

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 — 1968

УДК 629.192.2; 613.693;

Б. М. МАХМУДОВ

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ ПРИ ПОЛЕТАХ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ

Дается обзор результатов экспериментов по измерению поглощенной дозы космической радиации при полетах искусственных спутников Земли и космических кораблей с человеком на борту.

При запуске первых космических кораблей-спутников было проведено исследование радиационной обстановки на высотах 180—370 км. Результаты дозиметрических измерений, проведенные на этих кораблях-спутниках, дали возможность получить данные о величине поглощенной дозы космической радиации внутри корабля-спутника и степени радиационной опасности.

Согласно данным [1, 2], средняя величина мощности дозы по измерениям на втором и третьем корабле-спутнике составляет около 8,5 *мрад* в сутки. Были получены карты распределения мощности доз, измеренных внутри кабины корабля по траектории полета этих спутников вокруг земного шара (см., например, рис. 1). По данным [3], величина мощности дозы при измерениях на четвертом и пятом корабле-спутнике составляла от 6 до 10 *мрад* в сутки. Надо отметить, что результаты измерения доз космической радиации авторами [1, 2, 3] находятся в хорошем согласии. Эти измерения были практически доказательством безопасности полета человека на космических кораблях на высотах 200—400 км при отсутствии крупных солнечных хромосферных

Таблица 1

Краткие характеристики полетов советских кораблей-спутников

Корабль-спутник	Дата запуска	Вес, кг	Начальные параметры орбиты			
			накло- ние, град	перигей, км	апогей, км	период об- ращения, мин
Первый	15/V 1960 г.	4540	65,00	312	369	91,2
Второй	19/VIII 1960 г.	4600	64,95	306	339	90,7
Третий	1/XII 1960 г.	4563	65,00	187	265	88,6
Четвертый	9/III 1961 г.	4700	64,93	183	248	88,5
Пятый	25/III 1961 г.	4695	65,00	178	247	88,4

вспышек. В табл. 1 приводятся краткие характеристики серии советских космических кораблей-спутников, на которых производились измерения космической радиации.

Расчеты доз производились путем нахождения суммарного потока радиации, состоящего из заряженных частиц, нейтронов и фотонов. Затем вычислялась полная поглощенная энергия, равная сумме энергий, отданных компонентами потока радиации, приходящей в объем, выбранный для вычисления дозы. Если известен энергетический спектр каждого компонента  $NE$ , то доза определяется выражением

$$D = \int_0^{\infty} N(E) E_{\text{полг}} dE, \quad (1)$$

где  $E$  — поглощенная энергия в рэдах, теряемая в выбранном объеме частицами с начальной энергией  $E$ . Такой расчет повторяется для частиц каждого типа, а затем находится полная поглощенная доза в выбранном объеме.

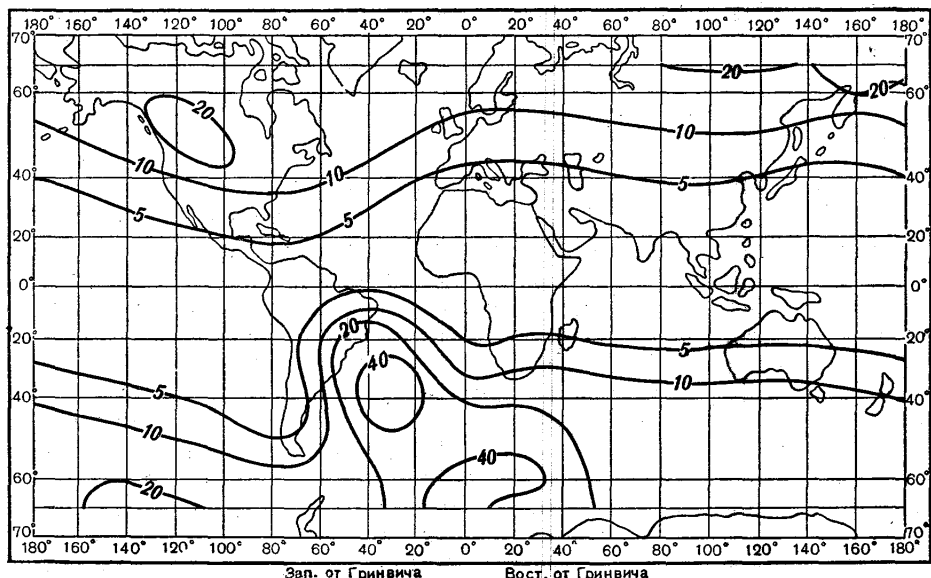


Рис. 1. Распределение мощности поглощенной дозы внутри кабины второго космического корабля-спутника. Цифры означают мощности поглощенной дозы в *мрад/сутки*. Средняя высота орбиты 320 км. Средняя толщина защиты 3 г/см<sup>2</sup>

