



ВНИПИ  
ПРОМТЕХНОЛОГИИ  
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «АТОМРЕДМЕТЗОЛОТО»

**Акционерное общество  
«Ведущий проектно-изыскательский и  
научно-исследовательский институт  
промышленной технологии»  
(АО «ВНИПИпромтехнологии»)**

Каширское шоссе, д. 33,  
г. Москва, 115409  
Телефон (495) 544-11-22,  
E-mail: vnipipt@vnipipt.ru  
ОКПО 07626197, ОГРН 5087746493600  
ИНН 7724683379, КПП 772401001

Председателю объединенного  
диссертационного совета 99.1.056.03  
по защите диссертаций на соискание ученой  
степени кандидата наук, на соискание ученой  
степени доктора наук на базе  
АО «ВНИИНМ», ФГУП «РАДОН»,  
ФГБУ ИФХЭ РАН  
Ананьеву Алексею Владиленовичу

№ \_\_\_\_\_  
На № 26-221/210 от 17.01.2024

Отзыв официального оппонента

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Коробейникова Дениса Анатольевича на тему

«Физико-химическое обоснование технологии иммобилизации в цементобетонных матрицах высокотоксичных и радиоактивных отходов, содержащих бериллий и тритий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 – «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

### 1 Актуальность темы диссертации

В настоящее время в России отсутствует собственное производство бериллия с полным технологическим циклом, однако ГК «Росатом» ведет работы по возрождению такого производства у нас в стране. В частности потребности производства бериллия определяются перспективой создания в будущем установок управляемого термоядерного синтеза, что позволит преодолеть мировой дефицит электроэнергии. При этом бериллий, используемый в качестве конструкционного материала в токамаках, и тритий, применяемый в качестве одного из источников электроэнергии в таких установках, являются весьма опасными веществами, оказывающих негативное воздействие на человека.

Вход. № 26/1920  
«17» 01 2024 г.

В связи с этим диссертационная работа Коробейникова Д.А., посвященная физико-химическому обоснованию технологии иммобилизации высокотоксичных и радиоактивных отходов, содержащих бериллий и тритий, является актуальной.

## **2 Общая характеристика содержания диссертации**

Диссертация состоит из списка сокращений, введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 88 наименований, 5 приложений и содержит 147 страниц машинописного текста, 61 рисунок и 23 таблицы.

*Во введении* автором обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и задачи для ее достижения, представлены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

*В первой главе* рассмотрены существующие способы и варианты иммобилизации бериллий- и тритийсодержащих отходов, на основе анализа литературных данных сделан вывод, что цементирование высокотоксичных и радиоактивных отходов является хорошо отработанным и достаточно простым для реализации процессом, дана оценка эффективности применения для иммобилизации рассматриваемых отходов различных добавок. Определено, что наиболее перспективным вариантом для иммобилизации бериллий- и тритийсодержащих отходов является использование цементобетонных составов, модифицированных пластифицирующими добавками из класса поликарбоксилатов.

*Во второй главе* представлено описание используемых для выполнения работы оборудования, материалов, лабораторных установок и методик исследований.

*В третьей главе* приведены результаты лабораторных исследований процесса иммобилизации высокотоксичных и радиоактивных отходов, содержащих бериллий и тритий. Показано, что бетонные смеси, содержащие суперпластификаторы из класса поликарбоксилатов, обеспечивают надежную иммобилизацию бериллия, находящегося как в форме оксида (нерастворимая форма), так и в виде тетрафторобериллата аммония (растворимая форма). Установлено, что предельной удерживающей способностью бетонных матриц по отношению к бериллию является показатель 2,12 г Ве/л. Определены минералы бериллия, которые могут формироваться при иммобилизации в структуре цементобетонных матриц, и установлено, что в цементобетонных образцах, содержащих бериллий и фтор, бериллий, наиболее вероятно, находится в виде лейфита скрытокристаллического строения. Определено, что скорость выхода трития из цементобетонных образцов зависит от количества пор конечных изделий.

*В четвертой главе* представлены предложения по обращению с бериллий- и тритийсодержащими отходами. Приведены основные технологические операции,

необходимые для осуществления процесса иммобилизации, на основании чего были разработаны технологические регламенты ТР 230.004-19 и ТР 230.003-19 и выполнены укрупненные опытно-лабораторные работы по иммобилизации бериллий- и тритийсодержащих отходов. Дана оценка стоимости иммобилизации 1 кг соответствующих отходов.

**В заключении** отражены основные научные и практические результаты диссертации.

Диссертационная работа хорошо структурирована, цель и задачи сформулированы грамотно, решение поставленных задач изложено последовательно и логично.

### **3 Новизна научных положений, выводов и результатов** состоит в следующем:

-получены новые данные по эмиссии различных форм бериллия при его выщелачивании из цементобетонных смесей различного состава;

-определены адгезионные характеристики цементобетонных смесей;

-установлена предельная удерживающая способность бетонных матриц по отношению к бериллию;

-проведено физико-химическое обоснование минеральных форм бериллия в цементобетонных матрицах, рентгенографическим методом показано, что наиболее вероятной минеральной фазой бериллия при иммобилизации ФБА в них является лейфит;

-определены диффузионные характеристики трития в новых цементобетонных составах;

-установлено полное соответствие процессов выщелачивания оксидов дейтерия и трития из цементобетонных матриц.

