

## АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО РАДИОНУКЛИДНОМУ СОСТАВУ РАО В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЗАХОРОНЕНИЯ

Т. А. Александрова<sup>1</sup>, П. А. Блохин<sup>1</sup>, А. А. Самойлов<sup>1</sup>, А. В. Курындин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

<sup>2</sup>ФБУ Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Москва

Статья поступила в редакцию 30 мая 2018 г.

*В настоящий момент идет активное развитие Единой государственной системы обращения с РАО и реформирование сложившейся практики обращения с РАО в соответствии с новыми требованиями, предусмотренными Федеральным законом «Об обращении с РАО и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Одним из принципиальных изменений является необходимость захоронения образующихся РАО. Это требование предъявляет определенные требования ко всем процессам обращения с РАО, в том числе и к их паспортизации. В Российской Федерации практика контроля радионуклидов в РАО, как правило, ориентирована на обеспечение радиационной безопасности персонала, ядерной безопасности и контроля за потерями товарной продукции на этапах эксплуатации. Учитывая, что перечень радионуклидов, определяющих опасность отходов на различных временных интервалах и различных стадиях обращения, может быть разным, необходимо проанализировать, насколько действующая практика соответствует новым условиям обращения с отходами.*

*В рамках данной статьи рассматривается перечень радионуклидов, подлежащих определению в РАО АЭС на основе анализа применения в международной практике метода радионуклидного вектора и анализа зарубежного опыта обоснования безопасности пунктов захоронения РАО.*

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы (РАО), захоронение радиоактивных отходов, нормативно-правовое регулирование, долговременная безопасность пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО), единая государственная система обращения с радиоактивными отходами (ЕГС РАО), радионуклидный состав.

### Введение

Одними из важнейших параметров, характеризующих радиоактивные отходы (РАО), является их радионуклидный состав и активность. При этом на различных стадиях обращения с РАО (хранение, транспортирование, захоронение и др.) уровень потенциальной опасности определяют различные радионуклиды. В России исторически практика контроля содержания радионуклидов в РАО ориентирована на обеспечение эксплуатационной безопасности [1]. Вопросам, возникающим на стадиях захоронения РАО, в том числе более глубокой характеристики радионуклидного состава РАО, долгое время не уделялось должного внимания в силу объективных причин.

Однако с 2011 года на законодательном уровне [2] принята концепция захоронения всех категорий РАО, которая предъявляет принципиально иные требования к контролю их радионуклидного состава. Эта проблематика имеет также и экономическое значение, поскольку классификация удаляемых РАО [3], в соответствии с которой определяются тарифы на их захоронение [4], предусматривает в качестве критериев удельную активность и период полураспада содержащихся в них радионуклидов. В общем случае требования к перечню радионуклидов, подлежащих контролю и внесению в паспорт на упаковку с РАО, должны быть установлены в частных критериях приемлемости.

Законодательное изменение концепции обращения с РАО не привело к кардинальному сдвигу в части их паспортизации, которая по-прежнему ориентирована на достижение трех основных целей:

- радиационная безопасность персонала при обращении с РАО;
- контроль за потерями товарной продукции;
- ядерная безопасность.

Подобная ориентация характеристики РАО приводит к тому, что контроль содержания в них ряда долгоживущих, в особенности труднодетектируемых, радионуклидов не проводится, а такая информация необходима при проведении оценки долговременной безопасности захоронения РАО.

На первом этапе создания Единой государственной системы обращения с РАО (ЕГС РАО) была проведена первичная регистрация всех накопленных РАО. Полученные в ходе ее проведения данные, в том числе по радионуклидному составу РАО, включены в систему государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО. В рамках данной статьи проведена оценка достаточности имеющихся данных для решения поставленных задач в области обращения с РАО в новых нормативно-правовых условиях.

Отметим, что в научной литературе уже упоминалась ситуация с возможным негативным влиянием недостаточности информации о радионуклидном составе на деятельность по переработке РАО [5] и на процесс классификации удаляемых РАО для целей их захоронения [6], поэтому в рамках данной статьи на этих вопросах останавливаться не будем, сосредоточившись только на анализе достаточности данных для полноценной оценки безопасности.

### Анализ международного опыта характеристики РАО и оценки безопасности их захоронения

Определение радиологически значимых радионуклидов, в отношении которых должны применяться меры государственного регулирования, является задачей, с которой сталкиваются все обладающие ядерной энергетикой страны. На данный момент накоплен большой объем материалов по перечню контролируемых радионуклидов в РАО в различных странах. Во многих европейских странах уже на протяжении десятков лет реализуется концепция захоронения РАО и накоплен значительный опыт в сфере долгосрочного анализа безопасности, что позволяет рассматривать международный опыт в качестве основы для дальнейших исследований в части формирования требований к определению радионуклидного состава РАО в России.

