

# Усовершенствованный генератор радионуклидов ксенона на основе закрытого источника продуктов спонтанного деления $^{252}\text{Cf}$

Разработан усовершенствованный генератор радионуклидов ксенона с использованием источника продуктов спонтанного деления на основе  $^{252}\text{Cf}$ . Генератор предназначен для приготовления газовых препаратов, содержащих известное количество радиоактивных газообразных продуктов деления:  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$ , используемых при калибровке аппаратуры контроля за содержанием радионуклидов ксенона в атмосферном воздухе. Конструкция генератора полностью автономна, что позволяет использовать его не только в лабораторных, но также и в полевых условиях при проведении измерений с использованием мобильной аппаратуры контроля. Проведена метрологическая аттестация источника  $^{252}\text{Cf}$ . Рассчитаны кривые накопления радионуклидов ксенона в генераторе. Проведены гамма-спектрометрические измерения активности радионуклидов в приготовляемых газовых препаратах и сравнение полученных результатов с расчетными значениями. Определено значение коэффициента выхода радионуклидов ксенона из генератора.

**Ю.В.Дубасов**, С.А.Пахомов,  
Т.Е.Кузьмина, В.В.Обнорский,  
Г.В.Шахетов

АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»,  
г. С.-Петербург

## **Ключевые слова:**

*генератор радионуклидов ксенона  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$ , источник продуктов спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ , автономная конструкция генератора, расчеты накопления радионуклидов, сравнение с результатами измерений, определение коэффициентов выхода.*

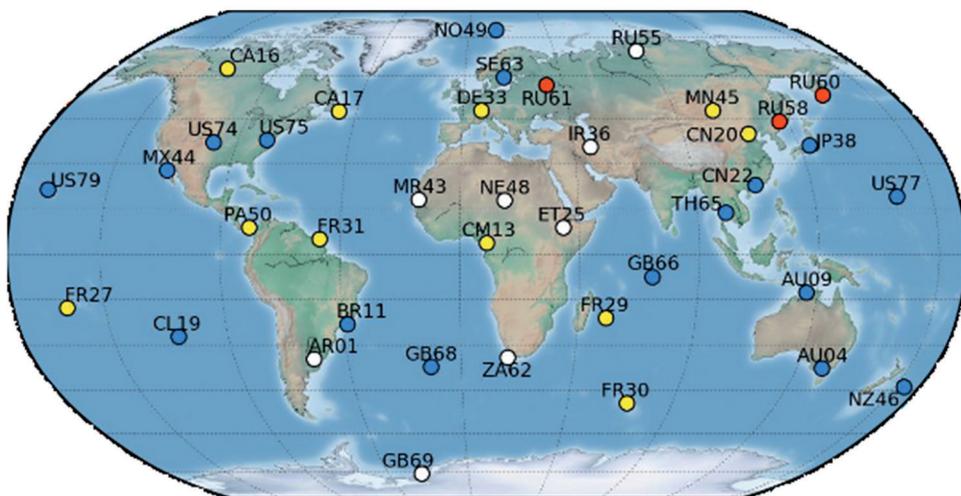
Радионуклиды ксенона  $^{131m}\text{Xe}$ ,  $^{133m}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$  в значительных количествах образуются и поступают в атмосферу при работе АЭС, исследовательских и промышленных реакторов, а также при проведении ядерных взрывов. При проведении подземных ядерных взрывов радионуклиды ксенона могут являться их единственным материальным проявлением в окружающей среде. Поступив в атмосферу, радионуклиды ксенона переносятся на большие расстояния вместе с воздушными массами и несут специфическую информацию об источнике до тех пор, пока их концентрации вследствие радиоактивного распада и разбавления не уменьшаются до фоновых концентраций или до предела чувствительности измерительной аппаратуры.