### **4 Значимость для науки и практики** заключается в следующем:

-разработаны и рекомендованы новые составы для иммобилизации бериллий- и тритийсодержащих отходов в цементных компаундах с использованием модифицирующих добавок;

-проведено физико-химическое обоснование процессов иммобилизации бериллийсодержащих отходов для последующего безопасного захоронения;

-показана возможность использования иммобилизованных бериллиевых отходов в составе бетонных изделий для использования в бериллиевом производстве.

### **5 Степень обоснованности и достоверности результатов, научных положений и выводов**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается использованием современных метрологически аттестованных методов в соответствии с действующими государственными стандартами; протоколами испытаний, утвержденными

приемочной комиссией, и практическим использованием полученных результатов. Все научные положения, выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

**6 Личный вклад автора** заключается в постановке целей и задач, обосновании результатов экспериментов, изложении научных положений и выводов, разработке технологических регламентов для иммобилизации бериллий- и тритийсодержащих отходов и непосредственном проведении лабораторных и укрупненных опытно-лабораторных испытаний по иммобилизации бериллийсодержащих отходов, а также в подготовке публикаций.

#### **7 Полнота опубликования основных результатов диссертационной работы**

Основные положения, выводы и результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в 17 опубликованных работах, в том числе в 9 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Результаты работы докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях.

#### **8 Оформление диссертации**

Работа оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам, обладает внутренним единством. Материал изложен логично, хорошо иллюстрирован рисунками и таблицами.

#### **9 Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

#### **10 Замечание по диссертации**

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания и вопросы:

1 Разработанные и рекомендованные новые составы для иммобилизации бериллий- и тритийсодержащих отходов следовало отдельно и конкретно представить в выводах и заключении работы.

2 В диссертации не дана оценка объема накопленных и вновь образующихся бериллий- и тритийсодержащих отходов, а следовательно, сложно оценить востребованность предлагаемых решений для практической реализации в промышленности.

3 Не представлена характеристика бериллийсодержащих отходов, используемых для настоящих исследований.

4 Непонятно на каком основании в качестве добавок, формирующих цементную матрицу, были выбраны добавки 20Gold SCE, Aer 200S и St4R. Кроме этого, не сформулировано, какими свойствами должны обладать цементы и бетоны для эффективной иммобилизации отходов?

5 На стр. 67 указано, что образцы № 1 и № 4 имеют большее В/Ц-отношение и, следовательно, меньшую прочность, в сравнении с другими образцами. Однако ранее, на рис. 3-2 значение В/Ц-отношения для образцов № 1 и № 2 – одинаковое. В чем тогда причина различия прочностей у образцов № 1 и № 2?

6 Условия для выщелачивания  $D_2O$ , представленные на стр. 102-104, различались для каждого из образцов, в части количества выщелачивающего раствора, массы воды в образце и площади поверхности образца. Образец, обладающий меньшей площадью контакта и взаимодействующий с меньшим количеством раствора (ГЦ), показал, соответственно, и меньшую степень извлечения. Следовательно, оценивать эффективность процесса и делать сравнительные выводы в таких условиях затруднительно.

7 В тексте на стр. 114 указано, что исследовались образцы содержащие и не содержащие бериллий, однако из данных, представленных в табл. 3-18, следует, что все образцы содержат бериллий. В чем отличие между образцами Т-1 и ВеТ-1?

8 Сложно сравнивать влияние пластифицирующей добавки на выход трития (рис. 3-31), т.к. в состав пробы ВеТ-О изначально входило на 52 % больше воды с меткой трития, чем для других проб, и большее количество выщелоченного трития, в этом случае, может объясняться изначально повышенным его содержанием.

9 Оценку стоимости материалов и трудозатрат для иммобилизации отходов следует представить в пересчете на 1 кг (1 г) бериллия и трития, а не 1 кг отходов.

Кроме указанных замечаний следует отметить в тексте диссертации наличие некоторых редакционных ошибок и неточностей.

Высказанные замечания и вопросы не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы.

## **11 Заключение**

Диссертация Коробейникова Д.А. «Физико-химическое обоснование технологии иммобилизации в цементобетонных матрицах высокотоксичных и радиоактивных отходов, содержащих бериллий и тритий» выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые обоснованные решения, способствующие созданию технологии иммобилизации высокотоксичных и радиоактивных отходов.

Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п.п. 9, 10, и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует паспорту научной

специальности 2.6.8 – «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов», а ее автор – Коробейников Денис Анатольевич – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовил:

Начальник лаборатории технологии выщелачивания, кандидат технических наук по специальности 2.8.9 (обогащение полезных ископаемых), Майников Дмитрий Вячеславович.

 Д.В. Майников

Акционерное общество «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», Лаборатория технологии выщелачивания.

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 33;

Телефон: 8 (495) 544-11-22;

e-mail: [vnipipt@vnipipt.ru](mailto:vnipipt@vnipipt.ru)

[www.vnipipt.armz.ru](http://www.vnipipt.armz.ru)

Подпись Майникова Дмитрия Вячеславовича заверяю

Начальник отдела управления персоналом



  
подпись

Е.В. Дорохова