

Приложение 4  
Утверждено Приказом ФИЦ КазНЦ РАН  
от 18.11.2024 № 09-АО

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом ИОФХ им. А.Е. Арбузова -  
обособленного структурного подразделения  
ФИЦ КазНЦ РАН  
«6» ноября 2024 г., протокол № 10

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«Органическая электрохимия»**

Составная часть  
**ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ -**  
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров  
в аспирантуре

Научные специальности  
**1.4.3. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**  
**1.4.4. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**  
**1.4.8. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**  
**2.6.6. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины.
5. Учебно-тематический план занятий.
6. Формы текущего контроля, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

### **1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ**

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего – 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары и консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

### **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ**

В результате освоения дисциплины выпускник должен

#### ***Знать:***

- принципы органической электрохимии;
- методологию органического электрохимического синтеза.

#### ***Владеть:***

- навыками выбора оптимальных путей и методов органического электрохимического синтеза.

#### ***Уметь:***

- анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов органического электрохимического синтеза;
- осуществлять выбор условий, применяемых для органического электрохимического синтеза.

### **3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Органическая электрохимия» является элективной и/или факультативной дисциплиной и включена в Блок «Образовательная компонента» основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по

научным специальностям 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов «Физическая химия», спецкурсов по электрохимии в рамках магистерской программы образования или специалитета.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основу дисциплины составляют изучение принципов электрохимического синтеза, в т.ч. органического электросинтеза, металлокомплексного катализа в электросинтезе, препаративного электролиза; формирование у аспирантов знаний и умений, позволяющих планировать синтезы с использованием электрохимических методов. **Цели и задачи освоения дисциплины** – 1) формирование представлений об основных принципах органической электрохимии; 2) формирование навыков выбора оптимальных путей и методов органического электрохимического синтеза; 3) подготовка аспирантов, обучающихся по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научным специальностям 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы, к сдаче кандидатского экзамена по специальным дисциплинам «Органическая химия», «Физическая химия», «Химия элементоорганических соединений», «Нанотехнологии и наноматериалы», соответственно.

#### 5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудит. занятия	Самост. работа	Всего часов
1.	<p><b>Тема 1. Принципы органической электрохимии. Некоторые фундаментальные вопросы электрохимии органических молекул</b></p> <p>Образование двойного электрического слоя. Окислительно-восстановительные потенциалы. Энергия активации и перенапряжение. Токи, управляемые переносом электрона и массопереносом. Рабочие электроды. Электроды сравнения. Вспомогательные электроды. Растворители фоновые электролиты. Ячейки и источники питания. Поляризационные кривые стационарного и нестационарного состояний. Потенциалы в электрохимических измерениях. Использование вольтамперометрии для изучения электроорганического синтеза.</p>	2	6	8
2.	<p><b>Тема 2. Органические электродные реакции</b></p> <p>Общая характеристика электродных реакций. Механизм органических электродных реакций.</p>	2	6	8

