Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт физической химии и электрохимии

им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

(ИФХЭ РАН)

ДИССОВЕТ ПО ЗАЩИТЕ ДОКТОРСКИХ И КАНДИДАСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ 24.1.141.03 ПРИ ИНСТИТУТЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ
ИМЕНИ А.Н. ФРУМКИНА РАН

«УТВЕРЖДАЮ»
директор Института, член-корреспондент РАН, доктор химических наук

А.К. Буряк

Протокол заседания диссертационного совета 24.1.141.03 при ИФХЭ РАН
№9 от 03 сентября 2026 года

Присутствовали:

Председатель заседания, заместитель председателя диссовета, доктор физико-математических наук А. А. Фомкин (1.4.4)

Председатель диссовета, академик РАН, доктор химических наук (1.4.1.) А. Ю. Цивадзе

Ученый секретарь, к.х.н. (1.4.4) Т. Р. Асламазова

Доктор химических наук (2.6.9.) Н.Н. Андреев

Доктор химических наук (1.4.4) В.В. Арсланов

Доктор химических наук (1.4.4), член-корреспондент РАН А.К. Буряк

Доктор химических наук (1.4.1), член-корреспондент РАН Я. З. Волошин

Доктор химических наук (1.4.1) М. С. Григорьев

Доктор химических наук (1.4.4) О.В. Дементьева

Кандидат химических наук (2.6.9.) В. В. Душик

Доктор химических наук (1.4.4), член-корреспондент РАН Б. Г. Ершов

Доктор химических наук (1.4.4) М. А. Калинина

Доктор химических наук (1.4.4) Г. В. Лисичкин

Доктор физико-математических наук (1.4.4) В.А. Ломовской

Доктор химических наук (1.4.1), член-корреспондент РАН А. Г. Мартынов

Доктор химических наук (2.6.9.) А.И. Маршаков

Доктор химических наук (1.4.4) А.А. Некрасов

Доктор химических наук (1.4.4) С. Л. Селектор

Доктор физико-математических наук (1.4.4) А. Р. Тамеев

Доктор физико-математических наук (1.4.4) Д. Л. Тытик

Доктор физико-математических наук (1.4.4) Л.И. Трахтенберг

Доктор физико-математических наук (1.4.4.) А.Н. Ходан

Доктор химических наук (1.4.1) А. Я. Фридман

Доктор химических наук (1.4.1) А.А. Ширяев

Ученый секретарь совета оглашает приказ №88 от 05 августа 2026 года о назначении председателем заседания заместителя председателя диссовета, доктора физико-математических наук Фомкина А. А.).

Председатель заседания КВОРУМ имеется

Повестка дня: принятие к защите диссертации младшего научного сотрудника лаборатории новых физико-химических проблем ФГБУН Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук **СЛОБОДСКОЙ СЕРАФИМЫ СЕРГЕЕВНЫ** по теме: «СЕЛЕКТИВНОЕ СВЯЗЫВАНИЕ КАТИОНОВ f-ЭЛЕМЕНТОВ ФОСФОРИЛСОДЕРЖАЩИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.4. «Физическая химия» и 1.4.1. «Неорганическая химия» (химические науки).

Научные руководители – 1) академик РАН, доктор химических наук (1.4.1), профессор, Научный руководитель института, заведующий лабораторией новых физико-химических проблем ИФХЭ РАН **Цивадзе Аслан Юсупович**; 2) кандидат химических наук (1.4.4.; 1.4.1.), ведущий научный сотрудник лаборатории новых физико-химических проблем **Цебрикова Галина Сергеевна**.

Диссертация Слободской С. С. выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: грант на 2024-2026 г «Основы прорывных химических технологий переработки редкометального сырья» (№ 075-15-2024-534, руководитель - А.Ю. Цивадзе).

Диссертация Слободской С. С. прошла предварительную экспертизу на заседании секции Ученого совета «Физикохимия нано- и супрамолекулярных соединений» ФГБУН Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН систем, протокол №207 от 30 июня 2026 года, где получила положительную оценку и была рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.4. «Физическая химия» и 1.4.1. «Неорганическая химия» (химические науки) на диссертационном совете 24.1.141.03, действующим при ИФХЭ РАН.

