

Научно-исследовательская работа

Краеведение

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ ОБРАЩЕНИЯ
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ**

Выполнил:

Бобриков Кирилл Александрович,
учащийся 9 класса, член НОУ «Поиск»,
МБОУ «Пришненская средняя школа № 27»
Щекинского района Тульской области

Руководитель:

Ихер Татьяна Петровна,
учитель биологии и экологии,
руководитель НОУ «Поиск»
МБОУ «Пришненская средняя школа № 27»
Щекинского района Тульской области,
Почетный работник общего образования РФ,
советник Российской Академии Естествознания

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Проблема радиоактивных отходов	4
1.1. Проблема обращения с РАО	4
1.2. Временное хранение РАО и их захоронение	6
1.3. Технологический цикл получения ядерной энергии	7
1.4. Проблема обеспечения экологической безопасности	7
1.5. Радиационная и санитарно-эпидемиологическая обстановка	9
2. Пути решения проблемы утилизации РАО	10
2.1. Источники РАО и их классификация	11
2.2. Обращение с РАО	13
2.3. Стадии обращения с РАО	15
2.4. Технологии обращения с РАО	16
2.4.1. Обращение со среднеактивными РАО	16
2.4.2. Обращение с высокоактивными РАО	17
Заключение	20
Список использованной литературы	21

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень безопасности и надежности действующих атомных электростанций (АЭС) является не только главным условием функционирования современных энергозатратных производств, но и условием существования человечества в отдельных регионах нашей планеты. Действующие мощности АЭС являются системообразующими в европейской части России с долей поставки электроэнергии на Федеральный оптовый рынок энергии и мощности (ФОРЭМ) 41% [3]. В 2014 году АЭС выработали 120 млрд. кВтч электроэнергии, на 16% больше, чем в 2010 году. Для производства этого количества электроэнергии на ТЭС потребовалось бы 36 млрд. куб. м газа (стоимостью около 2,5 млрд. долл.). Рост потребления электроэнергии в стране (2,3 %) был обеспечен на 90 % за счет ее выработки на АЭС. К 2030 году возможен рост установленной мощности АЭС до 60 ГВт с соответствующим уменьшением доли газового электричества до 25 % (при 52 % в 2000 г.) [3, 4, 29].

Развитие атомной энергетики позволяет перенести центр тяжести в энергетическом производстве с традиционных топливодобывающих отраслей и транспорта топлива на современные наукоёмкие ядерные и сопутствующие технологии, а в экспорте с топливного сырья на продукцию высоких технологий.

Одним из фундаментальных принципов развития атомной энергетики является принцип естественной безопасности, т.е. исключение тяжёлых реакторных аварий и аварий на предприятиях ядерного топливного цикла; малоотходная переработка ядерного топлива с радиационно-эквивалентным захоронением радиоактивных отходов; технологическая поддержка режима нераспространения. Атомная энергетика при нормальной эксплуатации отвечает нормативным требованиям по охране окружающей среды и по всем значимым показателям имеет преимущества по сравнению с энергетикой на органическом топливе. Последние исследования показывают, что экономический ущерб от ядерного топливного цикла сопоставим с ущербом от топливного цикла электростанций на природном газе и существенно ниже, чем на угле и мазуте. Наиболее значимой проблемой атомной энергетики является утилизация отходов ядерного топлива [1, 10, 29].

Цель реферативно-исследовательской работы: изучить основные стадии обращения с радиоактивными отходами.

В ходе выполнения работы решались **следующие задачи:**

1. Проанализировать существующие источники радиоактивных отходов;
2. Рассмотреть проблему обращения с РАО – извлечения из технологического цикла, хранения и их захоронения;
3. Рассмотреть способы обеспечения экологической безопасности РАО.

Сроки выполнения работы: декабрь 2020 г. – март 2021 г.

1. ПРОБЛЕМА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

1.1. Источники радиоактивных отходов

Радиоактивными называют отходы, не представляющие для дальнейшего производства практической ценности, включающие в себя совокупность радиоактивных химических элементов. Согласно законодательству России, последующее использование подобных соединений запрещено и требует их тщательного захоронения [4, 13, 21].



К настоящему времени на объектах ядерного топливного цикла накоплено жидких и твердых радиоактивных отходов общей активностью приблизительно 2–4 млрд. кюри (без учета активности отработавшего ядерного топлива), которые размещены на 416 объектовых пунктах хранения РАО. Кроме того, имеется 24 объектовых пункта хранения отработавшего ядерного топлива. Указанные объекты представляют большую потенциальную опасность, а обращение с РАО на этих объектах связано со значительными проблемами обеспечения безопасности регионального и глобального масштабов [2].

