

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P2-85-305

В.С.Барашенков, Ле Ван Нгок

ЛИВНИ
ЯДЕРНО-АКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ
ОТ ИНТЕНСИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ
В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1985

Быстрое развитие космической техники открывает пути для выноса некоторых "традиционно земных" отраслей ядерной технологии в околоземное пространство. При этом приходится иметь дело с интенсивными потоками ядерно-активных частиц, имеющими энергии вплоть до нескольких ГэВ. Если не принимать специальных мер защиты, эти частицы и порождаемые ими ливни радиоактивного излучения могут проникать глубоко в земную атмосферу, создавая широкие области повышенной радиации. Монте-карловская модель переноса излучения в неоднородных средах^{/1,2/} позволяет рассчитать детальную картину подобных пространственно-энергетических и дозовых распределений частиц во всей толще атмосферы.

На рис.1 приведены интегральные пространственные распределения протонов и нейтронов, генерированных на разных высотах h над уровнем моря пучками первичных протонов и нейтронов с энергией 1 ГэВ, падающими вертикально на границу земной атмосферы. Верхний и средний ряды гистограмм относятся соответственно к первичному пучку протонов и нейтронов. Сплошными гистограммами в обоих случаях нанесены распределения ливневых протонов, пунктиром - распределения ливневых нейтронов. Нижний ряд гистограмм - соответствующие распределения суммарной дозы облучения на высоте h , порожденной пучком протонов /сплошные гистограммы/ и пучком нейтронов /пунктир/. Левый масштаб по оси ординат дан в расчете на один первичный нуклон, правый масштаб - на первичный ток в 100 мА, то есть 10^{18} прот/с, и такой же поток нейтронов*. Расчеты выполнены с учетом мезонной компоненты, однако по сравнению с нуклонами ее интенсивность мала, поэтому распределения мезонов на рис.1 не приводятся. Предполагалось, что пучок первичных частиц очень тонок, однако вместе с тем его диаметр достаточен для того, чтобы можно было пренебречь изменением физико-химических свойств столба воздуха вдоль направления пучка.

Из рис.1 видно, что ширина /диаметр/ ливня генерированных частиц достигает десятков километров. На больших высотах проявляется резко выделенный пик /ствол ливня/, который остается заметным даже при $h = 10$ км. Вне ствола распределения частиц в протонном и нейтронном ливнях почти не различаются, что обус-

* Ускорители протонов и ионов с интенсивностями $100 \div 300$ мА проектируются, в частности, в связи с электроядерным методом наработки практически важных изотопов и дожиганием радиоактивных "хвостов" АЭС /3,4/.

ВНИИСПО
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
БИОЛИТЕРА

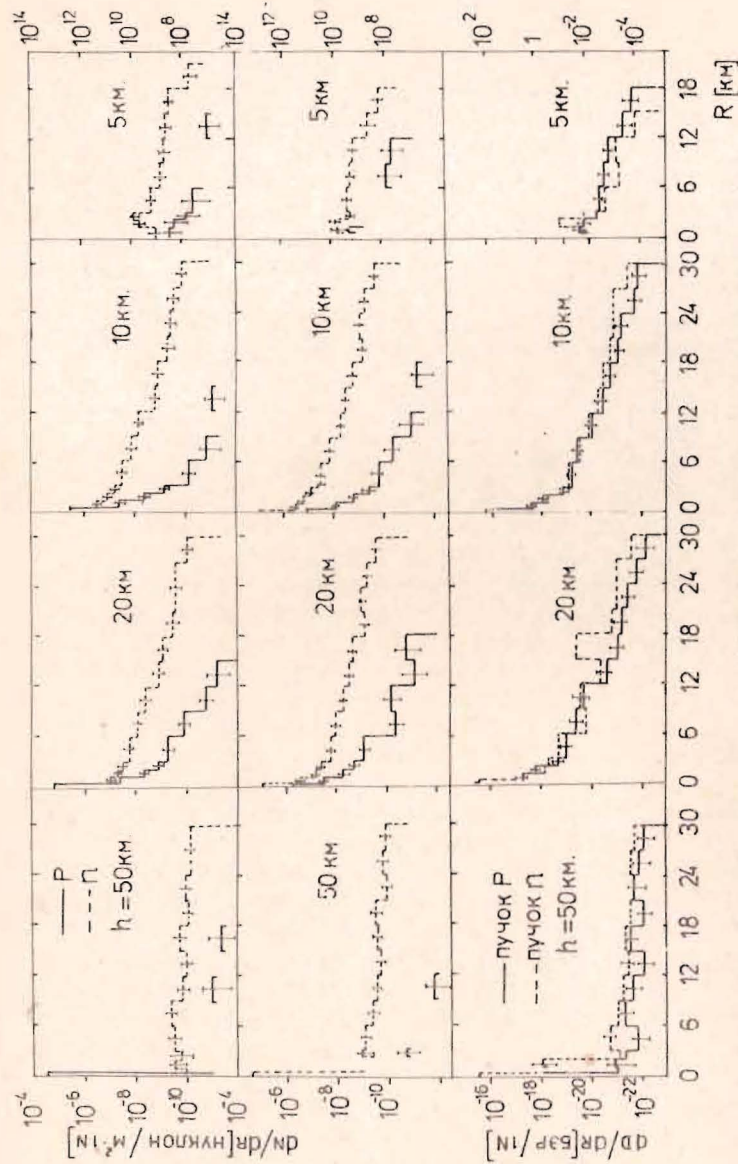


Рис. 1. Число протонов и нейтронов dN/dR и суммарная доза облучения dD/dR на высоте h над уровнем моря и расстоянии R от направления пучка первичных частиц. Энергия первичных частиц 1 ГэВ. Все остальные пояснения в тексте. Указаны статистические погрешности расчета.

