ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.226.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 01.10.2026 г. № 38

О присуждении Сафаряну Сергею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка фотокатализаторов на основе диоксида титана, эффективных в процессе деструкции органических соединений и микрофлоры при облучении видимым светом» по специальности 2.6.7. «Технология неорганических веществ» принята к защите 18 июня 2026 года (протокол заседания № 36) диссертационным советом 24.1.226.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» Минобрнауки РФ (184209, г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, 14), утвержденным приказом Минобрнауки Российской Федерации № 548/нк от 01 июля 2019 года.

Соискатель Сафарян Сергей Александрович, 20 февраля 1998 года рождения, в 2021 году завершил обучение в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (по очной форме) по направлению подготовки 04.04.01 «Химия», направленность (профиль) «Неорганическая химия». В период с 15 сентября 2021 года по 14 сентября 2025 года Сафарян С.А. обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (по очной форме) по направлению подготовки 18.06.01 «Химическая технология», направленность (профиль) 2.6.7. «Технология неорганических веществ». Диплом об окончании аспирантуры по направлению подготовки 18.06.01 «Химическая технология», направленность (профиль) 2.6.7. «Технология неорганических веществ» № 105124 2122485 (регистрационный

номер 11-186а/25) выдан 20.06.2025 г. С 2026 года соискатель работает в должности младшего научного сотрудника Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН), Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена в лаборатории химии и технологии сырья тугоплавких редких элементов Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН), Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – кандидат технических наук **Беликов Максим Леонидович**, старший научный сотрудник ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты.

Официальные оппоненты:

Пийр Ирина Вадимовна, доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории керамического материаловедения Института химии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), г. Сыктывкар;

Морозов Александр Николаевич, кандидат химических наук, доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева), г. Москва,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» (ИГХТУ), г. Иваново, в своем положительном отзыве, подписанном Овчинниковым Николаем Львовичем, кандидатом химических наук, доцентом кафедры технологии керамики и электрохимических производств ИГХТУ,

утвержденном доктором химических наук, доцентом, проректором по науке и инновациям ИГХТУ Гущиным Андреем Андреевичем, указала, что рассматриваемая диссертация посвящена созданию фотокаталитических композиционных материалов на основе диоксида титана, легированного ионами переходных металлов (W, Mo, Mn, V), которые предназначены для очистки воды от органических загрязнителей и микрофлоры под действием излучения видимой области спектра. Среди прочего, установлено существенное сужение ширины запрещенной зоны с 3,2 эВ у немодифицированного диоксида титана (фаза чистого анатаза) до 2,4 эВ у модифицированного допантами TiO_2, благодаря чему образцы приобретают фотокаталитическую активность в видимой области. Полученные в работе результаты, разработанные материалы и методики синтеза могут быть использованы при получении новых фотокатализаторов с повышенной фотоактивностью, оптимизированных для деструкции органических поллютантов под действием света видимого спектра. Результаты исследования имеют практическое значение для организаций, планирующих и осуществляющих очистку/доочистку хозяйственно-бытовых сточных вод от микробиологического загрязнения и органических веществ. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование синтезированных материалов для фотокаталитической очистки воды от химических загрязнителей и микроорганизмов, включая патогенные формы.

По мнению ведущей организации, актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Сафаряна Сергея Александровича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача по разработке фотокатализаторов на основе диоксида титана, эффективных в процессе деструкции органических соединений и микрофлоры при облучении видимым светом. Представленная диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 «Технология неорганических веществ».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации выполнен в соответствии с п. 22, 24 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в ред. от 25.01.2024 г. № 62) и обоснован их широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, 4 из которых в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также рекомендованных ВАК для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций (общий объем статей – 4,85 условных печатных листов). По результатам исследований подана заявка на изобретение № 2026108989 РФ от 30.03.2026 г и получено положительное решение.

Опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертационного исследования, в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые работы автора по теме диссертации: **1.** Беликов М.Л., **Сафарян С.А.** Адсорбционные и фотокаталитические свойства диоксида титана, модифицированного молибденом // Неорганические материалы. – 2022. – Т. 58, № 7. – С. 742-749. ВАК: К1, RSCI. [Belikov M.L., Safaryan S.A. Adsorptive and photocatalytic properties of molybdenum-modified titanium dioxide // Inorganic Materials. – 2022. – V. 58. № 7. – P. 715-722. Scopus: Q4, WoS: Q4]; **2.** Беликов М.Л., Фокина Н.В., Редькина В.В., **Сафарян С.А.** Фотокаталитическая инактивация бактерий в присутствии диоксида титана, модифицированного вольфрамом при облучении видимым светом // Кинетика и катализ. – 2022. – Т. 63, № 4. – С. 433-445. ВАК: К1, RSCI. [Belikov M.L., Fokina N.V., Redkina V.V., Safaryan S.A. Photocatalytic inactivation of bacteria in the presence of tungsten-modified titania under visible light irradiation // Kinetics and Catalysis. – 2022. – V. 63, № 4. – P. 364-376. Scopus: Q3, WoS: Q4]; **3.** Беликов М.Л., **Сафарян С.А.**, Корнейкова П.А. Синтез оксидных композитов титана и марганца, исследование их физико-химических и фотокаталитических свойств // Неорганические материалы. – 2023. – Т. 59, № 2. – С. 150-161. ВАК: К1, RSCI. [Belikov M.L., Safaryan S.A., Korneikova P.A. Synthesis of titanium oxide/manganese oxide composites and their physicochemical

and photocatalytic properties // Inorganic Materials. – 2023. – V. 59, № 2. – P. 145-156. Scopus: Q4, WoS: Q4]; **4.** Беликов М.Л., **Сафарян С.А.** Синтез и фотокаталитические свойства диоксида титана, модифицированного ванадием // Неорганические материалы. – 2025. – Т. 61, № 7-8. – С. 411-423. ВАК: К1, RSCI.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы имеют положительную оценку, содержат замечания и вопросы:

1. Рempель Андрей Андреевич, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории высокоэнтропийных сплавов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии имени академика Н.А. Ватолина Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН), г. Екатеринбург; Дорошева Ирина Борисовна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории высокоэнтропийных сплавов ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург: *1. При описании четвертой главы указано, что исследования ФКА выполнены при облучении видимым светом, однако не указаны спектральные характеристики используемого источника излучения. Уточните, пожалуйста, каким источником света (тип лампы) и при какой длине волны происходило облучение? Проводился ли анализ корреляции между ФКА при облучении и спектрами диффузного отражения исследуемых образцов?*

2. Федосеева Валентина Ивановна, доктор химических наук, старший научный сотрудник, профессор химического отделения Института естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск: *1. Понятно, что электронное строение молекул ферроина, метиленовой сини и анилина различно. При участии какого из полученных фотокатализаторов различие в эффективности разложения этих веществ проявляется наиболее ярко и почему?*

3. Мязин Владимир Александрович, кандидат биологических наук, доцент департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва: *1. Для облучения видимым светом применялся лабораторный источник. Не уточнена его спектральная*

характеристика (диапазон длин волн и интенсивность). Имеются ли эти данные в полной версии работы? 2. В результатах лабораторных опытов по исследованию фотокаталитической инактивации бактерий указаны различные концентрации ФК (от 2 до 10 мг/мл) и различная интенсивность света (от 2800 до 50000 лк) при работе с грамотрицательными и грамположительными бактериями. Сравнивали ли эффективность тестируемых ФК при одинаковых условиях (освещения и концентрации в среде)? И, если да, то какие ФК показали большую эффективность? 3. В автореферате не указано, сколько параллельных опытов проводилось для каждого образца и какая статистическая погрешность получена для значений фотокаталитической активности. Приводились ли такие данные в диссертации? 4. Поясните, для чего использовалось предварительное диспергирование ФК в лабораторных исследованиях фотокаталитической инактивации бактерий.

4. Силкин Павел Павлович, доктор биологических наук, ведущий инженер-исследователь Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата (направление «Геоэкология») научно-технологического университета «Сириус», федеральная территория «Сириус»: *1. Из автореферата не совсем ясно, проводилась ли оценка стабильности работы фотокатализаторов в цикле? 2. Проводились ли исследования фотокаталитической активности порошков, прокаленных при более высоких (> 800 °C) температурах? 3. Вы употребляете термин «микрофлора», что не корректно в данном исследовании. Данный термин используется в основном применительно к совокупности микроорганизмов, населяющих более сложные живые организмы. В вашем исследовании вы рассматривали виды бактерий, встречающиеся в различных природных средах. 4. В автореферате не представлены результаты лабораторных исследований по фотокаталитической инактивации микробиома в процессе доочистки хозяйственно-бытовых стоков в МУП «Энергия». Если предполагается использовать данные фотокатализаторы в тонкодисперсной форме для очистки питьевой воды, были ли в диссертации рассмотрены вопросы о их токсической безопасности для людей.*

5. Мудрук Наталья Владимировна, кандидат технических наук, заведующий научно-организационным отделом, ученый секретарь Акционерного общества «Группа Компаний «Русредмет», г. Санкт-Петербург: *1. С чем связан выбор*

различных групп бактерий для изучения фотокаталитической инактивации микрофлоры? 2. Для сравнения фотокаталитических свойств синтезированных материалов используется зарубежный аналог P25. С чем связан выбор именно его?

