

О РАЗРАБОТКЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИЗМЕРЕНИЯМ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРО, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЭ ЯРОО

А. П. Варлаков, Я. В. Сергеечева, М. В. Ивлиев, А. В. Германов

АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара», Москва

Статья поступила в редакцию 8 октября 2018 г.

Обобщен опыт характеризации РАО, размещенных в первичные упаковки, полученный при выполнении практических работ по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии на территории АО «ВНИИНМ». Проанализированы и предложены мероприятия по организации и проведению процесса измерений радиационных характеристик твердых РАО в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов.

Ключевые слова: регламент измерения, методика измерения, твердые радиоактивные отходы, активность радионуклидов, вывод из эксплуатации.

При выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) образуются отходы, представляющие собой РАО различных классов и разнообразные материалы, освобожденные от контроля [1, с. 5–7]. Освобождение от контроля определяется как освобождение содержащих радиоактивные вещества материалов или предметов в рамках разрешенной практической деятельности от любого дальнейшего контроля со стороны регулирующего органа [2, 3]. Отнесение отходов к конкретной категории осуществляется на основании результатов измерений их радиационных характеристик. Корректные измерения радиационных характеристик важны, так как затраты на обращение с отходами существенно зависят от их категории (промышленные отходы, загрязненные техногенными радионуклидами, ОНАО, НАО, САО, ВАО) [4].

В [3, 5, 6] приведены требования к проведению измерений радиационных характеристик отходов и методикам измерений.

Проведенный нами анализ методической базы показал, что на предприятиях атомной отрасли практически отсутствуют методики измерений удельной активности радионуклидов методами альфа-, бета-, гамма-спектрометрии и радиометрии, соответствующие современным требованиям [5]. Зачастую в методиках отсутствуют требования к контролю качества измерений, также не установлены характеристики погрешности измерений в зависимости от поддиапазонов измеряемых величин. Кроме того, в отраслевом реестре отсутствуют типовые методики измерений, определяющие порядок подготовки счетных образцов различной морфологии и выполнение оценки влияния параметров окружающей среды (температура, влажность, давление) при измерении радиационных характеристик ТРО, что особенно важно при выполнении измерений *in situ* (непосредственно на местах) методами неразрушающего контроля (например, мобильными

гамма-спектрометрами) без подготовки счетных образцов.

Как показала практическая деятельность, отсутствие корректных методик измерения радиационных характеристик отходов, образующихся при ВЭ ОИАЭ, и документов, регламентирующих процесс проведения измерений при осуществлении мероприятий по ВЭ ОИАЭ, может привести к ошибкам при отнесении отходов к определенной категории на основании результатов измерений.

В данной статье, на основании опыта АО «ВНИИНМ», рассматриваются проблемы, возникшие при определении радиационных характеристик упаковок с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), образовавшимися при ВЭ ОИАЭ.

Опыт АО «ВНИИНМ»

Предприятие АО «ВНИИНМ» является ровесником атомной отрасли, поэтому на его территории имеется ряд объектов, запланированных к выводу из эксплуатации.

К настоящему времени в АО «ВНИИНМ» завершены работы по выводу из эксплуатации здания «Реагентная» и исследовательского корпуса «Б», в 2017 г. начался вывод из эксплуатации установки «У-5». В процессе этих работ получен опыт и на практике опробованы методы и приемы по характеристизации образующихся ТРО в виде строительных отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов. Основными загрязняющими радионуклидами являлись ^{60}Co , ^{90}Sr , $^{134,137}\text{Cs}$, $^{239,241}\text{Pu}$, $^{234,235,238}\text{U}$ и ^{241}Am .

На настоящий момент в действующих нормативных документах не определены единые требования к порядку проведения работ при ВЭ ЯРОО в части измерений радиационных характеристик образующихся ТРО. В то же время удаляемые ТРО, передаваемые на захоронение, должны соответствовать общим критериям приемлемости для захоронения, установленным федеральными нормами и правилами [7]. Общие критерии приемлемости РАО для захоронения устанавливаются в целях безопасного захоронения РАО данного класса и определяют требования, достаточные для передачи их Национальному оператору по обращению с РАО. Определить соответствие характеристик ТРО критериям приемлемости без проведения корректных измерений радиационных характеристик невозможно.