Регистрация радионуклидов ксенона в атмосферном воздухе является актуальной задачей для стран, использующих ядерную энергию. Регулярные измерения содержания радионуклидов ксенона в воздухе проводит Организация Договора о всеобщем и полном запрещении ядерных испытаний ОДВЗЯИ. В составе Международной системы мониторинга МСМ, созданной при ОДВЗЯИ, предусмотрено создание 40 станций, осуществляю-

щих их мониторинг, 34 из них уже работают. В состав этих станций входят аппаратные комплексы, производящие отбор воздушных проб, их концентрирование, приготовление счетных образцов атмосферного ксенона и их измерение. Расположение этих станций показано на рис.1 по данным официального сайта ОДВЗЯИ [1].

В составе этих станций функционируют пробоотборно-измерительные комплексы SPALAX (Франция), SAUNA (Швеция) и ARIX (Россия) [2].

Содержание в атмосфере стабильного ксенона-носителя регистрируемых радионуклидов очень мало – в  $1 \text{ м}^3$  воздуха при н. у. содержится  $0,087 \text{ см}^3$  ксенона, а фоновые значения объемной активности этих радионуклидов обычно не превышают нескольких мБк/ $\text{м}^3$ . Поэтому объем отбираемых из атмосферы проб воздуха весьма значителен, он составляет несколько десятков кубометров, а объем измерительной камеры, в которую переводят полученный счетный образец, составляет всего лишь около  $10 \text{ см}^3$ . Таким образом, препарат ксенона в процессе приготовления должен быть сконцентрирован в несколько миллионов раз, а активность



**Рис.1.** Сеть станций МСМ, оснащенных аппаратурой для измерения радионуклидов атмосферного ксенона. (Синие кружки – комплексы SPALAX, желтые – SAUNA, красные – ARIX, белые – строящиеся станции).

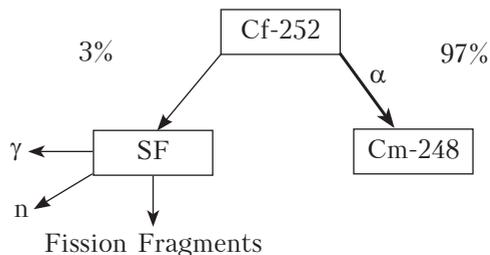
получаемых счетных образцов не превышает нескольких десятков мБк. Для проверки работоспособности комплексов и их наладки и калибровки используют калибровочные газовые смеси, содержащие определенное количество стабильного ксенона с добавлением радионуклидов ксенона с известной активностью.

В лабораторных условиях необходимое для приготовления этих смесей количество радионуклидов ксенона может быть получено облучением препаратов  $^{235}\text{U}$  потоком тепловых нейтронов [3]. Однако реализация этого метода требует наличия достаточно мощного стационарного источника нейтронов, что ограничивает возможность его широкого применения.

Более удобным способом получения радионуклидов ксенона является способ, основанный на использовании радионуклидного источника, приготовленного на основе  $^{252}\text{Cf}$  – спонтанно делящегося радионуклида, распадающегося с периодом  $T_{1/2} = 2,645$  года согласно схеме распада, приведенной на рис.2.

Типичной областью его применения является производство нейтронных источников, т. к. каждый акт его спонтанного деления сопровождается вылетом 3,8 нейтронов, а 1 мкг  $^{252}\text{Cf}$  испускает  $2,3 \cdot 10^6$  нейтронов в секунду. Но в ряде случаев  $^{252}\text{Cf}$  также используется в качестве источника осколков деления, в том числе и радионуклидов ксенона.

В первых образцах генераторов радионуклидов ксенона, разработанных в Радиевом институте, препараты  $^{252}\text{Cf}$  адсорбировались на активированном угле [4] или в растворенном виде помещались в барботер [5], где происходило накопление продуктов деления. После выдержки, необходимой для накопления радионуклидов ксенона, барботер продувался гелием для извлечения газообразных продуктов деления. Такие генераторы значительно удобнее генераторов на основе  $^{235}\text{U}$ , т. к. они не требуют внешнего источника нейтронов, но по своему типу они не относятся к закрытым



**Рис.2.** Схема распада  $^{252}\text{Cf}$ .

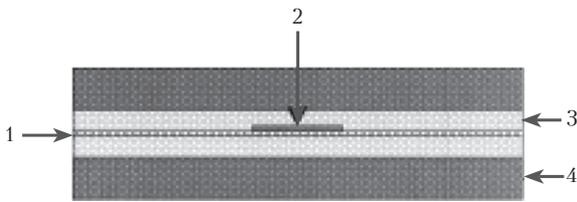
радионуклидным источникам, что ограничивает возможности их применения за пределами радиохимической лаборатории.