Сразу отметим, что имеющиеся требования к определению перечня содержащихся в РАО радионуклидов существенно различаются.

В ряде случаев различие перечней определяется характеристиками РАО в различных странах, обусловленных использованием различных ядерных технологий. Поскольку требования к контролируемым радионуклидам определяются оценкой безопасности ПЗРО, для различных РАО могут быть установлены различные требования. Это можно проследить, например, исходя из перечней радионуклидов, включенных в оценку безопасности шведских ПЗРО: для низко- и среднеактивных отходов [10] и для ОЯТ [11].

Большинство радионуклидов присутствуют и в том и другом перечнях, но тем не менее наблюдаются и различия. Например, при долгосрочном анализе безопасности приповерхностного ПЗРО [10] используются данные по содержанию большего количества радионуклидов, поскольку в него включаются и короткоживущие радионуклиды. Это связано с тем, что выход радионуклидов из пункта приповерхностного захоронения произойдет быстрее по сравнению с глубинным захоронением ОЯТ. Также для приповерхностного ПЗРО учитывается радионуклид  $^{41}\text{Ca}$ , который не принимается во внимание для ПЗРО, поскольку в значимых количествах он содержится только в облученных бетонных конструкциях, подлежащих захоронению в приповерхностных ПЗРО.

В такой ситуации можно рассматривать два подхода к анализу международного опыта: первый — рассмотрение практики паспортизации РАО в контексте контролируемых радионуклидов, второй — рассмотрение практики обоснования безопасности пунктов захоронения РАО. В обоих случаях можно получить перечни радионуклидов, которые должны контролироваться в РАО.

Для корректного определения перечня радиологически значимых радионуклидов сфокусируемся на однотипных отходах. Наиболее подходящими являются отходы, образующиеся при эксплуатации АЭС, так как вопрос обращения с ними в настоящее время является наиболее проработанным, а наличие подобных отходов во всех странах с развитой ядерной энергетикой позволяет сделать более репрезентативную выборку для анализа.

В рамках первого подхода рассмотрим опыт применения методологии радионуклидного вектора [12], которая широко распространена за рубежом, поскольку РАО АЭС содержат значительное количество труднодетектируемых радионуклидов. Данная методология основана на установлении соотношений между удельными активностями «реперных» радионуклидов, которые могут быть определены относительно несложными методами гамма-спектрометрии, и труднодетектируемыми, для определения которых требуется разрушающий анализ. Для анализа были выбраны 9 стран (США, Бельгия, Словакия, Испания, Великобритания, Франция,

Литва, Германия, Канада) [13] и данные по Нововоронежской АЭС [14].

Анализ проведен путем итерационного сравнения перечней радионуклидов, в ходе которого определялись и исключались из дальнейшего анализа редко встречающиеся радионуклиды. Итерации проводились до тех пор, пока не был определен список радионуклидов, контролируемых в подавляющем большинстве рассматриваемых стран. В качестве инструмента анализа использовалась Python-библиотека для анализа данных (Pandas) [15].

В качестве критериев отбора радионуклидов использовано достижение высоких значений коэффициентов корреляционной матрицы в перечнях различных стран, а также на завершающей итерации произведена итоговая проверка перечней каждой из исследуемых стран путем расчета множественного коэффициента корреляции при определенном наборе радионуклидов. Так как анализ проводился со сравнительно небольшой выборкой, в таких случаях величина множественного коэффициента корреляции, как правило, завышается. Полученные результаты в таком случае плохо отражают реальную картину, в связи с этим был увеличен стандартный критерий, определяющий высокую степень корреляции с  $R_{y|x_1, x_2, \dots} = 0,7$  до  $R_{y|x_1, x_2, \dots} = 0,8$  [16].

На предварительном этапе анализа оценивалась идентичность первоначального состава перечней радионуклидов путем расчета коэффициентов корреляции Пирсона [17]. Исходя из корреляционной матрицы, представленной на «тепловой» карте (рис. 1а), можно отметить, что большая часть из рассматриваемых перечней имеет малую степень схожести друг с другом. Причинами этого могут являться, в частности,

различия в реакторных технологиях и потоках РАО в этих странах, а также условия захоронения.