Страна несет большие затраты по поддержанию приемлемого уровня безопасности существующих хранилищ РАО. Среди наиболее важных примеров экологических проблем обращения с РАО следует отметить:

- открытые поверхностные водоемы-хранилища жидких РАО, в том числе озеро Карачай и Теченский каскад водоемов (ПО «Маяк»);

- подземные хранилища жидких РАО (Горно-химический комбинат, Сибирский химический комбинат, НИИАР), а также радиоактивная "линза" под озером Карачай;

- поверхностные железобетонные емкости-хранилища жидких высокоактивных отходов;

- приповерхностные хранилища твердых РАО, сооруженные без соблюдения современных нормативных требований безопасности;

- отсутствие технологии переработки некоторых видов РАО, в том числе взрыво- и пожароопасных органических материалов.

Со времени окончания «холодной войны» темпы накопления РАО снизились за счет прекращения ядерных испытаний и резкого сокращения радиохимического производства. В то же время проявились новые сложности в сфере обращения с РАО, связанные с массовым выводом из эксплуатации ядерных объектов и прекращением затопления РАО в морях. Основными источниками образования и накопления новых РАО в настоящее время являются атомные электростанции, действующие суда и корабли атомного флота, утилизируемые атомные подводные лодки.

Весьма примечательно, что в последние годы накопление РАО значительно выросло за счет утилизации атомных подводных лодок. Этот процесс увеличения объемов будет продолжаться и дальше, в том числе за счет вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС и исследовательских ядерных реакторов. Наряду с ними в настоящее время имеют место случаи обращения и неучтенных источников. При реорганизации предприятий большая часть этих источников теряется, в результате чего в разных регионах регулярно обнаруживаются локальные участки радиоактивного загрязнения. Большое количество таких участков характерно для бывших пунктов дислокации войсковых частей в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Калининград и др.).

Самостоятельную проблему представляет вывод из эксплуатации радиоизотопных термоэлектрогенераторов (РИТЭГ), выработавших установленный ресурс. Пункты их размещения не охраняются и не защищены, более того, имеются случаи их несанкционированного вскрытия. Значительное

количество РАО образуется и в неядерных отраслях промышленности. В частности, в системах химической водоочистки ТЭС, в нефтешлаках нефтяной промышленности и пр. В настоящее время скопилось большое количество низкорadioактивных металлических РАО из бывшего оборудования нефтехимической промышленности.

1.2. Временное хранение РАО и их захоронение

Для переработки РАО на хранилищах используются местные пункты переработки. Новым направлением обращения с РАО является переход к контейнерному хранению, В настоящее время разработан прототип такого металло-бетонного контейнера для твердых РАО и затвердевших жидких РАО низкой и средней активности - НЗК 150-1,5 П [2].

Кондиционированные РАО, срок радиационной опасности которых не превышает срока действия инженерных барьеров (оценивается в 300-500 лет), могут быть захоронены в приповерхностных или слабозаглубленных могильниках. Для РАО с большим потенциальным сроком опасности требуются подземные могильники, где наряду с инженерными сооружениями защита от их проникновения во внешнюю среду будет обеспечиваться геологическими формациями.

Технология обращения с высокоактивными отходами (ВАО), содержащими долгоживущие ядерные материалы, окончательно еще не разработана. Общая концепция подхода к ним заключается в их кондиционировании, фракционировании, иммобилизации в минералоподобных матрицах и герметизации в специальных контейнерах. Одним из перспективных подходов при решении этой проблемы может служить использование тигель-контейнеров из карбида кремния, в которых будет производиться отверждение фракционированных ВАО СВЧ-нагревом. Для захоронения контейнеров с ВАО требуется создание глубинных (1,5 - 2,0 км) могильников в специальных геологических формациях.

В последние два-три года значительно активизировался процесс создания инфраструктуры могильника для РАО (предположительно, на Новой Земле).

В целом все задачи по обращению с РАО можно разделить на первоочередные и перспективные. К первым относятся сбор, первичная переработка, кондиционирование, фракционирование и перевод на временное хранение. Ко вторым – захоронение [1, 3, 10].

Риск, связанный с использованием ядерной энергии, обусловлен возможностью попадания различного количества радионуклидов в среду обитания. Пути попадания, количество радионуклидов и их состав для различных этапов технологического цикла получения ядерной энергии различны.

1.3. Технологический цикл получения ядерной энергии

Принципиально по количеству и типу радионуклидов весь технологический цикл получения ядерной энергии можно разделить на пять этапов [4, 10]:

1. Добыча урана и/или тория и изготовление свежего ядерного топлива - извлечение природных радионуклидов из-под природных барьеров: основной риск связан с радоном и радием.