12 апреля 1961 г. был проведен успешный запуск космического корабля «Восток» с космонавтом Ю. А. Гагариным. Полет корабля продолжался 1,8 час. Вслед за этим в космическое пространство стартовали другие корабли типа «Восток» и «Восход» с космонавтами на борту. Краткие характеристики полетов космических кораблей-спутников типа «Восток» и «Восход» приводятся в табл. 2. На борту кораблей находились индивидуальные дозиметры ИЛК и бортовая дозиметрическая аппаратура.

По показаниям карманного дозиметра ИЛК-4, доза космического излучения у космонавта Ю. А. Гагарина составляла: без фильтра 1,6 *мрад*, с фильтром толщиной 3,2 мм Al 2,2 *мрад*, с фильтром толщиной 1,3 мм Pb 2,0 *мрад*.

В основном эта доза создавалась первичным космическим излучением. Продолжительность полета космического корабля «Восток-2» с космонавтом Г. С. Титовым была 25,3 час, поэтому доза, полученная Г. С. Титовым, была в несколько раз больше, чем доза, полученная Ю. А. Гагариним.

По показаниям индивидуальных дозиметров, доза, полученная Г. С. Титовым, составляла: 12,0 мрад при отсутствии фильтра, 13,0 мрад при фильтре толщиной 3,2 мм Al; 8,7 мрад при фильтре толщиной 1,3 мм Pb.

Поглощенная доза радиации, измеренная бортовой аппаратурой при полете космических кораблей «Восток-3» и «Восток-4» с продолжительностью полета 94,37 и 70,95 час [5], составляла: 55 мрад у космонавта А. Г. Николаева, 41 мрад у космонавта П. Р. Поповича.

Средняя мощность поглощенной дозы радиации была 17 мрад в сутки. Измеренные дозы производилось дозиметрической аппаратурой, установленной на борту кораблей. На рис. 2 приведены значения зависимости суммарной поглощенной дозы от времени полета. Из рис. 2 видно, что с увеличением времени полета почти линейно растет величина поглощенной дозы.

По данным индивидуальных дозиметров [6], величина поглощенной дозы, полученная космонавтом А. Г. Николаевым, составляла  $48 \pm 10$  мрад, а космонавтом П. Р. Поповичем  $42 \pm 10$  мрад. А средняя мощность дозы составляла  $13 \pm 2$  мрад в сутки.

Значения поглощенной дозы [5] и [6] на кораблях «Восток-3» и «Восток-4» близки по величине, их различия характеризуют лишь точность измерений. Во время полета космических кораблей «Восток-5» и «Восток-6» с космонавтами В. Ф. Быковским и В. В. Терешковой мощность дозы увеличилась до  $20 \pm 2$  мрад в сутки. Это увеличение объясняется возрастанием интенсивности первичного космического излучения в связи с наступлением периода минимума солнечной активности. Продолжительность полета космонавтов В. Ф. Быковского и В. В. Терешковой составляла 119 и 71 час соответственно, а поглощенная доза составляла 50 и 30 мрад. По данным [8], мощность дозы во время полета кораблей «Восток-5» и «Восток-6» составляла 16 мрад в сутки, а поглощенная доза  $80 \pm 5$  мрад для В. Ф. Быковского и  $44 \pm 5$  мрад для В. В. Терешковой.

Результаты исследований уровня космической радиации на высотах 200—400 км, проведенные на искусственных спутниках Земли и космических кораблях «Восток» и «Восход», показали, что на этих высотах пребывание космонавта в течение времени порядка десятков дней не представляет радиационной опасности. Космический корабль «Восход-2», запущенный 18/III 1965 г., поднялся до высоты 495 км при продолжительности полета 26,03 час. По расчетным данным [9], суточная доза должна быть в несколько раз больше доз при более ранних полетах, поскольку увеличение высоты полета связано с более длительным пребыванием в зоне радиационных поясов.

