

■ ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ / THE USE OF REFERENCE MATERIALS

DOI: 10.20915/2077-1177-2017-13-2-49-57
УДК 543.08

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

© Ю. А. Тадевосян, М. А. Семенов, Е. С. Киселева

ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск, Челябинской обл., Российская Федерация
E-mail: yul.tadewosian@yandex.ru

Поступила в редакцию 26 сентября 2017 г., после доработки – 27 октября 2017 г.
Принята к публикации – 2 ноября 2017 г.

Введение. Радиохимическое производство является самым насыщенным по объему показателей для аналитического контроля, качественная реализация которого невозможна без применения стандартных образцов утвержденных типов. Ранее потребность в стандартных образцах обеспечивалась отраслевыми институтами, многие из которых в настоящее время в силу различных причин прекратили данный вид деятельности. В представленной статье освещены проблемы метрологического обеспечения радиохимического производства, вызванные дефицитом стандартных образцов утвержденных типов.

Материалы и методы. Описаны технологии, используемые для получения однородного материала стандартных образцов для радиохимического производства. Перечислены методы и средства измерений, применяемые для аттестации стандартных образцов.

Результаты исследования. Представлены результаты разработки стандартных образцов на ФГУП «ПО «Маяк». Описаны примеры совместных разработок стандартных образцов на основе триураноктаоксида и диоксида плутония.

Обсуждение и заключение. Дана оценка существующего положения дел в области обеспеченности стандартными образцами утвержденных типов. Приведены данные о наличии сырья, качестве приборной и методической базы в целях создания производственной площадки для изготовления стандартных образцов на ФГУП «ПО «Маяк». Изложены результаты поэтапного решения проблем метрологического обеспечения радиохимического производства. Намечены перспективные исследования по созданию стандартных образцов для методов масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Дан прогноз и сформулированы предложения практического плана по взаимодействию между институтами и предприятиями отрасли в области разработки стандартных образцов утвержденного типа.

Ключевые слова: аналитическое сопровождение радиохимического производства, разработка стандартных образцов, стандартный образец, массовая доля, изотопный состав, диоксид плутония, триураноктаоксид, уранил азотнокислый, метод сравнения

Ссылка при цитировании:

Тадевосян Ю. А., Семенов М. А., Киселева Е. С. Метрологическое обеспечение радиохимического производства // Стандартные образцы. 2017. № 2. С. 49–57. DOI 10.20915/2077-1177-2017-13-2-49-57.

For citation:

Tadewosyan Yu. A., Semenov M. A., Kiseleva E. S. Metrological assurance in radiochemical production. Standartnye obrazcy = Reference materials, 2016, vol. 13, No. 2, pp. 49–57. DOI 10.20915/2077-1177-2017-13-2-49-57 (In Russ.).

METROLOGICAL ASSURANCE IN RADIOCHEMICAL PRODUCTION

©Yuliya A. Tadevosyan, Maksim A. Semenov, Elena S. Kiseleva

Mayak Production Association, Ozersk, the Chelyabinsk Region, the Russian Federation

E-mail: yul.tadewosian@yandex.ru

Received – September 26, 2017, Revised – October 27, 2017

Accepted for publication – November 2, 2017

Introduction. Radiochemical production is one of the richest in terms of data for analytical control, high-quality implementation of which is impossible without using type approved reference materials (RMs). Industry-specific institutes used to satisfy the demand for RMs, many of which nowadays have ceased this type of activities due to various reasons. The paper in question covers problems of metrological support in radiochemical production caused by the lack of type approved RMs.

Materials and methods. Technologies used to obtaining homogeneous reference material for radiochemical production are described. Methods and measuring instruments used for certifying RMs are listed.

Results. Results of developing certified reference materials at Mayak Production Association are given. Examples of codeveloping RMs of triuranium octoxide and plutonium dioxide are provided.

Discussion and conclusions. Assessment of the current situation in terms of provision of type approved RMs is given. The paper provides data on availability of raw material, quality of instrument and methodological base in order to create a reference material production site at Mayak Production Association. Results of step-by-step solutions to problems of metrological assurance in radiochemical production are presented. Research prospects of developing RMs for inductively coupled plasma mass spectrometry are outlined. An outlook is given and practical proposals are formulated in the paper. The proposals in question are related to the interaction between institutes and enterprises of the field in terms of developing type approved RMs.