	Характеристики органических электродных реакций. Молекулярные орбитали и электроны, связанные с переносом электрона. Структура органических электродных реакций. Электрохимически генерируемые реакционноспособные частицы.			
3.	<b>Тема 3. Органический электросинтез</b> Электрокатализ. Электрогенерированные кислоты и основания. Электрохимический асимметрический синтез. Модифицированные электроды. Парный электросинтез. Реакционноспособные электроды. Электрохимическое фторирование. Электрохимическая полимеризация. Лиганд-направленная электрохимическая функционализация C(sp <sup>2</sup> )-H связей.	6	22	28
4.	<b>Тема 4. Металлокомплексный катализ в органическом электросинтезе</b> Преимущества металлокомплексного катализа, индуцированного электрохимически. Общие принципы металлокомплексного электрокатализа и методы исследования механизма реакций. Реакции гомосочетания органических галогенидов. Синтез соединений со связью металл – углерод. Присоединение органических галогенидов к ненасыщенным группам. Синтез карбоновых кислот. Карбонилирование органических галогенидов. Электросинтез фосфорорганических соединений. Электрохимический металлокомплексный катализ в реакциях перфторалкилирования. Оценка эффективности гомогенных электрокатализаторов с применением метода циклической вольтамперометрии.	6	22	28
5.	<b>Тема 5. Новая методология органического электрохимического синтеза</b> Электролиз с применением твердых полимерных электролитов. Электрокаталитические системы с использованием твердых оснований и кислот. Медиаторы на твёрдой подложке. Двухфазные электролитические системы. Электролиз в сверхкритических жидкостях. Электролиз в ионных жидкостях. Электрохимические микропоточные системы. Электролиз в ультразвуке. Фотоэлектролиз и фотокатализ. Электрохимические полимерные реакции. Электрохимическая конверсия биомассы в ценные материалы.	5	20	25
6.	<b>Тема 6. Применение в органических электронных устройствах</b> Органическая электролюминесценция. Органические фотовольтаические ячейки. Солнечные элементы, сенсibilизированные красителем. Органические транзисторы. Электрохромные устройства. Конденсаторы на основе проводящих полимеров. Электролиз с применением твердых полимерных электролитов.	4	10	14

7.	<b>Тема 7. Электрохимия наносистем</b> Электрохимия фуллеренов. Молекулярные машины и устройства с электрохимическим двигателем. Электрохимически синтез малослойных графеновых структур.	2	6	8
	ЗАЧЕТ	1	-	1
ВСЕГО		28	92	120

## 6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

**6.1. Итоговый контроль:** формой итогового контроля по дисциплине является Зачет.

Зачет включает обсуждение на основе презентации и краткого доклада обзора литературы по статьям за последние 5 лет в соответствии с темой научного исследования аспиранта.

### 6.2. Критерии оценки итогового контроля:

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок:
<b>зачтено</b>	Аспирант при ответе демонстрирует знание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями и терминами, знает особенности развития соответствующей области науки, имеет представление о специфике объектов исследований. Информирован о современных направлениях работ, ознакомлен с содержанием основных литературных источников, способен делать анализ проблем и намечать пути их решения.
<b>не зачтено</b>	Аспирант демонстрирует плохое знание большей части основного материала в соответствующей области науки. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и не в состоянии наметить пути их решения.

**При выборе аспирантом дисциплины «Органическая электрохимия» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 7.1. Литература

1. Handbook of Electrochemistry / ed. by C.G. Zoski. – Amsterdam, Oxford, 2007. – 935 p.
2. Байрамов В.М. Основы электрохимии [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. В.В. Лунина. - М. : Академия, 2005. - 240 с.
3. Будникова Ю.Г. Современный органический электросинтез. Принципы, методы исследования и практические приложения : монография / Ю.Г. Будникова. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 439 с.
4. Электрохимия органических соединений в начале XXI века / Под ред. В.П. Гулятя и др. - М.: Компания Спутник+, 2008. - 578 с.

5. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – 3-е изд. – СПб.: Лань, 2015. – 571 с.
6. Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии [Текст] : учебник / Ю.Я. Лукомский, Ю.Д. Гамбург. - Долгопрудный : Издательский Дом "Интеллект", 2008. - 424 с.
7. Миомандр Ф. Электрохимия: учебное пособие для вузов / Мир химии - Ф. Миомандр [и др.] ; пер. с фр. В.Н. Грасевич; под ред. Ю.Д. Гамбурга. - М., Техносфера, 2008. - 360 с.
8. Плит В. Электрохимия в материаловедении: учебное пособие / пер. с англ. О.Д. Чаркина [и др.] - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 446 с.
9. Салем Р.Р. Теоретическая электрохимия: начала теории. - М.: Вузовская книга, 2001. - 326 с.
10. Янилкин В.В. Введение в электрохимию. – Казань: Издательство Zebra, Казань, 2023. – 120 с.
11. Янилкин В.В. Электрохимия наносистем / В.В. Янилкин, А.Г. Кривенко. – Изд-во РАН, 2021. – 240 с.
12. Бейзер М., Лунд Х. Органическая электрохимия. - М.: Химия, 1988
13. Будников, Г.К. Основы современного электрохимического анализа: Уч. пособие. - М.: Мир: БИНОМ. Лаб. знаний, 2003. - 592 с.