Слушали: ученого секретаря диссовета Т.Р. Асламазову.

В комиссию вошли члены совета, доктора химических наук, имеющие публикации в этой области науки: Мартынов А. Г.,Калинина М. А., Григорьев М. С.

Диссертацию представляет председатель комиссии А. Г. Мартынов

Диссертация Слободской С. С. по своему содержанию в полной мере является научно-квалификационной работой и соответствует научным специальностям «Физическая химия» и «Неорганическая химия». Основные результаты работы представлены в автореферате. Полнота изложения полученных научных данных отражена в печатных работах, опубликованных в рецензируемых научных журналах химического и физико-химического профиля, рекомендованных ВАК РФ, а также представлены на многочисленных конференциях.

Широкое практическое применение f-элементов обуславливает необходимость совершенствования существующих методов их выделения, разделения и концентрирования. Одним из наиболее эффективных подходов к решению данных задач является поиск новых органических лигандов, способных выступать в качестве селективных экстрагентов и компонентов сорбционных материалов, используемых для выделения катионов металлов. Органические лиганды также используются в качестве активных компонентов потенциометрических сенсоров и мембран, предназначенных для обнаружения и выделения f-элементов; формируют координационное окружение металлоцентров в катализаторах, входят в состав систем доставки лекарственных препаратов на основе f-элементов. Таким образом, органические лиганды и координационные соединения f-элементов с представляют собой обширный класс соединений, востребованный в различных областях науки и техники. При этом каждая область применения предъявляет определенные требования к составу, строению и свойствам, что обуславливает необходимость направленного дизайна лигандов и управления структурой образующихся комплексов.

Одним из наиболее изученных классов лигандов для связывания f-элементов являются фосфорорганические соединения, среди которых можно выделить фосфорилсодержащие поданды – ациклические аналоги краун-эфиров. Они обладают высокой способностью к комплексообразованию; проявляют потенциометрическую селективность к катионам органических аминов, щелочных и щелочноземельных металлов, эффективно экстрагируют Pt, Am и Eu.

Альтернативой фосфорорганическим лигандам являются соединения, содержащие донорные атомы, среди которых важное место занимают производные хинолина. Благодаря наличию ароматической гетероциклической системы и возможности введения различных функциональных групп его соединения обладают широким спектром физико-химических свойств и способны эффективно связываться с ионами многих металлов, включая f-элементы. Учитывая высокую координационную способность как фосфорильных, так и гидроксихинолиновых фрагментов при связывании катионов металлов, представляет значительный интерес исследование закономерностей комплексообразования f-элементов с фосфорилподандом 1,3-бис(дифенилфосфорил)-2-оксапропаном (L) и фосфорилсодержащими производными 8-гидроксихинолина – дифенил((8-оксихинолил) метил) фосфиноксидом (L^1) и
бис((8-оксихинолил) метил) фосфиновой кислотой (L^2) (рис. 1).

В связи с выше сказанным, выявление закономерностей селективного связывания катионов f-элементов фосфорилсодержащими органическими лигандами на основе совокупности данных о комплексообразовании в растворе и характеристики выделенных в кристаллической фазе координационных соединений для обоснования процессов избирательного определения и разделения f-элементов.

Для решения поставленной задачи были проведены следующие шаги, которые определяют научную новизну диссертационной работы:

1. Оптимизирована методика синтеза L; впервые синтезированы фосфорилсодержащие производные 8-гидроксихинолина нейтрального и кислотного типа – дифенил((8-оксихинолил) метил) фосфиноксида (L^1) и бис((8-оксихинолил) метил)фосфиновой кислоты (L^2).

2. Методом спектрофотометрического титрования впервые определены составы и константы устойчивости координационных соединений f-элементов с фосфорилподандом 1,3-бис(дифенилфосфорил)-2-оксапропаном(L) и лигандамиL^1 и L^2.

