

УДК 621.039.7

## КОНТРОЛЬ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**Батиров Ш.Ш.**, магистрант группы 37М-2024, ТГТУ

Научный руководитель **Ибрагимов Н.И.**, к.т.н, профессор, ТГТУ

Научный консультант **Мухамеджанов М.**, к.х.н, доцент, ТГТУ

г. Ташкент

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема управления радиоактивными отходами (РАО), которые являются серьезной угрозой для окружающей среды и здоровья человека. Описаны классификация РАО, основные проблемы их контроля, методы обезвреживания, хранения и утилизации. Особое внимание уделено современным технологиям, таким как роботизированные системы и витрификация, а также международным инициативам, направленным на создание единых стандартов и повышение прозрачности. Обсуждаются экологические риски, связанные с радиоактивным загрязнением воды, почвы и атмосферы, а также влияние радиации на биоразнообразие. В заключение предложены пути решения проблемы, включая развитие технологий переработки, строительство долгосрочных хранилищ и международное сотрудничество.

**Ключевые слова.** Радиоактивные отходы, управление РАО, утилизация, хранение, витрификация, радиоактивное загрязнение, ядерная безопасность, международное сотрудничество, экологические риски, биоразнообразие.

### Введение.

Радиоактивные отходы (РАО) являются одной из наиболее серьезных экологических проблем современности [1]. РАО представляют собой отходы, содержащие радиоактивные вещества, которые образуются в процессе эксплуатации атомных станций, медицинских, промышленных и научных учреждений. РАО представляют собой один из самых сложных вызовов современности. Несмотря на развитие технологий и меры, предпринимаемые в области их хранения и утилизации, управление РАО по-прежнему сопряжено с рядом значительных проблем [2]. Учитывая их потенциальное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, контроль за их управлением стал одной из приоритетных задач в области ядерной безопасности. Цель данной статьи — рассмотреть методы контроля РАО, их классификацию, влияние на экосистему и современные подходы к минимизации негативных последствий.

#### 1. Классификация радиоактивных отходов.

РАО образуются в результате деятельности атомных электростанций (АЭС), медицинских учреждений, научных исследований и промышленных

процессов. РАО классифицируют на основе уровня радиоактивности и времени их полураспада [3]. Основные категории:

Низкоактивные отходы (НАО) — включают материалы с низким уровнем радиации, такие как рабочие инструменты и фильтры (например, инструменты и одежда, загрязненные радиацией) [3];

Среднеактивные отходы (САО) — требуют специальной изоляции, так как содержат значительное количество радиоактивных изотопов (смолы, фильтры, материалы из АЭС);

Высокоактивные отходы (ВАО) — продукты деления ядер, обладающие высоким уровнем радиации и длительным временем полураспада (отработанное ядерное топливо и отходы, образующиеся при его переработке) [4].

Каждый из этих типов требует особого подхода к хранению и специфического подхода к обработке, утилизации, транспортировке и хранению что само по себе создает значительные технические и организационные сложности.

## 2. Основные проблемы контроля РАО.

Долгосрочное хранение и безопасность. Радиоактивные отходы сохраняют опасность в течение тысячелетий. Гарантировать их полную изоляцию от окружающей среды на такие длительные сроки практически невозможно. Построенные хранилища должны выдерживать природные катаклизмы, утечку радиации и даже потенциальное воздействие человеческой деятельности в будущем.

Проблемы переработки и утилизации. Несмотря на развитие технологий переработки, большая часть высокоактивных отходов остается неподдающейся полной утилизации. Методы переработки дорогостоящи и требуют сложного оборудования. Например, переработка отработанного ядерного топлива позволяет извлекать полезные элементы, но оставляет значительные объемы вторичных отходов.

Угроза утечек. Даже современные технологии не могут полностью исключить вероятность утечек. Подземные хранилища подвержены риску изменения гидрологических условий, коррозии контейнеров и землетрясений [5].