Keywords: analytical support of radiochemical production, reference material development, reference material, mass fraction, isotopic composition, plutonium dioxide, triuranium octoxide, uranyl nitrate, comparison method

Используемые в статье сокращения

МСИ – межлабораторные сличительные испытания

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

РАО – радиоактивные отходы

СО – стандартный образец

Abbreviations used in the article

ICT – interlaboratory comparison tests

SNF – spent nuclear fuel

RW – radioactive waste

RM – reference material

Введение

Метрологическое обеспечение измерений химического состава жидких и твердых веществ и материалов – одна из важнейших задач современной метрологии. В атомной промышленности существует острая потребность в высокоточных, достоверных результатах измерений, так как в первую очередь это является гарантией безопасности. Получение таких результатов невозможно без применения СО утвержденных типов [1].

Основным направлением деятельности завода РТ-1 ФГУП «ПО «Маяк» является регенерация облученного ядерного топлива в целях извлечения и повторного ис-

пользования урана и плутония [2]. В настоящее время комплекс РТ-1 осуществляет переработку ОЯТ:

– Реакторов энергетического назначения (ВВЭР-440, БН-600);

– Атомных подводных лодок и надводных кораблей;

– Исследовательских реакторов;

– Промышленных реакторов «РУСЛАН» и «Людмила».

Весь регенерированный в ходе переработки уран поставляется на предприятия ОАО «ТВЭЛ» для производства свежего топлива. В ходе переработки ОЯТ осуществляется наработка сырья для радиоизотопного производства.

Перед аналитической лабораторией завода РТ-1 стоит как минимум семь аналитических задач:

- анализ исходного сырья и химических реагентов;
- аналитический контроль технологических процессов переработки ОЯТ и обращения с РАО;
- анализ многокомпонентных технологических продуктов;
- обеспечение эффективного функционирования систем учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и РАО;
- обеспечение контроля параметров безопасности;
- сопровождение научных исследований;
- контроль товарной продукции.

Решать эти задачи без применения СО невозможно.

Ранее потребность в СО обеспечивалась отраслевыми институтами, многие из которых в настоящее время в силу различных причин прекратили данный вид деятельности.

На сегодняшний день заканчиваются запасы СО утвержденных типов на основе диоксида плутония (по изотопному составу и массовой доле основного вещества). Поставки образцовых растворов и мер активности являются неритмичными и не всегда качественными. Для многих предприятий отрасли ситуация становится критической. Отсутствует возможность проведения процедур контроля качества, внедрения и совершенствования методик измерения состава и свойств ядерных материалов, содержания примесей в товарной продукции. Не проводятся межлабораторные сличительные испытания.

Радиохимическая технология переработки ОЯТ предполагает производство различных продуктов высокой степени очистки, которые могут служить основой (телом) для СО. Поэтому именно завод РТ-1 всегда представлял интерес как производственная площадка по изготовлению и проведению испытаний СО.

Настоящая статья посвящена описанию опыта разработки стандартных образцов, предназначенных для метрологического обеспечения радиохимического производства.

Материалы и методы

Разработка СО состава плутония

В 1999 г. на ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск) совместно с ФГУП «Государственный Научный Центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского» (ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ») (г. Обнинск), ФГУП НПО «Радиовый институт им. В. Г. Хлопина» (г. Санкт-Петербург) и «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара» («ВНИИМ им. А. А. Бочвара») (г. Москва) было принято решение о разработке государственных СО изотопного состава и массы диоксида плутония.

В качестве аналогов были взяты СО, выпускаемые Лос-Аламосской национальной лабораторией США и лабораторией PERLA объединенного исследовательского центра Европейской комиссии. Метрологические характеристики иностранных СО, установленные с высокой точностью, представлены в таблицах 1–2.

Однако в силу имеющегося оборудования и аттестованных методик измерений, характеристики государственных СО изотопного состава и массы диоксида плутония были определены с погрешностью, почти на порядок превышающей погрешность иностранных образцов (табл. 3).