Также предполагалось, что во время этого полета поглощенная доза у космонавта А. А. Леонова должна быть больше, чем у П. П. Беляева, так как А. А. Леонов некоторое время находился вне корабля

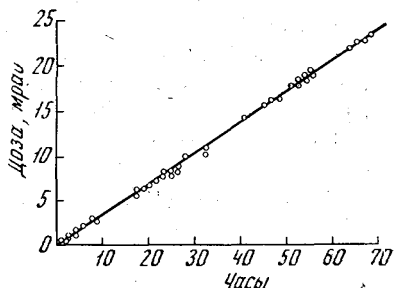


Рис. 2. Зависимость суммарной поглощенной дозы внутри космического корабля от времени полета

в открытом космосе. Результаты измерений показали, что поглощенная доза радиации, полученная космонавтами П. П. Беляевым и А. А. Леоновым, была практически одинаковой. Однако среднее значение мощности тканевой дозы, полученной на корабле «Восход», в 2 раза, а на корабле «Восход-2» в 4 раза больше соответствующих доз, полученных при полетах космонавтов на космических кораблях «Восток», что объясняется как увеличением высоты полета, так и повышением интенсивности первичного космического излучения, связанным с солнечной активностью.

Поглощенная доза, полученная космонавтами К. П. Феоктистовым, В. М. Комаровым, Б. Б. Егоровым на корабле «Восход», составляла: по данным индивидуальных дозиметров,  $30 \pm 5$  или  $29 \pm 3$  *мрад/сутки*, по данным бортового дозиметра  $27 \pm 1$  или  $26 \pm 1$  *мрад/сутки*, а доза, полученная космонавтами А. А. Леоновым и П. П. Беляевым на корабле «Восход-2», составляла: по данным индивидуальных дозиметров,  $70 \pm 5$  *мрад*, а средняя мощность дозы  $65 \pm 3$  *мрад/сутки*, по данным бортового дозиметра  $65 \pm 1$  и  $60 \pm 1$  *мрад/сутки*.

Такая поглощенная доза не представляет опасности для здоровья космонавтов.

По данным [10], поглощенная доза, полученная космонавтом У. Ширра, составляла на глаза и кожу верхней части туловища 30 и 18 *мрад* соответственно.

У космонавта Купера во время полета на корабле «Меркурий-9» установленные на бедре, шлеме и груди дозиметры зарегистрировали одну и ту же поглощенную дозу, равную 15 *мрад*.

Таблица 2

Некоторые данные о полетах космических кораблей и поглощенных дозах космической радиации, полученных при этих полетах

	Дата запуска	Начальные параметры орбиты				Продолжительность полета, час	Поглощенная доза ( <i>мрад</i> ) за весь полет
		наклон, град	перигей, км	апогей, км	период обращения, мин		
«Восток» Ю. А. Гагарин	12/IV 1961	64,95	181	327	89,1	1,8	$2 \pm 1$
«Восток-2» Г. С. Титов	6/VIII 1961	64,93	178	257	88,45	25,3	12,0
«Восток-3» А. Г. Николаев	11/VIII 1962	64,99	180,7	234,6	88,33	94,37	55
«Восток-4» П. Р. Попович	12/VIII 1962	64,95	179,8	236,7	88,39	70,95	41
«Сигма-7» У. Ширра	3/X 1962	32,55	153	285	88,8	9,20	30
«Фейт-7» Г. Купер	15/V 1963	32,53	161	267	88,7	34,33	15
«Восток-5» В. Ф. Быковский	14/VI 1963	65,00	181	235	88,4	118,95	50
«Восток-6» В. В. Терешкова	16/VI 1963	65,00	183	231	88,3	70,7	30
«Восход» Б. Б. Егоров, К. П. Феоктистов и В. М. Комаров	12/X 1964	65,00	178	409	90,1	24,3	30
«Восход-2» А. А. Леонов и П. И. Беляев	18/III 1965	65,15	173	495	90,9	26,03	65

В таблице 2 приведены сведения поглощенных доз, полученных советскими и американскими космонавтами.