Измерение радиационных характеристик ТРО заключается в определении радионуклидного состава, удельной и общей активности радионуклидов ТРО. В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [8] проверку определяемых радиационных характеристик следует основывать на процедуре, которая включает: *in situ* измерения на материале методами неразрушающего контроля, лабораторные измерения на представительных пробах, использование должным образом

полученных радионуклидных соотношений (метод радионуклидного вектора), адекватную прослеживаемость материала, включая его происхождение.

Выбор методов измерений, подборку и калибровку подходящих приборов перед проведением мероприятий по ВЭ следует проводить на основе информации о возможности:

- группирования рассматриваемых материалов так, чтобы они были как можно более однородными с точки зрения самого материала и его происхождения (и, таким образом, радионуклидного состава и уровня активности);
- оценки радионуклидного состава рассматриваемых материалов путем выполнения анализа образцов с учетом всей соответствующей информации об истории материала.

При первичном образовании, в процессе реализации мероприятий по выводу из эксплуатации, радиоактивные отходы должны быть собраны, проанализированы, и разделены по категориям на месте их образования в соответствии с их физическими, химическими, биологическими и радиологическими свойствами. Эти действия облегчают последующую обработку отходов, повышают ее эффективность, способствуют снижению конечных объемов отходов, направляемых на хранение и захоронение. Общая стратегия сортировки и отдельного сбора отходов регламентируется нормативными документами и зависит от существующей системы обращения с радиоактивными отходами, которая определяет основные категории отходов, методы их обработки, кондиционирования и захоронения [8, с. 29]. При реализации мероприятий по ВЭ часто возникает ситуация смешивания отходов разной морфологии при формировании упаковок, что значительно затрудняет проведение достоверных измерений радиационных характеристик РАО.

Для измерения активности отходов необходимо наличие соответствующей измерительной аппаратуры и владение методиками проведения прямых и косвенных измерений, отбора или приготовления проб образцов. Это особенно важно при переводе дезактивированных объектов, оборудования или материалов в разряд нерадиоактивных, поскольку, чем ниже контрольные уровни, тем сложнее измерения, а очень низкий уровень активности потенциально чистых либо очищенных материалов должен быть подтвержден измерениями.

Для прямых измерений активности используются различные детекторы ионизирующих излучений, которые располагаются в непосредственной близости от измеряемого объекта. Метод косвенных измерений состоит в определении уровня нефиксированного или слабо фиксированного загрязнения мазка, взятого с какой-либо поверхности (уровень загрязнения определяется прямым измерением на приборе) [8, с. 30].

Достоверное измерение радиационных характеристик ТРО непосредственно в упаковках (контейнерах) возможно только для гамма-излучающих радионуклидов с высокими энергиями гамма-квантов, т. к. гамма-излучение низких энергий, альфа- и бета-излучение практически полностью поглощается стенками контейнера и материалами отходов.

Причинами трудностей при категорировании ТРО по удельной активности радионуклидов в упаковках (контейнерах) являются:

- высокая погрешность (неопределенность) определения эффективности регистрации гамма-квантов различной энергии при расчете удельной активности радионуклидов, обусловленная неравномерностью распределения ТРО и радионуклидов в упаковке;
- высокое значение минимально детектируемой активности радионуклидов с низкоэнергетическим гамма-излучением (например, у ^{241}Am $E_\gamma = 59,5$ кэВ) из-за поглощения излучения радионуклидов стенками контейнера и материалами отходов;
- наличие труднодетектируемых радионуклидов, распад которых сопровождается гамма-излучением с интенсивностью, недостаточной для регистрации неразрушающими методами измерений (например, $^{239-241}\text{Pu}$, ^{234}U , ^{90}Sr);
- ошибки на стадии сортировки и упаковки, приводящие к получению упаковок ТРО смешанной морфологии;
- отсутствие единых требований к порядку проведения работ при ВЭ ЯРОО в части измерения радиационных характеристик образующихся ТРО.

