

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТХОДОВ

А. П. Варлаков¹, М. В. Ивлиев¹, Я. В. Сергеечева¹, М. В. Чаузова¹,
А. Н. Дорофеев², Б. С. Зиннуров²

¹АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара», Москва

²Госкорпорация «Росатом», Москва

Статья поступила в редакцию 30 апреля 2020 г.

Задача достоверного определения радиационных характеристик радиоактивных отходов, образующихся на объектах использования атомной энергии, при приведении их к критериям приемлемости является актуальной. АО «ВНИИНМ» разработаны Единые отраслевые методические указания «Измерение радиационных характеристик отходов», регламентирующие порядок подготовки и проведения измерений, в том числе для отходов, образующихся при выводе из эксплуатации ЯРОО, и типовые методики измерения удельной активности радионуклидов в упаковках и в пробах, с учетом процедур отбора проб ТРО в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов. Разработаны алгоритмы контроля точности измерений с применением аттестованных объектов.

Ключевые слова: методика измерения, радиационные характеристики, радиоактивные отходы, контроль точности измерений.

На предприятиях, в технологических процессах которых задействованы радиоактивные вещества и ядерные материалы, образуются твердые и жидкие радиоактивные отходы различной морфологии: грунты, оборудование, металл, строительные отходы, пластикат, средства индивидуальной защиты, дезактивационные растворы и т. п. Объем накопленных РАО на территории России к 31.12.2018 составил $5,65 \cdot 10^8$ м³, из них относящихся к категории «ядерного наследия» — $5,53 \cdot 10^8$ м³ [1].

Согласно требованиям ОСПОРБ-99/2010 [2], по уровню удельной активности радионуклидов отходы подразделяются:

- на твердые радиоактивные отходы (далее — ТРО) очень низкого, низкого, среднего и высокого уровня активности и жидкие радиоактивные

отходы (далее — ЖРО) низкого, среднего и высокого уровня активности;

- материалы ограниченного использования, загрязненные техногенными радионуклидами, подлежащие радиационному контролю при обращении с ними;
- промышленные отходы, не подлежащие радиационному контролю.

Большой объем отходов разнообразной морфологии и с различным соотношением содержания радионуклидов образуется при выводе из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов (ВЭ ЯРОО) [3].

Ответственность за обращение и подготовку к передаче на захоронение отходов, содержащих радионуклиды выше установленных нормативных значений, несет организация, на

территории которой они образовались, за исключением радиоактивных отходов, содержащих ядерные материалы, которые могут находиться исключительно в федеральной собственности [4].

Затраты организации на захоронение радиоактивных отходов зависят от их класса, который определяется исходя из удельной активности содержащихся в них радионуклидов.

На всех стадиях обращения с отходами на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) должны быть определены их радиационные характеристики, такие как радионуклидный состав и удельная активность радионуклидов. В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [5] при определении радиационных характеристик объектов используются следующие процедуры: измерения методами неразрушающего контроля непосредственно на местах, лабораторные измерения представительных проб, применение метода радионуклидного вектора (использование соотношений активностей радионуклидов) [6]. Методы разрушающего и неразрушающего контроля, процедуры пробоотбора и пробоподготовки разнообразны [7, 8], их выбор зависит от морфологии, радионуклидного состава и предполагаемой удельной активности материала отходов.

В соответствии с Федеральным законом № 102 «Об обеспечении единства измерений» [9] измерения, проводимые при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии, должны проводиться по аттестованным методикам.

Методики измерений удельной активности радионуклидов методами альфа-, бета-, гамма-спектрометрии и радиометрии на предприятиях часто не соответствуют нормативным требованиям приказа Госкорпорации «Росатом» от 31 октября 2013 г. № 1/10-НПА [10]. В них отсутствуют разделы по контролю качества измерений и не приведены характеристики погрешности в зависимости от диапазонов измеряемых величин. Отсутствуют разделы методик измерений, определяющие порядок подготовки счетных образцов различной морфологии и условия измерений их радиационных характеристик [6].

Согласно ГОСТ Р 8.932-2017 [11], если операции и правила выполнения измерений аналогичны для различных объектов измерений и/или различных, но близких условий измерений и для нескольких предприятий отрасли, то целесообразной является разработка типовых методик измерения в виде отраслевых инструкций, регламентирующих общие правила для всех таких объектов и/или условий. Метрологические

характеристики типовых методик определяются в наиболее широком диапазоне условий измерений. Для работы на местах на основе типовых разрабатывают рабочие методики. Показатели точности рабочих методик определяют экспериментальным или расчетным путем с учетом области применения методики.

