

ГЕОФИЗИКА

УДК 524.1:523.9

## ВАРИАЦИИ ДОЗ РАДИАЦИИ НА СТАНЦИИ "МИР" ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

М.В.Тельцов, В.И.Шумшуров, В.В.Цетлин

(НИИЯФ)

На основе многолетних измерений доз радиации внутри орбитальной станции "Мир" исследуются вариации доз, связанные с 11-летним циклом солнечной активности, с сезонными изменениями потоков частиц радиационных поясов Земли на орбитах станции и с солнечными протонными вспышками.

На борту орбитальной станции "Мир" для оперативного контроля за радиационной обстановкой на станции установлена дозиметрическая аппаратура Р-16, в состав которой входят две ионизационные камеры с электростатическим реле [1]. Каждая камера имеет почти изотропную чувствительность и высокую точность измерения дозы (погрешность менее 5%), не изменяющуюся в течение многих лет непрерывной работы. Одна из камер ограничена только собственной стенкой из оргстекла (массовая толщина — 0,5 г/см<sup>2</sup>), другая, точно такая же, дополнительно защищена экраном для измерения глубинной дозы (3 г/см<sup>2</sup>). Установка прибора Р-16 внутри станции дополнительно защищает камеры материалом конструкции станции, так что одна камера в значительном телесном угле обладает результирующей защитой 2 г/см<sup>2</sup>, а заэкранированная — 4,5 г/см<sup>2</sup>; таким образом, основной вклад в измеряемую внутри станции дозу могут давать лишь протоны с энергиями более 40 и 70 МэВ и электроны с энергиями более 4 и 8,5 МэВ соответственно.

Рассматривая многолетние измерения, необходимо учесть изменения орбиты станции "Мир". Орбитальная станция "Мир" летает на квазикруговой орбите с высотой ~ 400 км, углом наклона 51,6° и периодом обращения ~ 1,54 ч. Эта орбита поддерживается на протяжении многих лет работы станции путем частой коррекции, время проведения которой в основном зависит от условий стыковки станции с пилотируемыми и транспортными кораблями. В среднем апогей станции меняется в пределах 410 ± 15 км, а перигей — 380 ± 15 км. Ориентация станции также соответствовала характеру деятельности экипажей и условиям стыковки, но так как детекторы, измеряющие дозы радиации внутри станции, обладают почти изотропной чувствительностью, а рассматриваемые ниже вариации и, следовательно, усреднение измерений, носят долгопериодный характер, влиянием ориентационных эффектов, включая и вращение станции, на результаты анализа можно пренебречь.

Массив обработанных данных составлен на основе ежедневных измерений доз внутри станции. Для выравнивания интегральных доз за каждый месяц года учи-

тывались значения, полученные за первые 28 суток. На рис.1 представлены такие месячные интегральные дозы  $D_1$  и  $D_2$  за 1991—1995 гг. Доза  $D_1$  (глубинная) регистрируется ионизационной камерой с защитой ~ 4,5 г/см<sup>2</sup>, а доза  $D_2$  — с защитой ~ 2 г/см<sup>2</sup>. Как видно из рис.1, за четыре года доза  $D_1$  изменяется от 300 до 700 мрад в месяц, т.е. на 100 мрад ежегодно, без существенных вариаций, следуя в противофазе за 11-летним циклом солнечной активности, в то время как доза  $D_2$  изменяется более значительно: например, за полгода — с декабря 1993 г. по апрель 1994 г. — на 400 мрад (от 1200 до 1600 мрад в месяц). Отметим также, что далее месячная доза  $D_2$  удерживается на высоком уровне, проходя через максимум, а затем с июля—августа 1994 г. начинает спадать и в декабре 1994 г. доходит вновь до уровня 1200 мрад в месяц. Такое периодическое изменение дозы  $D_2$  наблюдается, как видно из рис.1, несколько лет подряд и, по-видимому, происходит ежегодно.

