



«УТВЕРЖДАЮ»

Врио проректора по научной работе
Гончарова С.Н.

« 13 » _____ 2026 г

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Алексеевой Людмилы Сергеевны

«Оксиды со структурой граната как матрицы для иммобилизации выделенных фракций ВАО и трансмутации минор-актинидов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук
по специальности: 1.4.1 – неорганическая химия

Диссертация Алексеевой Л.С. посвящена проблеме создания новых наноструктурированных неорганических соединений на основе иттрий-алюминиевого граната, которые могут быть использованы в качестве матриц для иммобилизации редкоземельно-актинидной фракции высокоактивных отходов и инертных топливных матриц для трансмутации минор-актинидов. Подобные разработки, безусловно, актуальны и, помимо прикладного значения, обладают фундаментальной составляющей, которая важна для развития неорганической химии, радиохимии, химического материаловедения и др.

Структура диссертации традиционная. Во Введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна и практическая значимость работы, а также обосновано соответствие тематики диссертации паспорту специальности 1.4.1 – Неорганическая химия. Показано, что личный вклад Алексеевой Л.С. является определяющим.

В Главе 1 приведён обзор и анализ литературных данных по теме диссертационного исследования. Приведена классификация РАО, описаны критерии, предъявляемые к матрицам для иммобилизации ВАО. Рассмотрена проблема обращения с редкоземельно-актинидной фракцией ВАО. Обозначены используемые и исследуемые подходы при обращении с ВАО (в частности, с редкоземельно-актинидной фракцией) – иммобилизация в стекло и минералоподобные матрицы, а также трансмутация минор-актинидов в ядерных реакторах. Отмечены достоинства и недостатки каждого подхода. Рассмотрены особенности кристаллической структуры сложных оксидов структурного типа граната. Собрана и систематизирована информация о кристаллохимической структуре таких соединений, возможных изоморфных замещениях, различных физико-химических свойствах. Приведены примеры использования соединений со структурой граната в качестве матриц для иммобилизации ВАО и других функциональных керамик.

В Главе 2 представлено описание выбранных объектов исследования (наноструктурированных соединений на основе граната), используемых реактивов. Показано, что выбор объектов исследования обусловлен радиохимической направленностью

исследований, а именно проблемой обращения с редкоземельно-актинидной фракцией ВАО, в частности с МА (Am, Cm). Выбор структуры граната обусловлен ее высокой изоморфной емкостью по отношению к РЗЭ, высокой термической и фазовой стабильностью с отсутствием фазовых переходов, высокой гидролитической и радиационной устойчивостью, а выбор металлических и керамических добавок (Ni, Mo, W, SiC, MgO) – их высокой теплопроводностью, высокой температурной плавности и низким сечением захвата нейтронов. Приведено подробное описание условий синтеза индивидуальных соединений ($Y_{2.5}Nd_{0.5}Al_5O_{12}$ (YAG:Nd), $Y_{2.5}Nd_{0.5-x}Sm_xAl_5O_{12}$) методом соосаждения и композитных порошков на их основе химико-металлургическим методом, а также технологии их высокоскоростного электроимпульсного спекания под давлением. Подробно описаны методики исследования микроструктуры, фазового состава и физико-химических свойств полученных соединений и материалов на их основе.

Глава 3 посвящена описанию полученных экспериментальных результатов и их анализу. В п.3.1-3.4 этой главы автор последовательно описывает получение, идентификацию и физико-химические свойства полученных наноструктурированных соединений и керамических материалов на их основе.

В п.3.1 приводятся данные о фазовом составе и параметрах структуры полученных соединений в форме порошков и керамических материалов на их основе ($Y_{2.5}Nd_{0.5}Al_5O_{12}$ (YAG:Nd), $Y_{2.5}Nd_{0.5-x}Sm_xAl_5O_{12}$, YAG:Nd + Ni, YAG:Nd + Mo, YAG:Nd + W, YAG:Nd + MgO, YAG:Nd + SiC), а также результаты измерений физико-механических свойств полученных керамик и композитов – плотности, микротвердости по Виккерсу и коэффициента трещиностойкости (вязкости разрушения). Показано, что синтезированные наноконпозиционные порошки имеют структуру «ядро–оболочка» и представляют собой наноструктурированные частицы граната, на поверхности которых нанесены нанослой металлической фазы. Установлено, что наноструктурное строение порошков позволяет обеспечивать достижение высокой относительной плотности керамик при ЭИПС.