Для оптимизации обращения с радиоактивными отходами с момента их образования, снижения их объема и исключения попадания материалов, относящихся к РАО или материалам ограниченного использования в промышленные отходы, необходимо унифицировать процедуры пробоотбора, пробоподготовки, средства и методы измерений и закрепить документально на уровне отрасли в виде регламентирующего документа и системы типовых методик измерений. В целях получения достоверных результатов при измерении радиационных характеристик отходов необходимо разработать типовые процедуры контроля точности с учетом специфики измеряемых объектов.

Для регламентации процесса измерений радиационных характеристик отходов перед АО «ВНИИНМ» были поставлены следующие задачи:

- разработать требования к условиям выполнения измерений;
- выработать рекомендации по применению методов измерений;
- установить требования к методикам и средствам измерения с целью их унификации;
- установить требования к обработке и оформлению результатов измерений;
- разработать алгоритмы контроля точности измерений.

Целью работы являлись разработка и утверждение [6]:

- Единых отраслевых методических указаний «Измерение радиационных характеристик отходов»;
- типовых методик измерений удельной активности радионуклидов в пробах и контейнерах с отходами методами гамма-спектрометрии и жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии.

Единые отраслевые методические указания (ЕОМУ) по измерениям радиационных характеристик отходов

ЕОМУ по измерениям радиационных характеристик отходов на предприятиях Госкорпорации «Росатом» призваны устанавливать общий порядок проведения работ при измерении радиационных характеристик отходов, включая отходы, образующиеся при ВЭ ЯРОО.

ЕОМУ содержат следующие указания и рекомендации при проведении измерений радиационных характеристик отходов:

- по выбору методов и приборного оснащения, обработки и представления результатов измерения;
- выбору и применению процедур отбора проб отходов (места отбора, количество, объем и размеры фрагмента материала), представляющих собой строительные отходы, пластикат, фрагменты оборудования, СИЗ, грунты;
- инструментальному контролю характеристик отходов с применением методов α - и β -радиометрии переносными и стационарными радиометрами, жидкостно-сцинтилляционной и гамма-спектрометрии.

В ЕОМУ систематизированы основные источники погрешностей, возникающих при измерении радиационных характеристик отходов, представлена их количественная оценка и способы их минимизации.

Выполнение требований ЕОМУ исполнителями при определении радиационных характеристик отходов позволит минимизировать количество РАО и материалов, загрязненных радиоактивными веществами, исключить попадание РАО в промышленные отходы или в материалы ограниченного использования.

Подходы, процедуры и алгоритмы, описанные в ЕОМУ, должны быть использованы при разработке программ по ВЭ ЯРОО с целью оптимального планирования этапа измерений радиационных характеристик отходов.

ЕОМУ будут введены приказом на уровне отрасли и распространены на предприятия Госкорпорации «Росатом» для использования в работе.

Типовые методики измерения

Содержание типовых методик измерения должно соответствовать требованиям, установленным в ГОСТ Р 8.932-2017 [11], и приказу Госкорпорации «Росатом» от 31 октября 2013 г. № 1/10-НПА [10].

Обязательным разделом методик измерений является раздел о контроле точности.

Контроль точности измерений заключается в проверке постоянства метрологических характеристик методики измерения во времени.

Существуют следующие виды контроля точности [12]:

- применение стандартных образцов или аттестованных объектов;
- метод добавок;
- метод разбавлений;
- метод сочетания разбавления и добавки.

Метод добавок, метод разбавлений и метод их сочетаний применимы только при лабораторных исследованиях. Для отходов в упаковках и при измерениях непосредственно на местах их применение невозможно. Для таких отходов был выбран вид контроля точности измерений с применением стандартных образцов или аттестованных объектов. В соответствии с Федеральным законом № 102 «Об обеспечении единства измерений» [9] стандартный образец — это образец вещества (материала) с установленными по результатам испытаний значениями, характеризующими состав или свойство этого вещества. Стандартный образец идентичен объекту контроля и обладает всеми его физико-химическими характеристиками. Аттестованные объекты — это объекты, выполняющие функцию стандартных образцов, но не являющиеся ими [10]. С помощью аттестованного объекта допускается моделирование отдельных характеристик объекта контроля.

