

## БЕЗОПАСНОЕ ОБРАЩЕНИЕ С ЯДЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

УДК 608.2

### КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В РФ И США

© 2020 г. Д. Д. Десятов<sup>а, \*</sup>, И. С. Батаков<sup>а, \*\*</sup>, Д. А. Терентьев<sup>а, \*\*\*</sup>, А. А. Екидин<sup>б, \*\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Уральский федеральный университет (УрФУ), г. Екатеринбург, 620002 Россия

<sup>б</sup>Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, 620990 Россия

\*E-mail: desyatovdenis1995@gmail.ru

\*\*E-mail: batakov.ivan@yandex.ru

\*\*\*E-mail: terentevdaniel@gmail.com

\*\*\*\*E-mail: ekidin@mail.ru

Поступила в редакцию 12.10.2020 г.

После доработки 14.12.2020 г.

Принята к публикации 15.12.2020 г.

В работе рассмотрены подходы к системе классификации РАО в США и РФ. Показано многообразие источников образования радиоактивных отходов. Обоснована необходимость классификации и категоризации РАО. Обозначены основные проблемы в области обращения с РАО в двух странах, представлены пути развития двух систем по улучшению деятельности обращения с РАО. Показаны основные принципы оценки устойчивости в области управления радиоактивными отходами INPRO и снижения потенциально возможного облучения персонала и населения ALARA. Проведены сравнения двух национальных систем классификации РАО и выполнена оценка соответствия международным рекомендациям МАГАТЭ.

*Ключевые слова:* радиоактивные отходы, классификация, категоризация обращение, активность, состав

DOI: 10.1134/S2079562920040053

#### ВВЕДЕНИЕ

Развитие цивилизации непрерывно связано с развитием технологий. Численность населения, развитие экономики и культуры тесно связаны с тем, как используется, перерабатываются, утилизируются и выбрасываются природные и синтетические материалы и энергия. Современные технологии принесли огромные выгоды народам мира: увеличение продолжительности жизни, повышение мобильности, сокращение использования ручного труда, массовую урбанизацию, практически всеобщую грамотность. В частности, технологии на основе применения ядерных материалов или материалов, содержащих радиоактивные вещества, нельзя рассматривать только как физический артефакт, без присущих каждой технологии экономического, культурного, социального контекста, в рамках которых она развивается [1].

Во всех странах, осуществляющих деятельность по использованию ядерной энергии и источников ионизирующих излучений, во главе угла стоят вопросы обеспечения надлежащим образом защиты населения, персонала, собственности и окружающей среды. На каждом этапе жизненного цикла обращения с ядерными и радиоактивными материалами формируются различные по агрегатному со-

стоянию, радионуклидному составу, суммарной и удельной активности радиоактивные отходы. Система обращения с РАО, особенно на стадии финальной изоляции во многом определяет безопасность и общественную приемлемость радиационных и ядерных технологий. Важным структурным элементом системы обращения с РАО является классификация отходов, образующихся в многочисленных радиационных и ядерных технологиях.

Специфика деятельности объектов использования атомной энергии, способствует формированию единого мирового подхода к обеспечению радиационной и ядерной безопасности, эффективному регулированию деятельности по обращению с радиоактивными материалами, включая радиоактивные отходы. Несмотря на общие глобальные цели, историческое развитие радиационных и ядерных технологий на раннем этапе имеет длительный период монополии государств на обращении с радиоактивными и ядерными материалами. Существовавший в этот период режим секретности препятствовал международному сотрудничеству в этой области [2]. На этом этапе закладывались основы культуры безопасности, формировались элементы системы обращения с

источниками излучения. Режим секретности распространялся на сведения о сырье, технологиях и отходах. Это обстоятельство до сих пор определяет различие национальных подходов к набору системных элементов, а также взаимосвязями, установленными между этими элементами в структурах, описывающих системы обращения с РАО.

