

Рис. 3. Относительная повторяемость результатов измерений концентрации  $^{137}\text{Cs}$  (данные 1977—1979 гг.) в поверхностных водах (а) и на глубине 50 м (б)

всех измерений соответствовала значениям 0,7—0,8  $\text{nCi}/\text{m}^3$  (рис. 3, а). Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  на глубине 50 м в этот период варьировала в более широком интервале, чем осенью 1977 г.: от 0,4 до 1,4  $\text{nCi}/\text{m}^3$  (рис. 3, б). Наиболее характерные значения концентрации на этой глубине оказались ниже значений концентрации в поверхностных водах.

**Выводы.** Неравномерное распределение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в водах Балтийского моря, по-видимому, обусловлено вариациями интенсивности глобальных выпадений, гидрологическим режимом моря, штормовой деятельностью, в результате которой возможен подъем донных отложений, обладающих большим запасом радионуклидов, влиянием вод Северного моря, имеющих повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  и стоком вод суши.

Для вертикального профиля концентрации  $^{137}\text{Cs}$  характерно небольшое увеличение на глубине  $\sim 50$  м, а затем ее уменьшение. Значительно реже наблюдается увеличение концентрации на глубине более 50 м, что, видимо, объясняется наличием слоя скачка плотности, расположенного на глубине  $\sim 50$  м, который препятствует проникновению  $^{137}\text{Cs}$  в более глубокие слои. Особо следует отметить придонные слои южной Балтики (глубина менее 50 м), где часто наблюдается повышенная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  по отношению к слоям, расположенным выше, в результате влияния вод Северного моря. В весеннее время обычно возрастают абсолютные и средние значения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое до глубины  $\sim 50$  м, что, вероятно, связано с весенним максимумом атмосферных выпадений [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kautsky Н. «Deutsche Hydrographische Zeitschrift», 1976, N 6, p. 217.
2. Стыро Д. Б. и др. В кн.: Химические и радиоактивные загрязнения атмосферы и гидросферы. Вильнюс, «Моклас», 1978, с. 138.
3. Петровский А. М. Атомная энергетика. М., «Наука», 1976.
4. Salo A., Voipio A. «Radioecological Concentration Processes», 1968, N 19, p. 827.
5. Voipio A., Salo A. «Nordic Hydrology», 1971, v. 2, N 1, p. 57.
6. Вакуловский С. М. и др. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 3, с. 177.
7. Стыро Д. Б. и др. В кн.: Радиоактивность атмосферы и гидросферы. Радиоактивные трассеры. Вильнюс, «Моклас», 1977, с. 197.
8. Стыро Д. Б. и др. В кн.: Химические и радиоактивные загрязнения атмосферы и гидросферы. Вильнюс, «Моклас», 1978, с. 131.
9. Стыро Д. Б. и др. «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 3, с. 201.
10. Даргене Н. П., Лукинскене М. В., Стыро Д. Б. В кн.: Физические аспекты загрязнения атмосферы. Под ред. Б. Стыро. Вильнюс, «Моклас», 1976, с. 248.
11. Иванова Л. М. «Радиохимия», 1967, т. 9, № 5, с. 622.
12. Стыро Б. И., Луянас В. Ю., Шонаускас К. К. Радиоактивность атмосферы и метеорология. Вильнюс, «Минтис», 1975.

Поступила в Редакцию 16.10.79

УДК 539.1.074.6

Основные составляющие фоновой скорости счета  
большого сцинтилляционного детектора

СИВИНЦЕВ Ю. В., НЕЖДАНОВ Г. А., КОВАЛЬЧУК Е. Л., ВОРОНИН К. В., ПУГАЧЕВ С. П.

Один из основных путей повышения чувствительности методов радиометрии и спектрометрии ионизирующих излучений — снижение фоновой скорости счета (ФСС) детектора. Известно, что эта величина состоит из трех компонентов, которые обусловлены космическим излучением и радионуклидами, содержащимися в применяемой пассивной защите и в самом детекторе.

