

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

**Адсорбционные процессы**

по направлению подготовки

**04.03.01 Химия**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Химия**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

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.

ОПК-2 Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием.

ПК-1 Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.

ИОПК 1.2 Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии.

ИОПК 1.3 Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.

ИОПК 2.3 Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе.

ИПК 1.1 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР.

ИПК 1.3 Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР.

ИПК 1.4 Готовит объекты исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить и научиться применять понятийный аппарат дисциплины для решения практических задач профессиональной деятельности;

– Освоить основные теории моно- и полимолекулярной адсорбции и уравнения изотерм адсорбции, получить навыки анализа адсорбционных процессов в изучаемых системах;

– Получить представление об основных особенностях протекания адсорбции на пористых сорбентах;

– Научиться проводить термодинамические и кинетические расчёты, делать выводы о характере протекания адсорбционных процессов;

– Освоить методы определения удельной поверхности и пористости твердых сорбентов.

## **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**

Седьмой семестр, экзамен

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: неорганическая химия, аналитическая химия, органическая химия, физическая химия, высокомолекулярные соединения, коллоидная химия, физико-химические методы анализа, физика и строение вещества.

## **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. Сорбция. Адсорбция. Природа сил при адсорбции. Термодинамика адсорбции. Экспериментальное изучение адсорбции

Основные понятия: сорбция, адсорбция, классификация явления адсорбции по разным признакам. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Термодинамика поверхностных явлений.

Тема 2. Равновесие, кинетика и общие закономерности мономолекулярной адсорбции.

Классификация изотерм адсорбции. Теории и изотермы мономолекулярной адсорбции.

Теория Лэнгмюра. Изотерма Генри. Вывод уравнения Генри. Особенности изотермы Генри. Реальный адсорбированный слой. Неоднородность поверхности и взаимное влияние адсорбированных частиц, разные точки зрения. Изотермы Темкина, Фрейндлиха, многоцентровой адсорбции на однородных поверхностях. Скорость адсорбции и десорбции. Энергии активации адсорбции и десорбции, методы расчета. Общие закономерности протекания адсорбционных процессов на однородных и неоднородных поверхностях.

Тема 3. Теории полимолекулярной адсорбции.

Многослойная (полимолекулярная) адсорбция. Теории адсорбции. Потенциальная теория Поляни. Теория БЭТ. Основные допущения. Вывод уравнения БЭТ. Анализ уравнения. Значение уравнения БЭТ. Изотерма Арановича.

Тема 4. Удельная поверхность адсорбентов. Адсорбция на пористых сорбентах. Проблема тонких пор.

Определение величины поверхности твёрдых тел. Анализ микропористых материалов. Ртутная порометрия. Особенности адсорбции в нанодисперсных системах.

Тема 5. Адсорбция в промышленности. Современные проблемы адсорбции.

Адсорбционные процессы в химической промышленности. Адсорбционно-десорбционные циклы. Промышленные адсорбенты.

Тема 6. Общие сведения о наносистемах и наноматериалах. Особенности адсорбционных процессов в нанодисперсных системах.

Современные адсорбционные установки, их возможности и проблемы. Чистота эксперимента. Адсорбционные модели и их реализация.

Темы практических занятий

Семинарские занятия

1. Расчет величины адсорбции в объемном и весовом методах.
2. Изобары адсорбции. Построение изобар адсорбции по экспериментальным данным, их анализ.
3. Теплота адсорбции. Классификация теплот адсорбции. Расчет теплоты физической адсорбции по уравнениям Клапейрона – Клаузиуса и Беринга – Серпинского.
4. Построение изотерм мономолекулярной адсорбции, описание их различными функциональными зависимостями, предложенными Лэнгмюром, Тёмкиным, Фрейндлихом, Островским и др.
5. Энергия активации адсорбции. Расчет  $E_{адс}$  по уравнениям Аррениуса и с применением метода «контролирующей полосы» Рогинского.
6. Теории полимолекулярной адсорбции. Построение изотерм полимолекулярной адсорбции на твердых телах и проверка их на подчиняемость уравнениям для полимолекулярной адсорбции. Теплота полимолекулярной адсорбции.
7. Удельная поверхность твердых тел. Расчет величины удельной поверхности по уравнению БЭТ.  
Пористые сорбенты. Построение структурных кривых и определение размеров пор.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения домашних заданий, индивидуального задания, проведения коллоквиумов и контрольной работы и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценивание промежуточных заданий дает возможность и студенту и преподавателю отслеживать ход учебного процесса.

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**

Экзамен в седьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из четырех вопросов. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

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 электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21485>

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:

– Минакова Т. С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел : учебное пособие / Т. С. Минакова ; Том. гос. ун-т. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 2007. – 279 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000239327>.

– Макаревич Н. А. Теоретические основы адсорбции: уч. Пособие / Н. А. Макаревич – Архангельск: Издательство САФУ, 2015. – 362 с. URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000551151/000551151.pdf>.

– Комаров В. С. Адсорбенты и носители катализаторов. Научные основы регулирования пористой структуры : монография / В. С. Комаров, С. В. Бесараб. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 203 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1078357>.

– Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов / В. Б. Фенелонов – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 413 с.

– Matthias Thommes, Katsumi Kaneko, Alexander V. Neimark, James P. Olivier, Francisco Rodriguez-Reinoso, Jean Rouquerol and Kenneth S.W. Sing Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) // Pure Appl. Chem. 2015.

б) дополнительная литература:

– М. М. Сычев, Т. С. Минакова, Ю. Г. Слизов, О. А. Шилова. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. Санкт-Петербург : Химиздат, 2016. – 274 с.

– Минакова Т. С., Екимова И. А. Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. Томск : Издательский Дом ТГУ, 2014.

– Толмачев А. М. Термодинамика адсорбции газов, паров и растворов. Москва, МГУ. 2012. <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/tolmachev/tolmachev1.pdf>.

– Толмачев А. М. Термодинамика адсорбции газов, паров и растворов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46. – № 2. – С. 136-150.

– K. A. Cychosz, R. Guillet-Nicolas, J. Garcia-Martinez, M. Thommes. Recent advances in the textural characterization of hierarchically structured nanoporous materials // Chem. Soc. Rev., 2017, 46, 389. DOI: 10.1039/c6cs00391e.

– Mahdieh Mozaffari Majd, Vahid Kordzadeh-Kermani, Vahab Ghalandari, Anis Askari, Mika Sillanpää. Adsorption isotherm models: A comprehensive and systematic review (2010–2020) // Science of the Total Environment. 2022. V. 812. P. 151334. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.151334](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151334)

в) ресурсы сети Интернет:

– <https://www.scopus.com/>

– <https://apps.webofknowledge.com>

– <https://elibrary.ru>

– <http://past.tpu.ru/files/nu/disser/darmanskaya.pdf>

– <http://www.chem.msu.su/rus/jvho/2000-1/89.pdf>

– <http://narfu.ru/university/library/books/2196.pdf>

– <http://www.studfiles.ru/preview/412084/>

– <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/tolmachev/tolmachev1.pdf>

### 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 OneNote, 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/>

#### **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.

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

Мамонтов Григорий Владимирович, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии химического факультета Томского государственного университета, доцент.