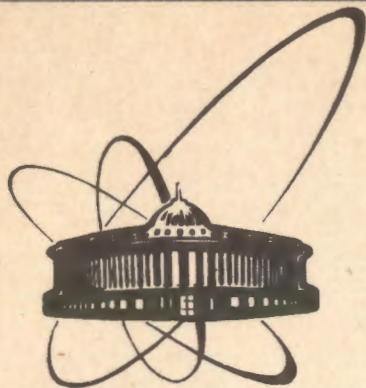


91-547



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P16-91-547

Л.Т.Бат*, В.П.Бамблевский, Т.С.Тху*, В.Х.Туан*,
К.Н.Бинь*, Н.В.Фонг*, Х.Д.Лык*, Н.Н.Ву*,
Н.В.Донг*, Т.Д.Лок*, Х.Т.Лен*

РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ Г.ХАНОЯ
ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Центр ядерных исследований - Национальный центр
научных исследований Вьетнама, Ханой

1991

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы было опубликовано много работ, посвященных исследованиям аварии на ЧАЭС в различных регионах земного шара^{1,2}. Целью этих работ было исследование динамики переноса радиоактивности, определение количества выпадений различных радиоизотопов, оценка уровней облучения населения и экосистемы. Для Вьетнама эти исследования имели ряд дополнительных проблем. Из-за длительных и обильных весенних дождей не всегда было возможно прокачать через фильтры необходимое количество воздуха. Уровни радиоактивности были невысокими и кратковременными из-за большой удаленности от источника. Комплексный анализ был невозможен из-за недостаточной технической и материальной оснащенности. Тем не менее в данной работе представлены результаты измерений концентраций радиоактивности в аэрозолях приземного слоя воздуха в г. Ханое с использованием гамма-спектрометра на основе детектора из сверхчистого германия, имеющего довольно высокое разрешение.

2. МЕТОДЫ И АППАРАТУРА

Для идентификации радионуклидов малых концентраций в воздухе необходимы прокачивающее устройство с высокой производительностью, эффективно улавливающие аэрозоли фильтры, способные выдержать без изменения основных свойств мощные потоки воздуха длительное время, методика подготовки проб с целью максимальной концентрации радиоактивности для последующего измерения на низкофоновом спектрометре, имеющем высокое разрешение и достаточную эффективность регистрации.

В данной работе использовались фильтры типа Ф-111 (на основе амianto-кризотил-целлюлозы). Фильтры Ф-111 в целом обладают свойствами ненамного хуже более современных фильтров типа ФП, а коэффициент проницаемости у Ф-111 очень мал $\sim 10^{-3}$, и по этому параметру Ф-111 даже лучше ФП. Для используемого нами Ф-111 экспериментально была определена эффективность улавливания, которая для аэрозолей размерами 0,1-0,3 мкм оказалась не менее 96% при скорости прокачки вплоть до $8000 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$. Из-за малой механической прочности Ф-111 (особенно при очень высокой влажности воздуха, обычной для Вьетнама) была сконструирована специальная подставка (рис.1), которая позволила избежать этой проблемы.

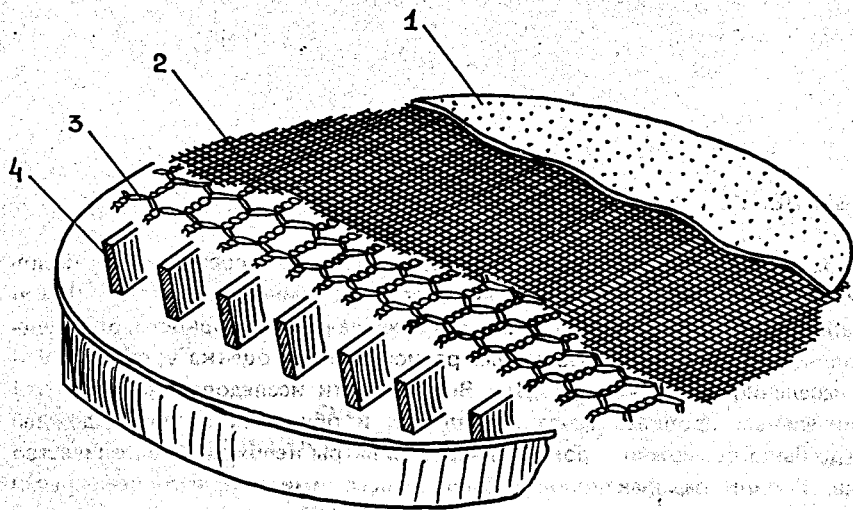


Рис. 1. Конструкция крепления фильтра: 1 — фильтр; 2 — мелкая ячейчатая сетка из нержавеющей стали; 3 — крупная ячейчатая стальная сетка; 4 — опоры для сеток.