В последние годы получила распространение пассивная стальная низкофоновая защита (СНФ) толщиной не менее 20 см в любом направлении\*. Такие установки, разработанные в ИАЭ им. И. В. Курчатова, используются в научных исследова-

\* Дальнейшее увеличение толщины защиты не приводит к существенному снижению ФСС.

дованиях, а также для контроля ФСС сцинтилляционных детекторов при их разработке и производстве. В работе [1] сделана попытка экспериментально определить вклад космического излучения в ФСС крупного сцинтилляционного детектора. Применение различных пассивных защит на поверхности земли и при заглублении детектора под землю (для существенного снижения потока космического излучения) побудило авторов повторить эту работу.

В 60-х годах для снижения доли ФСС, обусловленной  $^{40}\text{K}$ , материал стеклооболочки фотомножителя ФЭУ-49 был заменен бескалийным (натровым) стеклом. Это значительно уменьшило вклад ФЭУ в ФСС сцинтилляционных детекторов

[2]. Дальнейшего снижения ФСС обычно достигают исключением космической составляющей при помощи схемы антисовпадений [3] или мощной (более 100 м водного эквивалента) пассивной защиты [4].

В данной работе экспериментально определен вклад ФЭУ-49 в остаточную (после исключения космической составляющей) ФСС и оценена возможность снижения ФСС после замены стеклянной колбы ФЭУ-49 на кварцевую.

**Вклад космического излучения.** Измерения были выполнены в Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) в наземной (около 1700 м над уровнем моря) и подземной (660 м водного эквивалента) низкофоновой лабораториях [5] в марте 1979 г.

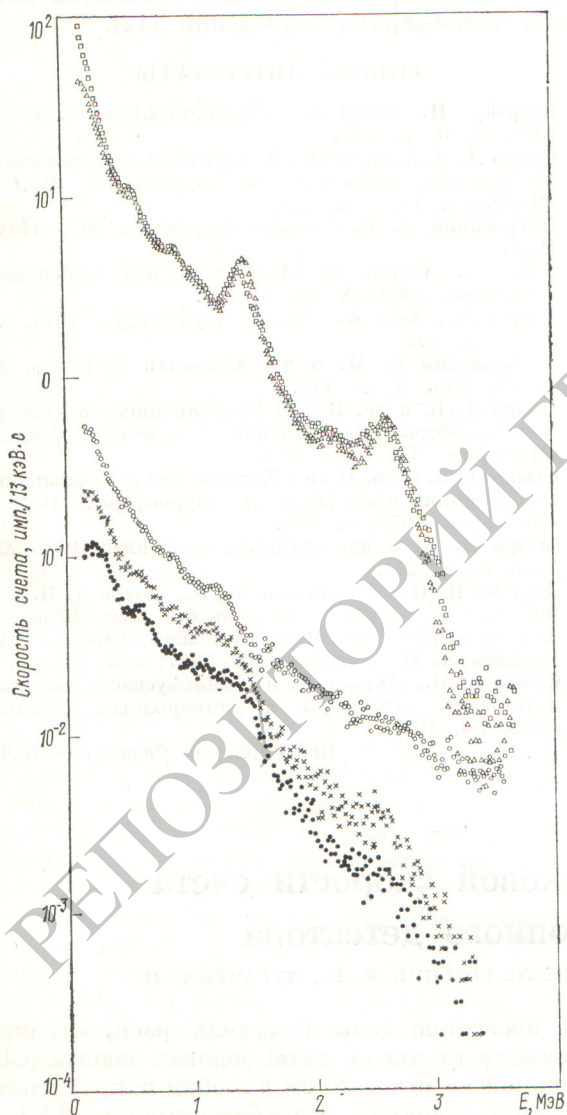
Исследованы абсолютная величина и спектральный состав ФСС сцинтилляторного блока (СЦБ), разработанного в ИАЭ им. И. В. Курчатова на основе монокристалла  $\text{NaI(Tl)}$  диаметром  $140 \times 140$  мм и ФЭУ-49. Как в наземной, так и в подземной лабораториях использовали установку СНФ. Кроме того, в подземной лаборатории были выполнены измерения в низкофоновой камере, защищенной от радиоактивных излучений горных пород 100 см дунита (ультраосновной породы), 1 см стали и 3 см вольфрама \* [5].