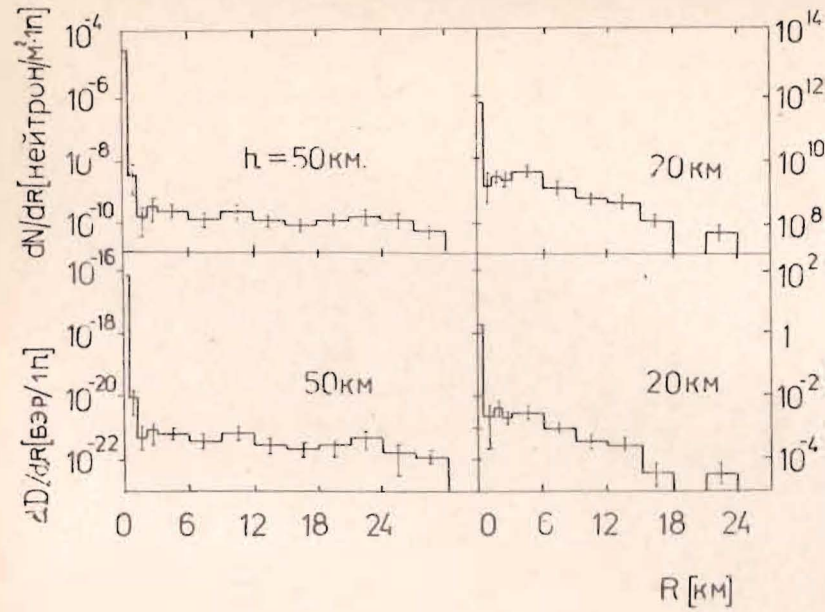


Рис. 2. Число нейтронов dN/dR и доза облучения dD/dR на высоте h над уровнем моря и расстоянии R от направления пучка первичных нейтронов с энергией 5 МэВ. Указаны статистические погрешности расчета.

ловлено близкими характеристиками ядерных взаимодействий высокоэнергетических протонов и нейтронов и быстрой трансформацией основной доли энергии ливня в нейтронную компоненту. На больших высотах $h \approx 50$ км излучение вне ствола ливня состоит, в основном, из низкоэнергетических нейтронов, многократно рассеявшихся в ядерных столкновениях. При $h \leq 5$ км ливни также состоят преимущественно из нейтронов.

Поскольку сечения высокоэнергетических нуклон-ядерных взаимодействий слабо зависят от энергии, распределения ливневых частиц также оказываются мало чувствительными к ее изменениям, с ростом энергии увеличивается лишь интенсивность ливня.

Из рис. 1 также видно, что доза облучения от сильноточных источников составляет значительную величину даже на небольших высотах*.

* Для сравнения напомним, что суммарное облучение человека от естественных источников на поверхности земли составляет около 0,1 бэр в год, максимально допустимая санитарная доза облучения для лиц, работающих с радиоактивными источниками, - 5 бэр в год.^{5/}

На рис.2 приведены данные для ливня, генерированного пучком нейтронов с небольшой энергией. Этот ливень целиком состоит из нейтронов и имеет те же характерные черты, что и порожденный пучком высокоэнергетических частиц: ствол вдоль первичного направления и широкое многокилометровое "галло". Однако, поскольку нет размножения высокоэнергетической компоненты, интенсивность ливня на высотах $h \approx 20$ км в этом случае почти на порядок меньше, чем на рис.1, и резко падает при меньших высотах.

Протоны с энергией, меньшей нескольких сотен МэВ, быстро растрчивают свою энергию в ионизационных процессах, и их распространение в атмосфере не сопровождается рождением интенсивного ливня вторичных адронов.

Следует, однако подчеркнуть, что приведенные данные неприменимы к высокоинтенсивным узкоканализированным пучкам, существенно изменяющим свойства среды. Проникающая способность таких пучков значительно больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ле Ван Нгок, Шмаков С.Ю. ОИЯИ, Б1-2-85-47, Дубна, 1985.
2. Барашенков В.С., Ле Ван Нгок, Шмаков С.Ю. ОИЯИ, P2-85-46, Дубна, 1985.
3. Tunnicliffe P.R. et al. Rep. on the Intern. Conf. on Accelerators in Chalmers, Ontario, 1976.
4. Барашенков В.С. ЭЧАЯ, 1978, т.9, с.871.
5. Нормы радиационной безопасности и основные санитарные правила ОСП-72/80. Атомиздат, М., 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 1985 года

Барашенков В.С., Ле Ван Нгок P2-85-305
Ливни ядерно-активных частиц в атмосфере
от интенсивных источников излучения
в околоземном пространстве

Обсуждаются пространственные распределения адронных полей и соответствующих доз облучения на различных глубинах в атмосфере, порожденные пучками протонов и нейтронов от установок, размещенных в околоземном пространстве.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод авторов

Barashenkov V.S., Le Van Ngoc P2-85-305
The Shows of Nuclear-Active Particles in the
Atmosphere from the Intensive Sources of Irradiations
in the Near-Earth Space

The spatial distributions of hadron showers and of the respective irradiation doses at various depths in the atmosphere, which are produced by proton and neutron beams placed into the near-earth space, are discussed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985