Для прокачивания больших объемов воздуха нами была изготовлена установка с высоким давлением АЭ-1, которая обладает номинальной скоростью прокачки $4000 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot \text{м}^2$ в течение длительного времени, и с площадью фильтров $1,44 \text{ м}^2$. Объем прокачиваемого воздуха достигал в отдельных случаях 250000 м^3 .

После прокачки фильтры прокаливались при температуре не более 450°C , затем зола помещалась в цилиндрический контейнер из ПВХ диаметром 76 мм и прессовалась до высоты 15 мм . Подготовленная таким образом проба подавалась на гамма-спектрометрический анализ.

Использовался гамма-спектрометр с детектором из сверхчистого германия объемом 62 см^3 (фирма ORTEC) совместно с анализатором импульсов типа ND-66 на 4096 каналов. Детектор находился в защите с размером внутренней полости $50 \times 50 \times 50 \text{ см}$, толщиной стенок 8 см старого свинца плюс $3,6 \text{ см}$ старого железа и $0,2 \text{ см}$ меди.

Для градуировки использовались аттестованные гамма-источники типа GMT-3, изготовленные в Государственном институте атомной энергии Вьетнама: размеры этих источников совпадали с размерами проб ($\phi 76 \times 15 \text{ мм}$). Оценку предела чувствительности для спектрометра можно провести по известным критериям [4-6]:

$$A_{\min} = 0,167 \frac{1 + 2\delta \sqrt{N_{\phi} T}}{\delta^2 \eta T} [\text{Бк}], \quad (1)$$

где A_{\min} [Бк] — минимально измеряемая активность для данной установки с непостоянным фоном; N_{ϕ} [имп./с] — фон установки в рассматриваемом интервале энергий гамма-квантов; T [с] = $t_n + t_{\phi}$ — суммарное время измерений пробы и фона (обычно $t_{\phi}/t_n = 1,2^{1/4}$); η — абсолютная эффективность регистрации гамма-квантов рассматриваемой энергии; δ — относительная погрешность определения A_{\min} при заданных условиях измерения, обычно δ составляла не более 25%. С учетом статистических колебаний фона за те или иные интервалы измерений A_{\min} для изотопа ^{137}Cs ($E_{\gamma} = 662 \text{ кэВ}$) принимает значения от 0,186 до 0,257 Бк при $T = 6,48 \cdot 10^4 \text{ с}$ и $\delta = \pm 0,25$. При $V \approx 2 \cdot 10^5 \text{ м}^3$ указанные значения A_{\min} соответствуют пределу измеряемой концентрации $\geq 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ Бк/м}^3$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫВОДЫ

Перед аварией на ЧАЭС уже имелись результаты наблюдений за концентрацией радиоактивности в воздухе Ханоя. Объем прокачиваемого воздуха через фильтры достигал 250000 м^3 . Концентрация радиоактивности в воздухе Q вычислялась по формуле:

$$Q_i = \frac{N_i}{\epsilon_i \cdot \eta_i \cdot t_n \cdot V \cdot H \cdot K_{ab}^i \cdot \exp(-0,693 \cdot t_0 / T_{1/2}^i)} [\text{Бк/м}^3], \quad (2)$$

где N_i [имп.] — площадь пика полного поглощения в аппаратном спектре от i -го радионуклида; t_n [с] — время измерения пробы; ϵ_i — выход гамма-квантов на распад i -го изотопа; η_i — абсолютная эффективность регистрации гамма-квантов от i -го изотопа [имп./гамма-квант]; V [м^3] — объем прокачиваемого воздуха через фильтры; t_0 [с] — время, прошедшее от середины временного интервала отбора проб до середины времени измерения на гамма-спектрометре; $T_{1/2}^i$ — период полураспада i -го изотопа; H — эффективность улавливания при фильтрации воздуха; K_{ab}^i — поправка на самопоглощение гамма-квантов i -го изотопа.