Разные экономические, социальные, культурные факторы определили формирование разных систем классификации РАО в разных странах. В каждой системе содержатся обоснованные элементы, обеспечивающие функционирование системы обращения с РАО так, чтобы минимизировать негативное воздействие в настоящем и обозримом будущем. Задача специалистов найти возможность интеграции лучших практик различных стран в области обращения с РАО для того, чтобы такая деятельность осуществлялась с максимальной экономической эффективностью при гарантированной безопасности персонала, населения и окружающей среды.

### РОЛЬ И ЗАДАЧА КЛАССИФИКАЦИИ РАО

В число ключевых институциональных и технологических вопросов обеспечения безопасности эксплуатации объектов использования атомной энергии входят риски, связанные с деятельностью по обращению с радиоактивными отходами. Радиоактивные отходы неизбежно образуются в ходе применения ядерных и радиоактивных материалов в научных исследованиях, промышленности или медицине. Деятельность по обращению с радиоактивными отходами на всех этапах жизненного цикла от образования до финальной изоляции, должна выполняться в условиях безопасности для персонала, населения и окружающей среды. Кроме того, согласно международно признанным требованиям INPRO, обращение с радиоактивными отходами от текущей деятельности не должно создавать чрезмерного бремени для будущих поколений. Для этого МАГАТЭ предлагает ряд мер [3]:

- минимизация текущего образования отходов (M1);
- применение системы классификации и категоризации радиоактивных отходов (M2);
- приведение к критериям приемлемости для захоронения всех отходов в пределах разумных временных рамках (M3);
- включение затрат на управление отходами в стоимость продукции или услуги технологий применения ядерных и радиоактивных материалов (M4).

Таким образом, классификация и категоризация радиоактивных отходов играет одну из ключевых ролей в обеспечении безопасности, как текущего обращения с РАО, так и служит интере-

сам будущих поколений. Адекватная система классификации и категоризации РАО необходима для систематизации обращения с отходами от любых видов деятельности и обеспечения эффективных коммуникаций между работниками, организациями и странами при обсуждении планов обращения с отходами.

Классификация РАО основывается на значениях активности и виде излучения радионуклидов в отходах. По величине активности МАГАТЭ определило шесть различных классов отходов [4]:

- освобожденные от контроля отходы (exempt waste EW);
- очень короткоживущие отходы (very short lived waste VSLW);
- очень низкоактивные отходы (very low level waste VLLW);
- низкоактивные отходы (low level waste LLW);
- среднеактивные отходы (intermediate level waste ILW);
- высокоактивные отходы (high level waste HLW).

Категорирование РАО проводится на основе сведений об их происхождении, и радиологических, физических, химических и биологических свойств. Категоризация отходов включает такие факторы, как место происхождения, физическое состояние (твердые вещества, жидкость, газ и т.д.), свойства (физические, химические и т.д.) и параметры процесса (предварительная обработка, обработка, кондиционирование, хранение и т.д.) отходов.

Система классификации и категоризации радиоактивных отходов обеспечивает связь между характеристиками отходов и требованиями к безопасности обращения с РАО на всех этапах жизненного цикла, особенно в отношении стадии финальной изоляции [3]. Такая система способствует оптимальному управлению различными типами РАО, сформированных на любых этапах ядерного-топливного цикла и любых технологий применения радиоактивных материалов. Систематизация данных должна охватывать все возможные источники, потоки отходов и типы обращения. Предполагается, что ко всем РАО в одной и той же категории и одного класса применяются одинаковые требования по обращению, включая финальную изоляцию. Класс и категория РАО определяют, возможные типы и способы финальной изоляции. Важной особенностью системы классификации отходов является точное определение границ между различными классами отходов.

Система классификации и категоризации, состоящая из системных элементов и их взаимосвязей, для эффективного функционирования требует управления ее жизненным циклом, включая

управление изменениями. Можно выделить два типа таких изменений:

– структурные изменения, которые осуществляются посредством внесения изменений в описание системы;

– функциональные изменения, которые осуществляются посредством изменения показателей функционирования.

