УДК 621.039.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ОБРАЗЦАХ БЕТОНА ИТЭР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНАА НА РЕАКТОРЕ ИВГ.1М

Медетбеков Б.С., Попов Ю.А., Прозорова И.В.

Филиал «Институт атомной энергии» НЯЦ РК, город Курчатов, Казахстан

Настоящая работа посвящена определению примесей в образцах бетона - конструкционного материала реактора ИТЭР. Представлены результаты реакторных экспериментов и спектрометрических исследований. Облучение образцов для инструментального нейтронно-активационного анализа проводилось на реакторе ИВГ.1М. Пост анализ включал гамма спектрометрические измерения с различной выдержки образцов от одних суток до одного месяца, с расчетом концентрации основных и примесных элементов относительным методом ИНАА. Для сравнения в качестве стандартных образцов использовались горные породы типа СГ-4 и СГД. Был выполнен анализ погрешностей при проведении инструментального нейтронно-активационного анализа на реакторе ИВГ.1М. В результате проведенных исследований определено содержание элементов, которые могут вносить основной вклад в радиационную обстановку в помещениях при эксплуатации и декомиссии ИТЭР.

Введение

В настоящее время для анализа различных материалов наряду с классическими методами аналитической химии используются такие ядерно-физические методы как атомно-абсорбционная спектрометрия, рентгено-флуоресцентный анализ, атомная эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, синхротронное излучение, нейтронно-активационный анализ и другие. По проведенному сравнительному анализу можно сказать, что наиболее чувствительными являются радиофизические методы [1, 2].

Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) является одним из предпочтительных методов, так как он позволяет, во-первых, получать информацию по большому числу элементов [3] и, во-вторых, ИНАА позволяет получить качественный и количественный анализ на наличие тех и иных элементов, содержащихся в исследуемом образце с хорошей точностью. В наши дни ИНАА применяется в различных сферах народного хозяйства: в геологии, в медицине, в археологии, в криминалистике и в экологии как эффективный инструмент для определения элементного состава любого образца-вещества и в любом агрегатном состоянии [4–9].

В работе [10], посвященной наведенной активности и активационным характеристикам бетонов радиационной защиты показано что, эти свойства определяются содержанием химических элементов, концентрация которых в исходных компонентах бетонов может изменяться от тысячных долей до процентов по массе. Для снижения активности и объемов радиоактивных отходов выбор защитных бетонов ядерных установок должен происходить с учетом наполнения состава бетона активационно-опасными элементами. Поэтому авторы обосновали необходимость и возможность создания банка данных по активационным характеристикам конструкционных и защитных материалов для ядерных установок. В результате на основе данных расчетно-экспериментальных исследований выделены важнейшие химические элементы, определяющие долгоживущую наведенную активность защитных бетонов, разработаны структура, содержание и информационная составляющая банка данных по активационным характеристикам защитных бетонов ядерных установок.

Наша исследовательская работа заключалась в изучении активационных характеристик бетонов различных марок, которые будут использованы при эксплуатации и декомиссии ИТЭР. Работа была проведена в 2019 году в рамках международного договора между Республикой Казахстан и организации ИТЭР.

В ходе подготовки к ИННА было выполнено ряд задач: полученные образцы бетонов из Франции (г. Кадараш) необходимо было подготовить специальным способом – измельчить до состояния порошка; разработать ампульное устройство для облучения; провести все необходимые нейтронно-физические и теплофизические расчеты. Далее было проведено облучение отобранных, взвешенных и маркированных образцов в потоке тепловых нейтронов в реакторе ИВГ.1М., гамма-спектрометрические измерения образцов и расчет концентрации элементов на наличие интересующих примесей.

Подготовка образцов для реакторного эксперимента

Керн бетона марки М8В (рисунок 1-а), используемый в качестве конструкционного материала реактора ИТЭР, как уже указано выше, был получен из Франции с площадки строительства ИТЭР в г. Кадараше. Перед облучением на реакторе керн прошел специальную процедуру гомогенизации. Процедура включала в себя ряд этапов:

– вырезку дисковых заготовок толщиной 7–8 мм вблизи верхней и нижнего оснований керна (см. рисунок 1-б и 1-в);

– сушку заготовок в сушильном шкафу в течение 2 часов;

– полное дробление, измельчение материала вырезанных дисковых заготовок до получения порошка с размером частиц менее 400 мкм.

