment of the ISS measured by the radiation monitoring system. Workshop on radiation monitoring of the ISS, Paris, France, Sep. 2-4, 2002.

<http://www.magnet.oma.be/wrmiss/workshops/seventh/workshop.html>

7 В.Г. Митрикас. Модель защищенности обитаемых отсеков служебного модуля международной космической станции. – Авиакосмическая и экологическая медицина, в печати.



---

8 РД 50-25645.208-86 Методические указания Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Методика расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов космических лучей за защитой. М. Госстандарт СССР, 1986 г.

9 ГОСТ 25645.134-86 Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Лучи космические солнечные. Модель потоков протонов. М. Госстандарт СССР, 1986 г.

10 Shurshakov-VA; Petrov-VM; Makhmutov-VS; Dachevs New radiation belt dynamics according to measurements made by the Lyulin dosimeter on board the MIR Space Station in 1991. *Radiation-Measurements*. vol.26, no.3; May 1996; p.379-84. 1996

11 Ts. Dachev, J.V. Semkov, Yu. N. Matviichuk, B.T. Tomav, R.T. Kaleva, V.M. Petrov, V.V. Shurshakov, and Yu. Ivanov, Inner magnetospheric variations after solar proton events, *Adv. Space Res.* **22**: 521-524 (1998).

12 G.D. Badhwar, Radiation Measurements in Low Earth Orbit: U.S. and Russian Results, *Health Physics* **79**, 507-514 (2000).