2. Облучение ядерного топлива в ядерном реакторе, в процессе которого происходит генерация трех новых видов радионуклидов:

- искусственные актиниды;
- продукты деления;
- продукты активации.

Причем большая часть активности обусловлена ядрами с периодом полураспада меньше одного года.

3. «Охлаждение» облученного топлива и его переработка. В этом случае большая часть активности обусловлена ядрами с периодом полураспада от 1 до 30 лет.

4. Охлаждение продуктов деления, продуктов активации и актинидов, которые не удалось вернуть в топливный цикл, перед окончательным захоронением. Здесь большая часть активности обусловлена ядрами с периодом полураспада от 30 до 1000 лет.

5. Окончательное захоронение продуктов деления, активации и актинидов или ОЯТ. Большая часть активности этих продуктов обусловлена ядрами с периодом полураспада больше 1000 лет. Накопленные к настоящему времени РАО и ОЯТ образовались в результате работы предприятий оборонного комплекса и получения ядерной энергии для гражданских целей.

1.4. Проблема обеспечения экологической безопасности

Ввиду важности этой проблемы была поставлена задача создания государственной системы учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. В рамках функционирования этой системы по

поручению правительства в различных организациях Российской Федерации была проведена первичная инвентаризация радиоактивных веществ и РАО по состоянию на 1 июля 2000 г. Кроме того, введена ежегодная отчетность предприятий по формам федерального государственного статистического наблюдения за образованием, перемещением, накоплением, переработкой и хранением РАО, поступлением радионуклидов в окружающую среду и загрязненными ими территориями [2, 23 - 28].

В настоящее время на предприятиях Минатома России в 105 пунктах хранения находится более 500 млн. кубометров жидких радиоактивных отходов (ЖРО), суммарная альфа-активность которых оценивается в $1,9 \times 10^{16}$ Бк, а суммарная бета-активность – $7,3 \times 10^{19}$ Бк [1, 10, 29].

Твердые радиоактивные отходы (ТРО), суммарная альфа-активность которых составляет 6×10^{15} Бк и бета-активность – $8,1 \times 10^{18}$, находятся в 274 пунктах хранения и составляют по массе около 180 млн. тонн. Большой вклад в образование (по объему) радиоактивных отходов вносят предприятия ядерного топливного цикла. Основное количество РАО (99% по активности) сосредоточено на предприятиях ПО «Маяк», Сибирском химическом комбинате и Горно-химическом комбинате.

При суммарной активности ЖРО $7,3 \times 10^{19}$ Бк активность разных категорий составила [1, 29]:

- низкоактивных отходов - $1,9 \times 10^{16}$ Бк (менее 0,04% общей активности),
- среднеактивных отходов - $5,9 \times 10^{19}$ Бк (около 81% общей активности),
- высокоактивных отходов - $1,4 \times 10^{19}$ Бк (около 19% общей активности ЖРО).

Из 274 имеющихся пунктов хранения ТРО в настоящее время:

- 131 действует (48%);
- 110 выведено из эксплуатации (40%);
- 33 законсервировано (12%).

По месту расположения эти пункты распределились следующим образом:

- в на промплощадках - 219 (80%);
- в санитарно-защитных зонах - 51 (18%);
- в зонах наблюдения - 4 (2%).

Наибольшее количество пунктов хранения ТРО расположено на

предприятиях ядерного топливного цикла – 146, на АЭС – 46, на горнорудных предприятиях – 31. На 21 предприятии отрасли эксплуатируются 30 установок переработки радиоактивных отходов.

Количество переработанных твердых низкоактивных отходов составило 45,3 тыс. тонн (с активностью 6,7-10¹² Бк), распределившихся следующим образом по установкам (в тыс. тонн) [1, 29]:

- сжигания - 0,3;
- прессования - 3;
- прочих типах установок (деактивации, плавления) - 42.

Загрязненные радионуклидами территории (участки земель, водоемы) общей площадью 481,4 км² имеются на 25 предприятиях отрасли, из них:

- загрязненные земли - 377 км² (78,3%);
- загрязненные водоемы - 104,4 км² (21,7%).

Площадь загрязненных радионуклидами территорий делится по зонам нахождения следующим образом:

- на промплощадках - 63,6 км²;
- в санитарно-защитных зонах - 197,9 км²;
- в зонах наблюдения - 219,9 км².

Следует отметить, что деятельность предприятий Минатома России в последние годы не приводит к ухудшению экологической обстановки в районах их нахождения.