3. Разработаны лютеций- и уранил-селективные мембранные электроды на основе фосфорилсодержащих соединений L и L^1 соответственно.

4. Найдены условия экстракционного разделения пары лантанидов Lu^{3+}/Ce^{3+} с помощью лиганда L в присутствии ионных жидкостей, триоктилметиламмоний нитрата и бис[(трифторметил)сульфонил]имида 1-бутил-3-метилимидазолия. Впервые получены коэффициенты распределения катионов церия, лютеция и уранила в процессе экстракции с помощью L^1 и оценена способность разделения пары UO_2^{2+}/Lu^{3+}. Установлено соотношение M:L в экстрагируемом соединении уранила.

5. Разработаны условия синтеза координационных соединений уранила с лигандами L^1 и L^2. Предложены методики синтеза 2D и 3D метал-органических координационных полимеров РЗЭ(III). Полученные соединения охарактеризованы совокупностью физико-химических методов анализа, в том числе РСА. Впервые исследованы магнитные и адсорбционные свойства полученных координационных соединений лантанидов с L. Обнаружено, что соединение Yb^{3+} проявляет медленную магнитную релаксацию, что является редким свойством для координационных полимеров.

Практическая значимость. Поиск новых эффективных органических лигандов необходим для процессов определения, выделения и разделения f-элементов. Для оценки селективности синтезированных соединений Установлены составы новых координационных соединений f-элементов с лигандами L, L^1, L^2 и константы их устойчивости. Разработанные ионоселективные электроды на основе фосфорилсодержащих соединений L и L^1 могут использоваться для обнаружения катионов Lu^{3+} и UO_2^{2+} в водных растворах. Экстракционные системы с L и ионной жидкостью бис[(трифторметил)сульфонил]имид1-бутил-3-метилимидазолий могут разделять пару Lu^{3+}/Ce^{3+}со значением SF = 110.4. L^1 пригоден для разделения UO_2^{2+}/Lu^{3+} SF = 42.3. Синтезирован метал-органический координационный полимер (МОКП) Yb(III), способный проявлять медленную магнитную релаксацию, что может быть перспективно для развития молекулярной электроники. Поскольку МОКП перспективны для хранения и детектирования газов, получена изотерма адсорбции CO_2 полимером Tm(III).

Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом экспериментальных данных и хорошей воспроизводимостью результатов исследований, проведенных на современном оборудовании, сертифицированном в соответствии с российскими и международными стандартами.

Материалы диссертационной работы неоднократно докладывались на конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН «Физикохимия» (2021–2026 гг., Москва), международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (2022, 2023 г., Москва), на третьем китайско-российском научно-техническом форуме «Наукоёмкие технологии: от науки к внедрению» (2023 г., Харбин, Китай), на XXII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (2024 г., федеральная территория «Сириус», Россия), на XXIX Международной Чугаевской конференции по координационной химии (2025 г., Казань, Россия).

По материалам диссертационной работы опубликовано 4 статьи в международных научных журналах, рецензируемых WoS и Scopus, и 10 тезисов докладов всероссийских и международных конференций.

Диссертантом выполнен основной объем синтетической части работы и физико-химических исследований, полностью проанализирован весь массив полученных данных физико-химических методов анализа синтезированных соединений, сформулированы общие положения, выносимые на защиту, и выводы.

Выводы работы обоснованы и корректны, работа хорошо апробирована.

Цели, поставленные в диссертации, достигнуты.

Диссертационная работа Слободской С. С. соответствует паспорту специальностей 1.4.4. – «Физическая химия» и 1.4.1 «Неорганическая химия» (химические науки). Автореферат диссертации полностью отражает результаты диссертационной работы.