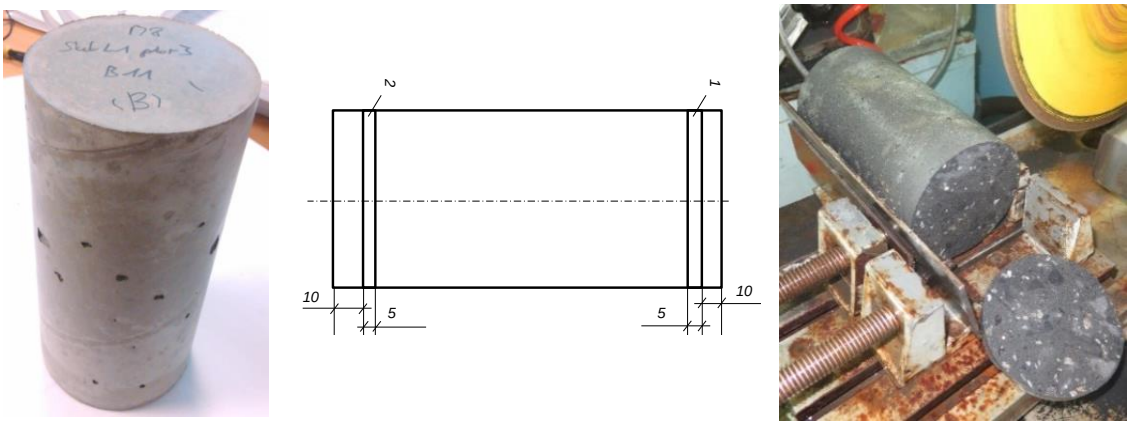
– гомогенизацию (перемешивание) полученного порошкообразного материала и отбор представительной пробы;

– полное дробление, измельчение представительной пробы до получения порошка с размером частиц менее 50 мкм.

– гомогенизацию (перемешивание) полученного порошкообразного материала, сушку в сушильном шкафу (муфельной печи) при температуре 110 °С в течение 2 часов.

– взвешивание полученного порошкообразного препарата, упаковку и маркировку.

Иллюстрации процедур подготовки и внешнего вида материала приведены на рисунке 2.



а) б) в)

Рисунок 1. Керн бетона марки М8В предназначенный для анализа (а), схема вырезки (б) и вырезка дисковой заготовки из керна бетона (в)



а) б)

в) г)

Рисунок 2. Процедуры подготовки проб бетона: предварительное измельчение дисковых заготовок (а); автоматизированное измельчение в вибрационной мельнице (б); просеивание через сито с размером ячеек 400 мкм (в); отбор представительной пробы (г)

Также для экспериментов были подготовлены и расфасованы стандартные образцы (рисунок 3). Стандартные образцы необходимы для проведения «относительного метода», для получения количественных результатов по ИНАА:

1) стандартный образец СГД 2;
2) стандартный образец СГ-4.

СГД-2а – эссекситовое габбро – крупнозернистая порода габбровой структуры, частично измененная вторичными процессами.

СГ-4 – субщелочной гранит, принадлежит к гранитоидам, характеризуется высоко-калиевым и низко-кальциевым составом и соответствует разновидности переходной от субщелочной к щелочной.

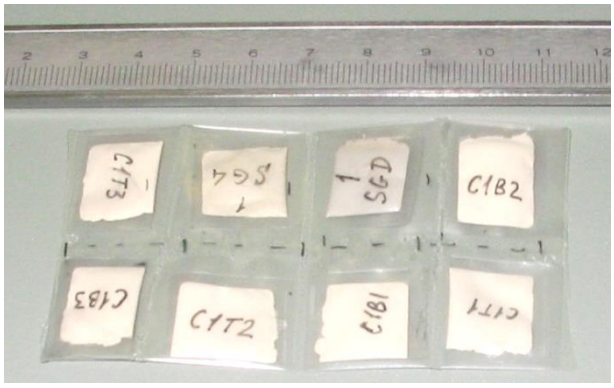


Рисунок 3. Запаянные и маркированные пакеты с образцами для эксперимента



Рисунок 4. Облучательный контейнер и образцы до облучения

Стандартные образцы, используемые в исследовании, не требуют специальной подготовки. Подготовка образцов заключалась в расфасовке и взвешивании образцов в соответствии с методическими указаниями по подготовке проб минерального сырья для инструментального нейтронно-активационного анализа [11].