## 7.2. Дополнительная литература

1. Budnikova Yu.N. Electrochemical insight into mechanisms and metallocyclic intermediates of C–H functionalization // *Chemical Record*. – 2021. – Vol. 21. - № 9. – P. 2148-2163.
2. Budnikova Yu., Vicic D., Klein A. Exploring mechanisms in ni terpyridine catalyzed C–C cross-coupling reactions-A review // *Inorganics*. – 2018. – Vol. 6. - № 1. – P. 18.
3. Budnikova Yu.N. Transition metal-promoted reactions of diarylphosphine oxides as a synthetic method for organophosphorus heterocyclic compounds // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2018. – Vol. 54. - № 3. – P. 269-279.
4. Budnikova Yu.N., Dolengovsky E.L., Tarasov M.V., Gryaznova T.V. Recent advances in electrochemical C–H phosphorylation // *Frontiers in Chemistry*. – 2022. – Vol. 10. – Art. 1054116.
5. Будникова Ю.Г. Металлокомплексный катализ в органическом электросинтезе // *Успехи химии*. – 2002. – Т. 71. - № 2. – С. 126-158.
6. Будникова Ю.Г. Электросинтез органических соединений. Экологически чистые процессы и дизайн новых синтетических методов // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. – 2005. – Т. XLIX. - № 5. – С. 81-92.
7. Будникова Ю.Г., Синяшин О.Г. Реакции фосфорилирования C–H-связей ароматических соединений с участием металлов и их комплексов // *Успехи химии*. – 2015. – Т. 84. - № 9. – С. 917-951.
8. Злотин С.Г., Егорова К.С., Анаников В.П., Акулов А.А., Вараксин М.В., Чупахин О.Н., Чарушин В.Н., Брыляков К.П., Аверин А.Д., Белецкая И.П., Доленговский Е.Л., Будникова Ю.Г., Синяшин О.Г., Гафуров З.Н., Кантюков А.О., Яхваров Д.Г., Аксенов А.В., Элинсон М.Н., Ненайденко В.Г., Чибиряев А.М. и др. Парадигма зеленой химии в современном органическом синтезе // *Успехи химии*. – 2023. – Т. 92. - № 12. – С. RCR5104.

9. Михайлов Д.Ю., Будникова Ю.Г. Фторалкилирование органических соединений // Успехи химии. – 2013. – Т. 82. - № 9. – С. 835-864.
10. Янилкин В.В., Насретдинова Г.Р., Кокорекин В.А. Медиаторный электрохимический синтез наночастиц металлов // Успехи химии. – 2018. – Т. 87. - № 11. – С. 1080-1110.

### 7.3. Электронные ресурсы

- Электронная платформа для поиска статей CoLab - <https://colab.ws>
- Электронная платформа для поиска статей PubMed - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Платформа научной электронной библиотеки e-Library.ru - <http://www.elibrary.ru>
- База данных для поиска информации о химических соединениях и спектрах ЯМР OdanChem- <https://odanchem.org/main>
- Электронная платформа издательства Royal Society of Chemistry - <http://www.rsc.org>
- Organic Chemistry Portal - <https://www.organic-chemistry.org>

## 8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудиторные занятия, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче зачета и кандидатского экзамена проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки, лабораторные комнаты), оборудованных мебелью (столы, стулья), компьютерами с доступом к сети Интернет, демонстрационным оборудованием.