

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию **Якупова Романа Павловича** «Синтез волокон никель-цинковых ферритов и влияние их состава на структуру, оптические, магнитные и фотокаталитические свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1. Неорганическая химия.

Актуальность темы

Разработка функциональных оксидных материалов с регулируемыми свойствами относится к актуальным задачам неорганической химии и предполагает установление закономерностей, связывающих химический состав, кристаллическое строение и морфологию с магнитными, оптическими и каталитическими характеристиками. Выявление таких закономерностей создаёт научную основу для направленного синтеза материалов, востребованных в электронике, сенсорных устройствах и технологиях обработки водных сред.

Никель-цинковые ферриты со структурой шпинели представляют удобную модельную систему для изучения этих взаимосвязей, поскольку варьирование соотношения никеля и цинка позволяет изменять распределение катионов между подрешётками и характер магнитных взаимодействий. Дополнительные возможности регулирования свойств связаны с нанокристаллическим строением и состоянием поверхности, что придаёт особую значимость комплексному исследованию концентрационного ряда. В этом отношении научный интерес представляет получение ферритов в форме протяжённых волокон методом электроформования, позволяющим управлять их морфологией на стадии формирования прекурсоров.

Прикладная актуальность исследования Якупова Р.П. определяется поиском фотокаталитических материалов, активных при видимом излучении и пригодных для магнитного извлечения из реакционной среды. Сочетание фотоактивности, магнитного отклика и волокнистой формы открывает перспективы создания удобных в эксплуатации материалов для водоочистки. Объединяя исследование системы $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ с разработкой способа морфологической модификации и прикладной апробацией, диссертация Р. П. Якупова вносит вклад в развитие научных основ получения таких материалов и оценки их функциональных возможностей.

Целью работы являлось установление закономерностей влияния катионного состава на структуру, оптические, магнитные и фотокаталитические свойства волокон никель-цинковых ферритов, полученных методом электроформования.

Общая характеристика работы

Диссертация выполнена в Кубанском государственном университете и включает введение, три главы, заключение, список использованных источников и приложение. Работа изложена на 154 страницах, содержит 57 рисунков и 8 таблиц; список литературы насчитывает 188 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи и положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также представлены сведения об апробации результатов и личном вкладе автора.

В первой главе обобщены сведения о кристаллохимии, способах получения и свойствах никель-цинковых ферритов, рассмотрены основы электроформования, что позволяет обосновать выбор объектов и постановку задач исследования.

Во второй главе описаны получение и термообработка прекурсорных волокон, методы изучения структуры и свойств материалов, а также условия проведения фотокаталитических испытаний.

В третьей главе изложены результаты оптимизации синтеза и исследования концентрационных зависимостей свойств, рассмотрены модификация поверхности волокон $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ и их прикладные испытания. Основные результаты исследования обобщены в заключении.

Научная новизна работы связана с разработкой методики получения волокнистых никель-цинковых ферритов из водных полимерно-солевых растворов и комплексным исследованием их свойств. Автором создана усовершенствованная установка безыгольного электроформования и определены состав формовочного раствора и режим термообработки, обеспечивающий при 600 °С получение нанокристаллической шпинельной фазы с сохранением волокнистой морфологии.

Исследование образцов, полученных по общей технологической схеме, позволило установить концентрационные зависимости параметра кубической ячейки, колебательных спектров, оптических и магнитных характеристик и выделить область составов $x = 0,4-0,6$ с благоприятным сочетанием намагниченности и фотокаталитической активности. Научная ценность этих результатов определяется возможностью сопоставления взаимосвязанных свойств в пределах одной концентрационной серии.

Самостоятельный интерес представляет модификация волокон $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ посредством введения стирол-акриловой дисперсии в формовочный раствор, сопровождающаяся образованием поверхностных пор и повышением фотоактивности. При дозировке 1 мг/мл степень обесцвечивания метиленового синего за 210 минут составляет 45

% для модифицированных волокон и 39 % для исходных, что демонстрирует возможность регулирования функциональных характеристик материала через управление его морфологией.

Теоретическая значимость исследования заключается в расширении представлений о взаимосвязи состава, нанокристаллического строения и свойств волокнистых ферритов, а практическая – в разработке технологии получения магниточувствительных материалов для обработки водных сред. Испытания с метиленовым синим и гуминовыми веществами дополнены апробацией в проточной системе и в условиях аквакультуры; использование результатов в инновационно-технологическом центре аквакультуры Кубанского государственного аграрного университета подтверждено соответствующим актом.

К достоинствам диссертации относится последовательное сочетание разработки технологии, исследования концентрационной серии, модификации поверхности и прикладной апробации. **Достоверность основных результатов** обеспечивается применением взаимодополняющих методов – рентгеновской дифракции, электронной микроскопии, термического анализа, ИК- и КР-спектроскопии, спектроскопии диффузного отражения и вибрационной магнитометрии. Совокупность представленных данных свидетельствует о значительном объеме экспериментальной работы и комплексном подходе к изучению материалов.