Для эксперимента на реакторе был подготовлен и упакован в полиэтиленовые пакетики порошкообразный материал. Образцы C1B1…C1B3 подготовлены из нижней части бетонного керна M8-B. Образцы C1T1…C1T3 подготовлены из верхней части бетонного керна M8-B. Кроме образцов бетона подготовлены 2 стандартных образца типа СГД и СГ-4. На рисунке 3 представлены образцы бетона M8B и стандартные образцы, подготовленные для размещения в контейнере для реакторного эксперимента.

Далее все образцы были размещены внутри экспериментального устройства (ЭУ), которое представляло собой цилиндр из алюминиевого сплава (рисунок 4). ЭУ с образцами устанавливалось в экспериментальный канал реактора, при этом образцы во время облучения находились в месте, соответствующему максимальной плотности потока нейтронов. Дополнительно ЭУ было оснащено термопарой для теплометрирования крышки во время облучения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И СПЕКТРОМЕТРИЯ

Облучение ЭУ с образцами проведено при мощности реактора 300 кВт и длительностью 8000 сек (рисунок 5).



Рисунок 5. Загрузка ЭУ с образцами в реактор для эксперимента

После облучения, через сутки (24 часа), проведены первые гамма-спектрометрические измерения образцов (рисунок 6), с помощью двух полупроводниковых детекторов из особо чистого германия с разрешением по линии ^{60}Co 1332 кэВ менее 1,8 кэВ.

На основе практического опыта по проведению инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) горных пород в лаборатории разработана методика для определения элементного состава минерального сырья [12].

Согласно методике, гамма-спектрометрические измерения каждого образца, включая стандартные образцы, проходили в три этапа:

1) *Время выдержки образцов 1 сутки.* После реакторного облучения для определения содержания таких элементов, как (Ga), Mn, Na и K анализируемые образцы выдерживают в течение 1 суток.

2) *Время выдержки образцов от 5 до 10 суток.* После реакторного облучения для определения содержания таких элементов, как Ba, Ca, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sm, U, W, Yb, образец рекомендуется выдерживать в течение периода времени от 5 до 10 сут. За это время на 2–3 порядка спадает активность основного мешающего радионуклида ^{24}Na.

3) *Время выдержки образцов от 25 до 30 суток.* После реакторного облучения для определения таких элементов, как·Eu, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Sc, Sr, Ta, Tb, Th, Zn, Zr, образец рекомендуется выдерживать в течение периода времени от 25 суток. За это время на 2–3 порядка спадает активность радионуклидов с периодом полураспада до 3 суток, в том числе ^{140}La, который вносит значительный вклад в радиационный фон от облученного образца.



Рисунок 6. Гамма-спектрометрические измерения образцов

Гамма-спектрометрические измерения стандартных и аналитических образцов проводились в одних и тех же условиях (стандартные и аналитические образцы устанавливаются на одной высоте над детектором). Таким образом, идентичность условий соблюдается не только в отношении геометрии (формы и массы) образцов, условий размещения в экспериментальном канале реактора и соответственно условий облучения стандартных и аналитических образцов, но и в ходе гамма-спектрометрических измерений. Это являлось важным и неотъемлемым условием проведения ИНАА с использованием стандартных образцов.