Аппаратурный спектр амплитуд импульсов регистрировали анализаторами АИ-1024-4 и УНО-1024-90. На рис. 1 приведены аппаратурные спектры ФСС СЦБ № 23 в защите из вольфрама. На графиках отчетливо видны пики полного поглощения  $^{40}\text{K}$  ( $E = 1,46$  МэВ) и  $^{208}\text{Tl}$  (2,62 МэВ).

Результаты обработки измеренных аппаратурных спектров ФСС в различных энергетических диапазонах приведены в табл. 1.

Поскольку в подземной лаборатории поток мюонов ослаблен в  $2 \cdot 10^3$  раз [6], вклад космического излучения в ФСС определяется как разность значений ФСС детектора (экранированного одной и той же пассивной защитой), зарегистрированных в наземной и подземной лабораториях (табл. 2).

Рост вклада космического излучения в ФСС детектора с увеличением энергии в диапазоне 0,8—3,0 МэВ объясняется резким снижением той части фона, которая обусловлена естественными радионуклидами материалов защиты и детектора. Возрастание космической составляющей ФСС в области 0,1—0,8 МэВ можно связать с большой величиной рассеянного космического излучения. Все приведенные результаты согласуются с данными работ [3, 4], в которых описаны аналогичные измерения и доля космической составляющей ФСС оценена равной 60 и 72% соответственно. Такой большой вклад космического излучения в ФСС следует учитывать в наземных условиях при определении собственного фона сцинтилляционных детекторов и в работах по его снижению.



Р и с. 1. Энергетические спектры фона СЦБ № 23, полученные в наземной лаборатории без защиты (□) и в СНФ (○) и в подземной лаборатории без защиты (△), в СНФ (×) и в вольфрамовой защите (●)

\* Ниже в целях краткости изложения будем писать «защита из вольфрама».

Таблица 1

ФСС СЦБ № 23 (в имп./с) в наземной и подземной лабораториях БНО для различных энергетических диапазонов

Лаборатория	Защита	Диапазон энергий, МэВ				
		0,1-0,8	0,8-1,2	1,2-1,8	1,8-3,0	0,1-3,5
Наземная	Нет	1300±70	120±6	100±5	35±2	1600±80
»	СНФ	14,0±0,3	2,3±0,1	1,7±0,1	1,1±0,05	19±1
Подземная	Нет	900±50	120±6	100±5	33±2	1200±60
»	СНФ	4,6±0,2	1,2±0,1	0,80±0,05	0,30±0,02	7,0±0,4
»	Вольфрамовая	3,5±0,2	0,70±0,05	0,56±0,03	0,16±0,01	4,9±0,3

Как отмечено, в описанном цикле измерений была использована распространенная, но не оптимальная пассивная защита СНФ. Поэтому в другой серии измерений ФСС СЦБ № 23 определяли в защите из вольфрама, близкой к оптимальной. Эти результаты позволили сравнить эффективность используемых пассивных защит, а также охарактеризовать радиационную чистоту железа и вольфрама. Ниже приводится отношение величин ФСС детектора, зарегистрированных в подземной лаборатории в защите из стали (СНФ) и вольфрама:

Диапазон энергий, МэВ	0,1-0,8	0,8-1,2	1,2-1,8	1,8-3,0	0,1-3,5
Отношение	1,3±0,1	1,7±0,2	1,5±0,1	1,9±0,2	1,4±0,1

Видно, что в данном случае защита из стали уступает по радиационной чистоте вольфраму в среднем примерно в 1,5 раза, а в области  $E \geq 1,8$  МэВ практически в 2 раза.