На первом этапе из анализа исключены актиниды из-за отсутствия в использованных данных сведений по их контролю для некоторых стран. В целом исключение данных радионуклидов улучшило картину, но тем не менее не позволило четко выделить искомый перечень. В связи с этим проведен ряд итераций, в ходе которых исключались редко встречающиеся радионуклиды.

На заключительной итерации исключены радионуклиды, встречающиеся менее чем в 50% перечней анализируемых стран. Результаты оценки множественных корреляций показаны на рис. 1б. Значения корреляционных коэффициентов между рассматриваемыми перечнями различных стран сильно возросли, а множественные корреляции каждой из стран достигли выставленного критерием значения и составляют от 0,85 до 0,99. Это позволяет сделать вывод, что полученный перечень радионуклидов можно рассматривать в качестве базового при оценке достаточности данных системы СГК РВ и РАО в контексте оценки долговременной безопасности захоронения РАО.

В результате в базовый перечень вошли 14 радионуклидов:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{65}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{135}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

Из полученного перечня можно выделить две группы радионуклидов:

1. Маркеры ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{94}\text{Nb}$ );
2. Труднодетектируемые ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{65}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ).

Первая группа может быть измерена при помощи достаточно простых методов инструментального контроля (гамма-спектрометрия).

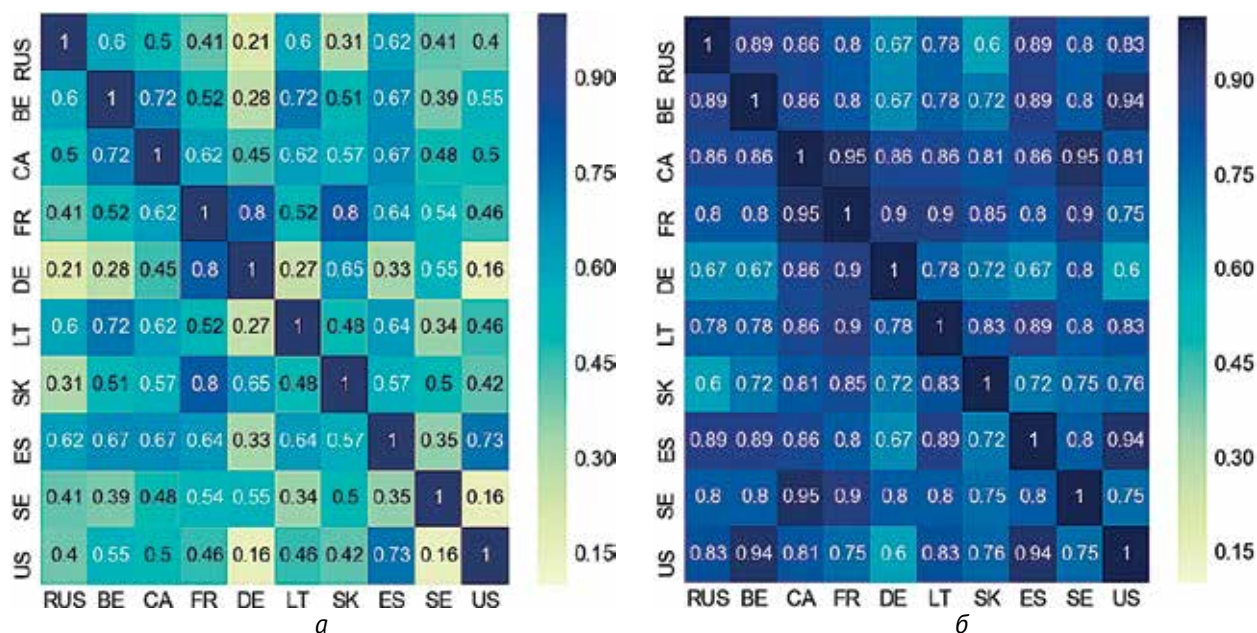


Рис. 1. Сравнение итоговых перечней РАО

Содержание вторых определяется при помощи методологии радионуклидного вектора.

В рамках второго подхода к формированию перечня радионуклидов, подлежащих контролю, рассмотрим опыт оценки долговременной безопасности приповерхностного ПЗРО в Швеции. В публикациях [18] и [19] отмечалось, что радиологическая значимость радионуклидов зависит от стадии обращения с РАО. Аналогичный вывод можно сделать и о рассматриваемых сценариях эволюции ПЗРО. В таблице приведены результаты оценок относительного вклада различных радионуклидов в годовую эффективную дозу при рассмотрении различных сценариев эволюции ПЗРО SFR (хранилище низко- и среднеактивных отходов), без учета радионуклидов, вклад которых в годовую эффективную дозу для всех приведенных эволюционных сценариев не превышает 5% [10].