Личный вклад соискателя включает анализ литературы, синтез образцов, проведение исследований и обработку экспериментальных данных. По теме диссертации представлены 15 научных трудов и объектов интеллектуальной собственности, в том числе 4 статьи, 8 тезисов докладов, патент на изобретение и свидетельства о регистрации базы данных и программы для ЭВМ; результаты апробированы на международных и всероссийских научных конференциях.

Диссертация отличается последовательной структурой, содержательным обсуждением результатов и выраженной прикладной направленностью. Ознакомление с работой позволяет сформулировать следующие дискуссионные вопросы и замечания:

1. Объяснение концентрационных максимумов магнитных и фотокаталитических характеристик через перераспределение катионов требует обсуждения относительного вклада различных структурных факторов, однако структурные характеристики полученных материалов представлены недостаточно.

2. Использование энергии Урбаха для объяснения фотоактивности ставит вопрос о физической природе связи между концентрационными зависимостями этих характеристик. Как соотносятся максимум энергии Урбаха при $x = 0,2$, приведённый в таблице 3.4, и максимум активности в области $x = 0,4-0,6$? Отсутствие в диссертации описания методики расчёта энергии Урбаха также ограничивает полноту обсуждения данного параметра.

3. Предложенное объяснение фотокаталитического механизма через положение краёв зон, образование радикалов и рекомбинацию носителей требует более развёрнутой аргументации, раскрывающей связь этих процессов со свойствами изученных материалов.

4. При обсуждении наблюдаемой активности недостаточно подробно рассмотрен возможный вклад фотосенсибилизации метиленовым синим, связанный с поглощением света красителем и его взаимодействием с поверхностью феррита. В связи с этим возникает вопрос о том, в какой мере выявленный концентрационный оптимум сохраняется при использовании других органических веществ.

5. Объяснение повышения фотоактивности модифицированных волокон формированием пористой поверхности требует оценки вклада сопутствующих изменений структурных и оптических характеристик. Количественная оценка влияния пористости и обоснование синергетического эффекта раскрыты в работе недостаточно подробно.

6. Оценка глубины химического превращения метиленового синего и гуминовых веществ основана преимущественно на изменении оптических спектров; ограниченный объём сведений о промежуточных продуктах и степени минерализации оставляет открытым вопрос о продуктах разложения органических веществ после фотокаталитической обработки.

7. Вывод о многократном использовании магнитоуправляемых волокон нуждается в более полном обсуждении эксплуатационной устойчивости, включая изменение активности при повторных циклах, сохранность волокнистой структуры и возможное выщелачивание металлов.

8. Сравнительная технологическая эффективность разработанных волокон раскрыта в работе кратко, что затрудняет оценку их практических преимуществ по отношению к порошковым ферритам и другим магнитоуправляемым фотокатализаторам.

9. К недостаткам оформления относятся повторение фрагментов на с. 77, различия между обобщающими числовыми диапазонами и отдельные неточности библиографических записей [174] и [186].

Общая оценка диссертации положительная, работа выполнена на высоком экспериментальном уровне, содержит новые результаты и обладает научной и практической значимостью. Сформулированные дискуссионные вопросы отражают интерес к полученным результатам и перспективам дальнейших исследований; замечания направлены на повышение полноты интерпретации и представления отдельных аспектов работы.

Диссертация Якупова Романа Павловича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена задача установления закономерностей влияния состава и морфологии на структуру и функциональные свойства волокнистых никель-цинковых ферритов. По своему содержанию она соответствует специальности 1.4.1. Неорганическая химия и направлениям исследования, связанным с получением неорганических материалов и изучением взаимосвязи их состава, строения и свойств.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, объёму выполненных исследований и обоснованности основных результатов диссертационная работа «Синтез волокон никель-цинковых ферритов и влияние их состава на структуру, оптические, магнитные и фотокаталитические свойства» соответствует требованиям пунктов 9–11, 13 и 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции). Её автор, Якупов Роман Павлович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1. Неорганическая химия.

Официальный оппонент:

кандидат химических наук,

(научная специальность 1.4.1 Неорганическая химия),

доцент кафедры неорганической химии

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

тел.: +7(928)618-60-50, e-mail: chebyshev.konst@mail.ru

Сайт: <https://ncfu.ru/>

ЧЕБЫШЕВ Константин Александрович

08 октября 2026 г.

Я, Чебышев Константин Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

К.А. Чебышев

Подпись сотрудника Химического факультета СКФУ

Чебышева К.А. удостоверяю:

«08.10.2026 г.