Диссертация Слободской С. С. является завершенной научно-квалификационной работой - в ней решены научно-практическая задача: выявление закономерностей селективного связывания катионов f-элементов фосфорилсодержащими органическими лигандами на основе совокупности данных о комплексообразовании в растворе и характеристики выделенных в кристаллической фазе координационных соединений для обоснования процессов избирательного определения и разделения f-элементов. Поиск новых эффективных органических лигандов необходим для процессов определения, выделения и разделения f-элементов. Разработанные ионоселективные электроды на основе фосфорилсодержащих соединений L и L^1 могут использоваться для обнаружения катионов Lu^{3+} и UO_2^{2+} в водных растворах. Экстракционные системы с L и ионной жидкостью бис[(трифторметил)сульфонил] имид1-бутил-3-метилимидазолий могут разделять пару Lu^{3+}/Ce^{3+}со значением SF = 110.4. L^1 пригоден для разделения UO_2^{2+}/Lu^{3+} SF = 42.3. Синтезированный метал-органический координационный полимер (МОКП) Yb(III), способный проявлять медленную магнитную релаксацию, может быть перспективен для развития молекулярной электроники.

В качестве официальных оппонентов предложены:

1) **Смирнов Игорь Валентинович**, доктор химических наук (02.00.14 – радиохимия), старший научный сотрудник (ученое звание), АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», ученый секретарь-начальник отдела ученого секретаря. Адрес: 194021, Санкт-

Петербург, 2-й Муринский пр., 28. Тел.: +7 (812) 3469029 доб. 4132; E-mail: igor_smirnov@khlopin.ru

2) **Федорова Ольга Анатольевна**, доктор химических наук (02.00.03 – органическая химия), профессор, ИНЭОС РАН, заместитель директора по научной работе, заведующая лабораторией фотоактивных супрамолекулярных систем. Адрес: 119334, Москва, ул. Вавилова, 28. E-mail: fedorova@ineos.ac.ru

В качестве ведущей организации предлагается: ФГБОУ ВО «**Ивановский государственный университет**». Проректор по исследовательской и проектной деятельности ИвГУ, кандидат социологических наук, доцент, Смирнова Инна Николаевна. Отзыв готовит Пырэу Дмитрий Фёдорович, кандидат химических наук (02.00.01; 02.00.04), доцент, доцент кафедры фундаментальной и прикладной химии. Адрес: 153025, Иваново, ул. Ермака, д. 39, ИвГУ. E-mail: pyreu@mail.ru,

Постановили:

1) Принять к защите диссертацию младшего научного сотрудника лаборатории новых физико-химических проблем ФГБУН Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН **Слободской Серафимы Сергеевны** «СЕЛЕКТИВНОЕ СВЯЗЫВАНИЕ КАТИОНОВ f-ЭЛЕМЕНТОВ ФОСФОРИЛСОДЕРЖАЩИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям **1.4.4. «Физическая химия» и 1.4.1. «Неорганическая химия» (химические науки)** на диссертационном совете 24.1.141.03, действующем при ИФХЭ РАН.

Научные руководители: 1) академик РАН, доктор химических, профессор, Научный руководитель института, заведующий лабораторией новых физико-химических проблем ИФХЭ РАН **Цивадзе Аслан Юсупович**; 2) кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории новых физико-химических проблем **Цебрикова Галина Сергеевна**.

2)Утвердить официальными оппонентами:

- доктор химических наук, старший научный сотрудник, АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина» (Санкт-Петербург) **Смирнов Игорь Валентинович**,
- доктор химических наук профессор, заведующая лабораторией фотоактивных супрамолекулярных систем ФГБУН ИНЭОС РАН **Федорова Ольга Анатольевна.**

3)Утвердить ведущую организацию - ФГБОУ ВО «**Ивановский государственный университет**» (Иваново).

4)Разрешить публикацию автореферата диссертации Слободской С. С.

5)Утвердить список специалистов и организаций, которым необходимо разослать автореферат диссертации Слободской С. С.

6)Установить дату защиты диссертации Слободской С. С. 26 ноября 2026 года.

Председатель заседания диссовета,
заместитель председателя совета,
доктор физико-математических наук А. А. Фомкин

Ученый секретарь диссовета,
кандидат химических наук Т.Р. Асламазова

03 сентября 2026 года