Текущая практика обращения с отходами в различных странах отличается в подходах к формированию системы классификации и категоризации отходов. Каждая такая система имеет свои сильные и слабые стороны в контексте долгосрочной устойчивости. Знание и анализ эффективности существующих систем классификации и категоризации РАО являются ключом к планированию изменений, проведения целесообразных структурных или функциональных изменений.

### ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБРАЗОВАНИЯ РАО

Побочным продуктом любой человеческой деятельности являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, сбросы вредных веществ в водные объекты, отходы производства и потребления, наносящие вред окружающей среде. Развитие в XX веке технологий использования радиационных и ядерных материалов привело к образованию значительного количества специфичного вида отходов производства – “радиоактивные отходы”. Радиоактивные отходы могут образовываться при генерации атомной энергии, при использовании радиоактивных материалов в медицине, сельском хозяйстве, пищевой промышленности, машиностроении, металлургии, горно-добывающей отрасли и многих других областях жизнедеятельности людей. На сегодняшний день по данным МАГАТЭ накопленные твердые радиоактивные отходы в мире составляют приблизительно 35 млн м<sup>3</sup>, из которых объем захороненных составляет примерно 81% [5]. Источники образования РАО многообразны и имеют характерные особенности в зависимости от производственных процессов и технологий применения ядерных и радиоактивных материалов.

1) Образование РАО в ядерной энергетике. На сегодняшний день предприятия атомной промышленности присутствуют в 30 странах, 11 стран продолжают строительство новых ЯЭУ, около 28 стран находятся на этапе планирования включения ядерной энергетике в национальную структуру энергопроизводства [6]. Источники образования РАО на предприятиях ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) специфичны для каждого этапа обращения с радиоактивными и ядерными материалами, которые включают:

– добычу и обогащение урана;

– конверсия оксида урана в гексафторид урана и наоборот;

– изготовление топлива;

– штатная работа реактора;

– хранение отработанного топлива (в странах, где отработанное топливо является отходом);

– переработка и изготовление нового содержащего или смешанного оксида урана/плутония (MOX) (в странах, где данная используется данная технология).

На каждом этапе ЯТЦ известны физико-химические свойства РАО и основные радионуклиды, формирующие воздействие на окружающую среду и человека [3, 7]. На всех этапах, за исключением “работы реактора”, радионуклидный состав РАО соответствует составу исходных материалов. Штатная работа ядерных реакторов формирует сотни новых антропогенных элементов, несколько десятков из которых, представляют потенциальную опасность на стадии финальной изоляции РАО [8]. Количество и активность РАО специфична для каждого типа реакторных установок АЭС [9].

2) Образование РАО при эксплуатации исследовательских реакторов и ускорителей. В отличие от энергетических реакторов, направленных на генерацию электроэнергии, исследовательские реакторы имеют ряд применений: от обучения и подготовки кадров до калибровки и тестирования контрольно-измерительных приборов. На исследовательских реакторах происходит производство радиоизотопов, которые незаменимы в медицине. В настоящее время в 67 странах используется 252 исследовательских реактора. Область применения ускорителей заряженных частиц обусловлена такими технологическими процессами как: стерилизация медицинского оборудования и материалов, производство радиофармпрепаратов, изготовление элементов электроники, крупномасштабный мониторинг загрязнения воздуха и т.д.

Основными источниками образования РАО при эксплуатации исследовательских реакторов и ускорителей являются:

– отработанное ядерное топливо реакторов;

– облученные элементы;

– использованные, изношенные элементы конструкций установок;

– горюче-смазочные материалы.