В качестве исходного материала СО использовали партии порошка диоксида плутония, выделенного с помощью радиохимической переработки измельченного ОЯТ реакторов БН-600 и ВВЭР-440. Однородность

Таблица 1. Метрологические характеристики стандартных образцов состава и массы диоксида плутония, выпускаемых Лос-Аламосской национальной лабораторией

Table 1. Metrological characteristics of reference materials for composition and mass of plutonium dioxide produced by Los Alamos National Laboratory

Аттестованная характеристика	Значение аттестованной характеристики	Относительная погрешность, %
Масса Pu, г	67,9826	0,1
Массовая доля Pu в PuO ₂ , %	87,897	0,092
Массовая доля Pu ²³⁸ в Pu, %	0,0149	3
Массовая доля Pu ²³⁹ в Pu, %	92,9845	0,0016
Массовая доля Pu ²⁴⁰ в Pu, %	6,7206	0,01
Массовая доля Pu ²⁴¹ в Pu, %	0,2141	0,4
Массовая доля Pu ²⁴² в Pu, %	0,0659	0,45

Таблица 2. Метрологические характеристики стандартных образцов состава и массы диоксида плутония, выпускаемых лабораторией PERLA

Table 2. Metrological characteristics of reference materials for composition and mass of plutonium dioxide produced by PERLA laboratory

Аттестованная характеристика	Значение аттестованной характеристики	Относительная погрешность, %
Масса Pu, г	2500	0,1
Массовая доля Pu в PuO ₂ , %	87,72	0,11
Массовая доля Pu ²³⁸ в Pu, %	1,721	0,23
Массовая доля Pu ²³⁹ в Pu, %	58,096	0,03
Массовая доля Pu ²⁴⁰ в Pu, %	24,768	0,008
Массовая доля Pu ²⁴¹ в Pu, %	9,771	0,05
Массовая доля Pu ²⁴² в Pu, %	5,645	0,15

Таблица 3. Методы измерений, использованные при аттестации государственных стандартных образцов изотопного состава и массы диоксида плутония

Table 3. Measurement methods used while conducting certification of reference materials for isotopic composition and mass of plutonium dioxide

Аттестованная характеристика	Метод измерений (средство измерений)	Относительная погрешность, не более, %
Масса PuO ₂ , г	Кулонометрия (потенциостат-интегратор кулонометрический ПИК-200)	0,1
Массовая доля Pu в PuO ₂ , %		0,3
Массовая доля Pu ²³⁸ в Pu, %	Термоионизационная масс-спектрометрия (на масс-спектрометре МИ-1201)	3
Массовая доля Pu ²³⁹ в Pu, %		0,1
Массовая доля Pu ²⁴⁰ в Pu, %		0,3
Массовая доля Pu ²⁴¹ в Pu, %		1
Массовая доля Pu ²⁴² в Pu, %		1,5

партии СО обеспечивалась применяемой технологией производства: осаждение порошка диоксида плутония проводилось из одного объема раствора. Дополнительные исследования подтвердили высокую однородность материала. Для обеспечения однородности по изотопному составу перемешивание и отбор проб проводились с помощью специального приспособления – «щупа» (рис. 1).

Комплекты СО плутония в 1999–2003 гг. были разработаны по контрактам между ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» и Лос-Аламосской национальной лабораторией США для использования в целях неразрушающего контроля на российских предприятиях в измерительных системах проверки атрибутов плутония.

В 2006 г. из материала, хранящегося в ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» были разработаны СО утвержденных типов

состава плутония, изотопного состава плутония в диоксиде плутония [3].

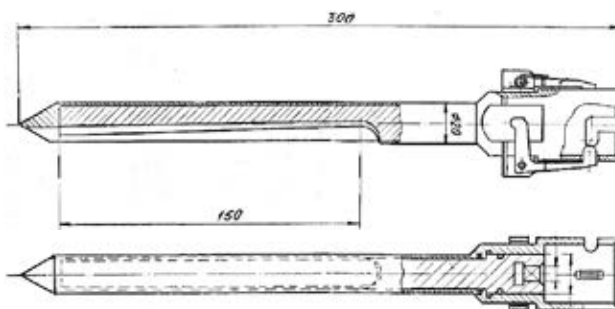


Рис. 1. Приспособление «щуп» (разработка радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк»)

Fig. 1. «Probe» (developed at the Radiochemical Plant of Mayak Production Association)

Разработчиком СО являлся «ВНИИНМ им. А. А. Бочвара». Измерения по определению аттестованного значения массовой доли плутония общего были проведены в «Государственном научном центре – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» («ГНЦ НИИАР»), г. Димитровград высокоточным методом автоматического кулонометрического титрования. Подтверждающие измерения были проведены в ФГУП НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина» высокоточным спектрофотометрическим методом.