**Вклад ФЭУ и его стеклооболочки.** Измерения были проведены в подземной низкофоновой камере НБО. Детектор (СЦБ № 22) на основе монокристалла NaI(Tl) диаметром 140 × 140 мм и ФЭУ-49 располагали в защите из вольфрама. Измеряли скорость счета детектора сначала фоновую, а затем ее приращение за счет исследуемого ФЭУ-49, его стеклооболочки и кварцевой колбы, геометрически тождественной стеклооболочке ФЭУ-49 (рис. 2). Для таких измерений использовали ФЭУ, выпущенные с ноября 1970 г. по июнь

Таблица 2

Вклад космического излучения в ФСС СЦБ № 23 для различных энергетических диапазонов

Диапазон энергий, МэВ	Вклад абсолютный, имп./с	Вклад относительный, %
0,1-0,8	9,4±0,5	67±4
0,8-1,2	1,10±0,05	48±3
1,2-1,8	0,90±0,05	53±3
1,8-3,0	0,80±0,02	73±4
0,1-3,5	12,2±0,5	64±4

1972 г. Усредненные аппаратурные спектры собственного фона СЦБ, а также фона, обусловленного исследуемыми ФЭУ и колбами, приведены на рис. 3, а в табл. 3 — усредненные данные о соответствующих скоростях счета детектора в зависимости от диапазона энергии фотонов. Погрешность результатов, обусловленная статистическим характером процессов и нестабильностью работы аппаратуры, возрастала от 0,6 до 4% с увеличением энергетического диапазона. Однако средняя квадратическая погрешность, вычисленная по данным семи серий измерения ФСС, колеблется от 1,5 до 5%. По-видимому, причиной неучтенной погрешности была вариация концентрации радона в подземной лаборатории. Поэтому все результаты приведены с погрешностью 5%.

Характерная особенность полученных данных — значительный прирост ФСС при измерении как ФЭУ, так и их стеклооболочек. В то же время в пределах погрешности измерений не выявлено изменений ФСС за счет кварцевых колб. Вклад ФЭУ-49 в ФСС детектора возрастает с  $(42 \pm 2)$

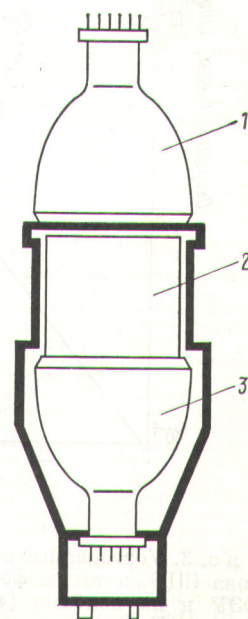


Рис. 2. Схема расположения исследуемых ФЭУ и стеклооболочек: 1 — исследуемый ФЭУ (или его стеклооболочка); 2 — NaI(Tl) диаметром 140 × 140 мм; 3 — ФЭУ-49

Вклад в ФСС СЦБ № 22, обусловленный ФЭУ, стеклянными и кварцевыми оболочками \*

Измеряемый параметр	Диапазон энергий, МэВ									
	0,1—0,8		0,8—1,2		1,2—1,8		1,8—3,0		0,1—3,5	
	имп./с	прирост. %	имп./с	прирост. %	имп./с	прирост. %	имп./с	прирост. %	имп./с	прирост. %
Фон	2,4	—	0,35	—	0,24	—	0,064	—	3,0	—
ФЭУ	3,4	42	0,5	43	0,37	54	0,12	85	4,5	50
Колба ФЭУ	3,3	38	0,47	34	0,35	46	0,12	85	4,3	43
Кварцевая колба	2,2	≤ 5	0,32	≤ 5	0,21	≤ 5	0,065	5	2,9	≤ 8

\* Погрешность не более 5 %.