Порядок расчета концентрации элементов и анализ погрешностей

Концентрация элемента-аналита в анализируемом образце определялась в соответствии с основным уравнением (1) [13]:

$$C_a = C_{st}\left(\frac{N/t_c}{K_d K_c W}\right)_a \Bigg/ \left(\frac{N/t_c}{K_d K_c W}\right)_{st} \qquad (1)$$

где символы *a* и *st* относятся к элементу-аналиту в образце и в стандарте соответственно; C_a, C_{st} – концентрации элемента-аналита в образце и в стандарте соответственно, %; N – площадь пика полного поглощения (ППП), имп.; t_c – время экспозиции («живое» время измерения), с; K_d – поправка, учитывающая распад радиоактивного изотопа элемента-аналита за время «охлаждения» t_d , отн. ед.; K_c – поправка, учитывающая распад радиоактивного изотопа элемента-аналита за время измерения (счета) образца, отн. ед.; W – масса образца (стандарта), г;

Следующим шагом исследования было проведение анализа погрешностей определения концентрации аналита. Расчёт относительной погрешности определения концентрации аналита в образце δ(Ca) проводится в соответствии с [13–18]. Основными принципами методики расчёта погрешности являются:

1) Полная погрешность результата измерений определяется как сумма случайной и систематической погрешностей, приведённых к одинаковой доверительной вероятности p = 0,95;

2) Нормальный закон распределения составляющих случайной погрешности результата;

3) Равномерный закон распределения составляющих систематической погрешности.

Результаты исследований

Особенности определения элементов Cs, Eu, Sm, Ta, Tb

Основной интерес при проведении ИНАА представляют элементы, продукты активации которых могут вносить значимый вклад в радиационную обстановку в помещениях при эксплуатации ИТЭР (в первую очередь, *Cs, Eu, Sm, Ta, Tb).* В этой связи ниже показаны некоторые детали определения концентрации этих элементов.

Для набора и анализа гамма-спектров использовали программное обеспечение *GENIE 2000.*

Цезий. Для определения цезия использовалась линия гамма-излучения 795,8 кэВ радиоактивного изотопа цезия ^{134}Cs. Линия – синглет, помехи при анализе отсутствуют. Предел определения цезия для бетона М8В составил 0,07 мг/кг. На рисунке 7 показан пример определения параметров пика с энергией 796 кэВ в окне программы IPF.

Европий. Для определения европия использовались линии 121,8 и 1408 кэВ. Линия 1408 является синглетом (рисунок 8-а). Линия 121,8 интерферирует с линией ^{154}Eu 123,1 кэВ и линией ^{131}Ba 123,8 кэВ (рисунок 8-б). Предел определения европия составил 0,014 мг/кг для линии 1408 кэВ и 0,006 мг/кг для линии 122 кэВ.

Самарий. Для определения самария ^{153}Sm использовалась линия с энергией 69,7 кэВ. Линию 103,2 кэВ ^{153}Sm (рисунок 9-б) использовать затруднительно, поскольку наблюдается интерференция с линией 103,7 кэВ ^{239}Np. Возможная помеха – присутствие в пробе тяжелых делящихся ядер, в первую очередь ^{235}U. Предел определения для бетона М8В составил 0,04 мг/кг.

Тантал. Для определения тантала использовалась линия 1221,4 кэВ радиоактивного изотопа тантала ^{182}Ta. На рисунке 10 показан пример определения параметров пика с энергией 1221 кэВ в окне программы IPF. Предел определения тантала для бетона М8В составил 0,04 мг/кг.

Тербий. Для определения тербия использовалась линия 298,6 кэВ радиоактивного изотопа тербия ^{160}Tb. На рисунке 11 показан пример разделения дуплета – двух интерферирующих линий 298,6 кэВ (^{160}Tb) и 300,1 кэВ (^{233}Pa) в окне программы IPF.

Присутствие в образцах ^{235}U является возможной помехой при определении не только Sm, но и таких элементов, как Ce, Nd, Zr и в меньшей степени – La. Так при определении Zr, вклад осколочного (образующегося при делении) ^{95}Zr может составить до 90% при содержании в образце урана 0,06 мг/кг, а циркония 0,003 мг/кг.

В таблице 2 представлены результаты определения содержания элементов-аналитов для трех образцов из нижней части бетонного керна М8В (образцы С1В1…С1В3) а также абсолютная погрешность определения концентрации элемента-аналитов в образце.

В таблице 3 приведены аналогичные результаты определения содержания элементов-аналитов для трех образцов из верхней части керна (образцы С1Т1…С1Т3).

На рисунке 8 в виде диаграммы представлены результаты определения содержания элементов-аналитов для образцов из нижней и верхней части бетонного керна М8В.