Ввиду большого разнообразия материалов, геометрии упаковки и физико-химических свойств отходов, создание стандартных образцов для всех вариантов, возникающих на практике, нецелесообразно. Для контроля точности при измерении удельных активностей радионуклидов было предложено разработать несколько аттестованных объектов, позволяющих подтвердить и контролировать правильность применяемых методов.

Основным методом, применяемым при определении удельной активности радионуклидов отходов в упаковках или в исследуемых объектах непосредственно на местах, является гамма-спектрометрия. Существующее специализированное программное обеспечение расчета эффективности регистрации гамма-квантов предполагает применение различных шаблонов геометрий измерения — цилиндр (бочка), параллелепипед, конус, поверхность и т. д. Шаблоны геометрии измерения, применяемые при характеристике отходов, представляют собой цилиндрические сосуды (бачки, бочки) и прямоугольные объекты (коробки, ящики, контейнеры), изготовленные из различных материалов.

АО «ВНИИИМ» разработаны алгоритмы контроля точности измерений удельной активности радионуклидов в отходах, находящихся в различных упаковках, с применением математического моделирования и образцовых радионуклидных источников типа ОСГИ (образцовый спектрометрический гамма-источник) и ОРР (образцовый радионуклидный раствор).

Алгоритмы контроля точности измерений разработаны для двух случаев:

- измерение объектов небольшого объема (до 100 л);
- измерение упаковок большого объема (бочек, контейнеров).

Контроль точности при измерении объектов небольшого объема заключается в следующем.

Создают аттестованные объекты в виде небольшой упаковки (цилиндрический сосуд, ящик, канистра), заполненные материалом, близким по плотности к исследуемому объекту. Материал внутри сосуда пропитывается раствором, приготовленным на основе ОРР. Для контроля точности в широком диапазоне энергий рекомендовано использовать следующий набор ОРР: ^{241}Am (59 кэВ), ^{137}Cs (662 кэВ), ^{60}Co (1173 и 1332 кэВ).

Контроль точности считается успешно выполненным, если для каждого радионуклида в аттестованном объекте модуль разницы измеренного и паспортного значений активности не превышает корня квадратного из суммы квадратов статистической неопределенности измерения и статистической погрешности активности.

При измерении упаковок большого объема применяют расчетные методы калибровки спектрометра по эффективности регистрации гамма-квантов различной энергии. Методы, используемые в программном обеспечении, основаны на интегрировании по объему исследуемого объекта функций отклика (удельной активности) от «точечного» источника (части исследуемого объекта). При этом в алгоритме расчета эффективности регистрации учитывается поглощение гамма-квантов материалом источника и материалом стенки упаковки, а также расстояние «источник — детектор» и расположение детектора относительно источника. На рис. 1 показан алгоритм интегрирования функций отклика по объему для цилиндра, где Q — точка поверхности упаковки (бочки) на линии «источник — детектор», соединяющей точку расположения детектора (точка D) и «точечный» источник внутри контейнера (точка K).

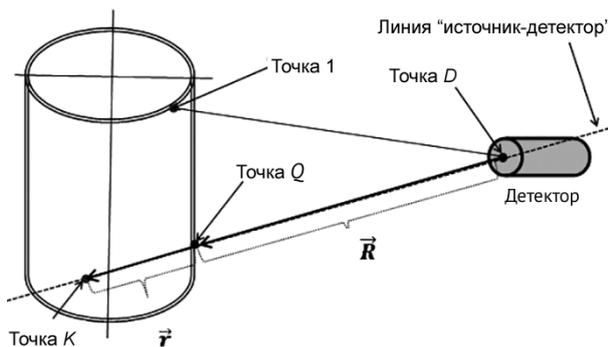


Рис. 1. Интегрирование по объему упаковки

Нахождение удельной активности путем интегрирования по объему упаковки в общем виде осуществляется по формуле:

$$A_m = \frac{1}{m} \iiint_V \tilde{A}_V(\vec{r}, \mu, \varepsilon) dV,$$

где m — масса объекта (отходов) в упаковке, кг; \tilde{A}_V — объемная активность радионуклида, Бк/см³, определяемая ПО гамма-спектрометра по результатам измерений в k «точечных» областях; \vec{r} — радиус-вектор «точечного» источника (точка K) внутри контейнера относительно точки Q (рис. 1);

$\mu(\vec{r})$ — массовый коэффициент ослабления гамма-квантов, учитывающий материал источника, внешней среды и стенки упаковки;

$\varepsilon(\vec{R}, \vec{r}, \mu)$ — зависимость эффективности регистрации гамма-квантов определенной энергии, рассчитанная для «точечных» областей, где \vec{R} — радиус-вектор, определяющий координаты точки Q относительно детектора (точки D).