В п.3.2 приводятся результаты изучения теплофизических свойств (температуропроводности, теплоемкости и теплопроводности) выбранных объектов исследования – керамик и композитов на основе соединения YAG:Nd. Показано, что наибольшее влияние на теплофизические свойства оказывает добавка молибдена, причем введение уже 20 об.% Mo позволяет в ~2 раза увеличить коэффициент теплопроводности граната при 1100 °С (до ~7 Вт·м⁻¹·К⁻¹). Установлено, что для наилучшими теплофизическими свойствами обладают композиты YAG:Nd + Met, в микроструктуре которых участки с повышенным содержанием высокотеплопроводящей металлической фазы образуют замкнутую систему. Полученные данные позволяют рассматривать исследуемые композиты в качестве термостойких инертных топливных матриц.

В п.3.3 диссертации приводятся результаты исследований радиационной устойчивости выбранных керамик и композитов (YAG:Nd, YAG:Nd + Mo, YAG:Nd + SiC) при облучении ускоренными ионами аргонами и ксенона в интервале флюенсов от $6 \cdot 10^{11}$ до $1 \cdot 10^{13}$ ионов/см², а также при внутреннем облучении от α -излучателей, содержащихся в выделенной фракции редкоземельных и трансплутониевых элементов. Исследовано влияния типа ионов (Ar, Xe), ионного флюенса и температуры отжига на степень аморфизации фазы граната. Показано, что исследуемые соединения характеризуются как радиационно устойчивые и обладают высоким пороговым значением критического флюенса ($5,2-9 \cdot 10^{12}$ ионов/см² для Xe) при облучении указанными типами ионов, а введение молибдена способствует значительному увеличению критического флюенса. Установлено, что соединение YAG:Nd устойчиво при действии

внутреннего облучения при накопленной за 1 год дозе $2,29 \cdot 10^6$ Гр ($2,53 \cdot 10^{15}$ α -распадов/г матрицы).

В п.3.4 диссертации приводятся результаты изучения химической устойчивости керамики YAG:Nd в различных условиях. Представлены результаты исследований влияния температуры испытания (25-300°C), состава среды (минеральная вода, кислотная и щелочная среды) и облучения на скорость и механизмы выщелачивания при стационарных испытаниях керамики YAG:Nd. Показано, что наибольшие скорости выщелачивания достигаются в кислой среде и обусловлены растворением примесной фазы перовскита, а наименьшие – в щелочной среде. Установлено, что предварительное облучение ионами Хе приводит к значительному росту скоростей выщелачивания катионов (Y в ~760 раз, Nd в ~310 раз). С использованием модели де Гроота-ван дер Слоота определены механизмы выщелачивания Y и Nd из наноструктурированных керамик YAG:Nd.

В п.3.5 автор приводит обобщение полученных результатов.

В конце диссертации представлены выводы, обобщающие результаты исследования.

Список цитируемой литературы содержит 221 ссылку на современные и классические работы по теме диссертации.

В Приложении А к диссертации представлены результаты экспериментальных исследований стойкости к термоударам композиционных керамик YAG:Nd + SiC. Показано, что композиты с добавкой 10, 20 и 30 об.% SiC обладают высокой стойкостью к термоударам, моделируемым путем циклического нагрева и охлаждения образцов на воздухе.