3) Медицинская деятельность, продовольствие и сельское хозяйство. Радиационные технологии в медицине применяются для калибровки медицинского оборудования, диагностики и лечения онкологических заболеваний, а также при диагностике других заболеваний. К использованию радиационных технологий в сфере продовольствия относится обработка продуктов путем

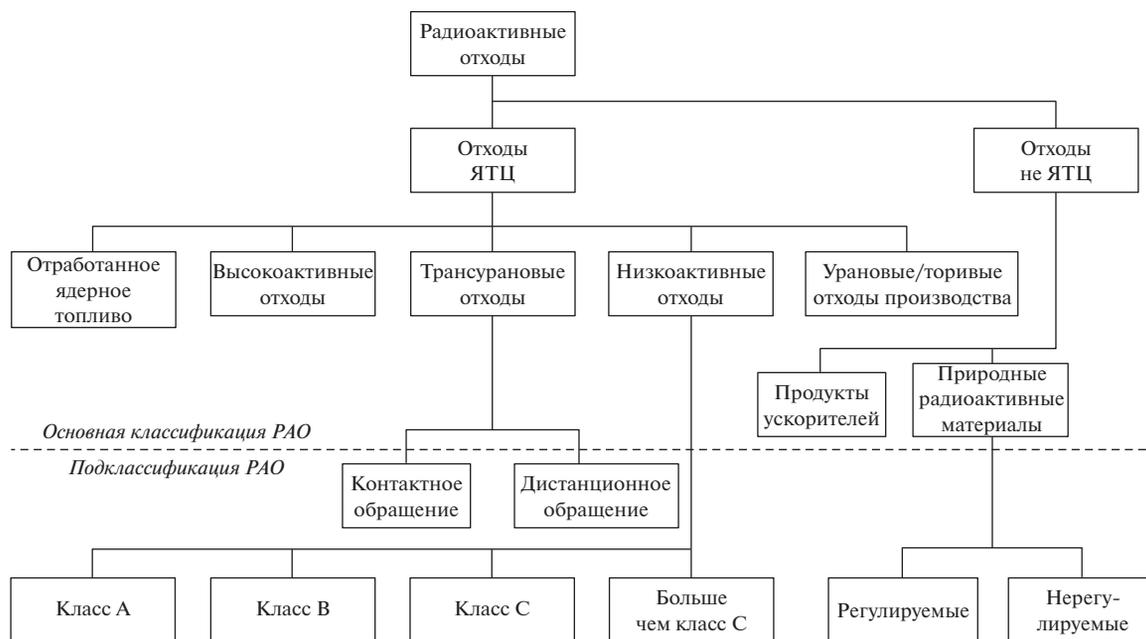


Рис. 1. Существующая система классификации РАО в США.

облучения ионизирующим излучением для повышения качества или продления срока годности, снижения риска распространения иных организмов внутри продукта и т.д. Очевидное преимущество перед химической обработкой – минимальное вредное воздействие на продукт. Использование ядерных технологий в сельском хозяйстве на данный момент также является очень актуальным решением проблем адаптации сельскохозяйственных культур. К источникам образования РАО в данной категории можно отнести:

- отработанные источники;
- генераторы и ядерные батарейки;
- рекультивация земель.

4) Ядерный оружейный комплекс. Радиоактивные отходы образуются в результате изготовления, испытаний ядерного оружия, также во время периодического обслуживания ядерных установок.

5) Вывод из эксплуатации ядерных установок, к которым относятся:

- энергетические реакторы;
- исследовательские реакторы;
- других установки топливного цикла;
- критические сборки;
- ускорительные и облучательные установки.

Обеспечить безопасное обращение с РАО при таком многообразии источников их образования возможно при адекватном регулировании такой деятельности со стороны государства [10, 11]. Ключевым элементом систематизации обращения с РАО является их классификация, позволяющая применять однотипные требования к каждому классу

и категории РАО, независимо от источника их образования. В каждой стране регулирование деятельности на каждом этапе обращения с РАО имеет свои особенности. Это связано с различными требованиями безопасности, требованиями к обращению, нормативной документацией, а также исторически сложившейся парадигмой развития ядерной отрасли в отдельно выбранной стране. Недостаткам национальных систем классификации РАО и отсутствие согласованности национальных систем вынуждают МАГАТЭ работать над ее совершенствованием. В основе классификации МАГАТЭ лежит учет вариантов окончательного захоронения РАО, а ее ключевыми признаками служат концентрация радионуклидов и период их полураспада [4]. В рамках данной статьи рассмотрены современные системы классификации РАО в двух странах, обладающих полными циклами обращения с радиоактивными и ядерными материалами РФ и США.

## СРАВНЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТРО РФ И США

### Классификация ТРО в США

Классификация РАО в США опирается на потенциальный уровень радиационного воздействия (текущий или будущий) на человека, которое создает РАО [12]. В США выделяют две основные категории “отходы ЯТЦ” (Fuel-cycle waste) и “отходы, не связанные с ЯТЦ” (Non fuel-cycle waste (NARM)) [13]. Иллюстрация принятой в

США классификации РАО представлена на рисунке 1.

РАО, образовавшиеся на этапах ЯТЦ включают в себя отходы от: добычи природного урана, разделения и обогащения изотопов урана, изготовления ядерного топлива, переработки облученного топлива и последующего захоронения. Данная категория уже в зависимости от пути формирования РАО подразделяется на [13]:

– высокоактивные отходы (high-level waste – HLW). Высокоактивные отходы, радиоактивные материалы с высокой активностью или полученные в ходе переработки ОЯТ в жидком или твердом состоянии, содержащие продукты деления. Требуют постоянной изоляции [14];

– отработанное ядерное топливо (spent nuclear fuel – SNF). ОЯТ, которое содержит не перерабатываемые элемент [15], входит в состав HLW;

– трансурановые отходы (transuranic waste – TRU). РАО, не входящие в класс HLW, но содержащие материалы с загрязнением трансурановыми элементами (атомный номер превышает 92) концентрацией свыше 10 нКи/г или содержащие альфа-излучающие трансурановые элементы с периодом полураспада свыше 20 лет и с концентрацией свыше 100 нКи/г [14]. Трансурановые отходы подразделяются на два подкласса – трансурановые отходы, допускающие контактное обращение (contact-handled) и обрабатываемые дистанционным методом (remotely-handled). Главное их отличие состоит в мощности дозы, измеренной на поверхности контейнера с РАО. Если мощность дозы превышает 2 мЗв/ч, то данные РАО будут относиться к трансурановым отходам, обрабатываемым дистанционным методом; в обратном случае будут иметь место трансурановые отходы, допускающие контактное обращение;

– низкоактивные отходы (low-level waste – LLW). Характеризуются как РАО, чья удельная активность не позволяет отнести их к HLW, SNF, TRU или материалам определенных в секции 11e(2) Закона об Атомной энергии от 1954 года и классифицированные, как низкоактивные радиоактивные отходы (low level radioactive waste) [14]. Данный класс также включает в себя четыре подкласса РАО в зависимости от удельной активности радионуклида (A, B, C, GTCC) [16].

РАО, образовавшиеся вне ЯТЦ, обозначаются аббревиатурой NARM (Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) or Accelerator-Produced Radioactive Materials), т.е. могут быть рассмотрены как подкатегории: “природные радиоактивные материалы” или “продукты ускорителей”. Последняя подкатегория подразделяется на регулируемую и нерегулируемую. “Технологически усиленная” известна как TENORM [13] и представляет собой более широкую категорию, включающую радиоактивные отходы промышленных

процессов. Примерами этого могут служить отходы, образующиеся при добыче урана, бурения нефтяных и газовых скважин, а также летучая зола радиоактивного угля.

#### *Классификация ТРО в РФ*

Принятая в РФ классификация РАО является одной из наиболее полных и подробных в мире. Основными принципами классифицирования РАО в РФ принято считать физико-химические свойства радионуклида при его воздействии на организм человека с учетом уровня вмешательства. С учетом этого приняты предельные значения удельных и объемных активностей для отнесения отходов к РАО [17].

По УА ТРО, содержащие техногенные радионуклиды подразделяются на 4 категории: очень низкоактивные (ОНРАО), низкоактивные (НАО), среднеактивные (САО) и высокоактивные (ВАО); а жидкие радиоактивные отходы на три класса: низкоактивные (НАО), среднеактивные (САО) и высокоактивные (ВАО). В случае, когда по отдельным характеристикам радионуклидов, РАО относятся к разным категориям отходов, для них устанавливается наиболее высокое из полученных значений категории отходов (консервативный подход) [18]. Схематичная иллюстрация классификации РАО, принятой в РФ представлена на рисунке 2.

#### СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАО В РФ И США

Применяемые системы классификации РАО в РФ и США основываются схожих характеристиках отходов: значения удельной активности, радионуклидный состав, агрегатное состояние, физико-химические свойства, период полураспада и способах переработки.

В США классификация РАО учитывает источник происхождения отходов. После чего уже принимается решение по категорированию, способу переработки или захоронения РАО. Правовой контроль в сфере обращения РАО осуществляет государство в лице Atomic Energy Commission (AEC) и принимает регулирующие законы для РАО, Регулирующим органом, устанавливающий предельные значения концентрации по категориям для радионуклидов, является NRC [13]. Весь процесс обращения с РАО в США отдан коммерческим юридическим лицам, выполняющим работы по сбору, сортировке, перемещению, переработке, хранению и захоронению РАО при тщательном государственном надзоре и регулировании. В последние годы основной объем РАО категорий с низкими активностями подлежит переработке.

Для более удобного сравнения основных направлений в области обращения РАО была со-



Рис. 2. Существующая система классификации РАО в РФ.

ставлена табл. 1. В данной таблице изложены ключевые моменты в существующих классификациях РАО и дано сравнение с показателями, рекомендованными международной комиссией по атомной энергии МАГАТЭ [4].

Существующая в РФ система классификации РАО во многом пересекается с теми требованиями, что устанавливает МАГАТЭ, тогда как принятая в США система классификации РАО имеет в своей основе уникальные принципы отнесения ядерных материалов к РАО и в некоторых моментах сильно отличается от международной практики, особенно в области ОЯТ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость обеспечения однозначной сегрегации для обработки, хранения, удаления и идентификации возникающих отходов решается путем разработки эффективной схемы классификации отходов на основе концентраций радиоактивности и видов, а также схемы категоризации отходов на основе происхождения, типа, свойств и т.д. Важной особенностью эффективной и действенной системы обращения с отходами является наличие адекватной национальной системы классификации и категоризации для обработки радиоактивных отходов. При планировании изменений системы классификации и категоризации РАО целесообразно учитывать глобальный опыт, полученные знания о существующих в мире практиках обращения с РАО. Методологии ИНПРО для оценки устойчивости в области управления отходами требуют адекватной класси-

фикации отходов для облегчения обращения с отходами. Концепция системы классификации отходов позволяет идентифицировать отходы с достаточно низкими концентрациями активности, чтобы их можно было утилизировать в приповерхностных установках для захоронения, или отходы, которые необходимо утилизировать в установках для геологического захоронения с более надежными функциями локализации и изоляции. Кроме того, классификация является хорошим инструментом, позволяющим идентифицировать отходы, которые могут быть удалены из-под контроля с точки зрения радиационной безопасности.

В данной статье были рассмотрены два основных примера классификации и категоризации в рамках деятельности по обращению с РАО, которые независимо формировались на всем протяжении пути становления атомной отрасли в мире и включили в себя особенности социально-политической жизни государств. Вследствие исторически сложившихся монополий на обращения с радиоактивными материалами и отсутствия международного сотрудничества между государствами, в США и РФ были выбраны принципиально разные подходы к обращению с РАО, в том числе и к системе их классификаций. Система, действующая в США на данный момент, больше согласуется с базовым принципом ИНПРО, так как механизм переработки РАО в этой стране налажен сильнее. Но подход, использующийся в России, подразумевает более перспективные методы переработки и использование ядерной энергии за счет повторного использования топлива в реакторных установках на быстрых нейтронах (БН).

