

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.04, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 12 марта 2026 г. № 57

О присуждении Хлюстовой Анне Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Влияние процессов переноса нейтральных и заряженных частиц на физико-химические свойства системы плазма-раствор» по научной специальности 1.4.4. Физическая химия принята к защите 27 ноября 2025 года (протокол № 55) диссертационным советом 24.2.479.04, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32), приказ № 519/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель, **Хлюстова Анна Владимировна**, 31 декабря 1977 года рождения. В 2001 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» с присуждением степени магистр техники и технологии по направлению «Электроника и микроэлектроника».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук на тему «Процессы переноса компонентов раствора I-I электролитов в системе плазма-раствор» защитила в 2004 году по научной специальности 02.00.04 – Физическая химия (химические науки) в диссертационном совете Д 002.106.01, созданном при Учреждении Российской академии наук Институте химии растворов Российской академии наук.

Работает в должности старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела 3 «Научные и технологические основы получения функциональных наноматериалов и композитов», лаборатории «Химия гибридных материалов и супрамолекулярных систем» Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории «Химия гибридных материалов и супрамолекулярных систем» научно-исследовательского отдела 3 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Булычев Николай Алексеевич, доктор химических наук (1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет), научно-исследовательское отделение Института общей инженерной подготовки, старший научный сотрудник;

2. Гайсин Фивзат Миннебаевич, доктор физико-математических наук (01.04.08 – Физика и химия плазмы), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева КАИ», кафедра технической физики, профессор;

3. Кудряшов Сергей Владимирович, доктор химических наук (02.00.13 – Нефтехимия), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти СО РАН, лаборатория физико-химических методов исследования, заведующий лабораторией,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук (ФГБУН ИЭЭ РАН), г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Сафроновым Алексеем Анатольевичем – доктором технических наук (01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки), член-корреспондентом РАН, заведующим отделением плазменных устройств и технологий ФГБУН ИЭЭ РАН; указала, что диссертационная работа Хлюстовой Анны Владимировны «Влияние процессов переноса нейтральных и заряженных частиц на физико-химические свойства системы плазма-раствор» по своей актуальности, научной новизне,

достоверности результатов, теоретической и практической значимости, личному вкладу автора и уровню публикаций представляет собой целостную научную работу, в которой решена важная проблема современной физической химии гетерогенных систем: разработаны теоретические положения создания технологических процессов плазмохимической обработки при решениях вопросов плазменной медицины и экологии. Результаты диссертации значимы для развития областей физической химии, представленных в паспорте специальности 1.4.4. Физическая химия ВАК Российской Федерации: п. 5 «Изучение физико-химических свойств изолированных молекул и молекулярных соединений при воздействии на них внешних электромагнитных полей, потока заряженных частиц, а также экстремально высоких/низких температурах и давлениях»; п. 6 «Химические превращения, потоки массы, энергии и энтропии пространственных и временных структур в неравновесных системах»; п. 7 «Макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, физико-химическая гидродинамика, растворение и кристаллизация»; п. 8 «Динамика элементарного акта химических реакций. Механизмы реакции с участием активных частиц»; п. 12 «Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов». Диссертационная работа Хлюстовой Анны Владимировны «Влияние процессов переноса нейтральных и заряженных частиц на физико-химические свойства системы плазма-раствор» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, согласно п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), а ее автор – Хлюстова Анна Владимировна – заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

Соискатель имеет 42 научные работы, из них 22 работы – в журналах, входящих в международные базы научного цитирования Web of Science и Scopus, RSCI, и 20 работ – в журналах, входящих в перечень рецензированных научных изданий, рекомендованных для публикации материалов диссертаций.

Общий объем публикаций по теме диссертации 10,1 п.л, авторский вклад – 3,27 п.л. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Статьи в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации:

1. Maximov A.I. Transfer of solution components to a plasma zone in chemical reactions initiated by a glow discharge in electrolyte solutions / A.I. Maximov, A.V. Khlyustova, L.A. Kuz'micheva, J.V. Titova, M.G. Dudykin // *Mendeleev Communications*. – 2007. – V. 5, № 17. – P. 294-295.

2. Максимов А.И. Влияние свойств раствора на перенос компонентов раствора в зону плазмы и их излучение в тлеющем разряде с электролитным катодом / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова, И.К. Наумова // *Химия высоких энергий*. – 2008. – Т. 42, № 6. – С. 540-543.