Основой для оценки долгосрочной безопасности шведских ПЗРО является рассмотрение эволюционных сценариев для ПЗРО и его окрестностей в течение 100 000 лет. Сценарии эволюции строятся исходя из следующих условий:

- Исходное состояние ПЗРО.
- Внешние условия, действующие ПЗРО после закрытия. Внешние процессы включают как изменение климата, так и связанные с климатом процессы, например: вечная мерзлота, глобальное потепление и смещение береговой линии. Деятельность человека может также повлиять на состояние хранилища.
- Внутренние процессы, происходящие в ПЗРО. Внутренние процессы включают термические, гидравлические, механические и химические процессы, которые происходят в ПЗРО. Они включают в себя такие процессы, как движение подземных вод и химическую деградацию,

влияющую на проектируемые барьеры безопасности.

На основе данных сформированных эволюционных сценариев возможно оценить будущее радиологическое воздействие ПЗРО на людей и окружающую среду. Подробнее с условиями моделирования каждого из представленных в таблице эволюционного сценария можно ознакомиться в [10].

Как видно из представленной таблицы 1, значимый вклад в дозовую нагрузку на население для каждого рассматриваемого сценария вносят не более 5 радионуклидов, при этом их перечень может меняться в зависимости от рассматриваемого сценария.

Отметим, что для случая оценки долговременной безопасности при нормальном сценарии эволюции ПЗРО определяющий вклад в радиационное воздействие на население вносят долгоживущие быстромигрирующие радионуклиды, к которым можно отнести  $^{129}\text{I}$ ,  $^{95}\text{Mo}$  и  $^{14}\text{C}$ . Требования к их содержанию предъявляются гораздо более жесткие, чем к  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ . Например, в соответствии с [10] допустимая к размещению в ПЗРО активность  $^{129}\text{I}$  на шесть порядков меньше, чем активность  $^{137}\text{Cs}$ , несмотря на то, что значения ПЗУА отличаются лишь на порядок ( $10^2$  и  $10$  соответственно). В соответствии с данными по оценке безопасности приповерхностного ПЗРО в зависимости от сценария на  $^{129}\text{I}$  может приходиться до 71% от дозового воздействия на население [10]. Это указывает на однозначную необходимость принимать указанные радионуклиды во внимание.

По результатам рассмотрения опыта оценки безопасности приповерхностных ПЗРО перечень радионуклидов, подлежащих контролю, дополнен  $^{93}\text{Mo}$  и  $^{79}\text{Se}$ .

**Таблица 1. Данные по относительному вкладу различных радионуклидов, вносящих основной вклад в дозовое воздействие на население при различных сценариях эволюции ПЗРО**

Радионуклиды	Сценарии						
	Основные		Маловероятные		Очень маловероятные		
	Глобальное потепление	Ранний перигляциальный климат	Размещение отходов с превышенной допустимой активностью	Высокая концентрация комплексо-образующих веществ	Измененная окислительно-восстановительная среда хранилища	Открытое хранилище, находящееся без контроля	
						SFR	SFR+SFL*
Вклад в годовую дозу, %							
$^{129}\text{I}$	5,8	71,1	7,7	1,4	1,8		
$^{99}\text{Tc}$				1,7	11		
$^{59}\text{Ni}$			1,5	75,7	18,8		
$^{63}\text{Ni}$						28,1	93,3
$^{93}\text{Mo}$	57,7	7,8	47,3				1,1
$^{14}\text{C}$	17,9		8,4				5,1
$^{79}\text{Se}$			15,1				
$^{239}\text{Pu}$				8,5	53,8		
$^{137}\text{Cs}$						63,3	1,6

\*В данном сценарии рассматривается вариант, при котором отходы, предназначенные для хранилища высокоактивных отходов (SFL), размещаются на временное хранение в SFR.

### Анализ результатов первичной регистрации РАО в России

Для того чтобы оценить достаточность имеющихся сведений по радионуклидному составу РАО в Российской Федерации, сопоставим полученный перечень с данными, полученными в результате первичной регистрации РАО. Проведя анализ материалов первичной регистрации РАО, получили, что для РАО АЭС всего указывалось наличие 15 радионуклидов. Однако подобное число контролируемых радионуклидов не должно вводить в заблуждение, поскольку детальность данных по радионуклидному составу крайне неоднородна. На рис. 2 представлена «встречаемость» радионуклидов в накопленных РАО АЭС (объем РАО, в котором указаны данные по наличию данного радионуклида).