Измерения по определению аттестованных значений массовых долей изотопов плутония были проведены в ФГУП НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина». Подтверждающие измерения были выполнены в «ГНЦ НИИАР» (г. Димитровград) и «Сибирском химическом комбинате» (г. Северск) методами масс-спектрометрии и альфа-спектрометрии.

Разработка СО состава урана

Проблема исчерпания запасов возникла и в отношении стандартных образцов состава урана. Разработанные и аттестованные «ВНИИНМ им. А. А. Бочвара» в 2003 г. стандартные образцы состава закиси-оксида урана (уран общий) ГСО 8363–2003 практически израсходованы. В связи с этим, в 2010 г. в аналитической лаборатории радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк» был разработан стандартный образец состава триураноктаоксида, который является аналогом образца, разработанного в 2003 году «ВНИИНМ им. А. А. Бочвара».

Специальных исследований однородности материала не проводилось, поскольку материалом СО является чистое вещество, однородность которого обеспечивается технологическим процессом (путем прокалывания на воздухе гексагидрата нитрата уранила ($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) при температуре 900 °С). Полученное таким образом вещество является триураноктаоксидом и имеет постоянный стехиометрический состав с массовой долей основного вещества не менее 99,9%. Стабильность аттестованного значения подтверждена стабильностью аттестованного значения СО 2003 г. выпуска, имеющего аналогичный состав. Установление аттестованного значения стандартного образца было выполнено методом сравнения со стандартным образцом 2003 г. Измерения по определению аттестованного значения массовой доли урана выполнены по ОСТ 95 175-2003 «Уран и его соединения. Методика гравиметрического с пероксидным осаждением измерения содержания урана» [5].

В 2013 г. на ФГУП «ПО «Маяк» были разработаны СО состава растворов урана с концентрациями урана 5 г/дм³, 30 г/дм³, 50 г/дм³, 100 г/дм³, 120 г/дм³. Материалом СО являются водные растворы уранила азотнокислого (плава) марки Б. Измерения массовой доли урана в исходном материале выполнены по ОСТ 95 175-2003 «Уран и его соединения. Методика гравиметрического с пероксидным осаждением измерения содержания урана» [5].

Результаты и их обсуждение

Результаты разработки стандартных образцов состава плутония

В табл. 4 представлены метрологические характеристики стандартных образцов состава плутония, изотопного состава плутония в диоксиде плутония, разработанных в 2006 году.

ГСО 8780–2006, ГСО 8781–2006 и ГСО 8782–2006 предназначены для передачи размеров аттестованной характеристики образцам более низкого класса [4], оперативного контроля погрешности результатов измерений плутония в плутонии и его соединениях, выполняемых по методикам разрушающего контроля гравиметрическим, кулонометрическим, титриметрическим, спектрофотометрическим, масс-спектрометрическими, альфа-спектрометрическими методами, а также для градуировки средств измерений.

Материал стандартных образцов был расфасован в стеклянные флаконы вместимостью 5 см³ с резьбовой пластиковой пробкой, снабженной полимерной радиационно-стойкой прокладкой. Масса материала ГСО 8780–2006 в каждом флаконе составила 1,0 г. Масса материала ГСО 8781–2006 и ГСО 8782–2006 в каждом флаконе составила 0,25 г. ГСО 8780–2006, ГСО 8781–2006 и ГСО 8782–2006 были переданы на многие предприятия отрасли бесплатно и к настоящему времени их запасы заканчиваются.