В Приложении Б к диссертации представлен список опубликованных работ.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Стиль изложения в целом четкий и ясный. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Однако в ходе обсуждения диссертации Алексеевой Л.С. возникли следующие **замечания и вопросы**:

1. Результаты исследований порошков методом просвечивающей электронной микроскопии показали, что каждая субмикронная частица граната неправильной формы состоит из наночастиц размером 20-40 нм. Влияет ли такое наноструктурное состояние субмикронных частиц на процессы спекания и свойства керамик?
2. Для описания степени непрерывности межфазных границ в композиционных керамических или металлокерамических материалах используют понятие коэффициента связности, равному отношению площади межфазных границ (Cer/Met) и межзеренных границ (Cer/Cer). В диссертационной работе отсутствует информация об использовании данного параметра для аттестации микроструктуры и свойств получаемых материалов.
3. Автором было показано, что повышение температуры автоклавных испытаний приводит к изменению механизма выщелачивания и, что самое необычное, к изменению механизма разрушения поверхности мелкозернистого иттрий-алюминиевого граната – с равномерного разрушения на межкристаллитную коррозию. В диссертации причины изменения механизма разрушения поверхности никак не комментируются.
4. Процесс электроимпульсного плазменного спекания керамик происходит в графитовых пресс-формах и характеризуется высокими скоростями нагрева. В следствие этого структура и свойства поверхностного слоя керамик могут значительно отличаться от структуры и свойств центральных («внутренних») слоев образцов. Как это обстоятельство учитывалось в работе?

Сделанные замечания в основном носят непринципиальный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации Л.С. Алексеевой, ее научной и практической значимости.

Таким образом, анализ диссертационной работы Алексеевой Людмилы Сергеевны, представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1 – Неорганическая химия показал следующее:

1) Диссертационная работа Алексеевой Л.С., посвященная исследованию наноструктурированных соединений со структурой граната, керамик и композитов на их основе как матриц для иммобилизации редкоземельно-актинидной фракции ВАО и трансмутации минор-актинидов, вносит вклад в развитие неорганической химии и материаловедения, радиохимии, а также смежных отраслей науки. Работа выполнена автором самостоятельно, актуальна, полученные результаты отличаются научной новизной и практической значимостью, достоверностью и обоснованностью.

2) Полученные результаты являются важными для разработки устойчивых кристаллических форм иммобилизации (захоронения и трансмутации) выделенных фракций ВАО (в частности, минор-актинидов) и могут быть реализованы на предприятиях госкорпорации Росатом (ПО «Маяк», ГХК, СХК), а также использованы для дальнейшего развития в научных коллективах радиохимической отрасли (Радиевый институт, НИИАР).

3) Все выводы, сделанные в работе, четко сформулированы и доказаны. Защищаемые положения в диссертации не вызывают сомнений.

4) По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, включая 13 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 15 статей в журналах Web of Science, Scopus и ВАК. Научно-практические результаты работы защищены 3 ноу-хау, охраняющимися ННГУ в режиме коммерческой тайны.

5) Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Основные материалы диссертации, аргументация защищаемых положений и выводы в полной мере отражены в автореферате.

Таким образом, диссертация Алексеевой Л.С. «Оксиды со структурой граната как матрицы для иммобилизации выделенных фракций ВАО и трансмутации минор-актинидов» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, соответствующую всем критериям и требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Алексеева Людмила Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1 – Неорганическая химия.

Диссертационная работа обсуждена, отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Департамента ядерных технологий, протокол № 10 от «12» мая 2026 г.

И.о. директора Департамента

Патрушева Ольга Викторовна

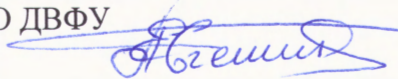
Дата составления отзыва: 12 мая 2026 года.

Отзыв подготовил:

канд. хим. наук, профессор

Департамента ядерных технологий,

заведующий лабораторией ядерных технологий
ИТПМ ФГАОУ ВО ДВФУ



Папынов Евгений Константинович

Даем согласие на обработку персональных данных.

Сведения о ведущей организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»

Адрес: 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

Тел.: 8 (423) 265-24-29;

8 (423) 243-34-72;

Факс: 8 (423) 243 23 15

Адрес в сети Интернет: <https://www.dvfu.ru/>

E-mail: rectorat@dvfu.ru

Подпись Папынов Е. К.
удостоверяю: Начальник отдела
кадрового делопроизводства
ДВФУ
" 12 " Мая 20 26