Как видно из представленных данных, для основного объема РАО указано лишь содержание четырех радионуклидов ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ). Это объясняется сложившейся на АЭС практикой характеристики РАО с использованием гамма-спектрометрического метода, который, с одной стороны, является относительно простым, а с другой — позволяет получить данные по тем радионуклидам, которые вносят основной вклад во внешнее облучение персонала.

Сравнив данные таблицы с перечнем радионуклидов, указанных при проведении первичной регистрации, можно увидеть, что из всех радионуклидов, вносящих значимый вклад в эволюционные сценарии, для РАО российских АЭС указан только  $^{137}\text{Cs}$ . При этом в рамках оценки долгосрочной безопасности  $^{137}\text{Cs}$  вносит значимый вклад только лишь в случае сценария с очень низкой вероятностью возникновения, а именно в случае открытого хранилища, находящегося

без контроля. Это говорит о том, что данные по радионуклидному составу АЭС в настоящий момент явно недостаточны для полноценного обоснования безопасности их захоронения.

В Российской Федерации в критериях приемлемости в части характеристики радионуклидного состава РАО для эксплуатируемых ПЗРО классов 3 и 4 [20] требования к содержанию указанных выше радионуклидов в настоящий момент не установлены. Это может быть объяснено отсутствием точных данных по содержанию соответствующих радионуклидов в РАО. На начальных этапах эксплуатации ПЗРО отсутствие подобной информации не представляет нерешаемую проблему. В принципе, для размещаемых РАО в одном и том же ПЗРО могут быть установлены различные критерии приемлемости, учитывающие их характеристики. По мере накопления информации о реальных характеристиках РАО можно в рамках пересмотра критериев приемлемости учесть консервативные интервальные оценки содержания радионуклидов в РАО, уже размещенных в ПЗРО, при этом для вновь размещаемых РАО могут быть установлены более жесткие требования. Фактически, это будет аналог подхода, примененного во Франции, где в приповерхностном ПЗРО (Aube), наряду с короткоживущими НАО, были размещены РАО в виде облученного графита, относящиеся к категории долгоживущих НАО. Это привело к установлению чрезвычайно жестких требований по содержанию быстро мигрирующего радионуклида  $^{36}\text{Cl}$ . Предельное содержание данного радионуклида в РАО, размещаемых в этом ПЗРО, согласно критериям приемлемости составляет не более 5 Бк/г (при ПЗУА не более  $10^4$  Бк/г), что объясняется его относительно высоким содержанием в графитовых РАО.

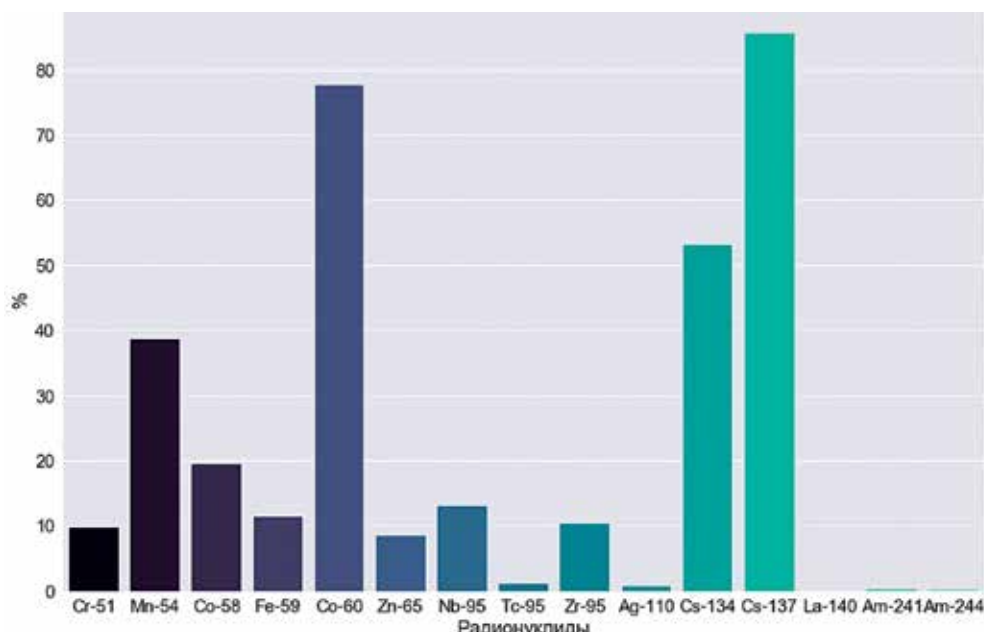


Рис. 2. Распределение наличия радионуклидов в зависимости от объема РАО

Во избежание установления подобных чрезмерно жестких требований необходимо как можно раньше включать в оценку безопасности ПЗРО и соответственно установление критериев приемлемости данные по расширенному, по отношению к существующему, радионуклидному составу РАО. И чем раньше это будет выполнено, тем меньше вероятность неэффективного использования объемов ПЗРО.

