

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

И.о. декана

А. С. Князев

Рабочая программа дисциплины

**Методы исследования функциональных материалов**

по специальности

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Специализация:

**Фундаментальная и прикладная химия**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Химик / Химик-специалист. Преподаватель химии**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.В. Шелковников

Председатель УМК

В.В. Шелковников

Томск – 2024

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений в различных областях химии;

ОПК-2. Способен проводить синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследовать процессы с их участием;

ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией наук;

ПК-6. Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 1.1 Знает теоретические основы неорганической, органической, физической и аналитической химии, применяет их при решении профессиональных задач в других областях химии.

РООПК 1.2 Умеет систематизировать и интерпретировать результаты экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

РООПК 1.3 Умеет грамотно формулировать заключения и выводы по результатам работы

РООПК 2.2 Знает теоретические основы методов изучения состава, структуры и свойств для грамотного выбора метода исследования

РООПК 2.3 Умеет проводить стандартные синтезы по готовым методикам, выполнять стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов, а также использовать серийное научное оборудование для изучения их свойств

РОПК 1.1 Умеет разрабатывать стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.

РОПК 1.2 Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.

РОПК 6.1 Умеет выполнять стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции химического производства

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить понятийный аппарат и основные принципы современных физико-химических методов, используемых для исследования материалов;

– Освоить возможности и ограничения физико-химических методов, особенности пробоподготовки объектов к исследованиям;

– Приобрести навыки работы с научной литературой, обработкой и представлением экспериментальных данных;

– Научиться разрабатывать детальный и комплексный план исследований состава и структуры функциональных материалов;

– Научиться анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по составу и структуре функциональных материалов по данным различных физико-химических методов.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль Физическая химия.

#### **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Восьмой семестр, зачет с оценкой

#### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Строение вещества», «Адсорбционные процессы», «Методы приготовления и исследования катализаторов».

#### **6. Язык реализации**

Русский

#### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

#### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Обзор современных методов исследования функциональных материалов.

Введение. Основные понятия. Классификация функциональных материалов составу, структуре, функциональным свойствам. Физические свойства и диагностика материалов. Классификация методов анализа и их применение.

Тема 2. Фазовый анализ, рентгенофазовый анализ.

Основы дифракции рентгеновских лучей. Рентгеновское излучение. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Общий вид дифрактограммы. Качественный рентгенофазовый анализ (РФА). Базы данных. Дифракционный эксперимент: оборудование, пробоподготовка, условия съемки. Теоретическая дифрактограмма. Уточнение кристаллических структур. Метод Ритвельда.

Тема 3. Рентгеновское малоугловое рассеяние.

Малоугловое рассеяние. Теоретические основы метода. Оборудование, пробоподготовка, условия съемки. Определение формы частиц. Радиус Гинье. Распределение частиц по размерам. Примеры применения метода малоуглового рассеяния в исследовании наноматериалов.

Тема 4. Электронная и колебательная спектроскопия.

Основные принципы методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), оже-электронной спектроскопии, рентгеновского флуоресцентного анализа (РФЛА), спектроскопии диффузного отражения (СДО), спектроскопии комбинационного рассеяния (КР, Раман). Интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров, «химический сдвиг», качественный и количественный анализ методом РФЭС, ограничения метода. Оже-электронная спектроскопия: физические принципы, аналитические возможности, интерпретация спектров. Физические основы и аналитические возможности методов рентгеновского флуоресцентного анализа и электронного микроанализа. УФ-видимая электронная спектроскопия: физические принципы, интерпретация спектров, возможности и ограничения. Спектроскопия комбинационного рассеяния: физические принципы, интерпретация спектров. Аппаратура для реализации методов. Примеры

применения методов электронной и колебательной спектроскопии в исследовании наноматериалов.

Тема 5. Исследование морфологии поверхности методами STM и AFM

Общий принцип сканирующей зондовой микроскопии и режимы работы. Особенности пробоподготовки и изучение морфологии поверхности методами сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии. Исследование морфологии поверхности каталитических систем. Обработка экспериментальных данных.

Тема 6. Микроскопические методы анализа структуры материалов: SEM, TEM

Просвечивающая электронная микроскопия. Подготовка образцов. Устройство просвечивающего электронного микроскопа. Увеличение, глубина резкости, контраст и разрешение. Режимы светлого и тёмного поля. Примеры изображений и их интерпретация.

Растровая (сканирующая) электронная микроскопия. Подготовка образцов. Устройство микроскопа. Методы формирования изображения. Увеличение и разрешение. Примеры изображений и их интерпретация.

Тема 7. Термический анализ: общие сведения

Классификация методов термического анализа и их применение. Приборы и аппаратное оформление методов. Устройство термоанализаторов. Синхронный термический анализ. Планирование эксперимента. Факторы, влияющие на результаты термического анализа.

Тема 8. Применение термогравиметрии в исследовании веществ, катализаторов и сорбентов

Области применения методов термического анализа: построение фазовых диаграмм, определение температуры плавления, определение чистоты вещества, теплоемкости оксидов, степени кристалличности, состава вещества по данным термического анализа. Неизотермическая кинетика в термическом анализе.