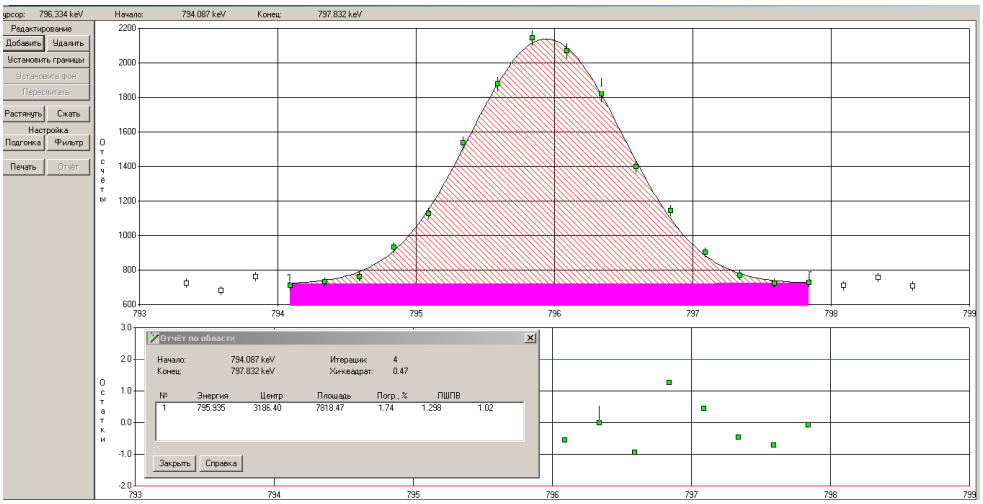


Рисунок 7. Линия 796 кэВ (^{134}Cs) в окне IPF

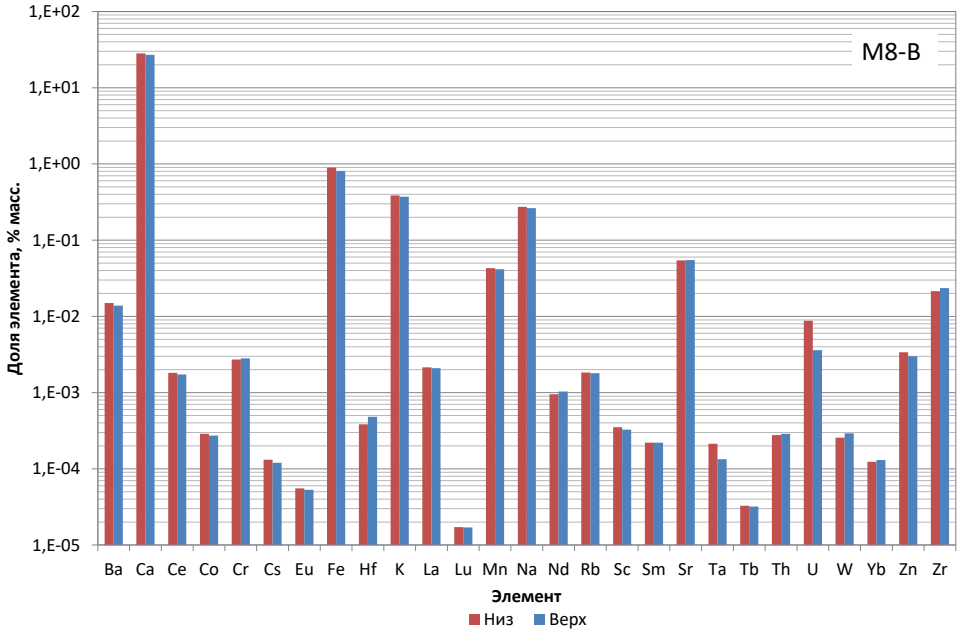


Рисунок 8. Результаты определения содержания элементов-аналитов

Таблица 2. Результаты ИНАА образцов нижней части бетонного керна M8B, % масс.

