ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.141.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ ИМЕНИ А.Н. ФРУМКИНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 22 октября 2026 года №17

О присуждении **ЕФИМОВА ИНЕССА АНДРЕЕВНА** (РФ) ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Порфиринаты фосфора (V) для медицинских применений» по специальностям 1.4.4. - Физическая химия и 1.4.1. – Неорганическая химия принята к защите 30 июня 2026 г. (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.1.141.03, созданным на базе ФГБУН Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН: адрес: 119071 г. Москва, Ленинский пр., д.31, корп. 4; приказ о создании совета №147 нк от 15.02.2022 г.).

Соискатель Ефимова Инесса Андреевна, 1999 года рождения,

В 2023 году окончила с отличием магистратуру Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева (факультет естественных наук) по направлению подготовки 04.03.01 с присуждением квалификации «химия».

С 28.03.2024 по 27.09.2024 гг. Ефимова И. А. была прикреплена к отделу аспирантуры для сдачи кандидатских экзаменов (приказ № 1163 л/с от 21.03.2024 г). Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 6 от 18.05.2026.

С 01.03.2020 по н/вр младший научный сотрудник лаборатории новых физико-химических проблем ФГБУН Института физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории новых физико-химических проблем ФГБУН Института физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН.

Научные руководители – академик РАН, доктор химических наук (1.4.1.), главный научный сотрудник лаборатории новых физико-химических проблем ИФХЭ РАН **Юлия Германовна Горбунова**; кандидат химических наук (1.4.4.; 1.4.1.) старший научный сотрудник лаборатории новых физико-химических проблем **Сафонова Евгения Александровна**.

Официальные оппоненты:

1) доктор химических наук (1.4.4.; 1.4.3), профессор, заведующий кафедрой органической химии Ивановского государственного химико-технологического университета (Иваново) **Стужин Павел Анатольевич**,

2) кандидат химических наук (1.4.3), доцент кафедры органической химии химического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского (Нижний Новгород) **Отвагин Василий Федорович дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация РТУ МИРЭА, Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова в своем положительном отзыве, утвержденном первым проректором, доктором химических наук, профессором **ПРОКОПОВ НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ,** составленным кандидатом химических наук, доцентом кафедры химии и технологии биологически активных соединений, медицинской и органической химии имени Н. А. Преображенского Ждановой К. А., указала, что диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена научно-практическая задача – разработаны подходы к получению водорастворимых порфиринатов фосфора(V), выявлены зависимости их фотофизических, фотохимических и цитотоксических свойств от особенностей строения и свойств среды с целью реализации их наномолярной фотоцитотоксичности в отношении клеток аденокарциномы легкого и аденокарциномы молочной железы; дефосфорилировании комплексов фосфора (V) с аксиальными −OH группами, повышающей водорастворимость для их доставки в клетки свободных оснований; управления оптическими и флуоресцентными свойствами комплексов путем варьирования pH среды.

Публикации. 3 статьи в высокорейтинговых научных журналах, рецензируемых в Web of Science и Scopus (23 стр), и 8 тезисов докладов (11 стр.) на международных и российских конференциях.

Наиболее значимые результаты представлены в следующих публикациях с указанием авторского вклада соискателя в %:

1. **I.A. Efimova**, E.A. Safonova, M.A. Polovkova, A.G. Martynov, G.A. Kirakosyan, A.Yu. Tsivadze, Yul.G. Gorbunova. pH-Dependent molecular switch based on P(V) porphyrin // *Mendeleev Communications*, 2024, Vol. 34, I. 2, P. 167-169. (IF 1.8, Q-3 WOS, БС-2) (70%)
2. **I.A. Efimova**, E.A. Safonova, M.A. Polovkova, E.V. Gorshkov, T.V. Egorova, R.A. Akasov, A.Yu. Tsivadze, Yu.G. Gorbunova. Game of ligands: tuning the photodynamic activity of P(V) porphyrins in aqueous media // *Dalton Transactions*, 2025, Vol. 54, I.24, P.9553–9564. (IF 3.3, Q-1 WOS, БС-1) (70%)
3. **I.A. Efimova**, E.A. Safonova, M.A. Polovkova, A. Yu. Tsivadze, Yu.G. Gorbunova, Watersoluble pH probes based on P(V) porphyrins // *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 2025, Vol. 29, I. 10n11, P. 1085-1092 (IF 0.9, Q-3 WOS, БС-2) (70%)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются специалистами и имеют труды по теме диссертации см. ***https://www.phyche.ac.ru/all-news/zashchity-dissertatsij/item/1795-i-a-efimova***

Задавали вопросы и участвовали в дискуссии: доктора хим. наук Калинина М. А., Сафонов В.А., Дементьева О. В., Григорьев М. С., акад. Цивадзе А. Ю.

На диссертацию и автореферат поступили 6 положительных отзывов: (1) ИХР им. Крестова Г. А. РАН: д.х.н., проф., г.н.с., **Березин М. Б**.(вопросы о растворимости порфиринатов и ее зависимости от электродонорных свойств мезо-замещения и строения аксиальных лигандов); (2) д.х.н., проф., зав.лаб. **Ломова Т. Н**. (нет учета катионного состояния комплексов); (3) ИвХТУ: д.х.н., проф., зав. каф. **Данилова Е. А.** и д.х.н., проф. **Исляйкин М. К.** (вопросы о растворимости и методах квантовой химии); (4) Белорусский НТУ: д.ф.м.н., проф. каф. **Зенькевич Э. И.**(замечание о термине «спектры эмиссии»; о погрешности измерений квантовых выходов флуоресценции и генерации синглетного кислорода; о стандарте при определении и расчете квантовых выходов флуоресценции); (5) МГУ им. М. В. Ломоносова: к.х.н., в.н.с. **Дубинина Т. В.**; д.х.н., зав. каф. **Милаева Е. Р**.(без замечаний); (6) ИНЭОС РАН: д.х.н., проф., в.н.с. **Шубина Е. С**.(вопросы: проверялась ли цитотоксичность на здоровых клетках, меняются ли квантовые выходы синглетного кислорода в водных растворах).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССОВЕТА ПО ДИССЕРТАЦИИ ЕФИМОВОЙ И.А. «ПОРФИРИНАТЫ ФОСФОРА (V) ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.4. Физическая химия и 1.4.1. Неорганическая химия (химические науки)

