

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДАХ ЮЖНО-УКРАИНСКОЙ АЭС

М. Д. Бондарьков<sup>1</sup>, А. М. Максименко<sup>1</sup>, И. Н. Вишневский<sup>2</sup>, В. А. Желтоножский<sup>2</sup>,  
М. В. Желтоножская<sup>2</sup>, Л. В. Садовников<sup>2</sup>, С. В. Ильичев<sup>3</sup>, В. В. Боярищев<sup>3</sup>, В. Мюллер<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Международная радиоэкологическая лаборатория Чернобыльского центра, Славутич

<sup>2</sup> Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

<sup>3</sup> Южно-Украинская АЭС, Южноукраинск

<sup>4</sup> Истек ГРС, Германия

Проведены исследования концентрации радионуклидов в жидких и твердых технологических отходах на Южно-Украинской АЭС. Показано, что во всех пробах наблюдается согласованное изменение радионуклидов. Получены простые соотношения для оценки концентрации радионуклидов из данных об активности  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

### Введение

В настоящее время все реакторы энергоблоков Южно-Украинской АЭС (ЮУАЭС) находятся в эксплуатации и являются источником значительного количества радиоактивных отходов (РАО). Поэтому задача получения достоверных данных об изотопном составе и активности РАО чрезвычайно актуальна. Предпосылкой для передачи на захоронение является соответствующее описание, классификация и декларирование РАО. Сюда входит также указание общей, обусловленной спецификой радионуклидов активности РАО, определяемой для всех радиологически важных радионуклидов в соответствии с условиями захоронения. С целью определения общего содержания радиоактивности РАО, образующихся при эксплуатации ЮУАЭС, нами произведены измерения содержания гамма- и бета-радионуклидов в жидких (ЖРО) и твердых (ТРО) РАО. Анализ проведенных измерений позволяет разработать

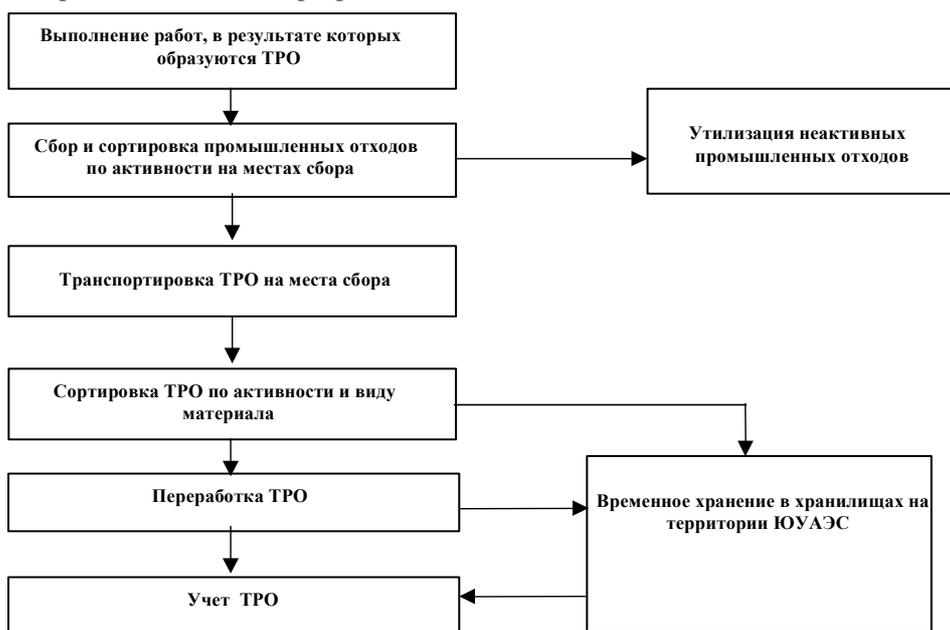
метод расчета концентрации активности радиологически важных радионуклидов в РАО по измерению активности нуклидов  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

### Эксперимент

В процессе эксплуатации ЮУАЭС образуются жидкие, твердые, газообразные и аэрозольные РАО.

Образовавшиеся ЖРО через системы спецнализации направляются для переработки на системы спецводоочистки. После очистки кубовый остаток и пульпа по трубопроводам поступает на хранение в емкости-хранилища жидких отходов.

ТРО образуются в основном в процессе выполнения работ в зоне строгого режима ЮУАЭС. Общая схема обращения с ТРО представлена ниже.