Элемент	C1B1		C1B2		C1B3		Абсолютная ошибка
	GC1518-1	GC1518-2	GC1518-1	GC1518-2	GC1518-1	GC1518-2	
Ba	0,015	0,015	0,015	0,014	0,015	0,016	±0,004
Ca	28,1	27,2	29,0	28,4	28,8	28,0	±1,2
Ce	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0019	0,0018	±0,0004
Co	0,000286	0,00028	0,000298	0,00030	0,000286	0,00028	±0,00003
Cr	0,00277	0,0027	0,00283	0,0028	0,00260	0,0026	±0,0003
Cs	0,00013	0,00013	0,00013	0,00013	0,00013	0,00014	±0,00002
Eu	0,000053	0,000055	0,000055	0,000057	0,000055	0,000057	±0,000009
Fe	0,872	0,877	0,917	0,920	0,893	0,904	±0,02
Hf	0,00038	0,00038	0,00038	0,00039	0,00039	0,00038	±0,00009
K	0,392	0,40	0,373	0,39	0,382	0,38	±0,025
La	0,00208	0,00211	0,00213	0,00218	0,00215	0,00220	±0,00025
Lu	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000018	±0,000003
Mn	0,042	0,042	0,044	0,043	0,042	0,045	±0,004
Na	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,27	±0,01
Nd	0,0009	0,0010	0,0009	0,0010	0,0009	0,0010	±0,0003
Rb	0,0018	0,0018	0,0019	0,0018	0,0018	0,0019	±0,0003
Sc	0,000344	0,000344	0,000359	0,000361	0,000351	0,000353	±0,00004
Sm	0,00022	0,00021	0,00022	0,00021	0,00023	0,00023	±0,000035
Sr	0,0542	0,053	0,0542	0,054	0,0549	0,055	±0,0050
Ta	0,00013	0,00013	0,00019	0,00019	0,00030	0,00034	±0,00003
Tb	0,000033	0,000033	0,000033	0,000033	0,000032	0,000033	±0,000004
Th	0,00028	0,00027	0,00028	0,00027	0,00028	0,00028	±0,00004
U	0,0085	0,0086	0,0087	0,0087	0,0091	0,0091	±0,0008
W	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00027	0,00027	±0,00009
Yb	0,00012	0,000123	0,00012	0,000130	0,00012	0,000130	±0,00002
Zn	0,0034	0,0033	0,0035	0,0034	0,0034	0,0033	±0,0002
Zr	0,021	0,022	0,021	0,022	0,021	0,022	±0,006

Таблица 3. Результаты ИНАА образцов верхней части бетонного керна M8B, % масс.

Элемент	C1T1		C1T2		C1T3		Абсолютная ошибка
	GC1518-1	GC1518-2	GC1518-1	GC1518-2	GC1518-1	GC1518-2	
Ba	0,015	0,015	0,014	0,013	0,012	0,014	±0,004
Ca	26,9	27,3	26,7	27,4	27,2	26,9	±1,2
Ce	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0017	0,0017	±0,0004
Co	0,000268	0,00027	0,000280	0,00027	0,000280	0,00027	±0,00003
Cr	0,00276	0,0027	0,00296	0,0029	0,00280	0,0028	±0,0003
Cs	0,00012	0,00012	0,00012	0,00012	0,00012	0,00012	±0,00002
Eu	0,000053	0,000054	0,000053	0,000054	0,000052	0,000053	±0,000009
Fe	0,800	0,799	0,814	0,800	0,804	0,803	±0,02
Hf	0,00048	0,00048	0,00049	0,00049	0,00047	0,00048	±0,00009
K	0,380	0,370	0,365	0,370	0,366	0,380	±0,025
La	0,00205	0,00206	0,00213	0,00214	0,00208	0,00206	±0,00025
Lu	0,000017	0,000017	0,000017	0,000018	0,000017	0,000016	±0,000003
Mn	0,042	0,041	0,041	0,041	0,042	0,042	±0,004
Na	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26	0,27	±0,01
Nd	0,0010	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0011	±0,0003
Rb	0,0018	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0018	±0,0003
Sc	0,000325	0,000325	0,000331	0,000328	0,000328	0,000326	±0,00004
Sm	0,00023	0,00022	0,00023	0,00022	0,00022	0,0002	±0,000035
Sr	0,056	0,056	0,054	0,053	0,055	0,054	±0,0050
Ta	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,0001	0,0001	±0,00003
Tb	0,000032	0,000033	0,000032	0,000033	0,000031	0,000031	±0,000004
Th	0,00029	0,00028	0,00031	0,00030	0,00028	0,00027	±0,00004
U	0,0030	0,0031	0,0042	0,0043	0,0035	0,0035	±0,0008
W	0,00031	0,00032	0,00031	0,00030	0,00025	0,00026	±0,00009
Yb	0,00012	0,000136	0,00013	0,000140	0,00012	0,000138	±0,00002
Zn	0,0031	0,0029	0,0031	0,0029	0,0031	0,0029	±0,0002
Zr	0,023	0,025	0,023	0,023	0,023	0,024	±0,006