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны и оптимизированы подходы к синтезу комплексных соединений фосфора(V) с порфиринами, содержащими *мезо*-заместители различной электронной природы, а также различные аксиальные лиганды. **Установлены** закономерности изменения оптических, фотофизических и фотохимических свойств полученных соединений в зависимости от электронной природы *мезо*-заместителей, а также от природы аксиальных лигандов. Для комплексов с *мезо*-пиридильными, а также с аксиальными *п*-аминофенольными или гидроксильными группами **показана** возможность управления их оптическими и флуоресцентными свойствами путем варьирования pH среды

Продемонстрирована способность комплексов с аксиальными –OH группами к процессу дефосфорилирования в присутствии белков (эмбриональной бычьей сыворотки и клеточных белков). **Установлена** роль аксиальных лигандов в данном процессе.

Показано, что полученные катионные порфиринаты фосфора(V) с аксиальными −OEt группами проявляют высокую фотодинамическую активность против клеток аденокарциномы молочной железы человека MCF-7 и аденокарциномы легкого человека A-549 в наномолярных концентрациях при облучении не только синим, но и красным светом. **Обнаружено**, что гипоксические условия усиливают токсичность порфиринатов P(V) по отношению к клеткам MCF-7 и A-549 в темноте. **Установлены** несколько механизмов клеточной гибели, которые одновременно индуцируются при введении порфиринатов P(V).

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в ходе ее выполнения **оптимизированы** подходы к получению комплексов порфиринов с фосфором(V), содержащих *мезо*-заместители различной электронной природы, а также **выявлены** закономерности изменения физико-химических и биологических свойств порфиринатов фосфора(V) в зависимости от их структуры, которые могут быть использованы для направленного синтеза производных порфиринов с заданными свойствами.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы комплексы методов синтеза органических и координационных соединений, а также методов физико-химического анализа, включающих электронную спектроскопию поглощения, флуоресцентную спектроскопию, а также комплекс методов клеточной биологии, что в совокупности позволило получить достоверную и обладающую научной новизной информацию о структуре и свойствах полученных катионных порфиринатах P(V).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что оптимизированные подходы к получению порфиринатов фосфора(V) позволяют повысить эффективность синтеза и снизить затраты реагентов в процессе их синтеза и выделения. Наномолярная фотоцитотоксичность порфиринатов фосфора(V) с аксиальными −OEt группами в отношении клеток аденокарциномы легкого и аденокарциномы молочной железы позволяет разработать на основе данных комплексов новые эффективные фотосенсибилизаторы для противораковой фотодинамической терапии (ФДТ). Изученная в данной работе способность к дефосфорилированию комплексов фосфора(V) с аксиальными −OH группами в присутствии белков может быть использована как метод доставки в клетки свободных оснований различных порфиринов, который позволяет преодолевать низкую водорастворимость исходных макроциклов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные результаты получены с использованием современных физико-химических методов измерения на основе сертифицированного оборудования и

измерительных приборов; **идея работы** построена на проверяемых данных и согласуется с опубликованными в литературе экспериментальными данными по теме диссертации; **использованы** сравнения результатов диссертационной работы и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** соответствие результатов диссертационной работы с результатами, представленными в научной отечественной и зарубежной литературе по данной тематике; **использованы** современные методики сбора и обработки данных.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научной литературы по теме диссертации и проведении основного объёма экспериментальных исследований, участии в обработке, обобщении и обсуждении их результатов и подготовке публикаций.

По материалам диссертации опубликовано 3 статьи в рецензируемых журналах, индексируемых WoS, Scopus и РИНЦ и входящих в перечень ВАК для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук, и 8 тезисов докладов.

Диссертационная работа Ефимовой И.А. соответствует п. п. 9 – 14 «Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней» и критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.4. Физическая химия и 1.4.1. Неорганическая химия, так как в ней решены актуальные задачи разработки подходов к синтезу водорастворимых порфиринатов фосфора(V), выявлены взаимосвязи между структурой и их фотофизическими и биологическими свойствами, в том числе показано усиление токсического эффекта комплексов по отношению к клеткам аденокарциномы молочной железы человека MCF-7 и аденокарциномы легкого человека A-549 в гипоксических условиях, а также установлены механизмы цитотоксического действия порфиринатов фосфора(V) на опухолевые клетки MCF-7 и A-549.

На заседании 22 октября 2026 года диссертационный совет принял **решение присудить Ефимовой Инессе Андреевне** ученую степень **кандидата химических наук** по специальностям 1.4.4 – «Физическая химия» и 1.4.1 – «Неорганическая химия». При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 12 членов по специальности «Физическая химия» и 6 членов – по специальности «Неорганическая химия», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 22, против - нет, недействительных - нет.

Председатель диссертационного совета, академик РАН — А. Ю. Цивадзе

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат химических наук — Т. Р. Асламазова

Дата оформления 22 октября 2026 года