6. Нараев Вячеслав Николаевич, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии неорганических веществ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный Технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург: *1. В автореферате мало внимания уделено мотивации выбора конкретных модификаторов диоксида титана, почему автор использовал именно W, Mo, V и Mn из целого ряда возможных «иновалентных» металлов. 2. Формулировку п.1 «Научной новизны работы» с учётом поставленных автором задач, по-видимому, следовало бы сформулировать несколько иначе, например, следующим образом: «1. Разработаны физико-химические основы синтеза и получены высокоактивные образцы фотокатализаторов на основе диоксида титана, модифицированного в широком диапазоне концентаций (0-30 мас. %) катионами иновалентных металлов (W, Mo, Mn, V), позволяющие осуществлять фотокаталитическую деструкцию органических соединений и микрофлоры в воде и воздухе при облучении светом видимого спектра». 3. В той части автореферата, где речь идёт о методике эксперимента, автор тщательно перечислил состав приборной базы, но не уделил должного внимания оценке погрешности измерений. Известно, например, что погрешность в определении ширины запрещённой зоны (E_g) зависит от множества факторов – от метода измерения до особенностей самого материала. Так погрешность метода касательной при экстраполяции может составлять порядка ±0,01 эВ, точность метода Тауца или Кубелки-Мунка обычно хуже и оценивается на уровне ±0,05-0,1 эВ. На результат измерений может также влиять качество образца: наличие примесей, размер частиц, степень кристалличности. Существенно сдвигать значение E_g могут также и условия синтеза. Возможно, эта информация приведена в тексте диссертации.*

7. Поляков Евгений Валентинович, доктор химических наук, заведующий лабораторией Физико-химических методов анализа, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург: *1. Контакт модифицированных оксидов титана с кислородными анионами Mo(VI), W(VI) и V(V) может приводить к химическому растворению допированных оксидов и выходу анионов-допантов в раствор субстрата, причём растворение зависит от pH раствора. Наблюдалась ли в ваших экспериментах зависимость фотокаталитической активности Е образцов TiO_2, модифицированных W, Mo, Mn или V, от pH раствора?*

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **приведены** данные по синтезу фотокатализаторов (ФК) на основе диоксида титана, модифицированного гетеровалентными катионами металлов (W, Mo, Mn, V), содержание которых впервые увеличено до 30 мас. %. Такие материалы позволяют осуществлять фотокаталитическую деструкцию органических соединений и микрофлоры в воде и воздухе при облучении светом видимого спектра. **Показано** существенное снижение энергии запрещённой зоны (E_g) в диапазоне от 3,2 до 2,4 эВ у полученных фотокатализаторов по сравнению с немодифицированным диоксидом титана анатазной модификации, что приводит к их фотоактивности в видимой области спектра. **Изучена** фотокаталитическая активность (ФКА) синтезированных ФК при деструкции органических веществ и различных групп бактерий (родов *Pseudomonas*, *Micrococcus* и *Bacillus*) при облучении светом видимого спектра. **Установлено** существенное влияние степени освещённости, времени, концентрации и дисперсности ФК на эффективность фотокаталитической инактивации бактерий. **Исследовано** фазообразование при термолизе продуктов синтеза. **Выявлено**, что в результате термообработки порошков в температурном интервале 500–600 °C в течение 60 минут **получены** фотоактивные композиты, проявляющие высокую ФКА в видимой области спектра, поскольку в данном температурном интервале происходит кристаллизация преимущественно анатаза. **Определено** оптимальное содержание различных модифицирующих добавок в диоксиде титана, обеспечивающее наилучшие фотокаталитические свойства ФК.

Разработаны оптимальные составы фотокатализаторов на основе TiO_2 и катионов переходных металлов, позволяющие эффективно осуществлять очистку воды и воздуха как от органических соединений, так и от различной микрофлоры при облучении видимым светом. Получено положительное

решение по заявке на изобретение по способу фотокаталитического обеззараживания воды с использованием синтезированных ФК на основе TiO_2, модифицированного ванадием.