Усовершенствованный генератор радионуклидов ксенона может быть разработан на основе закрытых радионуклидных источников  $^{252}\text{Cf}$ , изготовленных по специальной технологии, обеспечивающей вылет осколков деления за пределы источника, но исключающей выход за его пределы активного вещества.

В Радиевом институте были разработаны два типа таких источников [6,7].

Первый тип источника – двусторонний [6] – предназначен для применения при проведении ядерно-физических экспериментов с использованием времяпролетных методов измерений. Для обеспечения герметичности, и в то же время малых энергетических потерь осколками деления при выходе из источника, в качестве подложки (1) используют прозрачную для осколков деления ( $\sim 0,15$  мкм) пленку из окиси алюминия, на которую наносят и высушивают активное пятно (2) из радиохимически чистого раствора  $^{252}\text{Cf}$ . Далее источник упрочняют с обеих сторон тонкими слоями золота (3) толщиной  $50\text{--}100$  мкг/см $^2$  и герметизируют слоями никеля (4) толщиной  $1$  мг/см $^2$ , как это показано на рис.3.

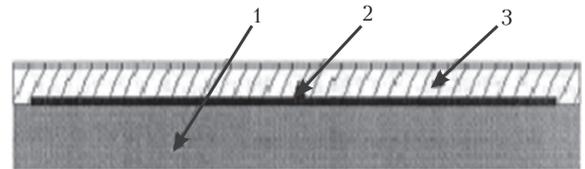
Изготовленный таким образом источник зажимают в оправку в виде двух стальных дисков толщиной  $\sim 0,1$  мм, имеющих отверстия в области расположения активного пятна для выхода осколков деления в противоположные стороны и скрепленных по периферии.



**Рис.3.** Двусторонний закрытый источник осколков деления  $^{252}\text{Cf}$ .

Второй тип источника – односторонний [7] (рис.4), также предназначен для применения при проведении ядерно-физических исследований, но без использования времяпролетных методов. Подложкой в этом типе источников служит алюминий (1), на который осаждают  $^{252}\text{Cf}$  (2) методом десорбции вещества под действием собственных осколков деления (самораспыления), после чего формируют герметизирующий слой (3) из оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Оба типа источников могут быть использованы для получения радионуклидов ксенона  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$ . При этом двусторонний источник обеспечивает в два раза больший выход радионуклидов на единицу массы используемого  $^{252}\text{Cf}$ , но технология его изготовления достаточно сложна. Односторонний источник более прост в изготовлении,



**Рис.4.** Односторонний закрытый источник осколков деления  $^{252}\text{Cf}$ .

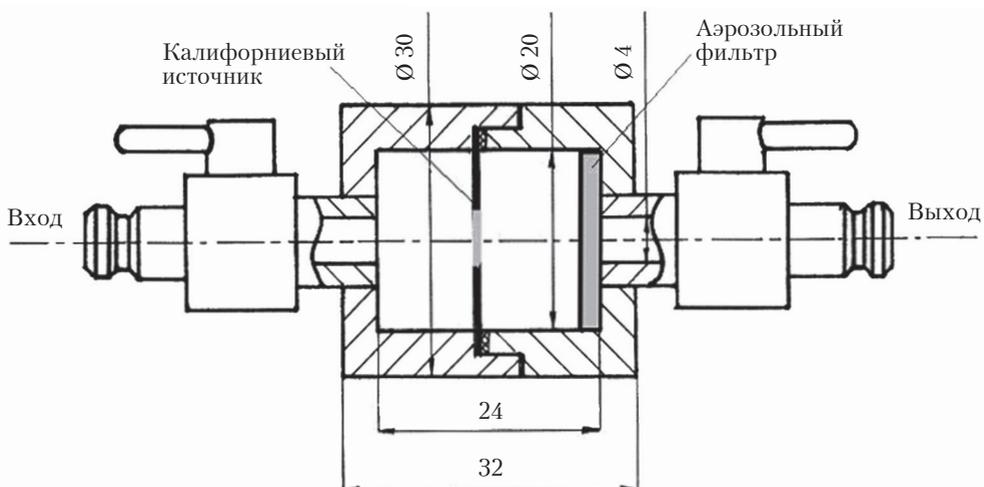
но обеспечивает в два раза меньший выход радионуклидов ксенона по сравнению с двусторонним.