Контроль точности в случае измерения контейнеров предложено осуществлять с применением точечных источников типа ОСГИ.

При помощи специализированного ПО (ISOCS, EffMaker и т. п.) создают модель «точечный источник за двумя слоями», в которой первый слой имитирует стенку контейнера, а второй — материал источника излучения (материал отходов). Точечные источники типа ОСГИ располагают за двумя слоями (рис. 2).

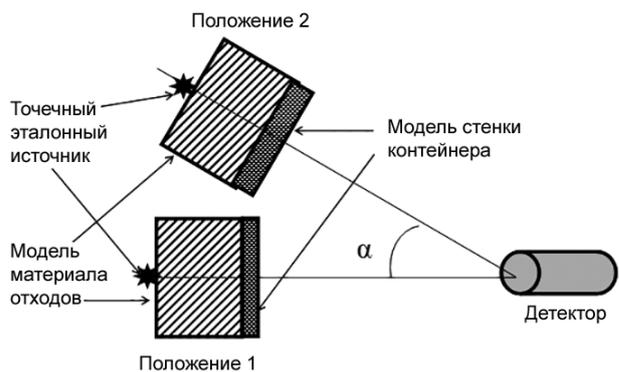


Рис. 2. Модель «точечный источник за двумя слоями»

Выбирают несколько положений «детектор — расстояние до слоя», исходя из предполагаемых габаритных размеров упаковки (на рисунке представлены два положения). Рекомендуется выбирать осевое расположение детектора (положение 1) и 2—3 положения под некоторым углом α в размерах габаритов упаковки.

Для определения активности эталонного источника в условия расчета эффективности

регистрации, в соответствии с используемым ПО, вносят следующие параметры модели:

- геометрия измерения «точечный источник»; материал эталонного источника указывают в соответствии с паспортными характеристиками;
- расстояние «детектор — объект», в качестве среды измерения указывается «атмосферный воздух»; в случае применения коллиматора расстояние должно обеспечивать полное попадание гамма-квантов от объекта в телесный угол коллиматора;
- толщину $d_{ст}$ и характеристики (тип, плотность и т. д.) материала стенки упаковки, исходя из технических характеристик упаковки (бочки, контейнера);
- толщину $D_{матер}$ и характеристики (тип, плотность и т. д.) материала, моделирующего измеряемые отходы;
- параметры окружающей среды (температура, влажность, давление) для учета влияния поглощения гамма-квантов в атмосферном воздухе.

Выполняют измерение активности эталонного точечного источника с применением специализированного ПО. В качестве эталонного точечного источника рекомендуется использовать ^{152}Eu , имеющий гамма-линии в диапазоне от 122 до 1408 кэВ, или несколько других источников с энергиями гамма-квантов, соответствующими энергиям радионуклидов в материалах отходов. Рекомендуемая активность источника — 10^5 – 10^7 Бк.

Контроль точности считается успешно выполненным, если модуль разницы измеренного и паспортного значений активности эталонного источника не превышает корня квадратного из суммы квадратов статистической неопределенности измерения и статистической погрешности активности для всех положений точечного источника. Выполнение данного условия подтверждает достоверность используемой расчетной модели.

Для оперативного определения радиационных характеристик отходов используют неразрушающий метод гамма-спектрометрии. Ограничением данного метода является невозможность измерения присутствующих в отходах сложнодетектируемых радионуклидов (например, ^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{63}Ni , ^{90}Sr , 234 , ^{238}U , 239 , ^{241}Pu). Гамма-излучение, испускаемое при распаде сложнодетектируемых радионуклидов, либо отсутствует, либо не обладает достаточной интенсивностью или энергией для регистрации методами гамма-спектрометрии [6].