Для решения проблемы метрологического обеспечения средств и методик измерений содержания плутония в настоящее время в аналитической лаборатории завода РТ-1 совместно с «ВНИИНМ им. А. А. Бочвара» ведется разработка стандартного образца на основе диоксида плутония с аттестованным значением массовой доли плутония общего. Качественный исходный материал для создания стандартных образцов в достаточном количестве имеется на ФГУП «ПО «Маяк». Измерения массовой доли плутония общего проведены на потенциостате – интеграторе кулонометрическом (ПИК-200). Подтверждающие измерения выполнены методами спектрофотометрии

Таблица 4. Метрологические характеристики стандартных образцов состава плутония, изотопного состава плутония в диоксиде плутония

Table 4. Metrological characteristics of certified reference materials for composition of plutonium, plutonium isotopic composition in plutonium dioxide, developed in 2006

Индекс СО	Аттестованная характеристика СО	Аттестованное значение, %	Абсолютная погрешность аттестованного значения СО при P=0,95, %
ГСО 8780–2006 (СО Пл-общ)	Массовая доля плутония	88,063	±0,045 (при массе навески 0,5 г) ±0,040 (при массе навески 1 г)
ГСО 8781–2006 (СО Пл– 6)	Атомная доля изотопа плутония		
	Pu-238	0,0290	±0,0007
	Pu-239	93,818	±0,009
	Pu-240	6,004	±0,009
	Pu-241	0,0922	±0,0006
ГСО 8782–2006 (СО Пл-20)	Атомная доля изотопа плутония		
	Pu-238	0,1915	±0,0045
	Pu-239	79,203	±0,025
	Pu-240	20,086	±0,025
	Pu-241	0,2871	±0,0014
	Pu-242	0,2326	±0,0010

и денситометрии с К-краем поглощения. В 2018 г. планируется проведение МСИ между лабораториями предприятий «Росатома» с использованием образцов для контроля на основе диоксида плутония, аттестованных на ФГУП «ПО «Маяк». Провайдером МСИ будет выступать «ВНИИНМ им. А. А. Бочвара». Аналитическая лаборатория радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк» будет соисполнителем в части изготовления и рассылки образцов для контроля. В лаборатории радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк» образец для контроля по изотопному составу будет аттестован на высокоточном термоионизационном масс-спектрометре TRITON T1. По итогам МСИ будет получен стандартный образец утвержденного типа, аттестованный не только по массовой доле, но и по изотопному составу.

Результаты разработки стандартных образцов урана

В таблице 5 представлены метрологические характеристики СО, разработанного ФГУП «ПО «Маяк». ГСО 9818–2011 был аттестован на ФГУП «ПО «Маяк», метрологическая экспертиза документов по разработке была выполнена специалистами «Уральского научно-исследовательского института метрологии» (УНИИМ). Была выпущена единичная партия образца в количестве 500 г.

ГСО 9818–2011 используется для контроля погрешности результатов измерений массовой доли урана в уране и его соединениях, а также в уран содержащих материалах и технологических продуктах, аттестации методик измерений.

В табл. 6 представлены метрологические характеристики СО состава растворов урана, разработанных ФГУП «ПО «Маяк».

Таблица 5. Метрологические характеристики стандартного образца состава триураноктооксида

Table 5. Metrological characteristics of the certified reference material for composition of triuranium octoxide

Индекс СО	Аттестованная характеристика	Интервал допускаемых аттестованных значений СО, %	Границы допускаемой абсолютной погрешности аттестованного значения СО при P=0,95, %
ГСО 9818–2011	Массовая доля общего урана	От 84,5 до 84,8 вкл.	±0,06

Таблица 6. Метрологические характеристики стандартных образцов состава растворов урана
 Table 6. Metrological characteristics of certified reference materials for composition of uranium solutions

Индекс СО	Аттестованная характеристика	Интервал допускаемых аттестованных значений СО, г/дм ³	Границы допускаемой относительной погрешности аттестованного значения СО при P=0,95, %
ГСО 10353–2013	Массовая концентрация урана	От 4,8 до 5,2 вкл.	±0,33
ГСО 10354–2013		От 28 до 33 вкл.	
ГСО 10355–2013		От 48 до 52 вкл.	
ГСО 10356–2013		От 98 до 102 вкл.	
ГСО 10357–2013		От 118 до 122 вкл.	

СО состава растворов урана различной концентрации постоянно востребованы экологическими лабораториями отрасли.