Нами для исследований отбирались пробы ТРО на площадке сортировки отходов и в пунктах сбора отработанных средств индивидуальной защиты. Пробы ТРО отбирали в индивидуальные полиэтиленовые пакеты. После доставки в лабораторию все пробы были взвешены, а затем озо-

лены в муфельной печи при температуре 450 °С. Затем была определена масса полученной золы, от которой отбирали аликвоту для дальнейших измерений. Предварительно аликвоту золы пресовали в специальных пластиковых контейнерах до получения образца стандартной геометрии.

#### Общая характеристика проб ТРО

№	Название ТРО	Исходная масса, г	Масса после озоления, г	Масса пробы на анализ, г
1	Теплоизоляция (стеклоткань)	3,59	3,39	1,29
2	СИЗ* при ремонте на верхнем блоке	9,15	0,03	0,03
3	СИЗ (перчатка)	9,40	0,31	0,31
4	СИЗ (перчатка)	13,05	0,67	0,67
5	Обтирочная ветошь	11,69	0,72	0,72
6	СИЗ (спецодежда)	10,63	0,08	0,08
7	СИЗ (завязки от бахил)	10,34	1,21	1,21
8	Кабельная изоляция	29,07	8,2	1,24
10	СИЗ (чепчик)	12,00	0,21	0,21
11	Мазок на верхнем блоке	-	-	0,02
12	Мазок на верхнем блоке	-	-	0,02

\* Средства индивидуальной защиты.

Пробы ЖРО отбирались из емкостей кубового остатка посредством штатного батометра. Подготовка проб ЖРО для измерения на гамма- и бета-спектрометрах заключалась в отборе 5-граммовой аликвоты в кювету для измерений.

Спектры гамма-лучей измерялись на антикомптоновском спектрометре, имеющем входное бериллиевое окно и Ge-детектор с эффективностью регистрации 40 % по сравнению с NaI (Тl)-детектором размерами 3" × 3". Распад ряда ядер происходит электронным захватом ( $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{108}\text{Ag}$ ) или процессом внутренней конверсии гамма-

лучей ( $^{93\text{m}}\text{Nb}$ ), поэтому нами были проведены измерения характеристического излучения, сопровождающего К-захват или процесс внутренней конверсии на К-оболочке. Измерения выполнялись на спектрометре с Ge-детектором, имеющим тонкое входное бериллиевое окно и объем 1 см<sup>3</sup>. Характерные спектры приведена на рис. 1. Измерения  $^{90}\text{Sr}$  выполнялись по разработанной нами методике [1] на бета-спектрометре с NaI (Тl)-детектором толщиной 1 мм.

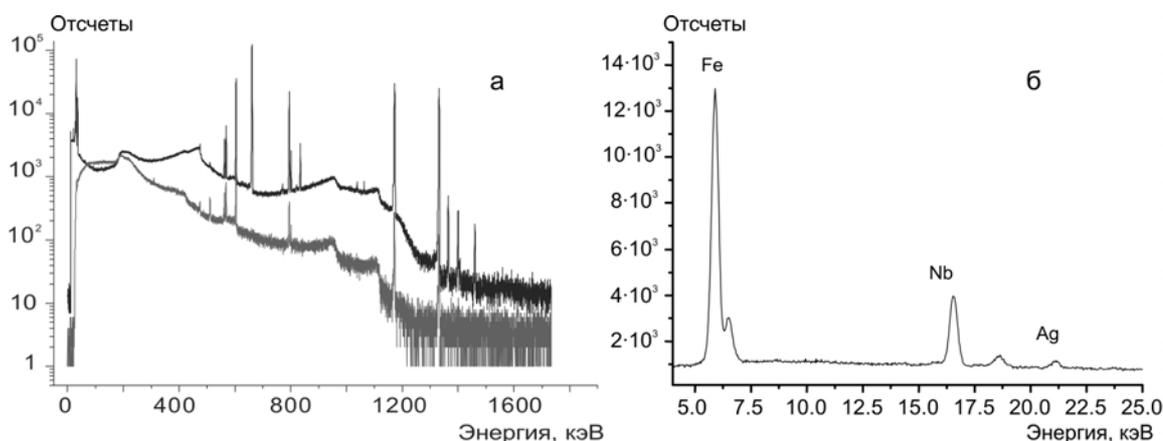


Рис. 1. Гамма-спектры ТРО, измеренные с подавлением комптоновского эффекта (серая линия) и без (черная линия) (а), и низкоэнергетическая область рентгеновского спектра ТРО (б).