Разработанный в Радиовом институте генератор радионуклидов ксенона изготовлен на основе двустороннего источника. Схема генератора показана на рис.5, а его внешний вид представлен на рис.6.

Корпус генератора выполнен из нержавеющей стали в виде герметичной цилиндрической ампулы внутренним объемом  $8\text{ см}^3$ . В ампуле установлен двухсторонний источник  $^{252}\text{Cf}$  закрытого типа.

Генератор оснащен входным и выходным газовыми кранами и аэрозольным фильтром.

Основные массогабаритные характеристики генератора: длина – 60 мм; диаметр – 30 мм; толщина стенок – 5 мм; материал – нержавеющая сталь; масса – 216 г; внутренний объем –  $8\text{ см}^3$ .



**Рис.5.** Схема генератора изотопов ксенона.



**Рис. 6.** Общий вид генератора изотопов ксенона.

Диаметры оправки источника  $^{252}\text{Cf}$  и его активного пятна составляют 15 мм и 3 мм, соответственно. Подложка источника изготовлена в виде тонкого диска из окиси алюминия, на который нанесен  $^{252}\text{Cf}$  в виде активного пятна. Обе стороны источника покрыты тонким слоем защитного материала. Толщина защитного слоя подобрана таким образом, чтобы обеспечивать проницаемость для осколков деления, одновременно обеспечивая механическую прочность и устойчивость ко внешним воздействиям. Таким образом, конструкция этого источника исключает возможность выхода калифорния за пределы его защитного слоя и, следовательно, его утечку из генератора при условии правильной эксплуатации.

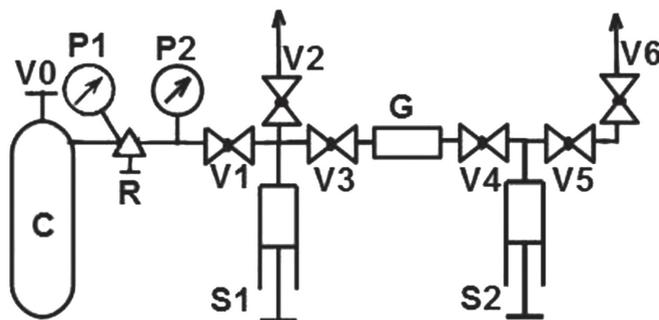
Изготовленный таким образом источник с помощью сварки закреплен между двумя поддерживающими шайбами и для надежной фиксации в самом генераторе зажимается между двумя трехлопастными шайбами.

Для подачи в генератор газа-носителя и извлечения из него радионуклидов ксенона разработана газовая дозирующая система, принципиальная схема которой изображена на рис.7.

На этом рисунке: С – газовый баллон с газом-носителем – смесь Хе (10% объем.) и Не (90% объем.);  $V_0$  – вентиль газового баллона;  $P_1$  – манометр газового баллона; R – газовый редуктор;  $P_2$  – манометр дозирующей системы;  $V_1$  – кран входного дозирующего шприца;  $V_2$  – кран сброса избыточного давления;  $S_1$  – входной дозирующий шприц;  $V_3$  – входной кран генератора изотопов ксенона; G – генератор изотопов ксенона с источником  $^{252}\text{Cf}$ ;  $V_4$  – выходной кран генератора изотопов ксенона;  $V_5$  – кран выходного дозирующего шприца;  $S_2$  – выходной дозирующий шприц;  $V_6$  – выходной кран.