3. Максимов А.И. Влияние состава электролита на кинетику его неравновесного испарения на начальных стадиях процесса / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова // *Химия высоких энергий*. – 2009. – Т. 43, № 1. – С. 55-58.

4. Максимов А.И. Физическая химия плазменно-растворных систем / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова // *Химия высоких энергий*. – 2009. – Т. 43, № 3. – С. 195-201.

5. Максимов А.И. Свойства катодной области низковольтных разрядов атмосферного давления с электролитными электродами / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова // *Химия высоких энергий*. – 2009. – Т. 43, № 6. – С. 562-565.

6. Максимов А.И. Коэффициенты переноса катионов и анионов при неравновесном испарении растворов солей щелочноземельных металлов под действием тлеющего разряда / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова, Н.А. Сироткин // *Химия высоких энергий*. – 2010. – Т. 44, № 1. – С. 77-78.

7. Максимов А.И. Влияние тлеющего разряда атмосферного давления на структурные характеристики разбавленного раствора HCl / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. – 2012. – Т. 55, Вып. 5. – С. 67-70.

8. Максимов А.И. Действие подводных разрядов на смеси красителей / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова, А.К. Грошева // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. – 2012. – Т. 55, Вып. 7. – С. 40-43.

9. Хлюстова А.В. Стерилизация растворов подводными электрическими разрядами / А.В. Хлюстова, А.И. Максимов, И.К. Наумова // *Химия высоких энергий*. – 2012. – Т. 45, № 3. – С. 259-262.

10. Кузьмичева Л.А. Накопление пероксида водорода в растворах электролитов под действием тлеющего разряда атмосферного давления / Л.А.

Кузьмичева, А.И. Максимов, Ю.В. Титова, **А.В. Хлюстова** // Химия высоких энергий. – 2013. – Т. 47, № 1. – С. 71-75.

11. Хлюстова А.В. Плазменно-иницированная деструкция органических красителей в растворе при совместном действии подводного разряда и озона. / **А.В. Хлюстова**, А.И. Максимов // Химия высоких энергий. – 2013. – Т. 47, № 3. – С. 237-341.

В научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science/Scopus:

12. Maximov A.I. Optical emission from plasma discharge in electrochemical systems applied for modification of material surfaces / A.I. Maximov, **A.V. Khlustova** // Surface and Coatings Technology. – 2007. – V. 201, № 21. – P. 8782-8788.

13. Maximov A. I. The influence of solution components transfer to the plasma on gas discharge properties / A. I. Maximov, **A. V. Khlustova** // High Temperature Material Processes. – 2007. – V. 11, № 4. – P. 527-536.

14. Khlyustova A.V. The electrical discharge action on the wastewater for cleaning / **A.V. Khlyustova**, A.I. Maximov, I.N. Subbotkina // High Temperature Material Processes. – 2010. – V. 14, № 1-2. – P. 185-191.

15. Khlyustova A. The effect of pH on OH radical generation in aqueous solutions by atmospheric pressure glow discharge / **A. Khlyustova**, N. Khomyakova, N. Sirotkin, Yu. Marfin // Plasma Chemistry Plasma Processes. – 2016. – V. 36, № 5. – P. 1229-1238.

16. Khlyustova A. Deposition of silver nanostructures on polymer films by glow discharge / **A. Khlyustova**, N. Sirotkin, N. Kochkina, A. Krayev, V. Titov, A. Agafonov // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2019. – V. 39, № 1. – P. 311-323.

17. Khlyustova A. Important parameters in plasma jets in the production of RONS in liquids: a brief review. / **A. Khlyustova**, C. Labay, Z. Machala, M. P. Ginebra, C. Canal // Frontiers in Chemical Science and Engineering. – 2019. – V. 3, № 2. – P. 238-252.

18. Khlyustova A. Plasma-induces precipitation of metal ions in aqueous solutions / **A. Khlyustova** A., N. Sirotkin, V. Titov // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2019. – V. 94, № 12. – P. 3987-3992.

19. Khlyustova A. Plasma-assisted oxidation of benzoic acid. / **A. Khlyustova**, N. Sirotkin // Frontiers in Chemical Science and Engineering. – 2020. – V. 31, № 4. – P. 513-521.