Первоначальное категорирование ТРО, образующихся при ВЭ установки «У-5», проводилось путем определения их радиационных характеристик на основании измерений и анализа гамма-спектров от ТРО в контейнерах большого объема (3,1 м³, толщина стальной стенки 5 мм). С целью уменьшения влияния неоднородности распределения активности радионуклидов в ТРО измерения проводились переносным гамма-спектрометром с каждой стороны контейнера с последующим усреднением полученных результатов. Оценка эффективности регистрации гамма-квантов для расчета удельной активности определялась только в зависимости от параметров контейнера и плотности материалов отходов, без учета морфологического состава. Это привело к тому, что минимально детектируемая активность (МДА) отдельных радионуклидов превысила в 10–100 раз их минимально значимую активность (МЗУА) (например, по результатам измерений МДА для ^{241}Am — более 10⁵ Бк/кг) вследствие поглощения рентгеновского и гамма-излучения радионуклидов стенками контейнера и материалами отходов. Провести категорирование ТРО в этих условиях не удалось.

Стоит отметить, что в отраслевом реестре методик и федеральном информационном фонде

зарегистрирована только одна методика измерения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов непосредственно в упаковках с ТРО, причем данная методика применима к упаковкам объемом не более 400 л. Методики измерения радиационных характеристик ТРО в контейнерах большего объема отсутствуют.

Для проведения корректных измерений и снижения МДА при определении удельной активности радионуклидов были предприняты следующие действия:

- уменьшен объем упаковок измеряемых ТРО до 200 л;
- в качестве упаковок выбрана 200 л бочка с толщиной стенки 1,5 мм;
- скорректирована библиотека радионуклидов, исходя из предполагаемого характера загрязнения ТРО;
- для уменьшения влияния неоднородности распределения активности радионуклидов в ТРО измерения проводились на вращающемся столе;
- увеличено время набора спектра гамма-излучающих радионуклидов.

Данные мероприятия позволили произвести измерение удельной активности основных гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am с уровнем МДА, не превышающим МЗУА, и категорировать упаковки ТРО.

Следует отметить, что на установке «У-5» отработывался технологический процесс выделения и очистки от осколков деления изотопов плутония, полученного из облученного в ядерных реакторах урана. Соответственно, конструкционные материалы здания и установки, лабораторное оборудование загрязнены также труднодетектируемыми изотопами урана, плутония и ^{90}Sr .

Выполнение измерений удельной активности таких радионуклидов возможно только с применением лабораторных методов разрушающего контроля и/или метода «радионуклидного вектора».

Большинство существующих методов определения активности труднодетектируемых альфа- и бета-излучающих радионуклидов основаны на применении трудозатратных методик с радиохимическим выделением изотопов, электроосаждением изотопов на мишень для альфа-излучателей и последующими радиометрическими и/или спектрометрическими измерениями, требующими, кроме всего, высочайшей квалификации персонала.

Повышение эффективности характеристики РАО, содержащих труднодетектируемые альфа- и бета-излучающие радионуклиды, возможно за счет совместного применения разрушающих и неразрушающих методов контроля [9]. При этом отбор, подготовка и анализ проб выполняются в ходе специального исследования для установления корреляций между активностями

контролируемых радионуклидов (включая альфа- и бета-излучатели), а текущий контроль РАО выполняется неразрушающими методами с использованием установленных корреляционных соотношений или зависимостей. Этот подход к радиационному контролю РАО получил название «метода радионуклидного вектора» (nuclide-vector) или «метод масштабирующих коэффициентов» (scaling-factor). Метод радионуклидного вектора используется для характеристики РАО в большинстве ведущих стран в области использования атомной энергии, и описана в документе МАГАТЭ NW-T-1.18 [10] и стандарте ISO 21238:2007 [11].

Его применение значительно снижает трудоемкость измерений при больших объемах исследований, но требует предварительных лабораторных измерений удельной активности альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов для выбора реперных радионуклидов и расчета коэффициентов корреляции.