Для обеспечения качества измерений изотопного состава урана, аттестации методик измерений, поверки и градуировки средств измерений в лаборатории радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк» используются СО изотопного состава урана ГСО 7980–2002, изготовленные Центральной заводской лаборатории «Уральского электрохимического комбината» (УЭХК) (г. Новоуральск) [6] и аттестованные масс-спектрометрическим методом [7, 8]. Аттестованные значения атомных долей урана-235 стандартных образцов находятся в диапазоне от менее 0,05 % до 100 %. Стандартные образцы УЭХК являются высококачественными, аттестованы на высокоточном оборудовании, изготовлены из чистого материала. Для изготовления стандартных образцов изотопного состава урана УЭХК постоянно нуждается в аттестованном по массовой доле качественном стандартном образце состава триураноктоксида, который может, в свою очередь, предоставлять ФГУП «ПО «Маяк».

Таким образом, для получения достоверных результатов по основным показателям урановой продукции необходимы стандартные образцы, выпущенные в достаточном количестве, для производства которых требуется наличие качественного исходного материала.

Перспективные области разработки СО

Появление новых видов смешанного топлива (СНУП, МОКС) предполагает проведение широкого спектра аналитических работ по определению химического и изотопного состава для получения качественного продукта. Одним из контролируемых

показателей качества является содержание катионных примесей, таких как Al, B, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Si, V, W. В качестве современных методов контроля содержания указанных примесей в лабораториях отрасли широко применяются методы атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Уран и плутоний имеют сложный эмиссионный спектр, который полностью или частично маскирует чувствительные линии многих из указанных примесей. Перспективно для отделения урана и плутония использовать методы ионообменной и экстракционной хроматографии, но это часто приводит к сбрасыванию ряда примесей и невозможности их дальнейшего определения. Поэтому возникает необходимость изготовления СО состава примесей в матрице урана и плутония.

В аналитической лаборатории завода РТ-1 в настоящее время для определения примесей в урановых, плутониевых растворах различного состава и активности функционирует 2 ICP масс-спектрометра NexION, один ICP масс-спектрометр ELAN и атомно-эмиссионный спектрометр Optima.

Для повышения точности измерений, исключения влияния радиационного и человеческого факторов специалистами лаборатории разрабатываются автоматизированные устройства пробоподготовки. Так, например, для определения изотопного состава плутония изготовлено автоматизированное устройство нанесения проб на филамены. С целью проведения высокоточного разбавления растворов и внесения меток в опытной эксплуатации находится лабораторная установка пробоподготовки и разведения (ЛУПР). Внешний вид устройств представлен на рис. 2.

Аналитическая лаборатория завода РТ-1 на сегодняшний день обладает достаточными техническими возможностями, определенным опытом и многими ви-



Рис. 2. Автоматизированные устройства пробоподготовки
Fig. 2. Automated equipment for sample preparation

дами исходного сырья для изготовления СО утвержденных типов.

Заключение

Постепенная утрата компетенций, отсутствие прежней системы производства и обеспечения предприятий СО утвержденных типов приводит к снижению качества измерений. Самодостаточных предприятий, которые смогли бы полностью обеспечить себя СО, практически нет. Трудности с изготовлением стандартных образцов возникают из-за сложной экономической ситуации, отсутствия полной информации о наличии, изготовлении, потребности в СО. Решение данной проблемы возможно при условии централизации финансирования работ по производству и аттестации стандартных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об обеспечении единства измерений: федер. закон Российской Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собрания Российской Федерации 11 июня 2008 года: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Российской Федерации 18 июня 2008 г. // Рос. газета. – 2008. – 2 июля
2. Перспективы развития технологий завода РТ-1 / В. Ф. Горн [и др.] // Безопасность окружающей среды. 2010. № 1. С. 29–33.
3. Стандартные образцы изотопного состава плутония / М. Л. Карпюк [и др.] // Стандартные образцы. 2006. № 3. С. 39–47.
4. ГОСТ Р 8.609-2004 ГСИ. Стандартные образцы системы государственного учета и контроля ядерных материалов. Общие положения. М.: Изд-во стандартов, 2005. 11 с.
5. ОСТ 95 175-2003 Уран и его соединения. Методика гравиметрического с пероксидным осаждением измерения содержания урана.

Таким образом, с целью решения проблемы метрологического обеспечения радиохимического производства необходимо проводить следующие мероприятия:

- выделить предприятия, имеющие сырьевые и технические возможности для создания на их базе центров испытаний стандартных образцов;
- определить организации, занимающиеся метрологической экспертизой и аттестацией СО;
- широко использовать опыт не только отраслевых институтов, но и привлекать такие научные центры по разработке стандартных образцов, как УНИИМ;
- в целях повышения качества выпускаемой продукции организовать на постоянной основе проведение межлабораторных сличительных испытаний.