**Таблица 1.** Сравнение основных ключевых показателей классификации РАО ТРО

Критерий	РФ	США	Рекомендации МАГАТЭ
Главный критерий классификации	Превышение уровня вмешательства, способ переработки	Путь образования, степень риска воздействия	Степень риска воздействия
Регулирующий орган	Правительство РФ	AEC NRC EPA	Совместно с: IAEA, EC, OECD/NEA
ОЯТ	Не считается РАО	Считается РАО	Рекомендуется перерабатывать (не считается РАО)
Классы	ВАО САО НАО ОНРАО ОНАО	SNF HLW TRU LLW (Class A, B, C, GTCC)	ВАО (HLW) САО (ILW) НАО (LLW) ОНРАО (VLLW) ОКЖО (VSLW)
Короткоживущие/долгоживущие радионуклиды (период полураспада)	15 суток при сортировке 31 год в процессе присвоения кода РАО	100 лет	30.2 года
Нормативные документы	ФЗ-190 ФЗ-170 ПП № 1069	NRC DOE	Международные конвенции
Категория “освобожденные от контроля отходы”	Есть, ОНАО чья удельная активность ниже предельных значений	Отсутствует	Категория ОНАО (EW)
Операторы РАО	НО РАО, государственный монополист в сфере захоронения РАО	Операторами РАО являются частные компании, эксплуатирующие АЭС при государственном регулировании MDO – Организация по обращению и захоронению РАО*	Частные компании при государственном регулировании
Способы обращения с РАО	Захоронение Хранение Переработка	Захоронение Хранение Переработка	Захоронение Хранение Переработка
Трансурановые хвосты (обедненный уран, ториевые материалы)	Не является отходами, материал будущего	Является отходами	Является отходами
Отходы из других стран	Запрещен экспорт РАО, допускается завоз ядерных материалов с целью переработки	Запрещено	Разрешает экспорт РАО

\* Создание такой организации предусмотрено положениями Стратегии по обращению и захоронению ОЯТ и ВАО, утвержденной Правительством США, однако до сих пор Конгресс не рассмотрел вопрос о внесении соответствующих поправок в национальное законодательство.

Если рассматривать предложенные МАГАТЭ меры, описанные в разделе “роль и задача классификации РАО”, в отдельности, то каждая страна имеет преимущество в отдельно взятом пункте. По первому признаку (М1) имеет преимущество РФ, так как есть множество подкатегорий в классификации и все ядерные материалы разделены по влиянию на организм (в зависимости от периода полураспада и вида излучения). По второму признаку (М2) – паритет. Ядерные материалы контролируются на всех этапах. По третьему признаку (М3) преимущество у США, так как переработка происходит на АЭС, а все что не перерабатывается, отправляется на места на места захоронения, в отличие от РФ, где долговременно хранят не переработанные отходы на АЭС. По 4-му признаку (М4) лучшая практика наблюдается в США, так как данная система управления РАО изначально создавалась в коммерческих условиях.

Однако, на сегодняшний день, ни одна из существующих систем классификации и способов обращения с РАО двух государств не может в полной степени удовлетворить всем нуждам атомной промышленности и требует улучшений. Так РФ основной упор дальнейшего развития направлен на создание перерабатывающих предприятий для снижения объемов поступающих низкоактивных РАО, а также на создание новых мест долговременного хранения высокоактивных и среднеактивных РАО, ввиду ограниченности вместимости существующих мест хранения. С другой стороны, в США уже существуют предприятия по переработке РАО, однако данные работы производят частные компании, деятельность которых контролируется государством. Основными направлениями развития в данном вопросе выделяют:

- реформирование системы классификации РАО (приведение существующей системы к общепринятым стандартам МАГАТЭ);

- создание единого национального оператора по обращению с РАО (для снижения рисков по потере контроля над радиоактивными веществами и снижения затрат на контролируемую деятельность со стороны государства).