Тема 9. Метод температурно-программированной десорбции

Метод температурно-программированной десорбции. Основные понятия и определения: десорбция, активные центры поверхности, степень заполнения поверхности, энергия активации десорбции. Кинетика десорбции: уравнение Вигнера-Поляни. Экспериментальные методы определения порядка, энергии активации десорбции и частотного фактора: влияние скорости нагрева образца на положение максимума десорбционного пика, метод одновременно определения кинетических параметров десорбции по одному десорбционному пику, ступенчатая десорбция. Кислотно-основные центры твердых тел. Применение неизотермических методов для оценки кислотно-основных центров твердых тел. Определение дисперсности металлических частиц по данным сорбционных экспериментов. Оформление экспериментальной установки (анализ схем, приводимых в литературе, сопоставление вакуумных и проточных термодесорбционных систем).

Тема 10. Температурно-программированное окисление/восстановление

Температурно-программированное окисление и температурно-программированное восстановление. Термодинамика, кинетика и механизм восстановления. Теория неизотермического восстановления и влияние параметров эксперимента. Особенности реализации методов ТПО и ТПВ.

Тема 11. Температурно-программированная реакция. Метод импульса.

Температурно-программированная реакция. Экспериментальные особенности метода и примеры применения. Теоретические основы импульсного метода. Особенности протекания каталитических реакций в импульсном режиме. Исследования механизмов каталитических реакций: спектроскопия *in-situ* и *Operando*.

Тема 12. Аппаратурное оформление хемосорбционных методов.

Хемосорбционные анализаторы ChemiSorb 2750 и AutoChem, их использование при изучении состава и свойств поверхности функциональных материалов, а также для

проведения исследований в режиме ТПО-ТПВ. Масс-спектрометрическое детектирование продуктов превращения в режиме ТПР.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения тестов по лекционному материалу, степени участия в практических занятиях, выполнения домашних заданий по теме дисциплины и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в восьмом семестре проводится в виде устной защиты доклада по теме выбранного студентом индивидуального задания, оформленного в виде презентации и пояснительной записки. Продолжительность зачета с оценкой 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/enrol/index.php?id=23528>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Пентин Ю. А. Физические методы исследования в химии: [учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 011000 "Химия" и направлению подготовки 510500 "Химия"] / Ю. А. Пентин. – М.: Мир [и др.], 2003. – 683 с. URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000208638/000208638.pdf>.

– Ковба Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба. – М.: Издательство Московского университета, 1976. – 231 с.

– Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля/ Д. Брандон. – М.: Техносфера, 2004. – 377 с.

– Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 500 с.

– Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности / В. И. Ролдугин. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 565 с.

– Карнаухова А. П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А. П. Карнаухова. – Новосибирск: Наука, Сиб. Предприятие РАН, 1999. – 470 с. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000343275/000343275.pdf>.

– Крылов О. В. Гетерогенный катализ / О. В. Крылов. – М.: Академкнига, 2004. – 679 с.

– Новоженков В. А. Термический анализ: Учебник и практикум для вузов / Новоженков В. А., Стручева Н. Е. – М.: Юрайт, 2022. – 440 с. URL: <https://urait.ru/bcode/496372>. URL: <https://urait.ru/book/cover/5F89AF2F-7893-466C-AD45-61975AD06052>.

– Новоженев В. А. Термический анализ: учебное пособие / В. А. Новоженев. – Барнаул : Издательство Алтайского государственного университета, 2012. – 382 с.

б) дополнительная литература:

– Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. Резонансные и электрооптические методы: [Учебник для химических специальностей вузов] / Л. В. Вилков. – М.: Высшая школа, 1989. – 287, [1] с.: ил.. URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000099207/000099207.pdf>

– Characterization of solid materials and heterogeneous catalysts-From structure to surface reactivity. Vol.1 and Vol.2 / Ed. M. Che and J.C. Vedrine – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012. – 1181 p.

– Atomic Structure Prediction of Nanostructures, Clusters and Surfaces. / Ed. C.V Ciobanu, C.-Z. Wang, K.-M. Ho – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013. – 195 p.

– Суздаев И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. – М.: Комкнига, 2006. – 529 с.

– *Weckhuysen B. M., ed. In-situ spectroscopy of catalysts. // American Scientific Publishers Stevenson Ranch, CA. 2004. ISBN 978-1-58883-026-5. URL: [http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/23445/weckhuysen\\_04\\_in\\_situspectroscopyofcatalysts.pdf](http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/23445/weckhuysen_04_in_situspectroscopyofcatalysts.pdf).*

– Фиалко М. Б. Неизотермическая кинетика в термическом анализе. – Томск: Издательство Томского университета, 1981. – 110 с.

– Топор Н. Д. Термический анализ минералов и неорганических соединений / Н. Д. Топор. – М.: Издательство Московского государственного университета, 1987. – 187 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000. – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>;

– SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>;

– ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>;

– Google Scholar [Electronic resource] / Google Inc. – Electronic data. – [S. l. : s. n.]. – URL: <http://scholar.google.com/>.

– Информационно-аналитическая платформа компании Clarivate Analytics – <https://www.webofscience.com>.

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

- <https://webbook.nist.gov/chemistry/> – справочная база данных NIST;
- [https://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](https://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi) – спектральная база данных органических соединений

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Лаборатории, оснащенные следующим оборудованием:

- рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000 (Japan);
- УФ-Вид спектрометр Evolution 600 (ThermoScientific, USA);
- хемосорбционный анализатор «AutoChem 2950» (Micromeritics, USA);
- синхронный термический анализатор STA 449F1 (NETZSCH, Германия).

#### **15. Информация о разработчиках**

Дорофеева Наталия Валерьевна, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии химического факультета ТГУ, доцент.

Грабченко Мария Владимировна, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии химического факультета ТГУ, доцент.