Дозиметрические измерения, проведенные на космических кораблях, позволили составить карты распределения мощности дозы по земному шару на высотах до 1000 км [11].

Таблица 3  
Распределение мощности доз на высотах от 300 до 1500 км

Высота апогея, км	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500
Доза внутри космического корабля за сутки, рад	0,012	0,025	0,050	0,070	0,100	0,200	0,300	0,700	2,000

В табл. 3 приведены величины суточной дозы внутри космического корабля, вызванной космической радиацией во время полета по эллиптическим орбитам с перигеем 300 км. Если принять в качестве допустимой дозы 15 рад, то при полетах с апогеем 1000 км время пребывания космонавта не должно превышать 20 суток. С дальнейшим увеличением высоты полета мощность дозы возрастает и на высоте 1500 км достигает 2 рад в сутки. При этом допустимая продолжительность полета сокращается до одной недели. На высотах от 300 до 1000 км длительность полета с учетом радиационной опасности может быть определена из таблицы. Следует отметить, что при полетах длительностью большей, чем 2 недели, существенную роль начинает играть возможность попадания космического корабля в период вспышек на Солнце. Хотя при полетах на околоземной орбите из-за экранирующего действия геомагнитного поля эта опасность снижается в несколько раз, по сравнению с полетами в межпланетном пространстве, она остается все же незначительной. Точное предсказание солнечных вспышек, а также использование в качестве защиты оборудования космического корабля откроют путь для продолжительных полетов на больших высотах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савенко И. А., Писаренко Н. Ф., Шаврин П. И. «Искусственные спутники Земли», вып. 9, 47—69, 1961.
2. Писаренко Н. Ф., Савенко И. А., Папков С. В., Шаврин П. И. «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 35—47, 1961.
3. Кеprim-Маркус И. Б., Ковалев Е. Е., Успенский Л. Н. «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 81—85, 1961.
4. Кеprim-Маркус И. Б., Ковалев Е. Е., Сергеева Н. А., Успенский Л. Н. «Искусственные спутники Земли», вып. 15, 102—104, 1962.
5. Савенко И. А., Писаренко Н. Ф., Шаврин П. И., Нестеров В. Е. «Космические исследования», 1, вып. 1, 176—179, 1963.
6. Кеprim-Маркус И. Б., Сергеева Н. А., Успенский Л. Н. «Космические исследования», 1, вып. 2, 303—309, 1963.
7. Савенко И. А., Писаренко Н. Ф., Шаврин П. И., Нестеров В. Е. «Космические исследования», 2, вып. 2, 304, 1964.
8. Бочвар И. А., Васильева А. А., Кеprim-Маркус, Просина Т. И., Сергеева И. А., Успенский Л. И. Ж. «Космические исследования», 2, вып. 2, 1964.
9. Писаренко Н. Ф., Волюнкин Ю. М., Антипов В. В., Давыдов Б. И., Добров Н. Н., Никитин М. Д., Самсонов П. П. Ж. «Космические исследования», 4, вып. 4, 630—634, 1966.
10. Wagner C. S. Gill W. L. NASA Rep. No. I, 862, 1963.

11. Сб. «Исследование космического пространства». М., «Наука», 1965, стр. 568.
12. Савенко И. А., Ефремов Ю. И., Никитин М. Д., Антипов В. В., Самсонов П. П. «Космические исследования» 1, вып. 2, 303—309, 1964.
13. Савенко И. А., Писаренко Н. Ф., Шаврин П. И., Нестеров В. Е. «Космические исследования», 1, вып. 2, 301—303, 1964.
14. Савенко И. А., Писаренко Н. Ф., Шаврин П. И. «Природа», № 3, 1965.
15. Савенко И. А. Автореферат НИИЯФ МГУ, 1963.
16. Писаренко Н. Ф. Автореферат, НИИЯФ МГУ, 1964.
17. Beck A. I., Dirita E. L. Amer. Rocket Soc. Pages, No. 11, 1962.
18. Anderson K. A. Ich. Wiley, No. 16, 1964.
19. Иванов В. П., Кеprim-Маркус И. Б., Ковалев Е. Е. «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 47—51, 1961.

Поступила в редакцию  
31. I 1967 г.

Кафедра  
космических лучей