Одним из современных лабораторных методов разрушающего контроля, позволяющим проводить экспресс-анализ труднодетектируемых радионуклидов (альфа- и бета-излучающих) путем «скрининга» без радиохимической подготовки проб или с минимальной упрощенной подготовкой счетных образцов, является ЖС-спектрометрия с использованием специализированного программного обеспечения обработки спектров радионуклидов. Применение данного метода в сочетании с полупроводниковой гамма-спектрометрией решает поставленную задачу [12–14].

Предлагаемые решения и выводы

Ввиду вышесказанного становится очевидно, что существует потребность в регламентации процессов измерения радиационных характеристик ТРО при ВЭ объектов ядерного наследия, а также разработке единых требований к проведению измерений радиационных характеристик ТРО в упаковках (контейнерах) различного объема с целью их паспортизации различными методами неразрушающего и лабораторного контроля. Наличие требований к измерениям в виде типовых методик позволит повысить вероятность принятия правильного решения при категорировании ТРО (промышленные отходы, загрязненные техногенными радионуклидами, ОНАО, НАО, САО). Наличие такой регламентации позволит более точно оценивать затраты на мероприятия по ВЭ в части характеристики отходов.

На основе опыта измерений радиационных характеристик упаковок ТРО при ВЭ установки «У-5» и анализа методической базы, предлагается разработать регламент измерений радиационных характеристик ТРО, содержащий единые требования к порядку проведения работ при ВЭ

ЯРОО в части измерения радиационных характеристик ТРО, а также ряд типовых методик измерений удельной активности радионуклидов.

Для оценки потребности в данных продуктах стоит отметить, что только на территории АО «ВНИИНМ» при выполнении работ по ВЭ ЯРОО (УРЗ № 2, 9, установка «У-5», корпуса «А», «Е», «Ж» и ХДМ) в перспективе до 2022 г. планируется образование до 3000 м³ ТРО различной морфологии (строительные отходы, пластикат, фрагменты оборудования, СИЗ, грунты), загрязненных техногенными радионуклидами, включая труднодетектируемые. Оценка объемов образования ТРО при ВЭ на других предприятиях достигает сотен тысяч кубометров.

Регламент и типовые методики разрабатываются на основе анализа научно-технической информации, требований российских нормативных правовых актов в области использования атомной энергии, международной и российской практики обращения с РАО, при их разработке будут учтены:

- необходимые характеристики измерительного оборудования на основании исходных данных о физических параметрах, радионуклидном составе и удельной активности ТРО, параметрах упаковки;
- влияние параметров измеряемого объекта (геометрические размеры, плотность и состав), окружающей среды (температура, влажность, давление) и времени измерения на метрологические характеристики результатов измерения (погрешность, минимально детектируемая активность, достоверность идентификации радионуклидов) как для измерений *in situ*, так и для лабораторных методов.

В качестве типовых предполагается разработка методик измерения удельной активности радионуклидов *in situ* и лабораторными методами с учетом процедур отбора проб (места отбора, количество, объем и размеры фрагмента материала, площадь поверхности снятия мазка) ТРО в виде строительных отходов, пластиката, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов:

- 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,
- применения метода «радионуклидного вектора» для определения труднодетектируемых радионуклидов (⁹⁰Sr, ^{234,238}U, ^{239,241}Pu) в ТРО.

Типовые методики должны соответствовать стандарту Госкорпорации «Росатом» ОСТ 95 10351 «Общие требования к методикам выполнения измерений» [6], приказу Госкорпорации «Росатом» от 31 октября 2013 г. № 1/10-НПА [5].

Разработка указанного регламента позволит установить единые требования к условиям и методам проведения измерений радиационных характеристик ТРО (в виде строительных

отходов, пластика, фрагментов оборудования, СИЗ, грунтов), образующихся при проведении работ по ВЭ ЯРОО. Применение типовых методик позволит повысить вероятность принятия правильного решения при категорировании ТРО.

К разрабатываемым документам применимо масштабирование на другие объекты, подлежащие ВЭ, упрощающее выработку унифицированного подхода к процессу характеристики ТРО при ВЭ ЯРОО.