Теоретическая значимость исследования заключается в следующем: **показано** снижение E_g полупроводников с 3,2 до 2,4 эВ, что объясняет появление фотоактивности в видимой области спектра; **выявлены** факторы, влияющие на ФКА; **доказано** влияние степени освещённости, времени облучения, концентрации и дисперсности фотокатализатора на эффективность инактивации бактерий. Всё это формирует основу для прогнозирования свойств новых материалов в данной системе. Синтезированы и охарактеризованы новые композиты на основе TiO_2 и W, Mo, Mn, V, что **вносит** весомый вклад в расширение фундаментальных представлений о фазообразовании и адсорбционных свойствах таких систем.

В рамках проблематики диссертации получены обладающие новизной результаты, доказывающие влияние различных добавок, модифицирующих диоксида титана, на скорость и полноту фотокаталитической деструкции органических веществ и различных групп бактерий при облучении светом видимого спектра. **Установлено**, что добавки W и V оказывают наибольшее влияние на увеличение ФКА TiO_2 в видимой области спектра в процессах деструкции различных объектов.

Изучено влияние термической обработки прекурсоров в интервале 400–800 °C на фазообразование и физико-химические и фотокаталитические свойства продуктов синтеза. **Разработаны** материалы, позволяющие осуществлять деструкцию органических соединений и микрофлоры в воде и воздухе без использования УФ-облучения, что критически важно для энергосберегающих технологий.

Экспериментальные результаты, полученные методами рентгенофазового и термогравиметрического анализов, рентгеноструктурного микроанализа, оптической спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, химического анализа, измерения параметров удельной поверхности фотокаталитических материалов на основе TiO_2, **интерпретированы** на высоком научном уровне.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики определяется **разработкой** фотокаталитических материалов на основе диоксида титана высокоэффективных в видимой области спектра для

различных применений. **Показана** возможность получения фотокатализаторов на основе TiO_2 из продуктов переработки различного титансодержащего сырья. **Определены** оптимальные составы ФК на основе TiO_2 и W, Mo, Mn или V, позволяющие осуществлять фотокаталитическую очистку различных сред как от органических соединений, так и различной, в том числе патогенной, микрофлоры с использованием солнечного излучения.

Оценка достоверности результатов исследования обеспечена: многократным дублированием экспериментов и их воспроизводимостью; статистической обработкой результатов измерений; корректным применением современных методик и методов исследования; согласованием результатов, полученных независимыми методами; актом лабораторных испытаний фотокаталитических материалов в процессе фотокаталитической доочистки хозяйственно-бытовых стоков в МУП «Энергия»; публикациями в ведущих отечественных журналах.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии при выполнении большинства экспериментальных этапов работы. Автор принимал участие в постановке задач исследования и экспериментов, в обосновании методических подходов и их корректировке, в планировании экспериментов, в получении и анализе экспериментальных данных и их графическом отображении, в подготовке публикаций по теме диссертации. Результаты, приведённые в данной диссертационной работе, неоднократно докладывались соискателем на конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Не изучено влияние рентгеноаморфной фазы на фотокаталитические свойства полученных фотокатализаторов.
2. Не уделено должного внимания адсорбции как промежуточной стадии процесса.

Соискатель Сафарян Сергей Александрович согласился с частью замечаний, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Сафаряна Сергея Александровича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным пп. 9-14 раздела II «Положения о присуждении ученых степеней»,

утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции от 25 января 2024 г. № 62. На заседании 1 октября 2026 года, проходившем в удаленном интерактивном режиме, диссертационный совет принял решение – за новые научно обоснованные технические, технологические разработки и решение научных и практических задач, связанных с разработкой фотокатализаторов, эффективных в области видимого света, для решения экологической проблемы обеззараживания сточных вод, присудить Сафаряну Сергею Александровичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.6.7 «Технология неорганических веществ».

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.7 «Технология неорганических веществ», принимавших участие в голосовании, из 18 человек, входящих в состав, проголосовали: за присуждение ученой степени – 15 человек (пятнадцать), против – 0 (ноль).

Председатель диссертационного
совета 24.1.226.01, д.т.н., чл.-кор. РАН А.И. Николаев

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.226.01, к.т.н. Т.Ю. Прохорова

1 октября 2026 г.