Относительная погрешность вычислялась по формулам:

$$\delta = \frac{\sigma}{N_i}; \quad \sigma_i = \sqrt{N_i + N_{\phi}}$$

где N_{ϕ} [имп.] — число фоновых импульсов за время измерения t в энергетическом интервале, соответствующем интервалу из (2).

Типичный спектр, измеренный до аварии на ЧАЭС, показан на рис. 2. Видно, что кроме ^7Be и других природных элементов практически не обнаружено присутствие искусственных радионуклидов. Замечено лишь присутствие ^{137}Cs очень малой концентрации: от $0,1 \cdot 10^{-5}$ до $0,3 \cdot 10^{-5} \text{ Бк/м}^3$.

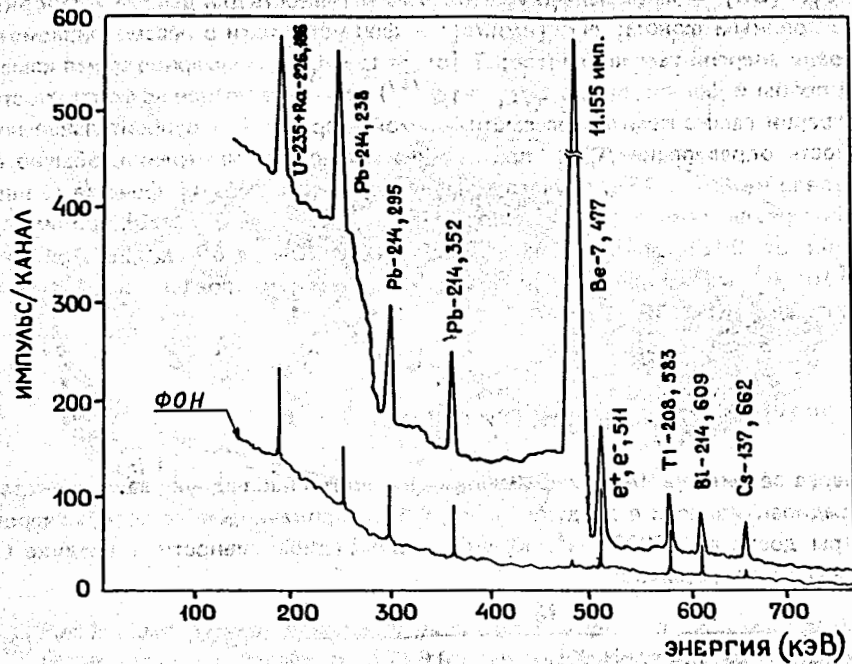


Рис. 2. Типичные аппаратные гамма-спектры за время измерения $\sim 10^5$ с; а – спектр фона; б – спектр от фильтра после прокачки $\sim 10^5$ м³ воздуха.

В пробах, отобранных в конце мая – начале июня 1986 г., уже уверенно определены около 10 искусственных радиоизотопов. Типичный спектр от этих проб представлен на рис.3, а концентрации, вычисленные по формуле (2), представлены в таблице.

Из таблицы видно, что концентрация ¹³⁷Cs повысилась до 100 раз. Отношение концентраций ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs $\sim 0,5$, что хорошо совпадает с данными [1]. В общем можно отметить повышение концентрации радиоактивности воздуха в среднем в ~ 70 раз по сравнению с нормальными условиями. Радионуклид ¹³¹I не был нами обнаружен; по-видимому, это можно объяснить двумя причинами: первые измерения начаты спустя примерно 50 дней после аварии ($T_{1/2} = 8,5$ дн. для ¹³¹I), и концентрация ¹³¹I за счет распада уменьшилась в десятки раз; возможны также потери йода при прокаливании фильтров. Длительные летние дожди с середины июня не позволили продолжить отбор проб воздуха, а измерения проб в июле показали концентрацию радиоактивности воздуха практически не отличающейся от обычных концентраций. По-видимому, обильные летние дожди очистили воздух, также возможно не-