Высокая стоимость. Создание безопасных хранилищ и инфраструктуры для контроля РАО требует огромных финансовых затрат. Это одна из причин, по которой многие страны с ограниченными бюджетами сталкиваются с проблемами их хранения [6].

Политические и общественные споры. Размещение хранилищ вызывает протесты населения, особенно в густонаселенных районах. Люди опасаются ухудшения экологической обстановки и снижения качества жизни.

Отсутствие единых международных стандартов. Уровень контроля и подходы к обращению с РАО варьируются в разных странах. Некоторые государства не имеют адекватной инфраструктуры, что повышает риск несанкционированного обращения с отходами.

## 3. Методы контроля и утилизации РАО.

Контроль РАО включает следующие этапы:

Сбор и классификация. Отходы собираются и сортируются на основе уровня их опасности. Специальные метки указывают на тип радиоактивного материала.

Обезвреживание. Процессы дезактивации включают:

Цементацию — используется для низко- и среднеактивных отходов.

Витрификация — превращение высокоактивных отходов в стеклообразную массу [8].

Хранение. Основные типы хранилищ:

Поверхностные — используются для низкоактивных отходов.

Глубинные геологические хранилища — предназначены для ВАО и обеспечивают изоляцию на тысячелетия.

Транспортировка. Используются специально разработанные контейнеры, устойчивые к механическим и термическим воздействиям [7].

4. Современные технологии и инновации.

Современные подходы к управлению РАО включают:

Использование роботизированных систем для работы с высокоактивными отходами [9].

Разработка новых материалов для долговременной изоляции радиоактивных веществ.

Применение генно-инженерных микроорганизмов для дезактивации почвы [10].

5. Воздействие радиоактивных отходов на окружающую среду.

РАО могут существенно влиять на экосистему, если их управление осуществляется ненадлежащим образом:

Радиоактивное загрязнение воды. Попадание радиоактивных материалов в реки, озера и океаны представляет серьезную угрозу для экосистем. Морские и пресноводные организмы накапливают радиацию, что негативно влияет на их численность и здоровье. Утечка радиоактивных веществ может привести к биоаккумуляции в водных организмах, что нарушает пищевые цепи [12].

Загрязнение почвы. Радионуклиды, попадающие в почву, способны сохранять активность на протяжении десятков и даже сотен лет. Это приводит к потере плодородности земель, а также накоплению радиации в растениях, что в конечном итоге воздействует на всю пищевую цепочку. Радиоактивные изотопы, попадая в почву, могут ухудшать её плодородие и мигрировать в растения [11].

Воздействие на атмосферу. Радиоактивные частицы могут распространяться по воздуху, особенно в случае аварий на ядерных объектах. Такое загрязнение создает риск для здоровья человека, вызывая заболевания дыхательной системы и увеличивая вероятность онкологических заболеваний. Неправильное хранение отходов может привести к выбросу радиоактивных газов [11].

Влияние на биоразнообразие. Длительное воздействие радиации приводит к мутациям у животных и растений, что может снижать численность по-

пуляций и разрушать экосистемы. Примером этого является зона отчуждения Чернобыльской АЭС, где наблюдаются изменения в генетическом материале у многих видов [11].

#### 6. Международные инициативы.

Контроль за РАО осуществляется под эгидой международных организаций: Международное сотрудничество Создание глобальных стандартов и совместных хранилищ может снизить риски и сократить расходы на управление РАО. МАГАТЭ разрабатывает стандарты и рекомендации для безопасного обращения с РАО [13]. Евросоюз реализует проекты по развитию экологически безопасных технологий [14].

Развитие технологий Инновационные подходы, такие как трансмутация радиоактивных элементов, могут уменьшить объем и уровень радиоактивности отходов.

Повышение прозрачности Открытость в вопросах обращения с РАО поможет укрепить доверие населения и минимизировать политические конфликты.

Образование и просвещение Проведение информационных кампаний поможет лучше понять проблему и снизить страх перед радиоактивными отходами.