Отметим, что указанная проблема остро стоит не только для приповерхностных ПЗРО, но и для ПГЗРО, создание которого планируется в Нижнеканском массиве. Тем не менее с учетом планов по захоронению РАО в приповерхностных ПЗРО (более 450 000 м<sup>3</sup> до 2030 г.) и темпов создания ПГЗРО (ориентировочный ввод в эксплуатацию по оценке экспертов не ранее 2035 г.) задача расширенного анализа радионуклидного состава РАО, подлежащих захоронению в приповерхностных ПЗРО, является наиболее актуальной.

### Заключение

На основе статистического анализа данных ряда зарубежных стран по паспортизации РАО (образующихся на АЭС), определен базовый перечень наиболее часто встречающихся радионуклидов, который сопоставлен с аналогичными данными СГУК РВ и РАО. Анализ достоверности имеющихся в СГУК РВ и РАО данных о радионуклидном составе накопленных и образующихся РАО в контексте оценки долговременной безопасности ПЗРО показал, что большинство радиологически значимых радионуклидов не определяется. Имеющаяся в настоящий момент информация о содержании радионуклидов РАО не может считаться достаточной для проведения полноценной оценки безопасности захоронения РАО и установления оптимизированных критериев приемлемости.

На данном этапе создания ЕГС РАО это обстоятельство не является критичным, поскольку применение интервальных оценок содержания радиологически значимых радионуклидов позволит обеспечить требования безопасности на начальном этапе. Однако анализ международного опыта показывает, что впоследствии подобный подход может привести к существенному ужесточению критериев приемлемости для вновь размещаемых отходов и/или к неэффективному использованию объемов ПЗРО.

Для оценки долговременной безопасности ПЗРО требуется более детальная информация о радионуклидном составе РАО. На первоначальном этапе необходимо провести глубокий анализ имеющейся информации и определить, для каких типов РАО какой метод может быть применен.

Как один из возможных подходов к определению таких радионуклидов в РАО необходимо рассматривать метод радионуклидного вектора, который применяется в ряде зарубежных стран. Стоит отметить, что в России также стали

проводиться исследования, направленные на внедрение этого подхода на АЭС. Эту практику нужно продолжать и расширять. Глобальной задачей здесь видится переход от практики паспортизации РАО по возможности к паспортизации РАО по потребности.

### Литература

1. Линге И. И., Панченко С. В., Горелов М. М. О радиационном контроле радионуклидов для целей государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2017. № 1. С. 2—8.
2. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения РАО к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых РАО».
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 13 марта 2013 г. № 89 «О первоначальном установлении тарифов на захоронение радиоактивных отходов (на 2013—2017 гг.)».
5. Кочетков О. А., Иванов Е. А., Шаров Д. А. Радиологические аспекты обращения с жидкими радиоактивными отходами атомных станций // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017. Том 62. № 6. С. 34—38.
6. Дорофеев А. Н., Линге И. И., Самойлов А. А., Шарафутдинов Р. Б. К вопросу финансово-экономического обоснования повышения эффективности нормативной базы ЕГС РАО // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017. Том 62. № 6. С. 34—38.
7. Sixth National Report for the Joint Convection on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Management / U.S. Department of Energy. October 2017.
8. Joint Convection on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Management: Report of the Federal Republic of Germany for the Sixth Review Meeting / Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety. May 2018.
9. Sweden's Sixth National Report Under the Joint Convection on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Management / Ministry of the Environment. 2017.
10. Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment SR-PSU. TR-14-09. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB. 2015. 304 pp.
11. Radionuclide transport report for the safety assessment SR-Site. TR-10-50. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB. 2010. 325 pp.