1.5. Радиационная и санитарно-эпидемиологическая обстановка

Радиационная и санитарно-эпидемиологическая обстановка в районах размещения предприятий атомной промышленности и энергетики, по данным промышленного санитарного надзора Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем при Минздраве России и данным постоянно проводимого контроля соответствующими службами предприятий, в основном удовлетворительная. Анализ данных показывает, что к первоочередным задачам, требующим существенных капиталовложений, относятся [1, 3, 4]:

- повышение безопасности хранения жидких РАО;
- повышение темпов переработки средне- и низкоактивных РАО;
- работы по реабилитации территорий, загрязненных радионуклидами, в

том числе за счет реализации специальных экологических программ.

В настоящее время в России находится около 550 млн. тонн радиоактивных отходов, значительная часть которых накоплена еще в советские времена [10, 23 - 27].



2. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ РАО

Проблема утилизации радиоактивных отходов уже более 50-ти лет находится в центре внимания специалистов и всего общества, однако за это время не только не найдено приемлемого способа ее решения, но наоборот, сегодня она кажется все более и более неразрешимой [2, 4]. Если на заре атомной эры основной массив радиоактивных отходов состоял из продуктов производства, эксплуатации и вторичной переработки рабочих материалов ядерных установок исследовательского, энергетического и военного

назначения, то в настоящее время их номенклатура значительно расширилась за счет самих этих технических устройств, обслуживающей их инфраструктуры и территорий, на которых они расположены, включая и проживающих там людей. Отходы атомных станций, содержащие радиоактивные вещества, утилизируются по единым правилам.

2.1. Источники РАО и их классификация

Радиоактивные отходы образуются в различных формах с весьма разными физическими и химическими характеристиками, такими, как концентрации и периоды полураспада составляющих их радионуклидов. Эти отходы могут образовываться [2, 4, 6 – 10]:

- в газообразной форме, как, например, вентиляционные выбросы установок, где обрабатываются радиоактивные материалы;
- в жидкой форме, начиная от растворов сцинтилляционных счётчиков из исследовательских установок до жидких высокоактивных отходов, образующихся при переработке отработавшего топлива;
- в твёрдой форме (загрязнённые расходные материалы, стеклянная посуда из больниц, медицинских исследовательских установок и радиофармацевтических лабораторий, остеклованные отходы от переработки топлива или отработавшего топлива от АЭС, когда оно считается отходами).

Примеры источников появления радиоактивных отходов в человеческой деятельности [7 – 10]:

- Природные источники радиации. Существуют вещества, обладающие природной радиоактивностью, известные как природные источники радиации (ПИР). Большая часть этих веществ содержит долгоживущие нуклиды, такие как калий-40, рубидий-87 (являются бета-излучателями), а также уран-238, торий-232 (испускают альфа-частицы) и их продукты распада. Работа с такими веществами регламентируются санитарными нормами и правилами, выпущенными Роспотребнадзором.
- Уголь. Уголь содержит небольшое число радионуклидов, таких как уран или торий, однако содержание этих элементов в угле меньше их средней концентрации в земной коре. Их концентрация возрастает в зольной пыли, поскольку они практически не горят.

Радиоактивность золы также очень мала, она примерно равна радиоактивности чёрного глинистого сланца и меньше, чем у фосфатных

пород, но представляет известную опасность, так как некоторое количество зольной пыли остается в атмосфере и вдыхается человеком. При этом совокупный объём выбросов достаточно велик и составляет эквивалент 1000 тонн урана в России и 40000 тонн во всём мире.

- Нефть и газ. Побочные продукты нефтяной и газовой промышленности часто содержат радий и продукты его распада.

- Сульфатные отложения в нефтяных скважинах могут быть очень богаты радием; вода, нефть и газ в скважинах часто содержат радон.

- При распаде радон образует твердые радиоизотопы, образующие осадок внутри трубопроводов. На нефтеперерабатывающих заводах участок производства пропана обычно является одной из самых радиоактивных зон, так как радон и пропан обладают одинаковой температурой кипения.

- Обогащение полезных ископаемых. Отходы, полученные при обогащении полезных ископаемых, могут обладать природной радиоактивностью.

- Медицинские РАО. В радиоактивных медицинских отходах преобладают источники бета- и гамма-лучей. Эти отходы разделены на два основных класса. В диагностической ядерной медицине используются короткоживущие гамма-излучатели, такие как технеций-99m ($^{99}\text{Tc}^m$). Большая часть этих веществ распадается в течение короткого времени, после чего может быть утилизирована как обычный мусор.

- Примеры других изотопов, используемых в медицине (в круглых скобках указан период полураспада): иттрий-90 используется при лечении лимфом (2,7 дня); иод-131- диагностика щитовидной железы, лечение рака щитовидной железы (8 дней); стронций-89 - лечение рака костей, внутривенные инъекции (52 дня); иридий-192 - брахитерапия (74 дня); кобальт-60 - брахитерапия, внешняя лучевая терапия (5,3 года); цезий-137 - брахитерапия, внешняя лучевая терапия (30 лет).

