

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P2-85-46

В.С.Барашенков, Ле Ван Нгок, С.Ю.Шмаков

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Направлено в журнал
"Авиация и космонавтика"

1985

Земная атмосфера подвержена постоянному облучению потоком космических частиц - галактическими космическими лучами и солнечными протонами. Обладающие высокой энергией частицы космического излучения растрчивают ее, образуя в земной атмосфере каскад вторичных частиц. Сталкиваясь с атомным ядром кислорода или азота, первичная частица дробит его, выбивая вторичные частицы, которые, в свою очередь, сталкиваются с другими атомными ядрами и рожают новые частицы, и так далее - до тех пор, пока не родится поколение медленных частиц, которые уже не способны разрушать атомных ядер. Они растрчивают остатки своей энергии в многократных упругих столкновениях с ядрами и, наконец, поглощаются ими с испусканием жесткого электромагнитного излучения гамма-квантов.

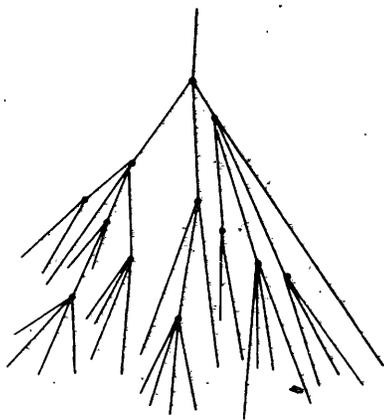


Рис. 1. Каскад ядерных частиц, порожденных первичной космической частицей.

Схематически процесс развития и поглощения каскада частиц в атмосфере можно изобразить в виде разветвленного дерева с узлами, где происходят ядерные взаимодействия, и соединяющими их ветвями - пробегами частиц между взаимодействиями /рис.1/. Если энергия первичной частицы велика, каскадное дерево становится очень разветвленным, в нем многие сотни, а иногда и тысячи узлов и ветвей.

Земную атмосферу постоянно пронизывает то увеличивающийся, то несколько снижающийся по интенсивности ливень ядерно-активных частиц. При обычных условиях радиационный биологический эффект этих частиц очень мал. На уровне моря он составляет в среднем приблизительно полпроцента предельно допустимой /безопасной/ дозы, принятой в настоящее время при работе с радиоактивными источниками /1/. На высоте 10-12 км этот эффект увеличивается, грубо говоря, в сто раз, а при переходе к высотам 15-20 км - еще вдвое*.

* Это при условии, что человек постоянно находится на этих высотах. Если же время пребывания равно часам, то доза облучения D/t часов/ $\approx D$ /год/ $\cdot t \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}$ и при t порядка десятков часов дает пренебрежимо малую добавку к облучению на уровне моря.

Число ядерно-активных частиц в атмосфере резко возрастает при хромосферных вспышках на солнце. Дозы облучения на высотах 10-15 км могут при этом возрасти в десятки, сотни, а иногда даже в десятки тысяч раз. В случае особенно мощных хромосферных вспышек /к счастью, они довольно редки/ за несколько часов полета на больших высотах можно набрать дозу облучения, которую лицам, работающим с радиоактивными препаратами, разрешается получить лишь в течение года.

Благодаря сложным эффектам рассеяния и отражения ливневых частиц доза облучения зависит также от количества и расположения топлива в самолете и от других деталей. Учет изменяющихся с течением времени факторов, влияющих на дозу облучения, представляет собой сложную задачу.

В Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ /Дубна/ создана математическая модель, которая с помощью ЭВМ воспроизводит картину рождения и распространения каскада частиц в атмосфере, позволяя проигрывать разнообразные ситуации и оценивать роль различных факторов, от которых зависит доза облучения экипажа и пассажиров самолета.

Исходным в этой модели является известный из эксперимента спектр падающего на границу земной атмосферы космического излучения. Из заданного спектра по закону случайных чисел выбирается энергия начальной частицы. Определяется длина ее пробега до взаимодействия с одним из ядер воздуха. Рассчитывается число рождающихся при этом вторичных частиц /протонов, нейтронов, π -мезонов/, их энергии и углы вылета. Для каждой вторичной частицы, в свою очередь, определяются длина пробега и характеристики ядерного взаимодействия в его конце. Далее прослеживается следующее поколение рождающихся частиц и т.д. до исчерпания всех каскадных частиц в рассматриваемой области пространства - в слое воздуха на определенной высоте или в каком-либо объеме V, который может быть частично или полностью экранирован блоками вещества с заданным химическим составом и плотностью.

Нетрудно заметить, что расчет имеет циклический характер и сводится к многократному повторению нескольких основных операций /см. рис. 2/.

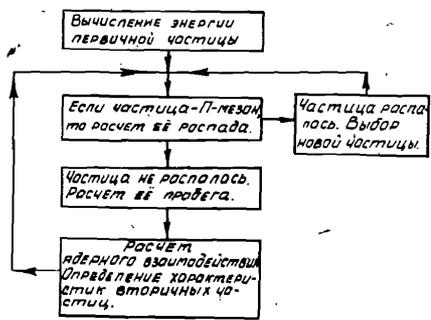


Рис. 2. Принципиальная схема расчета каскада частиц в атмосфере. Реальная схема включает много дополнительных деталей и поэтому значительно сложнее.