Разработанный генератор радионуклидов ксенона полностью автономен и при его использовании не возникает необходимости подключения к электросети или внешним источникам газа-носителя. Приготовленные с его помощью газовые препараты отбираются в снабженный запорным клапаном лабораторный газовый шприц и передаются на измерения.

Генератор вместе с дозирующей системой смонтирован на единой панели, общий вид которой показан на рис.8. Конструкция генератора изотопов ксенона позволяет классифицировать его как закрытый радиоактивный



**Рис. 7.** Принципиальная схема газовой дозирующей системы генератора радионуклидов ксенона.



**Рис.8.** Общий вид генератора, смонтированного на единой панели с дозирующей системой.

источник в соответствии с действующими Нормами радиационной безопасности.

Смонтированный генератор радионуклидов ксенона упакован в транспортный кейс, рис.9.

Величина объемной активности радионуклидов ксенона  $^{131m}\text{Xe}$ ,  $^{133m}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$  вготавливаемых с помощью генератора газовых препаратов определяется активностью (массой)  $^{252}\text{Cf}$  в источнике осколков деления и значением коэффициента выхода осколков из источника.

Для определения массы  $^{252}\text{Cf}$  в источнике он был передан во ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ВНИИМ), где была произведена его калибровка с использованием эталонной установки УЭН-1 из состава Государственного первичного эталона РФ единиц

потока и плотности потока нейтронов на основе прямых измерений нейтронного потока, испускаемого в полный телесный угол  $4\pi$ . Результаты калибровки источника осколков деления вместе с необходимыми вспомогательными данными [8] представлены в табл.1.

Для определения коэффициента выхода радионуклидов ксенона из источника осколков деления необходимо сравнить расчетные значения их активности, образующейся в результате спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$  в источнике с измеренными значениями в полученном газовом препарате для соответствующих времен накопления. Для вычисления активностей радионуклидов ксенона для различных времен накопления необходимо численно смоделировать процессы накопления и распада, происходящие в изобарных цепочках с массовыми числами  $M = 131, 133$  и  $135$ , схемы которых изображены на рис.10 по данным [9]. Необходимые для расчетов данные по независимым выходам продуктов деления были взяты из работы [10].

Результаты расчетов активности радионуклидов ксенона  $^{131m}\text{Xe}$ ,  $^{133m}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$ , выполненных для  $1 \text{ нг } ^{252}\text{Cf}$  с учетом его распада в диапазоне времен от 1 часа до 1 года, представлены на рис.11.



**Рис.9.** Генератор радионуклидов ксенона, упакованный в транспортный кейс.

**Табл.1.** Результаты калибровки калифорниевого источника генератора изотопов ксенона.

Характеристика	Значение
Нейтронный поток в телесном угле $4\pi$	$3,35 \cdot 10^3 \text{ c}^{-1}$
Вес $^{252}\text{Cf}$ в источнике	$1,45 \cdot 10^{-9} \text{ г}$ (1,45 нг)
Расширенная неопределенность нейтронного потока	$U = 5\%$ для $k = 2$ ( $C_{\text{дов.вероятн.}} 95\%$ )
Рекомендованное значение периода полураспада	$2,645 \text{ года} \pm 2,92 \text{ дня}$ или $(8,347 \pm 0,025) \cdot 10^7 \text{ с}$
Постоянная распада	$8,30415\text{E-}09 \text{ c}^{-1}$
Среднее полное число нейтронов при делении	3,7560
Вероятность распада с испусканием $\alpha$ -частицы	$0,96908 \pm 8,0 \cdot 10^{-5}$
Вероятность спонтанного деления	$0,03092 \pm 8,0 \cdot 10^{-5}$
Полная удельная активность	$19838 \text{ Бк}\cdot\text{нг}^{-1}$
Удельная альфа-активность	$19225 \text{ Бк}\cdot\text{нг}^{-1}$
Число спонтанных делений	$613 \text{ дел}\cdot\text{c}^{-1}\cdot\text{нг}^{-1}$
Удельный нейтронный поток в телесный угол $4\pi$	$2304 \text{ c}^{-1}\cdot\text{нг}^{-1}$