Поскольку не существует единой системы классификации РАО, рассмотренные государства идут по своему пути в этой области, но к единой цели – обеспечение безопасности населения, персонала и окружающей среды, следуя принципам оценки устойчивости в области обращения с отходами INPRO – управление радиоактивными отходами в ядерной энергетической системе осуществляется таким образом, что оно не будет налагать чрезмерное бремя на будущее поколение. Дополнительно стоит отметить, что любые изменения, проводимые в рамках совершенствовании системы классификации, непременно должны основываться на минимизации потенциального нега-

тивного воздействия РАО на окружающую среду, персонала и населения (принцип ALARA).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Lawson H.B.* A Journey Through the Systems Landscape. 2010. London: College Publ.
2. *Novikov G.A., Tashlykov O.L., Scheklein S.E.* Ensuring Safety in the Field of Atomic Energy Use, The School-Book. 2017. Yekaterinburg: YuUrGU (in Russian).
3. IAEA-TECDOC-1901. 2020. Vienna: IAEA.
4. Classification of Radioactive Waste. General Safety Guide No. GSG-1. 2009. Vienna: IAEA.
5. Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14. 2018. Vienna: IAEA.
6. World Nuclear Industry Status Report 2019. A Mycle Schneider Consulting Project, Paris, Budapest, September 2019. <https://www.worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2019.html>
7. IAEA Nuclear Energy Series. No. NG-T-3.15. 2016. Vienna: IAEA.
8. *Vasiliev A.V., Ekinin A.A., Yusupov R.I., Pudovkin A.V.* // Zh. Appar. Nov. Radiat. Izmer. 2017. V. 91. No. 4. P. 23–30.
9. *Ekinin A.A., Antonov K.L.* // Radioakt. Otkhody. 2020. V. 11. No. 2. P. 66–74.
10. Federal Safety Regulations in the Field of Atomic Energy Use. Safety in Radioactive Waste Management. General Provisions. NP-058-14. No. 347. 2014.
11. Federal Law of the Russian Federation No. 190-FZ of 11.07.2011, as amended by the Federal Law No. 188-FZ of 02.07.2013.
12. *Croff A.G. et al.* National Council on Radiation Protection and Measurements Report. No. 139. 2002.
13. *Djokić. D.* A Characteristics Based Approach to Radioactive Waste Classification in Advanced Nuclear Fuel Cycles. PhD Dissertation. 2013. Berkeley: University of California.
14. The Nuclear Waste Policy Act of 1982. 2004. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy Office of Civilian Radioactive Waste Management.
15. Nuclear Regulatory Commission. Part 60 – Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories. U.S. Code of Federal Regulations. 2002.
16. Nuclear Regulatory Commission, “Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste – Waste Classification.” Title 10, Part 61.55 of the U.S. Code of Federal Regulations. 2002.
17. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1069 of 19.10.2012, as amended by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 95 of 04.02.2015.
18. Sanitary Rules and Standards of the Joint Venture 2.6.1.2612-10. Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety (OSPORB-99/2010). No. 40. 2010.

**Radioactive Waste Classification in the Russian Federation and the USA****D. D. Desyatov<sup>1, \*</sup>, I. S. Batakov<sup>1, \*\*</sup>, D. A. Terentiev<sup>1, \*\*\*</sup>, and A. A. Ekidin<sup>2, \*\*\*\*</sup>**<sup>1</sup> *Ural Federal University, Yekaterinburg, 620002 Russia*<sup>2</sup> *Institute of Industrial Ecology, Yekaterinburg, 620990 Russia**\*e-mail: desyatovdenis1995@gmail.ru**\*\*e-mail: batakov.ivan@yandex.ru**\*\*\*e-mail: terentevdaniel@gmail.com**\*\*\*\*e-mail: ekidin@mail.ru*

Received October 12, 2020; revised December 14, 2020; accepted December 15, 2020

**Abstract**—Approaches to the system of radioactive waste classification in the USA and the Russian Federation were considered. The variety of sources of radioactive waste generation is shown. The necessity of radioactive waste classification and characterization is justified. The main problems in the field of radioactive waste management in two countries are outlined, the ways of development of two systems to improve the activity of radioactive waste management are presented. The basic principles of assessing the sustainability in the field of radioactive waste management INPRO and reducing the potential exposure of personnel and population of ALARA are shown. Comparisons of two national systems of radioactive waste classification were made and compliance with the IAEA recommendations was assessed.

*Keywords:* radioactive waste, classification, characterization, handling, activity, composition