После того как рассчитано одно каскадное дерево, расчет повторяется для новой первичной частицы, приходящей из космоса, затем для следующей и т.д. Рассчитываются многие десятки, а иногда и сотни деревьев для того, чтобы уменьшить статистические флуктуации рассчитываемых величин. Такой подход соответствует реальному физическому процессу, происходящему в природе, где результирующий эффект составляется из независимых вкладов большого числа каскадов.

Поскольку рождающиеся в ядерных взаимодействиях π -мезоны - очень короткоживущие частицы /время жизни заряженных π^+ и π^- -мезонов $\sim 10^{-8}$ с, время жизни нейтрального π^0 -мезона $\sim 10^{-16}$ с/, многие из них, особенно в условиях разреженной атмосферы на больших высотах, должны распасться, не испытав ядерного взаимодействия. Однако в соответствии с теорией относительности время жизни частицы возрастает при увеличении ее скорости, поэтому даже часть π^0 -мезонов, если они обладают высокой энергией, успевают все же провзаимодействовать с одним из ядер воздуха. Эти эффекты учитываются при вычислении пробегов частиц.

Результатом расчета являются пространственные распределения потоков частиц различных типов, их угловые и энергетические распределения, доза облучения, поглощенная человеческим телом.

На рис. 3 в качестве примера показан результат вычисления высотной зависимости дозы облучения незащищенного человека протонами, нейтронами и π -мезонами, порождаемыми в атмосфере космическим излучением при обычных условиях - когда нет значительных хромосферных вспышек на солнце. Для наглядности доза излучения, полученная в течение часа на определенной высоте, D /за час/, приведена в отношении к величине среднесуточной дозы D санитар, принятой для лиц, работающих с радиоактивными излучениями*. При вычислениях учтена различная биологическая эффективность протонов, нейтронов и π -мезонов.

Доза облучения быстро возрастает при переходе к высотам 10-15 км, при дальнейшем увеличении высоты она растет уже значительно медленнее. Доза зависит от географической широты местности: при высотных полетах дозы на полюсе и экваторе различаются почти на порядок. Интенсивность облучения в области высоких широт, поскольку магнитное поле Земли отклоняет часть падающих на нее космических частиц /тех, энергия которых недостаточна для того, чтобы преодолеть магнитный барьер/, падает, и этот эффект более заметен на экваторе.

* Следует подчеркнуть, что санитарные правила устанавливают недельную и годовую предельно допустимые дозы облучения ^{1/}. Для небольших интервалов времени допустимые санитарными правилами дозы могут во много раз превосходить среднюю дозу

D санитар. /24 · t /час/. Важно, чтобы при этом не была значительно превышена установленная правилами недельная и уж во всяком случае годовая доза.

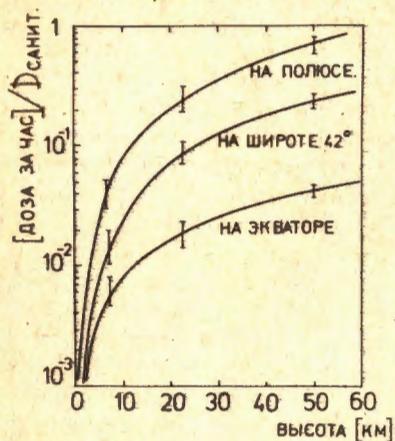


Рис.3. Доза облучения на различных высотах над уровнем моря на полюсе, широте 42° и экваторе. Указаны статистические погрешности расчета /коридор статистических флуктуаций расчетных величин/.

На больших высотах приведенные на рис.3 значения дозы должны быть несколько увеличены /например, на высоте 20 км - приблизительно в полтора раза из-за вклада ядер, получивших импульс отдачи при столкновении с быстрой каскадной частицей/.

/Число таких частиц растет с высотой/. Хотя пробеги ядер отдачи в тканях человеческого тела очень малы, их биологическая эффективность намного больше, чем у протонов, нейтронов и π -мезонов, и их вклад в суммарную дозу облучения оказывается весьма существенным. Наша модель позволяет учесть и этот эффект.

Модель сформулирована на фортране и может быть легко адаптирована к ЭВМ различных типов. Однако для успешного моделирования требуется достаточно мощная ЭВМ - типа БЭСМ-6 или ЕС-1060.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 и основные санитарные правила ОСП-72/80. Атомиздат, М., 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 января 1985 года.

Барашенков В.С., Ле Ван Нгок, Шмаков С.Ю. P2-85-46
Биологические эффекты космического излучения

Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать потоки ядерно-активных частиц, возникающих в атмосфере под влиянием космического излучения и определять их биологическое действие при различных условиях /в зависимости от географической широты местности, высоты, интенсивности космического излучения и т.д./.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Barashenkov V.S., Le Van Ngok, Shmakov S.Yu. P2-85-46
Biological Effects of Cosmic Radiation

A mathematical model for calculating particle flows induced by the cosmic radiation is elaborated. The model enables to calculate biological effects under various conditions (latitude, altitude, cosmic ray intensity etc.).

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985