Вклад соавторов

Киселева Е. С.: компьютерная работа с текстом, редакция текста статьи.

Семенов М. А.: предоставление информации об иностранных стандартных образцах.

Тадевосян Ю. А.: сбор литературных данных, определение замысла статьи, критический анализ и доработка текста, оформление документов по испытаниям СО в целях утверждения типа.

Все авторы прочли и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Federal law «On ensuring the uniformity of measurements» No FZ-102 of 26/06/2008. Moscow. (In Russ.)
2. Gorn V. F. et al. RT-1 technologies: prospects of advancement. Environmental safety, 2010. no. 1. pp. 29–33. (In Russ.)
3. Karpuk M. L., Startsev V. V., Loshkareva E. P., Borisov V. A. Certified reference materials for plutonium isotopic composition. Standartnye obrazcy=Reference materials, 2016, no. 3. pp. 39–47. (In Russ.)
4. GOST R 8.609-2004 State system for ensuring the uniformity of measurements. Certified reference materials of state accounting and control of nuclear materials system. Basic principles. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2005, 11 p. (In Russ.)
5. OST 95 175-2003 Uranium and its compounds. Gravimetric and peroxide precipitation procedure for measuring uranium content.

6. Центральная заводская лаборатория уральского электрохимического комбината / В. М. Голик [и др.] // Журнал аналитической химии. 2010. № 2. С. 218–222.

7. Сличение стандартных образцов изотопного состава урана производства NBL (США) и УЭХК / А. В. Сапрыгин [и др.] // Стандартные образцы. 2007. № 2. С. 39–48.

8. Стандартные образцы изотопного состава урана производства УЭХК / А. В. Сапрыгин [и др.] // Стандартные образцы. 2007. № 3. С. 41–51.

6. Golik V. M., Izrailevich I. S., Solov'ev G. S., Saprygin A. V. Central plant laboratory of the urals electrochemical integrated enterprise. Journal of Analytical Chemistry. 2010, Vol.65. no. 2. pp. 215–219.

7. Saprygin A. V., Golik V. M., Makarov A. A., Dzhavaev V. M., Kudryavtsev V. N. Comparison of CRMs for uranium isotopic composition, produced by NBL (USA) and the Ural Integrated Electro-Chemical Plant. Standartnye obrazcy=Reference materials, 2007, no. 2. pp. 39–48. (In Russ.)

8. Saprygin A. V., Golik V. M., Dzhavaev B. G., Makarov A. A., Hrenova I. E., Makarova T. V. Certified reference materials of uranium isotopic composition, produced by UECC. Standartnye obrazcy=Reference materials, 2007, no. 3. pp. 41–51. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тадевосян Юлия Анатольевна – начальник аналитической лаборатории радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк». Российская Федерация, Челябинская обл., 456780, г. Озерск, ул. Ленина, 31
e-mail: yul.tadewosian@yandex.ru

Семенов Максим Александрович – начальник центральной заводской лаборатории ФГУП «ПО «Маяк». Российская Федерация, Челябинская обл., 456780, г. Озерск, ул. Ленина, 31
e-mail: semenovmw@mail.ru

Киселева Елена Сергеевна – инженер-химик аналитической лаборатории радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк». Российская Федерация, Челябинская обл., 456780, г. Озерск, ул. Ленина, 31
e-mail: lenlein@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuliya A. Tadevosyan – Head of the Analytical Laboratory, Radiochemical Plant of Mayak Production Association. 31 Lenina St., Ozersk, Chelyabinsk Region, 456780, the Russian Federation
e-mail: yul.tadewosian@yandex.ru

Maksim A. Semenov – Head of the Central Plant Laboratory, Mayak Production Association. 31 Lenina St., Ozersk, Chelyabinsk Region, 456780, the Russian Federation
e-mail: semenovmw@mail.ru

Elena S. Kiseleva – Chemical Engineer, the Analytical Laboratory, Mayak Production Association. 31 Lenina St., Ozersk, Chelyabinsk Region, 456780, the Russian Federation
e-mail: lenlein@mail.ru