- Промышленные РАО. Промышленные РАО могут содержать источники альфа-, бета-, нейтронного или гамма-излучения.

- Альфа-источники могут применять в типографии (для снятия статического заряда); гамма-излучатели используются в радиографии; источники нейтронного излучения применяются в различных отраслях, например, при радиометрии нефтяных скважин. Пример применения бета-

источников: радиоизотопные термоэлектрические генераторы для автономных маяков и иных установок в труднодоступной для человека местности (например, в горах).

Условно радиоактивные отходы делятся на [7 – 10]:

- низкоактивные (делятся на четыре класса: А, В, С и GTCC - самый опасный);
- среднеактивные (законодательство США не выделяет этот тип РАО в отдельный класс, термин в основном используется в странах Европы);
- высокоактивные (к этому классу относятся отходы, загрязненные альфа-излучающими трансурановыми радионуклидами, с периодами полураспада более 20 лет и концентрацией большей 100 нКи/г, вне зависимости от их формы или происхождения, исключая высокоактивные РАО. В связи с долгим периодом распада трансурановых отходов их захоронение проходит тщательнее, чем захоронение малоактивных и среднеактивных отходов. Также особое внимание этому классу отходов выделяется потому, что все трансурановые элементы являются искусственными и поведение в окружающей среде и в организме человека некоторых из них уникально.

Ниже приведена классификация жидких и твёрдых радиоактивных отходов (проект ОСПОРБ-99) [10, 15 - 18].

Категория отходов	Удельная (объёмная) активность, Бк/кг (Бк/л)		
	Бета-, гамма-излучающие нуклиды	Альфа-излучающие нуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
Низкоактивные	Менее 10^6	Менее 10^5	Менее 10^4
Среднеактивные	От 10^6 до 10^{10}	От 10^5 до 10^{10}	От 10^4 до 10^8
Высокоактивные	Более 10^{10}	Более 10^{10}	Более 10^8

Одним из критериев такой классификации является тепловыделение. У низкоактивных РАО тепловыделение чрезвычайно мало. У среднеактивных оно существенно, но активный отвод тепла не требуется. У высокоактивных РАО тепловыделение настолько велико, что они требуют активное охлаждение.

2.2. Обращение с радиоактивными отходами

Изначально считалось, что достаточной мерой является рассеяние радиоактивных изотопов в окружающей среде, как и в других отраслях промышленности. На предприятии «Маяк» в первые годы работы все

радиоактивные отходы сбрасывались в близлежащие водоёмы, вследствие чего загрязнёнными оказались теченский каскад водоёмов и сама река Теча [3, 13, 22].

Позже выяснилось, что за счёт естественных природных и биологических процессов радиоактивные изотопы концентрируются в тех или иных подсистемах биосферы (в основном в животных, в их органах и тканях), что повышает риски облучения населения (за счёт перемещения больших концентраций радиоактивных элементов и возможного их попадания с пищей в организм человека). Поэтому отношение к радиоактивным отходам было изменено.

На данный момент сформирован ряд принципов, нацеленных на такое обращение с радиоактивными отходами, которое обеспечит защиту здоровья человека и охрану окружающей среды сейчас и в будущем, не налагая чрезмерного бремени на будущие поколения [15 – 18, 23 – 28].

Основополагающие принципы обращения с радиоактивными отходами:

1) Защита здоровья человека. Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы обеспечить приемлемый уровень защиты здоровья человека.

2) Охрана окружающей среды. Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы обеспечить приемлемый уровень охраны окружающей среды.

3) Защита за пределами национальных границ. Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы учитывались возможные последствия для здоровья человека и окружающей среды за пределами национальных границ.

4) Защита будущих поколений. Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы предсказуемые последствия для здоровья будущих поколений не превышали соответствующие уровни последствий, которые приемлемы в наши дни.

5) Бремя для будущих поколений. Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы не налагать чрезмерного бремени на будущие поколения.

6) Национальная правовая структура. Обращение с радиоактивными отходами осуществляется в рамках соответствующей национальной правовой структуры, предусматривающей чёткое распределение обязанностей и обеспечение независимых регулирующих функций.

7) Контроль за образованием радиоактивных отходов. Образование радиоактивных отходов удерживается на минимальном практически осуществимом уровне.

8) Взаимозависимости образования радиоактивных отходов и обращения с ними. Надлежащим образом учитываются взаимозависимости между всеми стадиями образования радиоактивных отходов и обращения с ними.