12. ISO 21238-2007 Scaling factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level waste packages generated at nuclear power plants.
13. IAEA (2009). Determination and use of scaling factors for waste characterization in nuclear power plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18. – IAEA, Vienna. – 2009.
14. Пырков И. В., Тимофеева Е. Б., Тихонов И. И., Шаров Д. А. и др. Внедрение технологии радионуклидного вектора на Нововоронежской АЭС // Материалы МНТК Росэнергоатом. 2014.
15. Python Data Analysis Library. URL: <https://pandas.pydata.org/>.
16. StatSoft. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/glossary/GlossaryTwo/M/MultipleR.htm>.
17. Rodgers, J. L., Nicewander, W. A. Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient // The American Statistician. 1988. No. 42(1). Pp. 59–66.
18. Блохин П. А., Самойлов А. А. Радиологическое обоснование контроля содержания радионуклидов в контексте обеспечения долговременной безопасности пунктов захоронения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017. Том 62. № 4. С. 17–23.
19. Линге И. И., Самойлов А. А. Возможности оптимизации нормативного регулирования единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами // Вопросы радиационной безопасности. 2016. № 4 (84). С. 12–20.
20. Материал обоснования лицензии на сооружение (реконструкцию) пункта хранения радиоактивных отходов, отделения «Новоуральское» филиала «Северский» ФГУП «НО РАО» (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду), том 1. – URL: [http://www.norao.ru/upload/МОЛ%20Новоуральск\\_реконструкция\\_том%201.pdf](http://www.norao.ru/upload/МОЛ%20Новоуральск_реконструкция_том%201.pdf)

### Информация об авторах

Александрова Татьяна Александровна, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики (115191, Москва, ул. Б. Тульская, д. 52), e-mail: [aleksandrova\\_ta@ibrae.ac.ru](mailto:aleksandrova_ta@ibrae.ac.ru).

Блохин Павел Анатольевич, младший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики (115191, Москва, ул. Б. Тульская, д. 52), e-mail: [blokhin@ibrae.ac.ru](mailto:blokhin@ibrae.ac.ru).

Самойлов Андрей Анатольевич, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики (115191, Москва, ул. Б. Тульская, д. 52), e-mail: [samoylov@ibrae.ac.ru](mailto:samoylov@ibrae.ac.ru).

Курьиндин Антон Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела общих проблем ядерной и радиационной безопасности, ФБУ «НТЦ ЯРБ» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская д. 2/8, корп. 5), e-mail: [kuryndin@secnrs.ru](mailto:kuryndin@secnrs.ru).

### Библиографическое описание данной статьи

Александрова Т. А., Блохин П. А., Самойлов А. А., Курьиндин А. В. Анализ данных по радионуклидному составу РАО в контексте оценки долговременной безопасности их захоронения // Радиоактивные отходы. – 2018. – № 2 (3). – С. 44–51.

## ANALYSIS OF THE RW RADIONUCLIDE COMPOSITION IN THE CONTEXT OF LONG-TERM SAFETY OF ITS DISPOSAL

Alexandrova T. A.<sup>1</sup>, Blokhin P. A.<sup>1</sup>, Samoylov A. A.<sup>1</sup>, Kuryndin A. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>SEC NRS, Moscow, Russian Federation

Article received 30 May 2018

*At the current time, there is an active development of the Unified State System for Radioactive Waste Management and the reform of the established radioactive waste's practice of management in accordance with the new requirements provided by the Federal Law "Management of Radioactive Waste and Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation." One of the principal changes is the need for the burial of generated radioactive waste. This requirement makes certain demands to all of the processes of radioactive waste management, including their certification. In the Russian Federation, the practice of monitoring radionuclides in radioactive waste is aimed at the personnel radiation safety assurance, nuclear safety, and control over losses of marketable products during all operation stages. Given that, the list of radionuclides which determine the hazard of waste at a different time and different stages of radioactive waste management may be different, this fact is necessary to analyze how the current practice corresponds to the new conditions for waste management.*

*Within the framework of this article, a list of radionuclides which have to be determined in radioactive waste from nuclear power plants is considered on the basis of the international radionuclide vector method application practice and the analysis of the foreign experience of the safety justification of radioactive waste disposal facilities*

**Keywords:** radioactive waste (RW), disposal of radioactive waste, regulatory acts, long-term safety of disposal facilities, Unites State System of Radioactive Waste Management, composition of radioactive waste