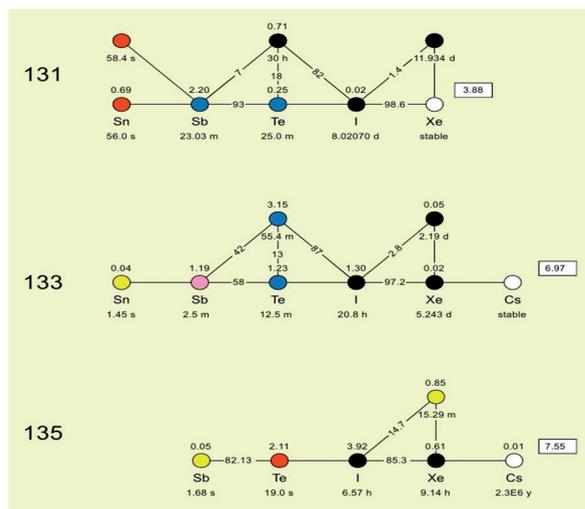
Как видно, в генераторе, содержащем 1 нг  $^{252}\text{Cf}$ , после нескольких дней накопления образуется более 10 Бк  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$  и около 1 Бк  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ , что достаточно для калибровки спектрометра (рис.11). После месячного накопления с таким количеством  $^{252}\text{Cf}$  образуется примерно 0,1 Бк  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ , достаточно для калибровки высокочувствительного спектрометра.

Перед постановкой на накопление изотопов ксенона генератор подготавливают, вакуумируя и заполняя газом-носителем. Газ-носитель содержит стабильный ксенон для обеспечения изотопного разбавления радионуклидов ксенона для предотвращения их неконтролируемой адсорбции на внутренних поверхностях генератора.

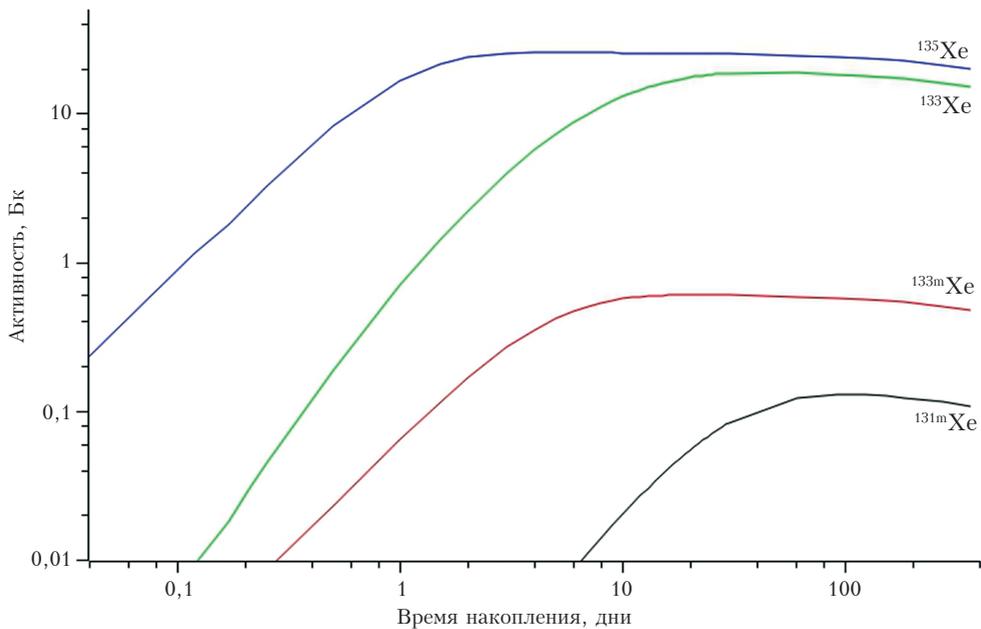
Для определения значения коэффициента выхода радионуклидов ксенона подготовленный генератор оставляли для накопления изотопов ксенона. После завершения накопления генератор соединяли с маленькой ампулой, содержащей 1 см<sup>3</sup> активированного угля, охлажденной до температуры  $-110 \text{ }^\circ\text{C}$  и медленно пропускали через него 100 см<sup>3</sup> гелия. Радионуклиды ксенона, накопленные в объеме генератора, количественно перетекали в ампулу и адсорбировались активированным углем. Аэрозольная компонента при этом отсекалась

аэрозольным фильтром. Далее ампула отогревалась до температуры окружающего воздуха и помещалась в колодец HPGe детектора для измерения активности радионуклидов ксенона.