9) Безопасность установок. Безопасность установок для обращения с радиоактивными отходами надлежащим образом обеспечивается на протяжении всего срока их службы.

Основные стадии обращения с радиоактивными отходами



2.3. Основные стадии обращения с радиоактивными отходами [2, 10, 22]

1) При хранении радиоактивных отходов их следует содержать таким образом, чтобы:

- обеспечивались их изоляция, охрана и мониторинг окружающей среды;
- по возможности облегчались действия на последующих этапах (если они предусмотрены).

В некоторых случаях хранение может осуществляться главным образом по техническим соображениям, например, хранение радиоактивных отходов, содержащих в основном короткоживущие радионуклиды, в целях их распада и последующего сброса в санкционированных пределах или хранение радиоактивных отходов высокого уровня активности до их захоронения в геологических формациях в целях уменьшения тепловыделения.

2) **Предварительная обработка** отходов является первоначальной стадией обращения с отходами. Она включает сбор, регулирование химического состава и дезактивацию и к ней может относиться период промежуточного хранения. Эта стадия очень важна, так как во многих случаях в ходе предварительной обработки представляется наилучшая возможность для разделения потоков отходов.

3) **Обработка** радиоактивных отходов включает операции, цель которых состоит в повышении безопасности или экономичности посредством изменения характеристик радиоактивных отходов. Основные концепции обработки: уменьшение объёма, удаление радионуклидов и изменение состава. Примеры:

- сжигание горючих отходов или уплотнение сухих твёрдых отходов;
- выпаривание, фильтрация или ионный обмен потоков жидких отходов;
- осаждение или флокуляция химических веществ.

4) **Кондиционирование** радиоактивных отходов состоит из таких операций, в процессе которых радиоактивные отходы превращают в форму, приемлемую для перемещения, перевозки, хранения и захоронения. Эти операции могут включать иммобилизацию радиоактивных отходов, помещение отходов в контейнеры и обеспечение дополнительной упаковки. Общепринятые методы иммобилизации включают отверждение жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности путём их включения в цемент (цементирование) или битум (битумирование), а также остекловывание жидких радиоактивных отходов. Иммобилизованные отходы в свою очередь в зависимости от характера и их концентрации могут упаковываться в различные контейнеры, начиная от обычных 200-литровых стальных бочек до имеющих сложную конструкцию контейнеров с толстыми стенками. В многих случаях обработка и кондиционирование проводятся в тесной связи друг с другом.

5) **Захоронение** главным образом состоит в том, что радиоактивные отходы помещаются в установку для захоронения при соответствующем

обеспечении безопасности без намерения их изъятия и без обеспечения долгосрочного наблюдения за хранилищем и технического обслуживания. Безопасность в основном достигается посредством концентрации и удержания, что предусматривает изоляцию надлежащим образом концентрированных радиоактивных отходов в установке для захоронения.

2.4. Технологии захоронения РАО

2.4.1. Обращение со среднеактивными РАО

Обычно в ядерной индустрии среднеактивные РАО подвергаются ионному обмену или другим методам, целью которых является концентрация радиоактивности в малом объёме. После обработки уже гораздо менее радиоактивное тело полностью обезвреживают. Существует возможность использовать гидроксид железа в качестве флокулянта для удаления радиоактивных металлов из водных растворов. После абсорбции радиоизотопов гидроксидом железа полученный осадок помещают в металлический барабан, где он перемешивается с цементом, образуя твердую смесь. Для большей стабильности и долговечности цемент изготавливают из зольной пыли или печного шлака и портландцемента (в отличие от обычного цемента, который состоит из портландцемента, гравия и песка) [1, 2].

2.4.2. Обращение с высокоактивными РАО [2, 10]

Хранение

Для временного хранения высокоактивных РАО предназначены резервуары для хранения отработанного ядерного топлива и хранилища с сухотарными бочками, позволяющие распасться короткоживущим изотопам перед дальнейшей переработкой.

Витрификация

Долговременное хранение РАО требует консервации отходов в форме, которая не будет вступать в реакции и разрушаться на протяжении долгого времени. Одним из способов достижения подобного состояния является витрификация (или остеклование). В настоящее время в Селлафилде (Великобритания) высокоактивные РАО (очищенные продукты первой стадии пурекс-процесса) смешивают с сахаром и затем кальцинируют. Кальцинирование подразумевает прохождение отходов через нагретую вращающуюся трубу и ставит целью испарение воды и деазотирование

продуктов деления, чтобы повысить стабильность получаемой стекловидной массы [10, 21].