Для решения проблемы оперативного определения содержания в отходах сложнодетектируемых радионуклидов (например, изотопов урана

и плутония) предложен метод жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии, позволяющий проводить экспресс-анализ сложнодетектируемых радионуклидов методом «скрининга» без полного радиохимического выделения радионуклидов при подготовке счетного образца [13, 14].

Разработанные типовые методики измерений удельной активности радионуклидов в пробах и контейнерах с отходами методами гамма- и ЖС-спектрометрии соответствуют ГОСТ Р 8.932-2017 [11] и приказу Госкорпорации «Росатом» от 31 октября 2013 г. № 1/10-НПА [10]. Типовые методики оформлены в виде отраслевых инструкций и внесены в отраслевой реестр Госкорпорации «Росатом». Методики прошли процедуру метрологической экспертизы на основе экспериментальных измерений с оценкой факторов, влияющих на величину погрешности результатов измерений, и соотношения случайной и систематической составляющих погрешностей результата измерения.

Перечень разработанных методик в виде отраслевых инструкций приведен в табл. 1.

Таблица 1. Типовые методики измерения удельной активности РАО

Шифр методики	Название
ОИ 001.871-2019	Измерение удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в отходах в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов, размещенных в упаковках и стандартных контейнерах объемом до 3,1 м ³
ОИ 001.872-2019	Подготовка счетных образцов и измерение удельной активности гамма-излучающих радионуклидов методом гамма-спектрометрии в пробах отходов в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов
ОИ 001.873-2019	Подготовка счетных образцов и измерение удельной активности изотопов плутония методом ЖС-спектрометрии в пробах отходов в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов
ОИ 001.874-2019	Подготовка счетных образцов и измерение удельной активности изотопов урана методом ЖС-спектрометрии в пробах отходов в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов
ОИ 001.875-2019	Подготовка счетных образцов и измерение удельной активности стронция-90 методом ЖС-спектрометрии в пробах отходов в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов

В 2020 году АО «ВНИИНМ» будет разработана «Типовая методика применения технологии радионуклидного вектора для определения в ТРО сложнодетектируемых радионуклидов (^{90}Sr ,

$^{234}, ^{238}\text{U}$, $^{239}, ^{241}\text{Pu}$) на основании измерений удельной активности реперных радионуклидов (^{60}Co , $^{134}, ^{137}\text{Cs}$, ^{237}Np , ^{235}U , ^{241}Am)».

Суть метода «радионуклидного вектора» заключается в установлении корреляционных связей и расчете масштабирующих коэффициентов между содержанием сложнодетектируемых и легкодетектируемых радионуклидов. Оценка удельной активности сложнодетектируемых радионуклидов неразрушающими методами (гамма-спектрометрия) проводится на основе измерений удельной активности легкодетектируемых радионуклидов с применением полученных масштабирующих коэффициентов [15].

Метод «радионуклидного вектора» апробирован специалистами АО «ВНИИНМ» на объектах ФГУП «РАДОН» при определении радиационных характеристик типовых потоков РАО, содержащих сложнодетектируемые радионуклиды [16].

Данный метод целесообразно использовать для потоков отходов большого объема с постоянным соотношением радионуклидов.

Типовые методики являются основой для создания рабочих методик с учетом требований организаций: применяемое измерительное оборудование, морфология и радионуклидный состав отходов, специфика проводимых работ. Разработчиком этих методик может выступать как сама организация, так и привлеченные сторонние специалисты.

Аттестацию методик (методов) измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, проводят аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Выводы

В АО «ВНИИНМ» разработаны ЕОМУ «Измерение радиационных характеристик отходов» с учетом анализа научно-технической информации, требований российских нормативных правовых актов в области использования атомной энергии, международной и российской практики обращения с РАО. В ЕОМУ содержатся рекомендации по выбору процедур пробоотбора отходов различной морфологии и измерительного оборудования, подготовке счетных образцов, проведению измерений и обработке результатов измерений, а также требования к безопасности выполнения работ.

Разработаны типовые методики измерения удельной активности радионуклидов в упаковках и в пробах с учетом процедур отбора проб

ТРО в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов:

- для гамма-излучающих радионуклидов в пробах ТРО и ТРО, размещенных в упаковках и стандартных контейнерах объемом до 3,1 м³;
- изотопов урана, плутония, стронция методом ЖС-спектрометрии в пробах ТРО.