На основании данных таблиц 2 и 3 определено содержание элементов в бетоне М8В и погрешности: Cs – 1,3 (±0,2) мг/кг, Eu – 0,54 (±0,09) мг/кг, Sm – 2,2 (±0,35) мг/кг, Ta – 1,7 (±0,3) мг/кг, Tb – 0,32 (±0,04) мг/кг.

Заключение

Проведен инструментальный нейтронно-активационный анализ образцов, приготовленных из керна бетона М8В, облучения образцов происходило в исследовательском реакторе ИВГ.1М при флюенсе тепловых нейтронов $5{,}3 \cdot 10^{16}$ н/см^2, гамма-спектрометрические измерения проводились при различной выдержки образцов от одних суток до одного месяца. Проведена обработка результатов гамма-спектрометрических измерений. Рассчитаны концентрации основных и примесных элементов.

Сравнение данных инструментального нейтронно-активационного анализа с аттестованными содержаниями элементов в стандартных образцах показывает их совпадение в пределах стандартного отклонения практически для всех определяемых элементов. Это подтверждает высокую точность полученных результатов к примесям образцов бетона и правильность применения методики ИНАА.

Результаты определения элементного состава верхней и нижней частей блока М8В совпадают с точностью до погрешности определения.

В бетоне марки М8В определено содержание элементов, которые могут вносить основной вклад в радиационную обстановку в помещениях при эксплуатации и декомиссии ИТЭР.

Литература

1. Фронтасьева М.В. Нейтронно-активационный анализ в науках о жизни // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2011. – Т. 42. – С. 636–701.
2. Kaytipuly C.J., Westland A.D. Review of methods for the determination of lanthanides in geological samples // Talanta. – 1988. – Т. 35, № 1. – P. 1–13.
3. Таблица определения химических элементов методом нейтронно-активационного анализа // Изв. АН Каз.ССР. Сер.физ. и техн. наук. – 1980. – № 6. – С. 3–7.
4. Нургалиева Д.Ж, Омарова Н.М., Фронтасьева М.В., Моржухина С.В. Атмосферное выпадение тяжелых металлов на территории Республики Казахстань // ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2018 Международная научно-практическая конференция, 2018. – С. 219–223.
5. I. Yu. Silachyov. Determination of rare earths in uranium raw material by neutron activation analysis and X-ray fluorescence // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series Chemistry and Technology. – 2018 – V 3, № 429, P. 28–38.
6. Rajmund S. Dybczyński. The role of NAA in securing the accuracy of analytical results in the inorganic trace analysis // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. –2019, Vol 322, Issue 3, PP. 1505–1515.
7. Wael M., Badawy Khaled Ali, Hussein M, El-Samman, Marina V. Frontasyeva, Svetlana F. Gundorina, Octavian G. Duliu. Instrumental neutron activation analysis of soil and sediment samples from Siwa Oasis, Egypt // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2015, Vol 12, Issue 4, pp. 637–644.
8. Робертус Юрий Владимирович, Рихванов Леонид Петрович, Ситникова Валентина Александровна, Савенко Ксения Сергеевна, Большунова Татьяна Сергеевна Элементный состав лишайника на шифере как биоиндикатор загрязнения атмосферы агломерации г. Горно-Алтайска // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018, Т 329. – №4. – С. 70–78
9. Данилова Е.А., Хайдарова М.М., Шамсиев Ф.М., Киста.А., Осинская Н.С. Оценка эффективности витаминно-минерального комплекса «Лайфпак юниор» методом нейтронно-активационного анализа в лечении детей с заболеваниями органов дыхания // Медицинская физика. – 2009, Т 42. – №:4. – С. 53–56.
10. Былкин Борис Константинович, Енговатов Игорь Анатольевич, Кожевников Алексей Николаевич, Синюшин Дмитрий Константинович. Банк данных по активационным характеристикам бетонов радиационной защиты ядерных установок // Вестник МГСУ. – 2018. – Т 13. – Выпуск 2(113). – С. 213–221.
11. Методические указания по подготовке проб минерального сырья для инструментального нейтронно-активационного анализа: инструкция / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; разработчик отдел 240.– Курчатов, 25.12.2012.– 10 с.– Инв. № К-50993.
12. Методика проведения нейтронно-активационного анализа проб минерального сырья с использованием исследовательских реакторов ИВГ.1М и ИГР / Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК.– Курчатов, 13.01.2015.– 12 с.– № К-52121.
13. R. Jacimovic. Comparison of relative INAA and k 0-INAA using soil and sediment reference materials. J Radioanal. Nucl. Chem. – 2014. – Vol. 300. – P. 663–672
14. А. Кузнецов. Активационный анализ. Изд. 2-е. М., Атомиздат, 1974, с. 344.
15. Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory. IAEA-TECDOC-564. 1990 г.
16. Брискман Б.А., Генералов В.В., Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С. Внутриреакторная дозиметрия. Практическое руководство. М. Энергоиздат. 1985.
17. Метрология нейтронных измерений на ядерно-физических установках. Материалы I Всесоюзной школы. Том 1 и 2. Под редакцией Васильева Р.Д. М., 1976. с 176.
18. Тустановский В.Т. Оценка точности и чувствительности активационного анализа. М.: Атомиздат. 1976, с. 192.