Идентификация радионуклидов проводилась с помощью таблиц [2].

На рис. 2 и 3 представлены сводные данные о результатах измерений удельной активности нуклидов в образцах ТРО. На рис. 4 и 5 представлены сводные данные о результатах измерений удельной активности нуклидов в образцах ЖРО.

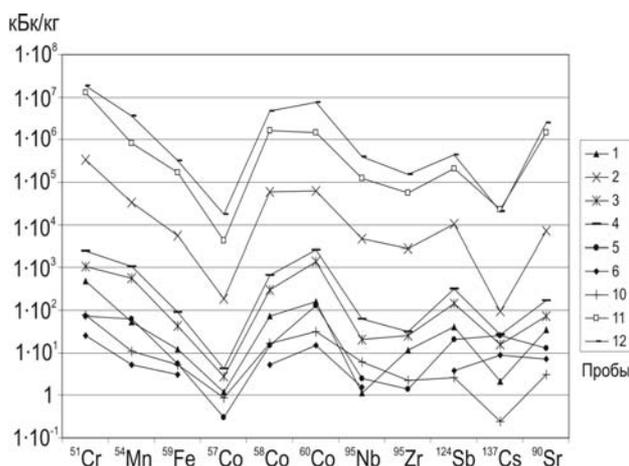


Рис. 2. Сводная диаграмма результатов измерений концентрации (кБк/кг) активностей радиоактивных изотопов в образцах ТРО.

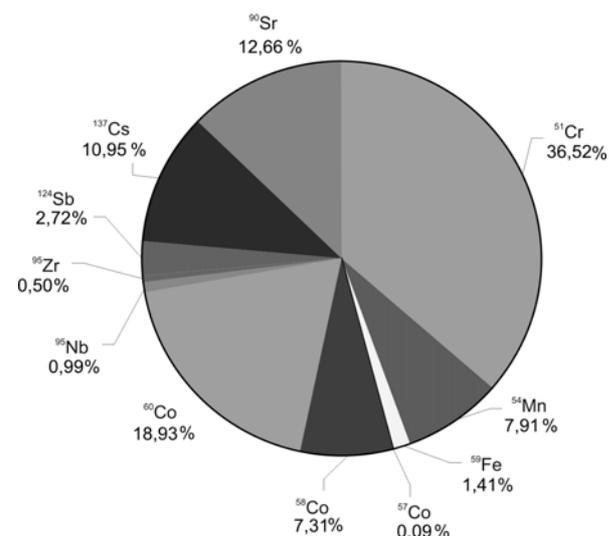


Рис. 3. Среднее процентное содержание активностей изотопов в пробах ТРО.

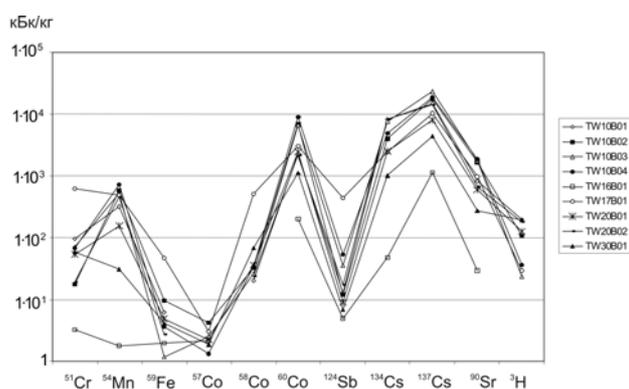


Рис. 4. Сводная диаграмма результатов измерений концентрации (кБк/кг) радиоактивных изотопов в образцах ЖРО.