Разработаны алгоритмы контроля точности определения удельной активности радионуклидов в отходах с применением аттестованных объектов.

Для контроля содержания сложнодетектируемых радионуклидов в РАО в АО «ВНИИНМ» разрабатывается типовая методика по применению технологии «радионуклидного вектора».

В развитие направления метрологического обеспечения процесса определения радиационных характеристик отходов в АО «ВНИИНМ» планируется разработка методических указаний по отбору проб различных пространственно-неоднородных объектов и типовых методик оценки удельной активности радионуклидов непосредственно на местах и при сортировке отходов.

Комплекс разработанных документов является основой при планировании работ по измерению радиационных характеристик отходов и направлен на унификацию подходов к обращению с отходами, образующимися в том числе при реализации проектов по ВЭ ЯРОО.

Согласно НП-093-14 [17] для подтверждения соответствия отходов критериям приемлемости для захоронения, помимо радиационных характеристик, необходимо контролировать параметры их физико-химических свойств, а также содержание ядерно опасных делящихся радионуклидов. Определение этих параметров возможно на основании данных о технологических процессах переработки РАО. При реализации проектов по ВЭ ЯРОО для части образующихся отходов отследить их происхождение невозможно. Определение физико-химических характеристик и содержания ядерно опасных делящихся радионуклидов для таких отходов возможно только аналитическими методами. АО «ВНИИНМ» планирует разработку типовых методик контроля параметров отходов, размещенных в крупногабаритных контейнерах, для оценки соответствия упаковок кондиционированных РАО критериям приемлемости для захоронения.

Литература

1. Публичный годовой отчет. Итоги деятельности Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2018 год.

2. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
3. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / Под общей редакцией Л. А. Большова, Н. П. Лаверова, И. И. Линге. М.: Энергопроаналитика, 2015. Т. 3. — 316 с.
4. Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 11.07.2011 № 190-ФЗ.
5. Международное агентство по атомной энергии. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. Серия учебных курсов, №27. МАГАТЭ, Вена, 2005.
6. Варлаков А. П., Сергеечева Я. В., Ивлиев М. В., Германов А. В. О разработке требований к измерениям радиационных характеристик ТРО, образующихся при ВЭ ЯРОО // Радиоактивные отходы. 2018. № 4 (5). С. 76—82.
7. Методы пробоотбора и пробоподготовки [Электронный ресурс] / Ю. А. Карпов, А. П. Савостин. 2-е изд. (эл.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 243 с.: ил. — (Методы в химии).
8. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / Под ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. М.: Медицина, 2002. — 432 с.
9. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ.
10. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 31.10.2013 № 1/10-НПА «Об утверждении методологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии».
11. ГОСТ Р 8.932-2017. Требования к методикам (методам) измерений в области использования атомной энергии. Основные положения.
12. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
13. *Каширин И. А., Малиновский С. В., Ермаков А. И., Тихомиров В. А., Соболев А. И.* Экспресс-анализ природных и технологических объектов при проведении радиационного мониторинга и контроля с использованием жидкосцинтилляционной спектрометрии // XV ежегодный семинар «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ». Обнинск: ГЦИПК, 2009.
14. *Ermakov A. I., Malinovsky S. V., Kashirin I. A., Tikhomirov V. A., Sobolev A. I.* 2006. Rapid Analysis of Radionuclide Composition (Screening) of Liquid Samples via Deconvolution of their LS Spectra. LSC 2005, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, RADIOCARBON, pp. 89—98.
15. IAEA Nuclear Energy Series NW-T-1.18. Determination and use of scaling factors for waste characterization in NPP. IAEA, Vienna, Austria, 2009.
16. *Варлаков А. П., Сергеечева Я. В., Ивлиев М. В., Варлакова Г. А., Горбунов В. А., Карлин С. В.* Применение методологии радионуклидного вектора для определения активности сложндетектируемых радионуклидов в потоках РАО // Радиоактивные отходы. 2020. № 1 (10). С. 85—91.
17. НП-093-14 «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения».

Информация об авторах

Варлаков Андрей Петрович, доктор технических наук, директор отделения, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара» (123060, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: APVArlakov@bochvar.ru.