Литература

1. МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. Классификация радиоактивных отходов. Руководство по безопасности № GSG-1. МАГАТЭ, Вена (2014). ISSN 1020-5845.
2. МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля. Руководство по безопасности № RS-G-1.7. МАГАТЭ, ВЕНА (2006)/ ISSN 1020-525X.
3. Романович И. К., Барковский А. Н. О новых критериях отнесения отходов к радиоактивным и об изменениях, внесенных в ОСПОРБ-99/2010 и СПОР-2002 // Радиационная гигиена, 2014. Том 7. № 1.
4. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Т. 3. Вывод из эксплуатации / Под общей редакцией Л. А. Большова, Н. П. Лаверова, И. И. Линге. — М.: «Энергопроманалитика», 2015. — 316 с.
5. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 31.10.2013 № 1/10-НПА «Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии» // СПС Консультант Плюс.
6. ОСТ 95 10351-2001 Стандарт отрасли. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Общие требования к методикам выполнения измерений. URL: // <http://docs.cntd.ru>.

7. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» (НП-093-14) от 15 декабря 2014 г. № 572 // СПС Консультант Плюс

8. МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. Серия учебных курсов, № 27. МАГАТЭ, Вена, 2005.

9. Метод оценки содержания альфа- и бета-излучающих радионуклидов в РАО радиохимических производств по матрице присутствующих гамма-излучающих радионуклидов / Жеребцов А. А., Варлаков А. П., Германов А. В., и др. // Ядерная и радиационная безопасность. 2017. № 3 (85).

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

11. ISO 21238-2007. Scaling factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level radioactive waste packages generated at nuclear power plants.

12. Малиновский С. В., Каширин И. А., Ермаков А. И., Соболев А. И., Тихомиров В. А. Жидкосцинтилляционная и полупроводниковая гамма-спектрометрия сложных проб. Алгоритмы и программная реализация // VIII ежегодный семинар «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ». — 19–23 ноября 2001 г., Обнинск: ГЦИПК. С. 140–153.

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». — Ноябрь 2008, 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.

Информация об авторах

Варлаков Андрей Петрович, доктор технических наук, директор отделения, АО «ВНИИНМ» (123098, Москва, ул. Рогова, 5а), e-mail: APVArlov@bochvar.ru.

Сергеечева Яна Владимировна, ведущий инженер-технолог, АО «ВНИИНМ» (123098, Москва, ул. Рогова, 5а), e-mail: YVSergeecheva@bochvar.ru.

Ивлиев Михаил Владимирович, кандидат биологических наук, начальник отдела, АО «ВНИИНМ» (123098, Москва, ул. Рогова, 5а), e-mail: MiViIvliev@bochvar.ru.

Германов Александр Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела, АО «ВНИИНМ» (123098, Москва, ул. Рогова, 5а), e-mail: AVGermanov@bochvar.ru.

Библиографическое описание статьи

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.

ON THE DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR MEASUREMENT OF RADIATION CHARACTERISTICS OF SOLID RADIOACTIVE WASTE GENERATED DURING DECOMMISSIONING

Varlakov A. P., Sergeecheva Y. V., Ivliev M. V., Germanov A. V.

JCS "High-technology scientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar", Moscow, Russia

Article received 8 October 2018

The experience about characterization of radioactive waste placed in primary packaging, obtained during practical works on decommissioning of nuclear power facilities on the territory of JSC VNIINM, is generalized. Measures have been analyzed and proposed for organizing and conducting a process for measuring radiation characteristics of solid radioactive waste as building waste, plastic, fragments of equipment, fragments of personal protective equipment, and soils.

Key words: requirements for measurement, measurement procedure, solid radioactive waste, radionuclide activity, decommissioning.