В полученное вещество, находящееся в индукционной печи, постоянно добавляют измельченное стекло. В результате получается новая субстанция, в которой при затвердении отходы связываются со стеклянной матрицей. Это вещество в расплавленном состоянии вливается в цилиндры из легированной стали. Охлаждаясь, жидкость затвердевает, превращаясь в стекло, которое является крайне устойчивым к воздействию воды. По данным международного технологического общества, потребуется около миллиона лет, чтобы 10 % такого стекла растворилось в воде. После заполнения цилиндр заваривают, затем моют. После обследования на предмет внешнего загрязнения стальные цилиндры отправляют в подземные хранилища. Такое состояние отходов остается неизменным в течение многих тысяч лет [2, 22].

Стекло внутри цилиндра имеет гладкую черную поверхность. В Великобритании вся работа продельвается с использованием камер для работы с высокоактивными веществами. Сахар добавляется для предотвращения образования летучего вещества RuO_4 , содержащего радиоактивный рутений. На Западе к отходам добавляют боросиликатное стекло, идентичное по составу пирексу; в странах бывшего СССР обычно применяют фосфатное стекло. Количество продуктов деления в стекле должно быть ограничено, так как некоторые элементы (палладий, металлы платиновой группы и теллур) стремятся образовать металлические фазы отдельно от стекла. Один из заводов по витрификации находится в Германии, там перерабатываются отходы деятельности небольшой демонстрационной перерабатывающей фабрики, прекратившей свое существование.

Синрок

Более сложным методом нейтрализации высокоактивных РАО является использование материалов типа СИНРОК (synthetic rock — синтетическая порода). СИНРОК был разработан профессором Тедом Рингвудом в Австралийском национальном университете. Изначально СИНРОК разрабатывался для утилизации военных высокоактивных РАО США, но в будущем возможно его использование для гражданских нужд. СИНРОК состоит из таких минералов, как пирохлор и криптомелан [10, 13].

Первоначальный вариант СИНРОК (СИНРОК С) был разработан для жидких РАО (рафинатов пурекс-процесса) — отходов деятельности реакторов на легкой воде. Главными составляющими этого вещества являются голландит ($\text{BaAl}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$), цирконолит ($\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$) и перовскит (CaTiO_3). Цирконолит и перовскит связывают актиноиды, перовскит нейтрализует стронций и барий, голландит – цезий [11].

Глубокое геологическое захоронение

Поиски подходящих мест для глубокого окончательного захоронения отходов в настоящее время ведутся в нескольких странах; первые подобные хранилища вступили в эксплуатацию после 2010 года [2]. Международная исследовательская лаборатория в швейцарском Гримзеле занимается вопросами, посвященными захоронению РАО. Швеция говорит о своих планах по прямому захоронению использованного топлива с использованием технологии KBS-3, после того, как шведский парламент счёл её достаточно безопасной. В Германии в настоящее время ведутся дискуссии о поисках места для постоянного хранения РАО, активные протесты заявляют жители деревни Горлебен региона Вендланд. Это место вплоть до 1990 года казалось идеальным для захоронения РАО благодаря своей близости к границам бывшей Германской демократической республики. Сейчас РАО находятся в Горлебене на временном хранении, решение о месте их окончательного захоронения пока не принято. Власти США выбрали местом захоронения Юкка-Маунтин, штат Невада [3, 22, 29].

Существуют проекты захоронения РАО в океанах, среди которых – захоронение под абиссальной зоной морского дна, захоронение в зоне субдукции, в результате чего отходы будут медленно опускаться к земной мантии, а также захоронение под природным или искусственным островом. Данные проекты имеют очевидные достоинства и позволяют решить на международном уровне неприятную проблему захоронения РАО, но, несмотря на это, в настоящее время они заморожены из-за запрещающих положений морского права [2, 3, 10].

Другая причина состоит в том, что в Европе и Северной Америке всерьез опасаются утечки из подобного хранилища, что приведет к экологической катастрофе. Реальная возможность подобной опасности не доказана; тем не менее, запреты были усилены после сброса РАО с кораблей. Однако в будущем

о создании океанских хранилищ РАО всерьез способны задуматься страны, которые не смогут найти других решений данной проблемы [11, 12, 29].

Трансмутация

Существуют разработки реакторов, потребляющих в качестве топлива РАО, превращая их в менее вредные отходы, в частности, интегральный ядерный реактор на быстрых нейтронах, не производящий трансурановых отходов, а, по сути, потребляющий их. Проект был заморожен правительством США на стадии крупномасштабных испытаний [2, 3, 11].

Другим предложением, более безопасным, но требующим дополнительных исследований, является переработка подкритическими реакторами трансурановых РАО [6, 21].