Ивлиев Михаил Владимирович, кандидат биологических наук, начальник отдела, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара» (123060, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: MiViIvliev@bochvar.ru.

Сергеечева Яна Владимировна, ведущий инженер-технолог, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара» (123060, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: yanasergeecheva@yandex.ru.

Чаузова Мария Владимировна, главный специалист, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара» (123060, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: mar4a1@rambler.ru.

Дорофеев Александр Николаевич, кандидат технических наук, руководитель Проектного офиса, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24), e-mail: ANDorofeev@rosatom.ru.

Зиннуров Борис Сайфутдинович, эксперт, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24), e-mail: BoSaZinnurov@rosatom.ru.

Библиографическое описание статьи

Варлаков А. П., Ивлиев М. В., Сергеечева Я. В., Чаузова М. В., Дорофеев А. Н., Зиннуров Б. С. Методическое обеспечение измерения радиационных характеристик отходов // Радиоактивные отходы. 2020. № 3 (12). С. 78–86. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-78-86.

METHODS FOR MEASURING THE RADIATION CHARACTERISTICS OF WASTE

Varlakov A. P.¹, Ivliev M. V.¹, Sergeecheva Y. V.¹, Chauzova M. V.¹,
Dorofeev A. N.², Zinnurov B. S.²

¹JSC VNIINM, Moscow, Russia

²State Corporation “Rosatom”, Moscow, Russia

Article received on April 30, 2020

For radioactive waste generated at nuclear facilities, the identification of its radiation characteristics during its conditioning in accordance with waste acceptance criteria is considered as a relevant task to accomplish. JSC VNIINM has developed Unified Guidance for Measuring the Radiation Characteristics of Waste. The Guidance specifies the pre-measurement and measurement procedures, including the waste generated during decommissioning, and standard procedures for measuring the specific activity of radionuclides in packages and in samples considering sampling flowchart for solid RW in the form of construction waste, plastic compound, fragments of equipment, PPE, soils. Algorithms allowing to check the measurement accuracy using certified items were developed.

Keywords: *measuring procedure, radiation characteristics, radioactive waste, measurement accuracy control.*

References

1. Publichnyj godovoj otchet. Itogi deyatel'nosti Gosudarstvennoj korporacii po atomnoj energii “Rosatom” za 2018 god [Public annual report. Results of the activities of the state nuclear energy corporation Rosatom for 2018].
2. SP 2.6.1.2612-10. Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti (OSPORB-99/2010) [Basic sanitary rules for radiation safety].
3. *Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya. Vывod iz ekspluatatsii* [Nuclear legacy problems and solutions. Decommissioning]. Edited by L. A. Bolshov, N. P. Laverov, I. I. Linge. Vol. 3. Moscow, Energoromanalitika Publ., 2015. 316 p.
4. Federalny zakon ot 11 ijulja 2011 g. No. 190-FZ “Ob obrashenii s radioaktivnymi othodami I o vnesenii izmenenij v otдел’nye zakonodatel’nye akty Rossijskoj Federacii” [Federal Law of 11 July 2011 No. 190 “On radioactive waste management and on
5. IAEA-TCS-27. *Tekhnologicheskie i organizacionnye aspekty obrashcheniya s radioaktivnymi othodami. Seriya uchebnyh kursov* [Technological and organizational aspects of radioactive waste management. Training Series]. IAEA, Vienne, 2005.
6. Varlakov A. P., Sergeecheva Ya. V., Ivliev M. V., Germanov A. V. O razrabotke trebovanij k izmeneniyam radiacionnyh harakteristik TRO, obrazuyushchihsiya pri VE YAROO [On the development of requirements for measurement of radiation characteristics of solid radioactive waste generated during decommissioning]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 76–82.
7. Karpov Y. A., Savostin A. P. *Metody probootbora i probopodgotovki* [Sampling and sample preparation methods]. Moscow, BINOM Publ., Laboratorija znaniy, 2012, 243 p.
8. *Rukovodstvo po metodam kontrolya za radioaktivnost’yu okruzhayushchej sredy* [Guidance on

methods for monitoring environmental radioactivity]. Edited by I. A. Sobolev, E. N. Belyaev. Moscow, Meditsina Publ., 2002. 432 p.

9. Federalny zakon ot 26 iyunja 2008 g. No. 102-FZ "Ob obespechenii edinstva izmerenij" [Federal Law of 16 June 2008 No. 102 "On ensuring the uniformity of measurements"]].

