

НЕЙТРОННЫЙ МОНИТОРИНГ НА ПОЛИГОНЕ МНИЦ «ПАМИР-ЧАКАЛТАЯ» ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*В. М. Скоркин**

Институт ядерных исследований РАН, Москва

Представлены результаты нейтронного мониторинга на высокогорном научном полигоне «Ак-Архар» Международного научно-исследовательского центра «Памир-Чакалтая» на высоте 4370 м. При измерении с помощью радиометров PDA-Pack Eye, МКС-PM1401K и РСУ-01 выявлено превышение в 5–7 раз плотности потоков нейтронов на двухъярусной рентгеноэмульсионной камере в ангаре и в местах складирования свинцовых и резиновых пластин. При этом показания приборов испытывали значительные (до 30 %) флуктуации во времени.

The results of neutron monitoring on the high-altitude scientific range “Ak-Arkhar” of the International Research Center “Pamir-Chakaltay” at an altitude of 4370 m are presented. Measurements with the help of radiometers PDA-Pack Eye, MКС-PM1401K and RSU-01 revealed an excess of 5–7 times the neutron flux density at the 2-tier X-ray emulsion chamber in the hangar and in the storage areas of lead and rubber plates. At the same time, instrument readings experienced significant (up to 30%) fluctuations in time.

PACS: 07.89.+b; 94.05.Dd

ВВЕДЕНИЕ

В начале 1950-х гг. в работах Г. Т. Зацепина было установлено, что широкие атмосферные ливни (ШАЛ) космических лучей (КЛ) на 2–3 % состоят из адронов высокой энергии, которые генерируют испарительные нейтроны с энергией несколько МэВ в свинце, железе, углероде, включая воздух. Для изучения адронной компоненты КЛ с помощью регистрации вторичных нейтронов от адронов с энергией выше 400 МэВ созданы нейтронные мониторы [1]. Количество вторичных нейтронов (множественность), образующихся в свинцовом конверторе монитора, определяется энергией адронов и может достигать 15 на один адрон при 1 ГэВ.

*E-mail: skorkin@inr.ru

Система сбора данных в нейтронных мониторах позволяет с высокой точностью определять множественность (M) и исследовать структуру локальных адронных ливней [2]. Установлено, что зарегистрированные нейтронные события с $M < 7$ генерируются адронами КЛ в свинцовом конверторе монитора размером до 1 м. События с $M > 7$ создаются локальными атмосферными ливнями размером от 1 до 20 м ($M > 15$).

В исследованиях адронной компоненты ШАЛ от КЛ на пике Терскол на высоте 3000 м над уровнем моря (научно-исследовательской базе «Высокогорная экологическая обсерватория») с помощью мобильного модуля нейтронного монитора высокогорного эльбрусского спектрометра КЛ КБГУ определена граница плотности потока адронной компоненты КЛ ($3,3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) [3].

В работе [4] представлены данные измерений концентрации тепловых нейтронов у поверхности Земли в зависимости от высоты над уровнем моря и времени суток. Измерения проводились в БНО ИЯИ РАН, LNGS (Италия) и НИЯУ МИФИ (Москва) на высотах 1700, 1000 и 200 м над уровнем моря соответственно. Сообщается о наблюдении вариации темпа счета нейтронов, связанной с лунными периодами.

Делается вывод, что основной вклад в поток нейтронов на уровне Земли дают не ШАЛ, а прошедшие атмосферу без взаимодействия протоны. При этом доля нейтронов от активации верхних слоев грунта космическими лучами будет примерно постоянна с высотой над уровнем моря, а рост концентрации нейтронов с высотой будет подчиняться экспоненциальному закону.

Адронная компонента КЛ может создавать большие концентрации испарительных нейтронов в тяжелых элементах конструкций исследовательских установок на высокогорных полигонах. Эти элементы конструкций могут являться источниками локальных высоких потоков быстрых и тепловых нейтронов, которые представляют радиационную опасность для персонала.

НЕЙТРОННЫЙ МОНИТОРИНГ НА ПОЛИГОНЕ МНИЦ «ПАМИР-ЧАКАЛТАЯ»

Для измерения плотности потоков нейтронов и проверки условий обеспечения радиационной безопасности при обслуживании экспериментального оборудования исследовательской установки был проведен радиационный мониторинг на высокогорном научном полигоне «Ак-Архар» Международного научно-исследовательского центра «Памир-Чакалтая», расположенном в Мургабском р-не Горно-Бадахшанской автономной обл. Республики Таджикистан на высоте 4370 м над уровнем моря. Проверены на радиационную безопас-

ность территория полигона, двухъярусная рентгеноэмульсионная камера в ангаре площадью 64 м², места складирования свинцовых и резиновых пластин на территории полигона, а также территория полигона вдали от ангара.