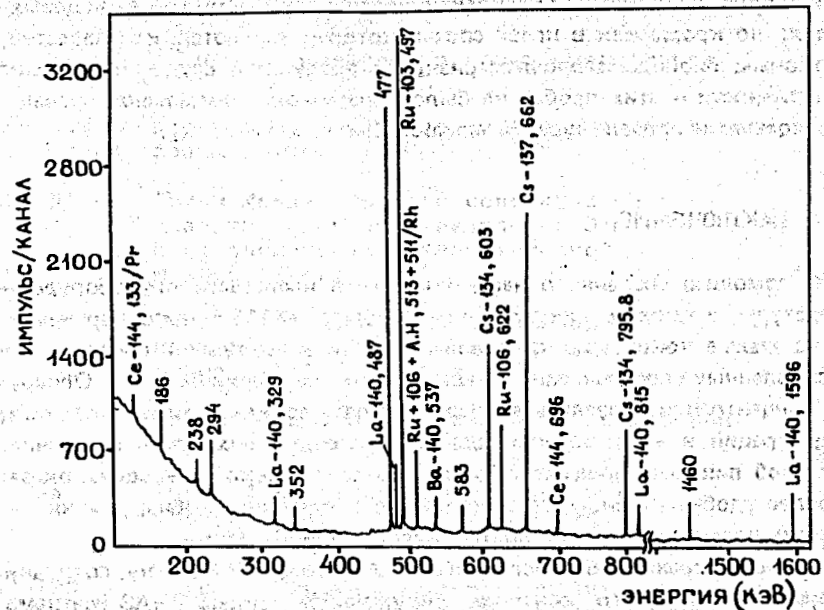


Рис.3. Гамма-спектр пробы аэрозолей после аварии на ЧАЭС (пробы брались в конце мая – июне 1986 г.)

Таблица

Радионуклид	E_γ [кэВ]	$T_{1/2}$	$Q \cdot 10^{-5}$ [Бк/м ³]	ДК _г в атмо- сферном воз- духе / θ [Бк/м ³]
¹³⁷ Cs	661,6	30,17 год	12,1	18
¹³⁴ Cs	795,8 604,2	2,066 год	5,9	16
¹⁰⁶ Ru	497	39,4 дня	18,3	67
¹⁰⁶ Ru ¹⁰⁶ Rh	513 622,4	367 дня 29,8 с	15,0	7,0
¹⁴⁴ Ce ¹⁴⁴ Pr	133,4 698,5	284,8 дня 17,3 дня	22,1	8,1
¹⁴⁰ Ba ¹⁴⁰ La	537,3 1596 815,7 487 323	12,8 дня 40,2 ч	1,12 1,1	56 160

совпадение по времени отбора проб с глобальными выпадениями. Параллельно были проведены измерения радиоактивности в растениях, траве, пищевых продуктах; но кроме как в иглах сосны, которые являются, как известно, эффективным биоиндикатором загрязнения воздушной среды, повышение радиоактивности в этих пробах не было обнаружено (возможное превышение оказалось ниже предела чувствительности наших установок).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью созданного нами комплекса нестандартного оборудования, аппаратуры, а также с использованием фильтра Ф-111 были обнаружены предельно малые концентрации радиоактивности в воздушной среде г. Ханоя, обусловленные глобальными выпадениями после аварии на ЧАЭС. Обнаруженные концентрации оказались в среднем на пять порядков меньше допустимых концентраций в атмосферном воздухе для отдельных групп населения. Из всех проб пищевых продуктов, растительности только иглы сосны оказались наиболее удобными биоиндикаторами для оперативного обнаружения загрязнения воздуха радиоактивностью малой концентрации.

Авторы выражают благодарность Ф.Т.М.Кханью, Ф.К.Диену, сотрудникам группы радиационного контроля окружающей среды ГИАЭ Вьетнама за помощь в работе; М.М.Комочкову за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Телушкина Е.А., Зыкова А.С., Воронина Т.Ф. — АЭ, 1991, т.70, вып.1, с.43.
2. Недваевская Н.А. и др. — АЭ, 1991, т.70, вып.1, с.63.
3. В сб.: 1 Всесоюзное совещание по ядерно-физическим методам анализа в контроле окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
4. Дементьев В.А. — Измерение малых активностей радиоактивных препаратов. М.: Атомиздат, 1967.
5. Dimchev T. — In: Proc. of the Second Int. Conf. on Low Level Counting. Low Radioactivities 80, Bratislava, 1980, v.2, p.115.
6. Lloyd A. Currie. — Analit. Chem., 1968, v.40, N 3, p.586.
7. Health and Environmental Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident. Rep. to the U.S. Dep. of Energy et al., D.S.20545. Washington, 1987.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ 76/87). М.: Энергоатомиздат, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 декабря 1991 года.