Также измерения проводились с использованием специализированного газового спектрометра бета-гамма совпадений [11], специально разработанного в Радиевом институте в рамках проекта МНТЦ 2133 для измерения радионуклидного состава проб атмосферного ксенона, получаемых с использованием пробоотборной установки [12]. В этом случае накопленные в генераторе радионуклиды ксе-



**Рис.10.** Схемы изobarных цепочек  $M = 131, 133$  и  $135$ .



**Рис.11.** Накопление радионуклидов ксенона  $^{131m}\text{Xe}$ ,  $^{133m}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$ , рассчитанное с учетом распада для 1 нг  $^{252}\text{Cf}$ .

нона непосредственно сдувались атмосферным газом-носителем в предварительно отвакуумированную измерительную камеру спектрометра.

Полученные после недельного и месячного накопления результаты вместе с вычисленными значениями активности изотопов ксенона представлены в табл.2. На основании этих данных были оценены значения коэффициента выхода радионуклидов ксенона из генератора.

Полученное по данным табл.2 среднее значение коэффициента выхода радионуклидов

ксенона из генератора составило  $0,46 \pm 0,04$  (с доверительной вероятностью 95%).

В конструкции генератора также может быть с успехом использован односторонний источник осколков деления на основе  $^{252}\text{Cf}$ . При этом значение коэффициента выхода будет уменьшено в 2 раза, но преимуществом такого генератора будет его более высокая надежность и меньшие трудозатраты на изготовление.

Образец такого генератора был изготовлен по заказу Подготовительного комитета (ПК)

**Табл.2.** Выход радионуклидов ксенона из генератора, Бк.

Период накопления	$^{133}\text{Xe}$ измеренный	$^{133}\text{Xe}$ рассчитанный	Коэффициент экстракции	$^{135}\text{Xe}$ измеренный	$^{135}\text{Xe}$ рассчитанный	Коэффициент экстракции
30 дней	13,7	28,8	0,476	18,7	39,1	0,478
30 дней*	11,4	28,3*	0,403	14,2	38,9*	0,365
6 дней	6,10	13,5	0,451	19,4	39,7	0,489
6 дней	7,59	13,5	0,563	21,7	39,7	0,546
6 дней	5,75	13,5	0,426	17,8	39,7	0,448
6 дней	5,782	13,5	0,428	17,3	39,7	0,436

Примечание. Второе 30-дневное накопление проводилось через 24 дня после первого накопления, вследствие чего масса  $^{252}\text{Cf}$  уменьшилась на 1,7 %.

ОДВЗЯИ специально для проведения интеркалибрационных измерений на комплексах SPALAX, SAUNA и ARIX, функционирующих в составе МСМ.

В настоящее время актуальность задачи разработки средств контроля РБГ в рамках ОДВЗЯИ и в интересах развития национальных технических средств многократно возросла. В связи с этим возросло и значение задачи разработки технических средств, обеспечивающих наладку, калибровку, сертификацию и интеркалибрацию подобной аппаратуры.

Разработанный в Радиевом институте усовершенствованный генератор радионуклидов ксенона с использованием источника продуктов спонтанного деления на основе  $^{252}\text{Cf}$  обеспечивает решение перечисленных задач. Радиевый институт обладает техническим и производственным потенциалом для организации серийного производства подобных генераторов.