20. Khlyustova A.V. Synthesis and characterization of titanium oxide nanoparticles by plasma in contact with liquid / **A.V. Khlyustova**, N.A. Sirotkin, A.S. Kraev, V.A. Titov, A.V. Agafonov // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2021. – V. 41, № 2. – P. 643-657.

21. Khlyustova A. Mo - doped TiO₂ using plasma in contact with liquids: advantages and limitations / **A. Khlyustova**, N. Sirotkin, A. Kraev, T. Kusova, V. Titov, A. Agafonov // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2021. – V. 96, № 4. – P.1125-1131.

22. Khlyustova A. Solution plasma processing as an environmentally friendly method for low-molecular chitosan production / **A. Khlyustova**, N. Sirotkin, I. Naumova, A. Tarasov, V. Titov // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2022. – V. 42, № 3. – P. 587-603.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущей организации – ФГБУН ИЭЭ РАН. Отзыв положительный.

Имеются замечания и вопросы: 1) На основании каких ключевых экспериментальных данных был сделан вывод о смене механизма переноса с молекулярного на кластерный при превышении порогового значения энергии? Нельзя ли полученные зависимости объяснить в рамках единого механизма, но с изменением вкладов составляющих этого механизма? 2) Несмотря на рассмотрение некоторых моделей γ -эмиссии из растворов, автор выделяет только один наиболее вероятный. Понятно, что вероятно протекание всех представленных механизмов вторичной электронной эмиссии. Можно ли экспериментально определить какой механизм доминирует? 3) Автором было показано, что действие диафрагменного разряда эффективнее по сравнению с тлеющим в процессах стерилизации. Связывает ли это автор исключительно с действием ударной волны или это различие связано с разным соотношением химически активных частиц? 4) Проводились ли оценки энергетической эффективности действия тлеющего и диафрагменного разрядов при стерилизации растворов?

2. Официального оппонента, доктора химических наук, старшего научного сотрудника научно-исследовательского отделения Института общей инженерной подготовки Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет), Булычева Николая Алексеевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания и вопросы: 1) Литературный обзор написан очень хорошо: прекрасно структурирован, показывает хорошее знание литературы, критически анализирует и обобщает имеющиеся публикации, однако есть некоторые аспекты, которые следовало бы прояснить: Обсуждается значительный разброс в оценках концентрации электронов (от 10^{17} до 10^{24} м⁻³), полученных разными методами (микроволновое поглощение, уширение линии H_{β} , расчет по проводимости). Какой метод, по мнению автора, является наиболее достоверным для данной системы и почему? В разделе, посвященном применению (например, разложение красителей, Таблица 1.8), приведены значения энергетических выходов (G, г/кВт·ч). Однако эти значения сильно разнятся даже для одного и того же красителя. В тексте отсутствует критический анализ таких различий, а также насколько предлагаемые технологии энергоэффективны по сравнению с существующими методами (озонирование, УФ-облучение, мембранные методы)? 2) Автор разработал несколько моделей: кинетическую для плазмы, модель накопления пероксида водорода, модель для оценки генерации активных частиц. Как эти модели связаны между собой? Является ли эта работа шагом вперед к созданию комплексной самосогласованной модели, описывающей всю систему «плазма-раствор» целиком, или эти модели существуют изолированно? 3) В практическом применении плазменно-растворных систем (глава 7) было показано увеличение гидрофильности полимерных пленок после обработки. Исследовали ли вы стабильность этих модифицированных поверхностей при хранении (эффект "старения")? 4) Синтез оксида молибдена проводился из молибденового анода. Какой механизм образования наночастиц вы считаете основным: испарение/окисление анода с последующей конденсацией из газовой фазы или электрохимическое растворение анода с последующим восстановлением/осаждением ионов в жидкой фазе под действием плазменных факторов? Какие экспериментальные данные это подтверждают? 5) Для синтезированных наночастиц (Ag, MoO₃) исследовали ли вы их каталитическую активность или другие функциональные свойства? Если да, то как они соотносятся с свойствами наночастиц, полученных традиционными химическими методами?

3. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора кафедры технической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский

национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева КАИ», Гайсина Фивзата Миннебаевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания и вопросы: 1) В обзоре автор приводит опубликованные данные об оценках коэффициентов эмиссии электронов. Вызывает сомнение, что при энергии ионов 400 эВ коэффициент гамма эмиссии достигает 0.1 (стр. 16-17). Можно было бы добавить критический комментарий. В практическом применении электрических разрядов в контакте с жидкостью отсутствует информация о применении электрического разряда для полировки и обработки поверхности металлических покрытий. Эти сведения существенно расширяют область применения плазменно-растворных систем. 2) При описании экспериментальных установок не указаны измерительные приборы, которые использовались в схеме тлеющего разряда. Далее, не приведена информация о марке графитовых стержней и металлических проволок, используемых в качестве электродов. 3) Глава 3, посвящена подробному описанию методик определения химически активных частиц. Короткоживущие частицы (атомы радикалы) определялись методом химической дозиметрии. Как справедливо отмечено автором, этот метод имеет ограничения, связанные с протеканием побочных реакций. Как можно гарантировать, что регистрировалась именно целевая активная частица? Какой вклад дают конкурирующие реакции в количественные оценки скоростей генерации активных частиц? 4) По Главе 4 хотелось бы уточнить следующий момент: автор использует термин «неравновесное испарение». Что именно в этом процессе является «неравновесным»? является ли это только термическим эффектом (локальный перегрев), или ключевую роль играет бомбардировка поверхности заряженными частицами? 5) При интерпретации спектров излучения диафрагменного разряда нет объяснения регистрируемого гало. На рис. 6.28 не указаны линии атомов меди (324 и 327 нм) и кислорода при 777 нм. В подписях к рис. 6.28 не указан материал электродов. В подразделе 6.3 рассмотрены каналы расходования вложенной энергии в системах тлеющего и диафрагменного разрядов. Для тлеющего разряда не указана, какая доля мощности расходуется непосредственно на массоперенос, а какая на протекание химических реакций. 6) Проводились ли оценки ресурсов предложенных конструкций реакторов с диафрагмой в процессах осаждения ионов металлов или при синтезе/разрушении органических соединений?

4. Официального оппонента, доктора химических наук, заведующего лабораторией физико-химических методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии нефти СО РАН, Кудряшова Сергея Владимировича. Отзыв положительный.

Имеются замечания и вопросы: 1) Формулировку задачи исследования «Определение химического состава в зоне плазмы путем разработки кинетической модели, учитывающей параметры плазмы и наличие процессов переноса компонентов раствора» следовало сделать менее категоричной. Здесь лучше говорить об оценке химического состава в зоне плазмы, поскольку это расчеты. 2) Вывод № 7 «Предложена динамическая модель торцевого разряда...» в тексте диссертации и автореферате речь идет только о «диафрагменном разряде». 3) Одним из существенных достоинств диссертации является детальное изучение процессов массопереноса под действием электрических разрядов как в практическом, так и в теоретическом плане. Очень интересно, наблюдалось ли формирование аэрозоля, о котором упоминает автор? Думаю, фото- и видеотехника, используемая в работе, позволяла его регистрировать, но в диссертации этих фотографий нет. 4) Обсуждение возможного механизма превращений органических соединений в разделах 7.2.1–7.2.3 выглядит достаточно обоснованным, однако применение методов хромато-масс-спектрометрии могло бы существенно расширить понимание протекающих процессов. 5) Раздел, посвященный деструкции органических соединений, показывает перспективу использования изученных систем для решения экологических задач. Образующиеся продукты деструкции модельных соединений достаточно токсичны. В Ивановском государственном химико-технологическом университете был выполнен ряд работ на подобную тему, при этом авторы проводили биологическое тестирование раствора после очистки. Почему не в этом случае? Данное замечание можно отчасти применить и к процессу удаления металлов из промышленных стоков, остаточная концентрация ионов в основном выше ПДК, были ли предприняты попытки оптимизации процесса? 6) В разделе 7.2.7 «Плазменная медицина» представлены очень интересные и многообещающие результаты, но как они связаны с исследованными разрядами? Нужно было хотя бы эту связь показать. Считаю, что в диссертацию этот материал включать не следовало, имеющегося более чем достаточно. 7) Зачастую в конце разделов отсутствует обобщение полученных результатов либо оно приводится в тезисном виде, что затрудняет восприятие диссертации. 8) В тексте автореферата и диссертации

встречаются досадные опечатки. Оформление графических материалов выполнено в разном стиле, кроме этого на одних графиках есть обозначения доверительных интервалов, на других нет, и непонятно почему. Это касается и форматирования текста в целом.