10. Prikaz Goskorporacii "Rosatom" ot 31.10.2013 No. 1/10-NPA "Ob utverzhdenii metrologicheskikh trebovanij k izmereniyam, etalonam edinic velichin, standartnym obrazcam, sredstvam izmerenij, ih sostavnym chastyam, programmnomu obespecheniyu, metodikam (metodam) izmerenij, primenyaemym v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii" [The state corporation Rosatom order for 31 October 2013 No. 1/10-NPA "On approval of metrological requirements for measurements, unit standards, standard samples, measuring instruments, their components, software, measurement procedures (methods) used in the field of atomic energy use"]].

11. GOST R 8.932-2017. Trebovaniya k metodikam (metodam) izmerenij v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii. Osnovnye polozeniya [State Standard 8.932-2017 Requirements for measurement procedures (methods) in the field of atomic energy use. Key Points].

12. GOST ISO/MEK 17025-2009. Obshchie trebovaniya k kompetentnosti ispytatel'nyh i kalibrovochnyh laboratorij [State Standard 17025-2009 General competency requirements for testing and calibration laboratories].

13. Kashirin I. A., Malinovskij S. V., Ermakov A. I., Tikhomirov V. A., Sobolev A. I. Ekspress-analiz

prirodnih i tekhnologicheskikh ob"ektov pri provedenii radiacionnogo monitoringa i kontrolya s ispol'zovaniem zhidkoscintillyacionnoj spektrometrii [Express analysis of natural and technological objects during radiation monitoring and control using liquid scintillation spectrometry]. *XV ezhegodnyj seminar "Spektrometricheskij analiz. Apparatura i obrabotka dannyh na PEVM"*. Obninsk, 2008.

14. Ermakov A. I., Malinovskij S. V., Kashirin I. A., Tikhomirov V. A., Sobolev A. I. 2006. Rapid Analysis of Radionuclide Composition (Screening) of Liquid Samples via Deconvolution of their LS Spectra. *LSC 2005, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, RADIOCARBON*, pp. 89–98.

15. IAEA Nuclear Energy Series NW-T-1.18. Determination and use of scaling factors for waste characterization in NPP. IAEA, Vienna, Austria, 2009.

16. Varlakov A. P., Sergeecheva Ya. V., Ivliev M. V., Varlakova G. A., Gorbunov V. A., Karlin S. V. Primenenie metodologii radionuklidnogo vektora dlya opredeleniya aktivnosti slozhnodetektiruemyh radionuklidov v potokah RAO [Application of the Nuclide-vector Methodology to Determine the Activity of Difficult-to-measure Radionuclides in Radioactive Waste Streams]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2020, no.1 (10), pp. 85–91. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-1-85-91.

17. NP-093-14. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii "Kriterii priemlesti radioaktivnyh othodov dlya zahoroneniya" [Federal codes and standards in the field of use of atomic energy "Criteria for acceptance of radioactive waste for disposal"]].

Information about the authors

Varlakov Andrey Petrovich, Doctor of Sciences, Director of Department, JCS "VNIINM" (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Ivliev Michail Vladimirovich, PhD, Head of department, JCS "VNIINM" (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: MiVIvliev@bochvar.ru.

Sergeecheva Yana Vladimirovna, Leading process engineer, JCS "VNIINM" (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: yanasergeecheva@yandex.ru.

Chauzova Maria Vladimirovna, main specialist, JCS "VNIINM" (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: mar4a1@rambler.ru.

Dorofeev Aleksandr Nikolaevich, PhD, Head of the Project Office, State Corporation Rosatom (24, Bolshaya Ordynka St., Moscow, 119017, Russia), e-mail: ANDorofeev@rosatom.ru.

Zinnurov Boris Saifutdinovich, expert, State Corporation Rosatom (24, Bolshaya Ordynka St., Moscow, 119017, Russia), e-mail: BoSaZinnurov@rosatom.ru.

Bibliographic description

Varlakov A. P., Ivliev M. V., Sergeecheva Y. V., Chauzova M. V., Dorofeev A. N., Zinnurov B. S. Methods for Measuring the Radiation Characteristics of Waste. *Radioactive Waste*, 2020, no. 3(12), pp. 78–86. (in Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-78-86.