до  $(85 \pm 5)\%$  при увеличении энергии от 0,1—0,8 до 1,8—3,0 МэВ, а вклад, обусловленный колбами этих же ФЭУ, — с  $(38 \pm 2)$  до  $(82 \pm 4)\%$ . Такой результат может быть объяснен тем, что содержание радионуклидов уранового и ториевого рядов в стекле оболочки ФЭУ значительно больше, чем в кварцевой колбе. По нашим данным, замена

стеклооболочек ФЭУ-49 кварцевыми должна снизить ФСС СЦБ с кристаллом NaI(Tl) диаметром  $140 \times 140$  мм от 2 до 5 раз в зависимости от того, какой из указанных диапазонов энергий рассматривается. С увеличением энергии эта величина растет. Так, например, для диапазона регистрации фотопика  $^{208}\text{Tl}$  ( $E = 2,62$  МэВ) с границами 2,34 и 2,86 МэВ ФСС за счет применения ФЭУ в кварцевой оболочке будет понижена не менее чем в 20 раз.

При энергии фотонов  $E \geq 3,0$  МэВ, т. е. за пределами области естественной радиоактивности, отчетливо виден пик, обусловленный  $\alpha$ -частицами уранового и ториевого рядов. Поскольку во всех измерениях использовали один и тот же детектор, скорость счета в этой области энергии совпала во всех измерениях. К сожалению, из-за неопределенности отношения концентраций урана и тория величину этого  $\alpha$ -пика нельзя интерпретировать, указав содержание урана и тория в веществе монокристалла и его отражателя.

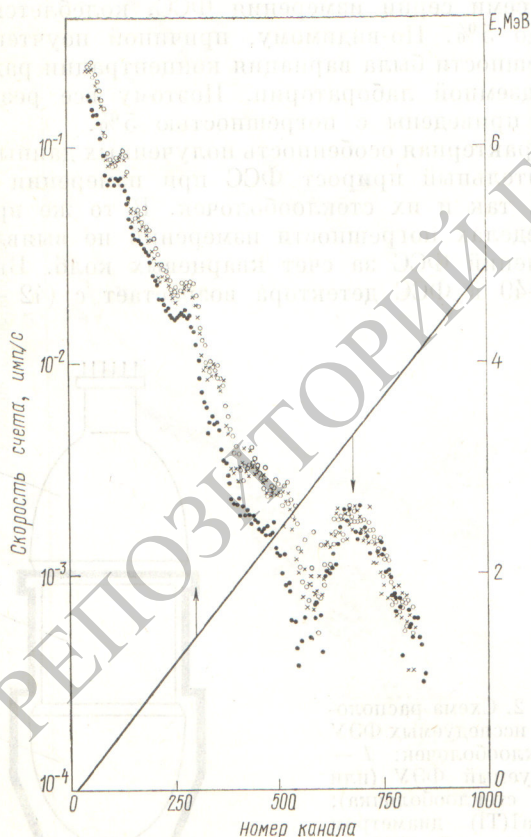
Таким образом, в заключение можно сделать следующие выводы:

1. Для СЦБ на основе монокристалла NaI(Tl) диаметром  $140 \times 140$  мм и ФЭУ-49 в условиях защиты СНФ с толщиной 20 см стали в любом направлении вклад космического излучения составляет от  $(48 \pm 3)$  до  $(73 \pm 4)\%$  в зависимости от диапазона регистрируемых энергий.

2. Величина вклада в ФСС упомянутого крупного СЦБ, обусловленная ФЭУ-49 и его колбой, составляет от  $(42 \pm 2)$  до  $(85 \pm 4)\%$  для ФЭУ и от  $(38 \pm 2)$  до  $(82 \pm 4)\%$  для их колб с увеличением энергии фотонов от 0,1 до 3,0 МэВ.

3. В пределах погрешности измерений не выявлено превышения ФСС СЦБ при размещении на нем кварцевых колб, геометрически идентичных колбам ФЭУ-49.

4. Оценено, что применение кварцевых стеклооболочек снижает ФСС СЦБ с кристаллом NaI(Tl) диаметром  $140 \times 140$  мм и ФЭУ-49 в 2—5 раз в зависимости от диапазона регистрируемых энергий.