Поступило 3 отзыва на автореферат диссертации:

1. Доктора химических наук, главного научного сотрудника лаборатории технологии приборов и материалов электронной техники Ивановского государственного химико-технологического университета **Рыбкина Владимира Владимировича**. Отзыв положительный. Имеются замечания и вопросы: 1) Соискатель не указал в начале автореферата, что плазмообразующим газом для тлеющего разряда был окружающий воздух. В явном виде это написано только в Главе 5 (стр. 17 автореферата). 2) Непонятно, в каком приближении решалось уравнение Больцмана и что при этом учитывалось. Например, учитывались ли соударения второго рода с колебательно-возбужденными молекулами N_2 , e-e соударения, соударения электронов с какими частицами принимались во внимание? Для расчета необходимо знание приведенной напряженности электрического поля E/N . Если метод измерения напряженности поля описан в Главе 2, то о методе (методах) измерения температур, по которой можно рассчитать полную концентрацию частиц N , ничего не говорится. Впервые значения температур появляются на стр. 23, но как они были определены непонятно. Также не указано, как находилась концентрация электронов. 3) Почему в модели для газовой фазы указаны только невозбужденные состояния атомов и молекул? Учитывались ли возбужденные состояния, которые играют важную роль в процессах образования и гибели активных частиц в газовой фазе? 4) Рассчитанные по модели концентрации ОН радикалов и молекул озона O_3 (рис. 9) как-то не очень согласуются с имеющимся в литературе экспериментом. Так, литературе приводятся значения $[OH] \sim 10^{15}-10^{16} \text{ см}^{-3}$, $[O_3] \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$ для аналогичных токов разряда в воздухе.

2. Доктора химических наук, доцента кафедры материаловедения и индустрии наностистем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Воронежского государственного университета, **Томиной Елены Викторовны** и кандидата химических наук, декана химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования Воронежского государственного университета, **Сладкопевцева Бориса Владимировича**. Отзыв положительный. Вопросов и замечаний нет.

3. Доктора химических наук, академика РАН, главного научного сотрудника лаборатории синтеза функциональных материалов и переработки минерального сырья, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии РАН, **Иванова Владимира Константиновича**. Отзыв положительный. Вопросов и замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой профессиональной квалификацией, наличием публикаций, связанных с темой диссертации, компетенциями в вопросах, имеющих отношение к теме работы. Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что к наиболее значимым результатам соискателя необходимо отнести следующие:

– **показано** наличие обратной связи в системе плазма-раствор, которое заключается в протекании процессов массопереноса из раствора в зону плазмы и из плазмы в жидкость и их взаимном влиянии на процессы, протекающие в зоне разряда и в растворе. Определены условия, влияющие на массоперенос компонентов раствора: перенос растворенного вещества происходит с нарушением стехиометрии, а катион растворенной соли переносится при превышении пороговых условий. Впервые предложена методика количественной оценки процессов переноса. Представлены количественные характеристики процессов переноса: скорости массопереноса, коэффициенты переноса растворителя и растворенного вещества, значения которых изменяются в диапазоне 50-1000 молекул/ион в зависимости от условий проведения процесса. Предложены наиболее вероятные механизмы переноса компонентов раствора: молекулярный, работающий в области малых энергий, и кластерный, реализующийся в области энергий, превышающих пороговое значение;

– **показано**, что для корректной оценки химического состава в зоне плазмы и в жидкости с использованием кинетических моделей необходимо учитывать наличие процессов переноса компонентов раствора. Предложен новый подход к оценке скоростей генерации короткоживущих активных частиц в растворах, учитывающий не только каналы их образования и гибели,

но и каналы трансформации продуктов взаимодействия ионов-ловушек с активными частицами. Установлено, что механизмы активации растворов схожи при действии надводных и подводных разрядов;

– **показано**, что присутствие продуктов диссоциации компонентов раствора в зоне плазмы объясняет высокую окислительную способность системы плазма-раствор, учет массопереноса в процессах горения разряда объясняет нелинейные зависимости кинетики накопления активных частиц;

– **установлено**, что изменение кислотности растворов при действии электрических разрядов является следствием процессов массопереноса из раствора в зону плазмы, из газовой фазы в жидкость и химической трансформации анионов солей, что влияет на электрофизические параметры плазмы (приэлектродные скачки потенциала, напряженность поля).