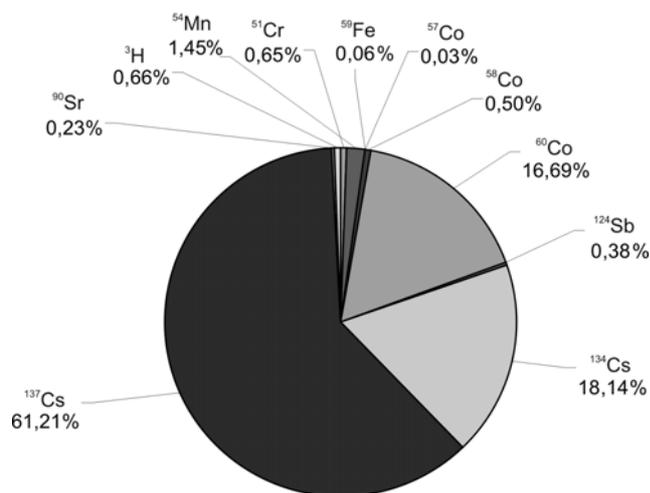


Рис. 5. Среднее процентное содержание активностей изотопов в пробах ЖРО.

### Обсуждение

Сравнительный анализ активностей твердых и жидких РАО демонстрирует их заметные отличия (рис. 6). В то время как в ЖРО наиболее существенную долю составляют изотопы <sup>134</sup>Cs и <sup>137</sup>Cs, в ТРО – <sup>51</sup>Cr и <sup>90</sup>Sr; при этом доля <sup>60</sup>Co также велика и приблизительно одинакова в обоих видах РАО. Это хорошо видно из диаграммы, приведенной на рис. 6.

Обобщенные данные по результатам измерений отображены на рис. 3 и 5.

Даже без корреляционного анализа хорошо заметно согласованное изменение концентрации многих изотопов как в ТРО, так и ЖРО. Дальнейший анализ показывает, что <sup>60</sup>Co и <sup>137</sup>Cs являются хорошо наблюдаемыми компонентами.

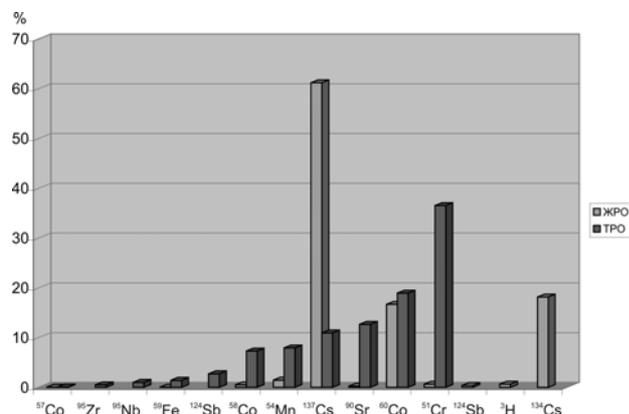


Рис. 6. Сравнительная диаграмма процентного содержания активностей радиоактивных изотопов в пробах ЖРО и ТРО.

Это важно отметить в связи со следующими обстоятельствами:

содержание этих нуклидов является определяющим практически для всех образцов;

с изменением их удельной концентрации хорошо коррелирует изменение удельной концентрации большинства других радионуклидов;

очень важным является также факт, что оба нуклида легко измеряются различными спектрометрами: как простейшим NaJ(Tl), так и стандартным полупроводниковым спектрометром;

$^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  имеют различное происхождение: если  $^{60}\text{Co}$  – это наведенная в результате облучения нейтронами активность, то  $^{137}\text{Cs}$  может появиться только как продукт деления.

Таким образом, измеряя активность  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , мы не только контролируем по корреляционным соотношениям основную часть радиологически значимых изотопов, но и оба канала образования РАО. Более того, по соотношению содержания  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  можно легко судить, являются ли данные РАО обычными эксплуатационными. Из данных наших измерений следует, что это положение является верным, если выполняется условие

$$A_{\text{Co-60}}/A_{\text{Cs-137}} = 0,277 \pm 0,033, \quad (1)$$

где  $A_{\text{Co-60}}$  и  $A_{\text{Cs-137}}$  удельные активности  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , соответственно.

В противном случае имеет место отклонение от рутинного состава РАО и требуются дополнительные исследования.

Однако в ЖРО корреляция между удельными активностями  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , с одной стороны, и  $^3\text{H}$ , с другой, отсутствует. В то же время заметно, что содержание  $^3\text{H}$  и  $^{90}\text{Sr}$  практически не меняется от пробы к пробе, и для оценки содержания активности  $^3\text{H}$  и  $^{90}\text{Sr}$  достаточно умножить определенное нами среднее значение удельной активности  $^3\text{H}$  или  $^{90}\text{Sr}$  на общую массу отходов, поступающих на хранение:

$$A_{\text{полн}} = A_{\text{ср}} \cdot m, \quad (2)$$

где  $A_{\text{полн}}$  – полная активность  $^3\text{H}$  или  $^{90}\text{Sr}$ , поступающих на хранение;  $A_{\text{ср}}$  – средние значения удельной активности, равные  $A_{\text{ср}}(^3\text{H}) = 111,6$  кБк/кг,  $A_{\text{ср}}(^{90}\text{Sr}) = 969,7$  кБк/кг;  $m$  – масса ТРО в контейнере.