ИВГ.1М РЕАКТОРЫНДА ИНАТ-ДЫ ПАЙДАЛАНЫП БЕТОН ҮЛГІЛЕРІНДЕГІ ҚОСПАЛАРДЫ АНЫҚТАУ

Б.С. Медетбеков, Ю.А. Попов, И.В. Прозорова

ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Бұл жұмыс ITER реакторының конструкциялық материалы – бетон сынамаларындағы қоспаларды анықтауға арналған. Реакторлық эксперименттер мен спектрометриялық зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Инструменталды нейтрондық активациялық талдауды жүзеге асыру үшін үлгілер ИВГ.1М реакторында сәулелендірілді. Пост-талдауға салыстырмалы ИНАТ әдісімен негізгі және қоспалық элементтердің концентрациясын есептей отырып, ұсталым уақыты бір тәуліктен бір айға дейінгі әр түрлі үлгілердің әсер ету уақыттарымен гамма-спектрометриялық өлшеулер жүргізілді. Салыстыру үшін стандартты үлгілер ретінде SG-4 және SGD сияқты тау жыныстарынан тұратын стандартты материалдар пайдаланылды. ИВГ.1М реакторында инструменталды нейтрондық активациялық талдау барысында қателіктерге талдау жасалды. Жүргізілген ИНАТ зерттеулер нәтижесінде ИТЭР-ді пайдалану және тоқтату кезінде үй-жайлардағы радиациялық жағдайға негізгі үлес қоса алатын элементтер анықталды.

DETERMINATION OF IMPURITIES IN ITER CONCRETE SAMPLES USING INAA AT IVG.1M REACTOR

B.S. Medetbekov, Yu.A. Popov, I.V. Prozorova

Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This work is devoted to the determination of impurities in concrete samples – the structural material of the ITER reactor. The results of reactor experiments and spectrometric studies are presented. Irradiation of samples for instrumental neutron activation analysis was carried out at the IVG.1M reactor. Post-analysis included gamma spectrometric measurements with different exposure times of samples from one day to one month, with the calculation of the concentration of the main and impurity elements by the relative INAA method. For comparison, rocks such as SG-4 and SGD were used as standard materials. An analysis of errors was performed during instrumental neutron activation analysis at the IVG.1M reactor. As a result of the research, the content of elements that can make the main contribution to the radiation situation in the premises during the operation and decommissioning of ITER are determined.