References

1. MEZHDUNARODNOE AGENSTVO PO ATOMNOJ EHNERGII. Klassifikaciya radioaktivnyh othodov. Rukovodstvo po bezopasnosti No GSG-1. IAEA, Vienna (2014). ISSN 1020-5845
2. MEZHDUNARODNOE AGENSTVO PO ATOMNOJ EHNERGII. Primenenie koncepcij isklyucheniya, iz'yatiya i osvobodzheniya ot kontrolya. Rukovodstvo po bezopasnosti No RS-G-1.7. IAEA, Vienna (2006) / ISSN 1020-525X.
3. Romanovich I. K., Barkovskij A. N. O novyh kriteriyah otneseniya othodov k radioaktivnym i ob izmeneniyah, vnesennyh v OSPORB-99/2010 i SPRO-2002 [On a new criteria of the referring waste to radioactive categories and on the amendments introduced in BSRRSP-99/2010 and SRRWT-2002]. *Radiacionnaya gigiena [Radiation Hygiene]*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 30–35.
4. Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya. T. 3. Vyvod iz ehkspluatatsii. Pod obshchej redakciej L. A. Bol'shova, N. P. Laverova, I. I. Linge. — Moscow: 2015. 316 p.
5. Prikaz Goskorporatsii "Rosatom" ot 31.10.2013 no 1/10-NPA "Ob utverzhdenii metrologicheskikh trebovanij k izmereniyam, ehtalonam edinic velichin, standartnym obrazcam, sredstvam izmerenij, ih sostavnym chastyam, programmnomu obespecheniyu, metodikam (metodam) izmerenij, primenyayemyh v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii". SPS Konsul'tant Plyus.
6. OST 95 10351-2001 Standart otrasli. Otraslevaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Obshchie trebovaniya k metodikam vypolneniya izmerenij. Available at: <http://docs.cntd.ru>.
7. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii "Kriterii priemlemosti radioaktivnyh othodov dlya zahoroneniya" (NP-093-14) ot 15 dekabrya 2014 g. No 572. SPS Konsul'tant Plyus
8. MEZHDUNARODNOE AGENSTVO PO ATOMNOJ EHNERGII. Tekhnologicheskie i organizacionnye aspekty obrashcheniya s radioaktivnymi othodami. Seriya uchebnyh kursov, no 27. MAGATEH, Vena, 2005
9. Zherebcov A. A., Varlakov A. P., Germanov A. V. et al. Metod ocenki sodержaniya al'fa- i beta-izluchayushchih radionuklidov v RAO radiohimicheskikh proizvodstv po matricе prisutstvuyushchih gamma-izluchayushchih radionuklidov. *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost' [Nuclear and Radiation Safety]*, 2017, no. 3 (85).
10. IAEA Nuclear Energy Series NW-T-1.18. Determination and use of scaling factors for waste characterization in NPP. IAEA, Vienna, Austria, 2009.
11. ISO 21238-2007. Scaling factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level radioactive waste packages generated at nuclear power plants
12. Malinovskij S. V., Kashirin I. A., Ermakov A. I., Sobolev A. I., Tihomirov V. A. Zhidkoscintillyacionnaya i poluprovodnikovaya gamma-spektrometriya slozhnyh prob. Algoritmy i programmaya realizaciya. *VIII ezhegodnyj seminar "Spektrometricheskij analiz. Apparatura i obrabotka dannyh na PEHVM"*, November 19–23 2001, Obninsk, GCIPK Publ., pp. 140–153.
13. Kashirin I. A., Malinovskij S. V., Ermakov A. I., Tihomirov V. A., Sobolev A. I. Ehkspress-analiz prirodnyh i tekhnologicheskikh ob'ektov pri provedenii radiacionnogo monitoringa i kontrolya s ispol'zovaniem zhidkoscintillyacionnoj spektrometrii. *XV ezhegodnyj seminar "Spektrometricheskij analiz. Apparatura i obrabotka dannyh na PEHVM"*, November 2008, Obninsk, GCIPK Publ., 2009.
14. Ermakov A. I., Malinovskij S. V., Kashirin I. A., Tihomirov 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.

Information about the authors

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

Sergeecheva Yana Vladimirovna, lead process engineer, JCS “VNIINM” (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: YVSergeecheva@bochvar.ru.

Ivliev Mihail Vladimirovich, PhD, Head of Department, JCS “VNIINM” (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: MiVIvliev@bochvar.ru.

Germanov Alexander Vladimirovich, PhD, Head of Department, JCS “VNIINM” (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: AVGermanov@bochvar.ru.

Bibliographic description

Varlakov A. P., Sergeecheva Y. V., Ivliev M. V., Germanov A. V. On the development of requirements for measurement of radiation characteristics of solid radioactive waste generated during decommissioning. *Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 76–82. (In Russian).