Повторное использование РАО

Уже сейчас цезий-137, стронций-90, технеций-99 и некоторые другие радионуклиды используются для облучения пищевых продуктов и обеспечивают работу радиоизотопных термоэлектрических генераторов [6, 22, 29].

Удаление РАО в космос

Отправка РАО в космос является заманчивой идеей, поскольку РАО навсегда удаляются из окружающей среды [2, 4, 10]. Однако у подобных проектов есть значительные недостатки, один из самых важных — возможность аварии ракеты-носителя. Кроме того, значительное число запусков и большая их стоимость делает это предложение непрактичным. Дело также усложняется тем, что до сих пор не достигнуты международные соглашения по данной проблеме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на длительность изучения настоящей проблемы учеными всего мира, утилизация и переработка отходов по-прежнему ведется не на должном уровне. Острота проблемы, несмотря на достаточное количество путей решения, определяется увеличением уровня образования и накопления промышленных отходов. Усилия ученых направлены, прежде всего, на предупреждение и минимизацию образования отходов. Разрабатываются новые технологии вторичного использования и эффективных методов переработки, обезвреживания и окончательного удаления. Для захоронения использовать

только низкоактивные отходы, в меньшей степени загрязняющие окружающую среду.

Более эффективно и целесообразно предотвращать образование отходов, начиная со стадии добычи полезных ископаемых и заканчивая потреблением готовой продукции. Достичь этого можно путем разработки и внедрения технологий рационального использования природных ресурсов, выделения ценных компонентов из побочных продуктов производства и отходов.

Полностью безотходное производство – далекая перспектива, но необходимо уже сейчас решать эту задачу, как на общеэкономическом уровне, так и в отдельных отраслях хозяйства. Для этого необходимо предельно корректно и профессионально вести учет и оценку промышленных отходов начиная со стадии разработки технологических схем, в которых неизбежно образование отходов, и заканчивая мероприятиями по их утилизации, переработке и возможному дальнейшему использованию в данном производственном цикле или в других отраслях.

Список использованной литературы

1. Атомные электростанции России. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://nuclear-power.ru>.
2. Ахмедзянов В.Р., Лашёнова Т.Н. Обращение с радиоактивными отходами. - М.: Энергия, 2008. - 210 с.
3. Брылева В.А., Кузьмина Н.Д., Нарейко Л.М. Атомная энергетика. Радиоактивные отходы АЭС. / Инф. бюллетень. - Гос. науч. учреждение «Объед. институт энерг. и ядерных иссл. - Сосны». - 2010 - № 10-11. - С. 1 -8.
4. Википедия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://wikipedia.ru>.
5. Водный кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://base/consultant.ru>.
6. Глухов Н.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. Промышленная экология: Учебное пособие – СПб.: Специальная литература, 2009. - 182 с.
7. ГОСТ Р 50996-96 «Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://vsegost.com>.
8. ГОСТ Р 50996-96. Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gosthelp.ru>.
9. ГОСТ 95 10517-95. Хранилища твердых радиоактивных отходов. Общие требования [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>.
10. Захоронение радиоактивных отходов [Электронный ресурс]: - режим доступа: <http://www.atominfo.ru>.
11. Камнев Е.Н., Морозов В.Н., Шишиц И.Ю. Выбор площадок для захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях: Учебное пособие - М.: Горная книга, 2011. – 147 с.
12. Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними: Монография. - Киев: ИПБ АЭС НАН Украины. - 2005. - С. 25 – 47.
13. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. - М.: Энергоатомиздат, 2012. – 125 с.
14. НП-016-05. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://complexdoc.ru>.
15. НП-002-04. Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://complexdoc.ru>.
16. НП-019-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gosthelp.ru>.
17. НП-055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://base.garant.ru>.
18. НП-020-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://complexdoc.ru>.
19. НП-016-05. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://complexdoc.ru>.
20. НП-069-2006. Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gosthelp.ru>.

21. Пронкин Н.С. Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла: Учебное пособие - М.: Логос, 2012. - 420 с.
22. Руднев А.В. Радиационная экология: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. - 88 с.
23. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы (НРБ 99/2009) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://base/consultant.ru](http://base.consultant.ru).
24. Федеральный закон от 21.02.1992 N 2395-1 «О недрах» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://base/consultant.ru](http://base.consultant.ru).
25. Федеральный закон от 21.11.1995 N 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://base/consultant.ru](http://base.consultant.ru).
26. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://base/consultant.ru](http://base.consultant.ru).
27. Федеральный закон от 1.12.2007 N 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://base/consultant.ru](http://base.consultant.ru).
28. Федеральный закон от 11.07.2011 N 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://base/consultant.ru](http://base.consultant.ru).
29. Ядерная физика [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru>.