Практическое значение результатов соискателя состоит в следующем:

– **представлено** теоретическое обоснование оптимизации режимов горения электрических разрядов в контакте с жидкостью в различных процессах – процессах синтеза наноструктур, удаления органических, неорганических и биологических загрязнений, модифицирования материалов;

– **создан** новый способ удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод с использованием подводного диафрагменного разряда. Предложенный способ не требует использования химических реагентов и специальной аппаратуры, что имеет непосредственное прикладное значение при создании технологического цикла очистки.

Теоретическая значимость исследования состоит в следующем:

– **изучены** закономерности процессов массопереноса компонентов раствора в системе плазма-раствор при изменении внешних факторов (параметры разряда, свойства раствора), что вносит существенный вклад в развитие физической химии гетерогенных систем плазма-раствор;

– **реализован новый подход** к расчетам кинетики генерации и накопления химически активных частиц в жидкой и газовой (зона плазмы) фазах, основанный на решении уравнений химической кинетики, включающих наиболее вероятные реакции с участием активных частиц, который учитывает наличие процессов переноса компонентов раствора и обеспечивает хорошее соответствие расчетных и экспериментальных значений;

– **разработаны** методики расчета кинетики массопереноса, которая показала нестехиометричность переноса компонентов раствора (катионов и анионов) и пороговый характер переноса катионов, что влияет на электрофизические параметры и химический состав плазмы;

– **установлены** размеры катодной области тлеющего разряда с жидким катодом и режим движения ионов в этой области.

Достоверность представленных в диссертационной работе результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных; применением современного оборудования (ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований» Института химии растворов РАН), использованием современных методов физико-химического анализа (рентгеновская дифракция, ИК-спектроскопия, газохроматографический масс-спектральный анализ, сканирующая электронная микроскопия); хорошим согласованием результатов кинетического моделирования с экспериментальными данными; соответствием полученных закономерностей с общепринятыми представлениями о процессах, протекающих в системах плазма-раствор, подтверждёнными сравнением с литературными данными.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех стадиях научно-исследовательского процесса: от постановки задач до проведения экспериментальных работ и подготовки публикаций. Все выводы основаны на результатах, полученных автором лично.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

В ходе защиты диссертации были заданы следующие вопросы: 1) Назовите, пожалуйста, основные, базовые результаты вашей работы, которые вы получили, в двух пунктах? 2) Какой основной механизм переноса: диффузия, конвекция, или электроперенос, электродиффузия или все вместе?

Соискатель Хлюстова А.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию: 1) Основным результатом моей работы является, первое, установление обратной связи между газовой и жидкой фазами в системе плазма-раствор, которая заключается в протекании процессов переноса из газовой фазы в жидкость и из жидкости в зону плазмы, которые оказывают влияние на протекание физико-химических процессов. Второе, в своих кинетических моделях оценки состава газовой и жидкой фазы учитываем наличие процессов переноса, что дает более полную

информацию о химическом составе. 2) Вероятно, что механизм переноса, это совокупность разных составляющих, и диффузии, и конвекции. При разных режимах горения разряда большой вклад будет вносить либо одна, либо другая составляющая. Это не может быть просто электроперенос, так как у поверхности электрода всегда присутствует задерживающий потенциал, катодное или анодное падение потенциала, которое не позволяет положительным или отрицательным ионам переноситься за счет электростатики.

Диссертация Хлюстовой Анны Владимировны «Влияние процессов переноса нейтральных и заряженных частиц на физико-химические свойства системы плазма-раствор» соответствует п. 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней:

– отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

– соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

На заседании 12.03.2026 г. диссертационный совет принял решение: за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, в области установления физико-химических закономерностей процессов массопереноса в системе плазма-раствор, имеющих существенное значение для развития физической химии гетерогенных систем, присудить Хлюстовой Анне Владимировне ученую степень доктора химических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов химических наук по профилю защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 13, против – 0.

Председатель
диссертационного совета



Mustafin

Мустафин Ахат Газизьянович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ismagilova

Исмагилова Альбина Сабирьяновна

12 марта 2026 г.