Р и с. 3. Усредненные аппаратные спектры собственного фона СЦБ, а также фона, обусловленного исследуемыми ФЭУ и их колбами (● — фон СЦБ; ○ — ФЭУ; × — колба). Прямой линией обозначены результаты энергетической градуировки СЦБ

5. Сравнение радиационной чистоты стали и вольфрама при использовании их в качестве материалов пассивной защиты показало, что в данном случае сталь уступает по радиационной чистоте вольфраму в среднем примерно в 1,5 раза, а в области  $E_\gamma \geq 1,8$  МэВ практически в 2 раза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нежданов Г. А., Сивинцев Ю. В., Фомин В. М. В кн.: Перспективы развития технологии, методов контроля и производства сцинтилляторов и сцинтилляционных

детекторов в десятой пятилетке. Т. 2. Черкассы, 1977, с. 95.

2. Сивинцев Ю. В. и др. «Атомная энергия», 1967, т. 22, вып. 1, с. 60.

3. Tanaka S. e.a. «Nucl. Instrum.», 1967, v. 56, N 2, p. 319.

4. Kaye J. e.a. Ibid., 1972, v. 100, N 2, p. 333.

5. Ковальчук Е. Л. и др. В кн.: Proc. Intern. Conf. on Low-Radioactivity Measurements and Applications. Bratislava, 1977, p. 23.

6. Ковальчук Е. Л., Лукьянов В. А., Смольников А. А. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0095. М., 1978.

Поступила в Редакцию 24.12.79

## Рефераты статей

(Продолжение. Начало см. на с. 18)

УДК 536.422.15 : 669.822

Хромов Ю. Ф., Лютиков Р. А. Термодинамический анализ взаимодействия  $UO_{2\pm x}$  с углеродом. — «Атомная энергия», 1980, т. 49, вып. 1, с. 28.

Расчеты равновесных давлений газа СО в системе  $UO_{2\pm x} - C$  проведены с использованием опубликованных данных. Отмечается влияние нестехиометричности двуокиси урана на парциальные давления СО и показана связь давления СО с термодинамической активностью кислорода. Прямые измерения давления СО, проведенные в системе  $UO_{2\pm x} - C$ , подтверждают расчетные данные (рис. 3, табл. 1, список литературы 17 наименований).

УДК 549.535.2 : 549.514.51

Медведев Э. М. Время жизни парамагнитных  $E_1$ -центров в кварцах горных пород. — «Атомная энергия», 1980, т. 49, вып. 1, с. 31.

Методом ЭПР изучено влияние температуры на скорость электронных процессов в  $E_1$ -центрах. Экстраполяцией в область низкой температуры установлено, что время полной термоактивации  $E_1$ -центров для горных пород в природном залегаии  $\sim 0,8-10^8$  лет. Время отжига в этих условиях равно  $6,4 \cdot 10^8$  лет. Наблюдаемая методом ЭПР концентрация  $E_1$ -центров в кварцах горных пород определяется одновременным действием ионизирующих излучений и тепловых колебаний решетки кварца, приводящих к смещениям электронов (рис. 5, табл. 2, список литературы 7 наименований).

УДК 621.384.634.4

Новиков Ю. М., Панасюк В. С., Самошенко Ю. К., Саночкин В. В., Терешкин Ю. М., Хромченко В. В. Вывод пучка из синхротрона с циклотронным предускорением. — «Атомная энергия», 1980, т. 49, вып. 1, с. 34.

Описан многооборотный ненаправленный вывод пучка из синхротрона с циклотронным предускорением (СЦП). Рассмотрены особенности движения частиц от центральной области до измерительного электрода, находящегося вне ускорительной камеры, вычислены размеры области захвата в ускорение и ускоренного пучка, найдены траектории и потери энергии электронов, амплитуды вертикальных бетатронных колебаний при выводе. Приведена конструкция СЦП с выводом частиц из ускорительной камеры на измерительный электрод, описаны эксперименты по определению параметров выведенного пучка и измерена интенсивность ускорителя (рис. 7, список литературы 10 наименований).

УДК 539.1.074

Бритвич Г. И., Крупный Г. И., Пелешко В. Н., Расцветалов Я. Н. Дозовые характеристики высокоэнергетических электронов, мюонов и фотонов. — «Атомная энергия», 1980, т. 49, вып. 1, с. 39.