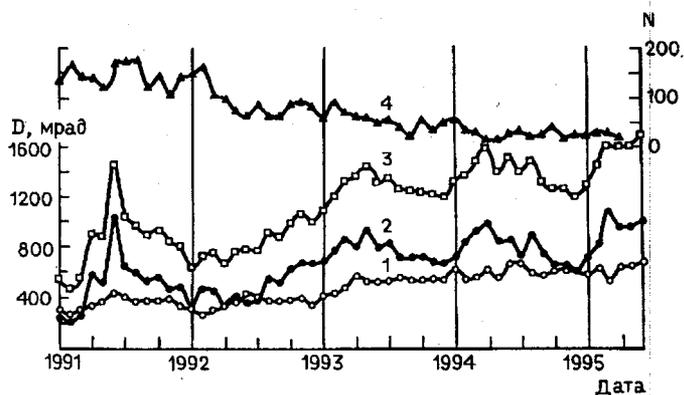


Рис.1. Вариации доз радиации на станции "Мир" за 1991—1995 гг.: 1 — доза  $D_1$ , 2 — разность  $D_2 - D_1$ , 3 — доза  $D_2$ , 4 — среднегодовые числа солнечных пятен

Основной вклад в дозу  $D_1$  вносят галактические космические лучи (ГКЛ), что и объясняет малые изменения месячных (а также суточных) значений и зависимость дозы  $D_1$  от 11-летнего цикла солнечной активности. Доза  $D_2$  в основном зависит от проникающего излучения радиационных поясов Земли (РПЗ). Учтены

вая полную идентичность ионизационных камер, можно выделить вклад в дозу  $D_2$  от РПЗ, вычитая  $D_1$  из  $D_2$ . На рис.1 приведена разностная кривая. Эта кривая наиболее четко показывает зависимость вариации доз радиации от времени года, т.е. ее "сезонные" изменения: в 1991 и 1994 гг. месячные вариации достигают значительных величин (до 50% от максимальных значений, регистрируемых летом), в 1993 г. — не более 25%, а в 1992 г. они почти не выражены. Эти вариации наблюдаются впервые, они не были предсказаны теорией РПЗ и не учитывались ни одной из расчетных моделей. Причинами, обуславливающими эти вариации, могут быть сезонные изменения плотности верхней атмосферы, определяющие механизм потерь частиц РПЗ, особенно в области Бразильской аномалии. Известно, что глобальные полугодовые вариации плотности термосферы на высоте 400 км составляют

$$\rho_{\max}/\rho_{\min} \approx 1,7,$$

где  $\rho_{\max}$  — плотность в октябре—ноябре, а  $\rho_{\min}$  — плотность в июле. Максимальное же отношение  $\rho_{\max}/\rho_{\min}$  достигается на высотах 800 км и составляет 2,2. Как было показано в работе [2], эти полугодовые вариации плотности также меняются от года к году, причем прослеживается некоторая трехлетняя периодичность.

Следующими по масштабу времени являются спорадические возрастания доз на станции в течение нескольких суток, связанные с солнечными протонными вспышками. Вклад в дозу от вспышек СКЛ четко выделяется в процессе длительных измерений. На фазе роста солнечной активности 22-го цикла в марте и в июне 1991 г. отмечались солнечные протонные вспышки, в которых суточная доза радиации  $D_2$  возросла от 25-30 до 245 мрад в сутки. Результаты измерений во время вспышки и после ее окончания представлены на рис.2. Уровни ра-