В ходе проверки не выявлено наличия радионуклидных источников и установок, генерирующих излучения. Для регистрации КЛ сверхвысоких энергий используется пассивная двухъярусная рентгеноэмульсионная камера (РЭК) с воздушным зазором, содержащая 1500 т свинцового проката на стальной конструкции и 620 т углеродосодержащего материала с фотопленкой.

Чувствительными элементами РЭК, позволяющими регистрировать релятивистские частицы КЛ, являются радиографические пленки РТ-6, чувствительные к различного рода ионизирующим излучениям. Свинцовые пластины РЭК, используемые для развития процессов тормозного излучения и образования электронно-фотонных каскадов от быстрых заряженных частиц, являются источниками испарительных нейтронов под действием адронной компоненты КЛ. Быстрые нейтроны от свинцовых пластин замедляются в углеродосодержащем материале (резине) и создают потоки медленных нейтронов, которые могут быть зарегистрированы детекторами.

В качестве детекторов нейтронов при радиационном мониторинге использовались радиометры PDA-Pack Eye, МКС-PM1401K, РСУ-01 «Сигнал-М». Радиометры позволяли измерять плотность потока медленных нейтронов и при соответствующих условиях оценивать плотность потока быстрых (испарительных) нейтронов. Радиометры PDA-Pack Eye и МКС-PM1401K также позволяли измерять мощность дозы гамма-излучения. Все использовавшиеся для мониторинга приборы сертифицированы и прошли апробацию в соответствующих организациях. Результаты радиационного мониторинга на высокогорном научном полигоне «Ак-Архар» Международного научно-исследовательского центра «Памир-Чакалтая» приведены в таблице.

Скорость счета импульсов от зарегистрированных нейтронов определяется различной эффективностью регистрации детекторов. Время измерения потоков нейтронов составляло примерно 1 мин. В процессе измерений установлено, что показания детекторов зависят от условий измерения нейтронного потока: детекторы нейтронов находятся в контакте с телом дозиметриста или на удалении от дозиметриста. При этом скорость счета детекторов возрастает на 40–50 % в условиях контакта детекторов с дозиметристом. Это означает, что потоки испарительных быстрых нейтронов от свинцовых пластин, замедляясь в теле дозиметриста, создают тепловые нейтроны, которые регистрируются радиометрами.

Скорость счета детекторов нейтронов максимальна в условиях измерений в сборках пластин из свинца и резины (углерода). Это соответствует процессу регистрации замедлившихся в резиновых пластинах испарительных нейтронов, образующихся от адронов КЛ в свинцовых поглотителях.

Уровень нейтронного и гамма-излучений на объектах радиационного мониторинга на высоте 4370 м над уровнем моря

Объект мониторинга	PDA-Pack Eye		PCY-01	МКС-PM1401K	
	Гамма-кванты, мкЗв/ч	Поток медленных нейтронов, импульс/с	Плотность потока нейтронов (тепловых), $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Гамма-кванты, мкЗв/ч	Поток нейтронов, импульс/с
Душанбе	—	—	0,003	0,12	0,00
Территория без пластин Рb и резины	0,12	3–6	0,05	0,15	0,36
В пластинах резины (без Рb)	0,12	11	0,07	0,20	0,80
Над РЭК в ангаре	0,20	8–12	0,05	0,20	0,27
Между пластинами Рb РЭК в ангаре	0,20	11–15	0,09	0,20	0,50
В пластинах резины между Рb РЭК в ангаре	0,20	15–20	0,16	0,20	1,00
В пластинах Рb и резины на территории	0,20	20–26	0,35	—	—
В пластинах Рb и резины в ангаре	0,20	21	0,33	—	1,00–1,50

Полученные в процессе измерения плотности потоков нейтронов значения испытывали значительные флуктуации (до 30 %) во времени, что является следствием их образования от КЛ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средняя мощность дозы радиационного облучения от нейтронов на высоте 4,5 км составляет примерно 0,4 мкЗв/ч. Плотность потока адронной компоненты КЛ на высоте 4,5 км, равная $5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, создаст вблизи 50-см свинцового блока дополнительный поток быстрых нейтронов с плотностью около $1,5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и дополнительную дозу радиационного облучения от нейтронов около 1,5 мкЗв/ч. Таким образом, при непосредственной работе в смену на исследовательской установке сотрудник может получить значимую дозу для категории Б и следует проводить контроль этой дозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абунин А. А., Плетников Е. В., Щепетов А. Л., Янке В. Г.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 75, № 6. С. 917–919.
2. *Балабин Ю. В., Гвоздевский Б. Б., Вашенюк Э. В., Щур Л. И.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73, № 3. С. 321.
3. *Хоконов А. Х., Савойский Ю. В., Камарзаев А. В.* // ЯФ. 2010. Т. 73, № 9. С. 1528.
4. *Алексеевко В. В., Громушкин Д. М., Стенькин Ю. В.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 75, № 6. С. 908–910.