Плотность исследованных спрессованных ТРО, как и ЖРО, близко к  $1 \text{ г/см}^3$ , поэтому массу

можно для простоты заменить на объем, что еще больше упростит оценки.

В целом для ЖРО существует не только хорошая корреляция для отдельных изотопов, но и довольно близкое совпадение удельных активностей для разных емкостей. Это позволяет разработать методику определения активности ЖРО, которая сводится к регулярному измерению соотношения удельных активностей  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  к остальным изотопам во вновь образовавшихся ЖРО. Активность изотопа в ЖРО в этом случае легко оценить по формуле

$$A_i = A_{\text{Cs-137}} \cdot k_i \cdot m, \quad (3)$$

где  $A_i$  – активность определяемого изотопа в ЖРО;  $A_{\text{Cs-137}}$  – измеренное значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ ;  $k_i$  – отношение удельной активности  $i$ -го изотопа к удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ , определяется эмпирическим путем для каждой емкости в результате неоднократных измерений образцов ЖРО в лаборатории;  $m$  – масса ЖРО, поступающих на хранение.

При этом суммарная радиоактивность контейнера с отходами определяется как сумма активностей всех изотопов

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (4)$$

где  $A_i$  – активность определяемого изотопа в ЖРО;  $i = 1 \dots n$  – число радионуклидов, определяемых в ЖРО.

Очевидно, что при этом желательно периодически проводить контрольные измерения по всем изотопам в специализированной лаборатории и использовать эти контрольные измерения для уточнения средних удельных значений активности.

В то же время для ТРО, где корреляция между отдельными активностями намного выше, чем для ЖРО, разница между удельными активностями отдельных образцов намного больше и достигает пяти порядков (см. рис. 2). Таким образом, такой простой подход, как для ЖРО, здесь невозможен, и требуются дополнительные измерения, поскольку использование средних значений недопустимо из-за слишком большого разброса активностей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bondarkov M.D., Maximenko A.M., Zheltonozhsky V.A. Non radiochemical technique for  $^{90}\text{Sr}$  measurement // Proc. of the Int. Congress "Ecorad 2001", 3 - 4 Sept. 2001, Aix-en-Provence (France). - Vol. 2; Radioprotection colloques. - Vol. 37, c1. - P. 221 - 227.
2. Table of radioactive isotopes / Ed. By V. S. Shirley. - New York, 1986.

**ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНОСТІ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВІДХОДАХ  
НА ПІВДЕННО-УКРАЇНСЬКІЙ АЕС**

**М. Д. Бондарков, А. М. Максименко, І. М. Вишневський, В. А. Желтоножський,  
М. В. Желтоножська, Л. В. Садовников, С. В. Ілічев, В. В. Боярищев, В. Мюллер**

Проведено дослідження концентрації радіонуклідів у рідких та твердих технологічних відходах на Південно-Українській АЕС. Продемонстровано, що в усіх пробах спостерігається узгоджена зміна радіонуклідів. Одержано прості співвідношення для оцінки концентрації радіонуклідів із даних про активність  $^{60}\text{Co}$  та  $^{137}\text{Cs}$ .

**INVESTIGATION OF RADIONUCLIDE CONCENTRATION  
IN TECHNOLOGICAL WASTES OF SOUTH-UKRAINIAN NPP**

**M. D. Bondarkov, A. M. Maksimenko, I. M. Vyshnevsky, V. A. Zheltonozhsky,  
M. V. Zheltonozhska, L. V. Sadovnikov, S. V. Ilichyov, V. V. Boyarischev, V. Muller**

Investigation of radionuclide concentration in liquid and solid technological wastes of South Ukrainian NPP was carried out. The coordinated change of radionuclides in all samples is indicated. Simple correlation for evaluation of radionuclide concentration from data of  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$  activity was obtained.

Поступила в редакцію 31.03.06,  
после доработки – 19.10.06.