#### 7. Возможные пути решения.

Развитие технологий переработки. Переработка радиоактивных отходов с целью извлечения полезных компонентов может снизить объем высокоактивных материалов. Например, технологии переработки топлива позволяют уменьшить объем и токсичность отходов.

Строительство долгосрочных хранилищ. Создание глубоких геологических хранилищ является наиболее перспективным решением для высокоактивных РАО. Эти хранилища защищают отходы от внешних факторов и предотвращают их утечку в окружающую среду [16].

Международное сотрудничество. Необходимы глобальные усилия для создания стандартов управления РАО, обмена технологиями и совместного финансирования крупных проектов [15].

Образование и информирование общественности. Информирование населения о рисках и методах безопасного обращения с РАО способствует формированию ответственного отношения к использованию ядерной энергии.

#### Заключение.

Контроль за радиоактивными отходами остается одной из важнейших задач для обеспечения экологической безопасности. Совершенствование технологий обращения с РАО, внедрение инновационных методов утилизации и активное международное сотрудничество являются ключевыми факторами в минимизации их воздействия на окружающую среду. Контроль радиоактивных отходов требует сочетания научных, технических, экономических и социальных усилий. Проблема их безопасного обращения — это вызов, который человечество должно решать совместно, используя знания, инновации и международное сотрудничество. Только так можно минимизировать угрозы и

защитить окружающую среду для будущих поколений. Успех в решении этой проблемы зависит от глобального сотрудничества, внедрения инновационных технологий и осознания обществом важности экологической безопасности. Только так можно обеспечить сохранение природы для будущих поколений.

#### Список литературы

1. Международное агентство по атомной энергии. Управление радиоактивными отходами: рекомендации / МАГАТЭ. – Вена: IAEA, 2018.–142 с.
2. Алексеева И.А., Бондаренко П.А. Основы ядерной безопасности: учебное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 2019. – 256 с.
3. Дьяконов М.П., Черепанов А.П. Радиоактивные отходы: классификация и методы утилизации. – СПб.: Наука, 2020. – 314 с.
4. Shepherd C. Radioactive Waste Management // Journal of Nuclear Materials. – 2018. – Vol. 7, No. 3. – P. 45–56.
5. Ковальчук И.В. Безопасность долгосрочного хранения радиоактивных отходов // Вестник экологической безопасности. – 2021. – № 5. – С. 32–39.
6. International Atomic Energy Agency. Long-term storage and disposal of radioactive waste. – Vienna: IAEA, 2019. – 98 p.
7. Варенников А.П., Левин В.В. Современные технологии переработки радиоактивных отходов. – М.: Техносфера, 2018. – 372 с.
8. Glass B. Vitrification of High-Level Radioactive Waste: Challenges and Advances // Nuclear Engineering and Design. – 2019. – Vol. 242. – P. 12–24.
9. Рябов Д.И., Калашников С.В. Роботизированные системы в управлении радиоактивными отходами. – Екатеринбург: УрФУ, 2022.–198с.
10. Smith J. Biotechnology in Nuclear Waste Management // Science and Environment Journal. – 2021. – Vol. 34, No. 2. – P. 66–73.
11. Зайцев И.В., Смирнов Ю.П. Экологические аспекты управления радиоактивными отходами//Экология и безопасность.–2020.–№ 3.–С. 54–61.
12. UNEP. Radioactive Pollution and its Impact on Ecosystems. – Nairobi: UNEP, 2019. – 64 p.
13. International Atomic Energy Agency. Global Initiatives for Safe Radioactive Waste Disposal. – Vienna: IAEA, 2021. – 112 p.
14. Евросоюз. Программы по разработке экологически безопасных технологий в области ядерной энергетики. – Брюссель: EU Publications Office, 2020. – 128 с.
15. Васильев Н.Р. Геологические хранилища: технологии будущего // Энергетическая политика. – 2021. – № 7. – С. 18–27.
16. Ritchie H. Recycling and Reprocessing of Nuclear Waste // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 56. – P. 89–105.