### Литература

1. URL: <https://www.ctbto.org> (дата обращения: 3.03.2025).
2. Николоев В.А., Попов Ю.С., Попов В.Ю. Тяжелые благородные газы. Приборы и изотопный анализ: монография. СПб: издательство Политехнического Университета, 2020. 190 с.
3. Попов В.Ю., Казаринов Н.М., Преловский В.В. Получение источников Хе-133, Хе-131m для калибровки оборудования по измерению благородных газов для задач ИНМ. Доклад на 3 Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствия». Боровое, Казахстан, август 2004.
4. Попов Ю.С., Попов В.Ю., Преловский В.В. Автоматический калибровочный ксеноновый генератор. Доклад на Международной конференции ПК ДВЗЯИ. Лас-Вегас, США, ноябрь 2007.
5. Дубасов Ю.В., Сквородкин Н.В., Бирюков Е.И. и др. Генератор радиоактивных изотопов ксенона на основе калифорния-252.
6. Патент № 2 655 668. Российская Федерация, МПК G21G 4/04 (2006.01). Герметичный изотопный источник осколков деления на основе калифорния-252 и способ его изготовления № 2014109998/07, заявлено 14.03.2014; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22 / Кузьмина Т.Е., Обнорский В.В. Патентообладатель – Акционерное общество «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». 6 с.
7. Патент № 2 655 668. Российская Федерация, МПК G21G 4/04 (2006.01), СПК G21G 4/04 (2006.01). Герметичный изотопный источник осколков деления на основе калифорния-252 и способ его изготовления № 2017102849, заявлено 27.01.2017; опубл. 29.05.2018 Бюл. № 16 / Смирнов А.Н., Обнорский В.В., Кузьмина Т.Е.; патентообладатель – Акционерное общество «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». 8 с.
8. OECD Nuclear Energy Agency Nuclear Data Library JEFF 3.1.
9. Lars-Erik De Geer. *The Xenon NCC method revisited*. Report FOI-R—2350—SE. Stockholm, Sweden, 2007.
10. T.R. England and B.F. Rider, LA-UR-94-3106 (ENDF-349), October 1994.
11. Yu.V. Dubasov, S.A. Pakhomov, «New-coincidence spectrometer with HPGe detector for measurement of Xe and Kr radionuclides», *Informal xenon monitoring workshop*, Las Vegas, Nevada, USA, November 5–9, 2007.
12. Yu.V. Dubasov, S.A. Pakhomov, «Development of improved equipment for measurements of xenon radionuclides in atmospheric air». The report was presented as a poster at the 2009 International Conference (ISS 2009), Vienna, Austria, June 10–12, 2009.

## Improved Generator of Xenon Radionuclides Based on a Sealed $^{252}\text{Cf}$ Source of Spontaneous Fission Products

Dubasov Yuri, Pakhomov Sergei, Kuzmina Tatiana, Obnorsky Vladimir, Shakhnetov Gennadiy  
(JSC «V.G. Khlopin Radium Institute», St. Petersburg, Russia)

**Annotation.** An improved xenon radionuclide generator has been developed using a  $^{252}\text{Cf}$ -based source of spontaneous fission products. The generator is designed for the preparation of gas preparations containing a known amount of radioactive gaseous fission products:  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  and  $^{135}\text{Xe}$ , used in the calibration of equipment for monitoring the content of xenon radionuclides in atmospheric air. The design of the generator is completely autonomous, which makes it possible to use it not only in the laboratory, but also in the field when making measurements using mobile monitoring equipment. Metrological certification of the  $^{252}\text{Cf}$  source was carried out. The curves of accumulation of xenon radionuclides in the generator are calculated. Gamma-spectrometric measurements of the activity of radionuclides in the prepared gas preparations was carried out and the results obtained was compared with the calculated values. The value of the output coefficient of xenon radionuclides from the generator is determined.

**Key words:** generator of radionuclides  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  and  $^{135}\text{Xe}$ , source of spontaneous fission products  $^{252}\text{Cf}$ , autonomous generator design, calculations of radionuclide accumulation, comparison with measurement results, determination of output coefficients.

Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов (к.т.н., вед.инж.-техн.), Т.Е.Кузьмина (советн. по произв.),  
В.В.Обнорский (к.ф.-м.н., с.н.с.), Г.В.Шахетов (нач.лаб.)

АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. С.-Петербург

Контакты: +7 (812) 346-90-29 (4117); pakhomov@khlopin.ru