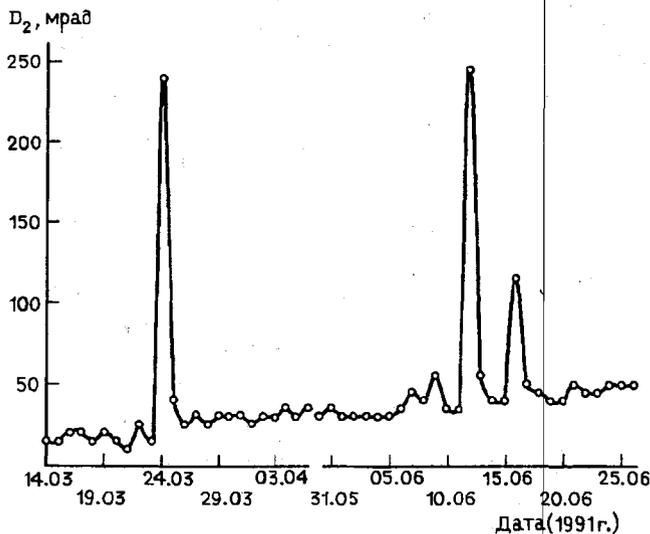


Рис.2. Среднесуточные вариации дозы  $D_2$  во время солнечных вспышек в марте—июне 1991 г.

диации до вспышки и сразу после вспышки ("пьедастал"), как это видно из рисунка, отличаются пример-

но в 1,5 раза, а вклад от вспышки в суммарную дозу за месяц составляет  $\sim 20\%$ . В конце октября 1992 г. произошла большая "двойная" вспышка и мощность дозы достигла 160 мрад в сутки при практически неизменном "пьедастале" (рис.3). Суммарная доза за месяц возросла за счет вспышки на 320 мрад. Как было показано нами

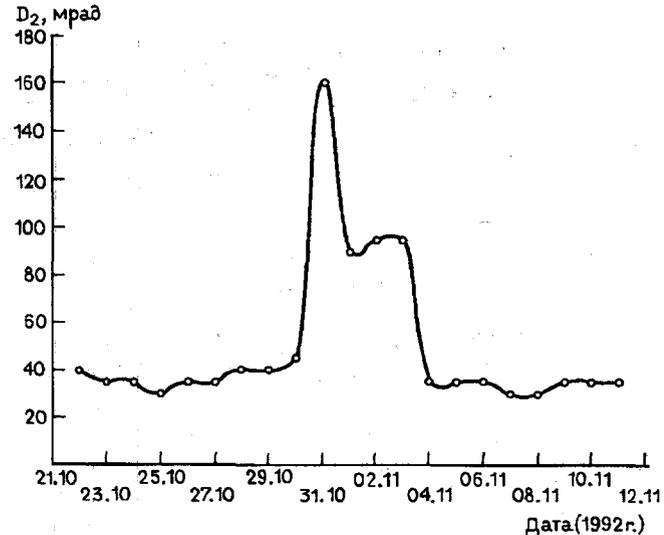


Рис. 3. Среднесуточные вариации дозы  $D_2$  во время солнечной вспышки в октябре—ноябре 1992 г.

при анализе вспышки в сентябре—октябре 1989 г. [3], граничная инвариантная широта проникновения солнечных протонов с энергией 40 МэВ ( $A_{pp}$ ) составляла  $65^\circ$  и станция "Мир" находилась на полярном плато солнечных протонов всего несколько минут в сутки. Однако это время может увеличиться более чем на порядок в фазе развития сильной магнитной бури, когда  $A_{pp}$  уменьшается вплоть до  $55^\circ$ . Таким образом, вариации суточных доз зависят не только от потока солнечных протонов, но и от конкретной геомагнитной обстановки. Интересно проанализировать влияние солнечных вспышек на величину дозы внутри станции, сравнивая пьедасталы до и после вспышки. Мартовские вспышки 1991 г. существенно отличаются от всех остальных, зарегистрированных на станции. Как отмечалось при анализе результатов наблюдений на спутнике GRRES [4], во время мартовской вспышки произошла инжекция высокоэнергетических электронов и протонов непосредственно в область РПЗ, что привело к образованию достаточно стабильного дополнительного источника проникающего излучения.