Измерены дифференциальные распределения энерговыделения на различной глубине тканеподобных фантомов (плексиглас, полистирол, полиэтилен) при энергии налетающих электронов, мюонов  $0,2-40$  ГэВ и фотонов средней энергией  $3,6$  ГэВ. Погрешность экспериментальных результатов не более  $7\%$ . На основании полученных данных вычислены дозовые характеристики электронов,

мюонов и фотонов для стандартной геометрии. Для всех видов излучения приведено максимальное значение удельной эквивалентной дозы,  $nбэр \cdot см^2/част.$  Показано что опубликованные значения удельной эквивалентной дозы электронного излучения выше во всем исследованном диапазоне энергии от  $0,2$  до  $40$  ГэВ, а для мюонного излучения наблюдается хорошее согласие с настоящим экспериментом.

Полученные результаты, имеющие высокую точность и перекрывающие большой динамический диапазон по энергии налетающих частиц, могут служить основой для пересмотра существующих рекомендаций по дозовым характеристикам электронного излучения (рис. 5, табл. 3, список литературы 13 наименований).

УДК 551.464.679

Стиро Д. Б., Каджене Г. И., Лукинские М. В., Неманис А. П., Айваржи М. В. Экспериментальное исследование концентрации  $^{137}Cs$  в водах Балтийского моря в 1977—1979 гг. — «Атомная энергия», 1980, т. 49, вып. 1, с. 43.

Приводятся результаты измерений концентрации  $^{137}Cs$  в водах Балтийского моря, полученные во время рейсов судна «Океанограф» в 1977—1979 гг. Наиболее широкие пределы колебаний концентрации отмечены в октябре 1977 г. Концентрация  $^{137}Cs$  в поверхностных водах составляла  $0,5-0,8$  нКи/м<sup>3</sup>, а на глубине  $50$  м  $0,6-0,9$  нКи/м<sup>3</sup>. Глубже  $50$  м концентрация, как правило, уменьшается. Лишь в придонных слоях южной Балтики наблюдалось резкое повышение концентрации, что, по-видимому, связано с влиянием вод Северного моря (рис. 3, табл. 1, список литературы 12 наименований).

УДК 539.1.074.6

Сивинцев Ю. В., Нежданов Г. А., Ковальчук Е. Л., Воронин К. В., Пугачев С. П. Основные составляющие фоновой скорости счета большого сцинтилляционного детектора. — «Атомная энергия», 1980, т. 49, вып. 1, с. 45.

В наземной ( $1700$  м над уровнем моря) и подземной ( $660$  м водного эквивалента) низкофоновой лабораториях Баканской нейтринной обсерватории (БНО) измерен вклад космического излучения в фоновую скорость счета (ФСС) сцинтиллятора на основе кристалла  $NaI(Tl)$  диаметром  $140 \times 140$  мм и ФЭУ-49. В качестве пассивной защиты была использована СНФ-установка (толщина защиты не менее  $20$  см стали в любом направлении). Результаты приведены для энергетических диапазонов  $0,1-0,8$ ;  $0,8-1,2$ ;  $1,2-1,8$ ;  $1,8-3,0$ ; и  $3,0-3,5$  МэВ, в зависимости от которых вклад космического излучения в ФСС составляет от  $(48 \pm 3)$  до  $(73 \pm 4)\%$ .

В подземной лаборатории, где детектор располагался в защите из вольфрама, измерен вклад в ФСС, обусловленный ФЭУ-49. Он составляет от  $(42 \pm 2)$  до  $(85 \pm 4)\%$  в зависимости от энергетического диапазона и обусловлен радионуклидами оболочки ФЭУ. Аналогичные измерения проведены для кварцевых оболочек, геометрически идентичных стеклянным. В пределах погрешности измерений не обнаружено превышения ФСС, обусловленного этими оболочками. Сделан вывод о возможности снижения ФСС детектора в  $2-5$  раз в случае замены материала оболочки ФЭУ на кварц (рис. 3, табл. 3, список литературы 6 наименований).