## References

1. Linge I. I., Panchenko S. V., Gorelov M. M. O radiacionnom kontrole radionuklidov dlya celey gosudarstvennogo regulirovaniya v sfere ohrany okruzhajushej sredy. / *Apparatura i novosti radiacionnyh izmerenij*, 2017, no. 1, pp. 2–8.
2. Federal'ny zakon ot 11 ijulja 2011 g. No. 190-FZ "Ob obrashhenii s radioaktivnymi othodami i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii".
3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 19 noyabrya 2012 g. No. 1069 "O kriteriyah otneseniya tverdyh, zhidkih i gazoobraznyh othodov k radioaktivnym othodam, kriteriyah otneseniya RAO k osobym radioaktivnym othodam i k udalyaemym radioaktivnym othodam i kriteriyah klassifikacii udalyaemyh RAO".
4. Priказ Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 13 marta 2013 g. No. 89 "O pervonachal'nom ustanovlenii tarifov na zahoronenie radioaktivnyh othodov (na 2013–2017 gg.)".
5. Kochetkov O.A., Ivanov E.A., Sharov D.A. Radiologicheskie aspekty obrasheniya s zhidkimi radioaktivnymi othodami atomnyh stanciy. *Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'*, 2017, vol. 62, no. 6, pp. 34–38.
6. Dorofeev A.N., Linge I.I., Samoilov A.A., Sharafutdinov R.B. K voprosu finansovo-ekonomicheskogo obosnovaniya povysheniya effektivnosti normativnoy bazy EGS RAO. / *Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'*, 2017, vol. 62, no. 6, pp. 34–38.
7. U.S. Department of Energy "Sixth National Report for the Joint Convection on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Management", October 2017.
8. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety "Joint Convection on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Management: Report of the Federal Republic of Germany for the Sixth Review Meeting", May 2018.
9. Ministry of the Environment, Sweden's Sixth National Report Under the Joint Convection on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Management, 2017.
10. *Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment SR-PSU*. TR-14-09. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB. 2015. 304 pp.
11. *Radionuclide transport report for the safety assessment SR-Site*. TR-10-50. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB. 2010. 325 pp.
12. ISO 21238-2007 *Scaling factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level waste packages generated at nuclear power plants*.
13. IAEA (2009). *Determination and use of scaling factors for waste characterization in nuclear power plants*, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18. IAEA, Vienna, 2009.
14. Pyrkov I. V., Timofeeva E. B., Tihonov I. I., Sharov D. A. et al. *Vnedrenie tehnologii radionuklidnogo vektora na Novovoronezhskoj AJeS.* / *Materialy MNTK Rosjenergoatom*, 2014.
15. Python Data Analysis Library. Available at: <https://pandas.pydata.org/>.
16. StatSoft. Available at: <http://statsoft.ru/home/textbook/glossary/GlossaryTwo/M/MultipleR.htm>.
17. Rodgers, J. L., Nicewander, W. A. Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient. *The American Statistician*, 1988, no. 42(1), pp. 59–66.
18. Blokhin P.A., Samoilov A.A. Radiologicheskoe obosnovanie kontrolya sodержaniya radionuklidov v kontekste obespecheniya dolgovremennoy bezopasnosti punktov zahoroneniya. *Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'*, 2017, vol. 62, no. 4, pp. 17–23.
19. Linge I. I., Samoilov A. A. Vozmozhnosti optimizacii normativnogo regulirovaniya edinoy gosudarstvennoy sistemy obrasheniya s radioaktivnymi othodami. *Voprosy radiacionnoy bezopasnosti*, 2016, no. 4 (84), pp. 12–20.
20. Material obosnovaniya licenzii na sooruzhenie (rekonstrukcii) punkta hraneniya radioaktivnyh othodov, otdeleniya "Novoural'skoe" filiala "Severskij" FGUP "NO RAO" (vkluchaya materialy ocenki vozdeystviya na okruzhayushuyu sredyu), vol. 1. Available at: [http://www.norao.ru/upload/МОЛ%20Новоуральск\\_реконструкция\\_том%201.pdf](http://www.norao.ru/upload/МОЛ%20Новоуральск_реконструкция_том%201.pdf).

## Information about the authors

Aleksandrova Tatiana Aleksandrovna, Engineer, Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tul'skaya st., Moscow, 115191), e-mail: [aleksandrova\\_ta@ibrae.ac.ru](mailto:aleksandrova_ta@ibrae.ac.ru).

Blokhin Pavel Anatol'evich, Junior researcher, Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tul'skaya st., Moscow, 115191), e-mail: [blokhin@ibrae.ac.ru](mailto:blokhin@ibrae.ac.ru).

Samoylov Andrey Anatol'evich, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tul'skaya st., Moscow, 115191), e-mail: [samoylov@ibrae.ac.ru](mailto:samoylov@ibrae.ac.ru).

Kuryndin Anton Vladimirovich, PhD in Science, Head of department, SEC NRS (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya st., Moscow, 107140), e-mail: [kuryndin@secnrs.ru](mailto:kuryndin@secnrs.ru).

## Bibliographic description

Alexandrova T. A., Blokhin P. A., Samoylov A. A., Kuryndin A. V. Analysis of the RW Radionuclide Composition in the Context of Long-Term Safety of Its Disposal. *Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 44–51. (In Russian).