### Заключение

1. Доза радиации на борту станции "Мир" от галактических космических лучей претерпевает долгопериодные вариации, следуя в противофазе 11-летнему циклу изменения солнечной активности. Максимальные вариации достигают  $\sim 50\%$  от величины в минимуме солнечной активности.

2. Доза радиации от протонов и электронов радиационных поясов Земли претерпевает "сезонные" (полугодовые) вариации. В отдельные годы сезонные изменения доз достигают 50% от величины, зарегистрированной в летние месяцы. Эти вариации связаны с потерями частиц РПЗ в области Бразильской магнитной аномалии на высотах орбиты станции.

3. Спорадические вариации доз радиации на станции "Мир", связанные с солнечными вспышками, являются наиболее короткопериодными (несколько суток). Однако в исключительных случаях (март 1991 г.) их влияние проявляется в течение длительного периода времени после вспышки, существенно повышая среднесуточную дозу.

Авторы благодарят В.И. Ставринова за помощь в обработке и оформлении материала.

## Литература

1. Юртин Е.И., Шумшуров В.И., Фоминых В.А., Тельцов М.В. // Измерит. техника. 1979. №3. С.48.
2. Gook G.E. // Planet.Space Sci. 1972. 20. P.473.
3. Тверская Л.В., Тельцов М.В., Шумшуров В.И. // Геомагнетизм и аэрономия. 1991. 31. С.928.
4. Blake B. // STEP International. 1992. Vol.2. P.1.

Поступила в редакцию  
22.12.95

## ГЕОФИЗИКА

УДК 551.465

# К ВОПРОСУ О ТЕПЛОПOTЕРЯХ ВОДОЕМА В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

Я.Л.Александров, Е.П.Анисимова, С.Н.Дикарев, А.А.Сперанская, О.А.Сперанская

(кафедра физики моря и вод суши)

Рассматривается интегральная численная модель, позволяющая определять плотность потока тепла из воды в воздух в условиях свободной конвекции и неаэрированной водной массы. В модель в качестве определяющих внешних параметров входят температура воды и воздуха и влажность воздуха и не входит температура подстилающей водной поверхности. Результаты расчетов потерь тепла водоемом сравниваются с данными экспериментов.

В настоящее время в научной литературе имеется обширный материал, посвященный исследованию свободно-конвективного движения в системе водоем—атмосфера. Из отечественных исследований хорошо известны работы Института физики атмосферы [1–3], Института океанологии [4] и коллектива авторов Главной геофизической обсерватории [5]. На протяжении многих лет работы по изучению свободно-конвективного движения проводятся и в МГУ [6,7]. Многочисленные исследования в этой области ведутся за рубежом (см., напр., [8]).

В результате экспериментальных и натурных работ установлено, что закон теплопередачи для свободной турбулентной конвекции, имеющий вид

$$\text{Nu} = \text{ARa}^{1/3}, \quad \text{Nu} = \frac{Ql}{c_p \rho k \Delta t}, \quad \text{Ra} = \frac{g \alpha \Delta t l^3}{\nu k}, \quad (1)$$

применим и к системе водоем—атмосфера. В зависимости (1)  $Q$  — поток тепла,  $c_p$  — удельная теплоемкость жидкости при постоянном давлении,  $l$  — масштаб длины,  $\Delta t$  — разность температур на границах рассматриваемой области,  $\nu$  — кинематическая вязкость,  $k$  — коэффициент температуропроводности жидкости,  $g$  — ускорение свободного падения,  $\alpha$  — температурный коэффициент объемного расширения,  $\rho$  — плотность,  $A$  — числовой коэффициент. Наиболее часто значение коэффициента  $A$  в формуле (1) принимается равным 0,14.

Для определения плотности потоков скрытого и явного тепла на границе раздела вода—воздух существует целый ряд параметризационных формул, основанных на зависимости (1). Все они используют ряд внешних параметров, включающий такую трудно определяемую величину, как температура водной поверхности  $t_s$ . В настоящей работе сделана попытка в качестве опреде-