

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Химический факультет*  
*Кафедра аналитической и фармацевтической химии*

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кафедра аналитической и фармацевтической химии,  
химического факультета

Образовательная программа магистратуры  
04.04.01 Химия

Направленность (профиль) программы:  
Аналитическая химия

Форма обучения  
очная

Статус дисциплины: дисциплина по выбору

Махачкала, 2022 год

Рабочая программа дисциплины «Методы анализа поверхности твердых материалов» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО магистратура по направлению подготовки 04.04.01 Химия от «13» июля 2017 г. № 655.

Разработчик: кафедра аналитической и фармацевтической химии,  
Рамазанов А.Ш., д.х.н., профессор.

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры аналитической и фармацевтической химии  
от «25» 02 2022 г., протокол № 6

Зав. кафедрой  \_\_\_\_\_ Рамазанов А.Ш.

на заседании Методической комиссии химического факультета

от «18» 03 2022 г., протокол № 7

Председатель  \_\_\_\_\_ Гасангаджиева У.Г.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«31» 03 2022 г.

Начальник УМУ  \_\_\_\_\_ Гасангаджиева А.Г.

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Методы анализа поверхности твердых материалов» входит в часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору магистратуры по направлению подготовки 04.04.01 Химия.

Дисциплина по выбору реализуется на химическом факультете кафедрой аналитической и фармацевтической химии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с физико-химическими основами и аналитическими возможностями экспериментальных методов исследования поверхности и тонких слоев материалов с целью диагностирования микро- и наноструктур, а также возможностью применения этих методов в микро- и нанотехнологиях.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: универсальных-УК-1; общепрофессиональных- ОПК-2; профессиональных – ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – контрольная работа, тестирование и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 3 зачетные единицы, в том числе 108 академических часах по видам учебных занятий.

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе зачет, дифференцированный зачет, экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе:									
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					..			..
		всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	...				
3	108	36	18	18				72	зачет	

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Методы анализа поверхности твердых материалов» является углубление знаний студентов по изучению специфики физико-химических основ и аналитических возможностей экспериментальных методов исследования поверхности и тонких слоев материалов с целью диагностирования микро- и наноструктур, а также возможностей применения этих методов в микро- и нанотехнологиях.

### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Методы анализа поверхности твердых материалов» входит в часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору магистратуры по направлению подготовки 04.04.01 Химия.

Дисциплина по выбору «Методы анализа поверхности твердых материалов» изучается после прохождения дисциплин: Введение в современную аналитическую химию, Метрологические основы химического анализа, Современная потенциометрия, Метод молекулярной спектrophотометрии в химическом анализе, Теория и практика спектральных методов анализа, Хроматографические методы анализа, Капиллярный электрофорез и ионная хроматография».

«Методы анализа поверхности твердых материалов» рассматривает изучение современных методов анализа, важнейших реальных объектов: минералы, почва, сорбенты, катализаторы и др.

Все перечисленные достоинства аналитической химии определяют особое место в подготовке квалифицированного магистра химии.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения)

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
УК-1. Способен осуществлять критический анализ	УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составля-	Знает: современные направления в аналитической химии. Умеет: оценивать возможности со-	Устный опрос, письменный опрос, колло-

проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.	ющие и связи между ними.	временных методов теоретического анализа. Владеет: учебной, научной и справочной литературой в изучаемой области.	квиум
	УК-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению.	Знает: современное состояние химического высшего образования. Умеет: оценивать экспериментальные способы получения неорганических соединений и материалов. Владеет: теорией и навыками практической работы в избранной области химии.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	УК-1.3. Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников.	Знает: общие закономерности смежных с химией естественнонаучных дисциплин. Умеет: анализировать источники информации и выявлять противоречия. Владеет: навыками поиска научной информации в области аналитической химии и смежных наук.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	УК-1.4. Разрабатывает и содержательно аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарных подходов.	Знает: о способах их использования при решении профессиональных задач в области химии и материаловедения. Умеет: оценивать экспериментальные способы получения неорганических соединений и материалов. Владеет: стратегией решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарного подхода.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
ОПК-2. Способен проводить синтез и комплексные исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, модифицировать имеющиеся экспериментальные методики, выбирая оптимальный способ решения поставленной задачи.	ОПК-2.1. Грамотно анализирует и интерпретирует результаты собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ.	Знает: методы обобщения и анализа результатов эксперимента и расчетно – теоретических работ Умеет: обобщать и интерпретировать результаты экспериментов в области органической химии. Владеет: методами анализа и интерпретации результатов собственных экспериментов.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
ПК-1. Способен проводить критический анализ полученных результатов и оценивать перспективы продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках.	ПК-1.1. Критически анализирует полученные результаты исследований в выбранной области химии, выявляет достоинства и недостатки.	Знать: цели и задачи проводимых исследований в выбранной области химии. Уметь: проводить наблюдения и измерения, составление их описаний и формулировать выводы. Владеть: методами анализа и обобщения отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	ПК-1.2. Готовит отдельные разделы отчетов по результатам НИР и НИОКР в выбранной области химии.	Знать: этапы проведения научного исследования. Уметь: подготавливать и анализировать экспериментальные данные,	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум

		составлять отчеты и научные публикации по результатам проведенных работ в выбранной области химии. Владеть: методами проведения экспериментальных исследований и обработки данных эксперимента.	
	ПК-1.3. Формулирует рекомендации по продолжению исследования в выбранной области химии.	Знать: научную проблематику соответствующей области знаний. Уметь: проводить анализ новых направлений исследований в соответствующей области знаний; обосновывать перспективы проведения исследований в соответствующей области знаний; формировать программы проведения исследований в новых направлениях. Владеть: сведениями отечественной и международной нормативной базы в соответствующей области знаний.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	ПК-1.4. Анализирует полученные результаты и формулирует предложения по оптимизации отдельных стадий технологического процесса.	Знать: содержание отчетов о выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах в выбранной области химии. Уметь: анализировать развитие технологий в выбранной области химии за рубежом и прогнозируемые изменения технологических процессов. Владеть: навыками подготовки рекомендаций по экономному расходованию сырья, химикатов, вспомогательных материалов и энергоресурсов.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	ПК-1.5. Разрабатывает техническую документацию и регламенты.	Знать: порядок, сроки выполнения и правила оформления технической документации. Уметь: проводить работы по формированию элементов технической документации на основе внедрения результатов научно-исследовательских работ. Владеть: навыками оформления элементов технической документации на основе внедрения результатов научно-исследовательских работ.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
ПК-2. Способен использовать фундаментальные понятия аналитической химии и основные теоретические подходы к изучению механизмов реакций при решении задач профессиональной деятельности.	ПК-2.1. Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными.	Знает: фундаментальные понятия аналитической химии и материаловедения Умеет: изучать механизмы реакций аналитических соединений в ходе НИР и НИОКР. Владеет: методами систематизации информации и сопоставления с литературными данными.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	ПК-2.2. Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов.	Знает: теоретические основы протекания аналитических реакций. Умеет: выбирать направления развития работ и перспективы практического применения. Владеет: методикой поиска теоретических данных.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
ПК-5. Способен	ПК-5.1. Воспринимает ин-	Знает: современный российский и	Устный опрос,

интерпретировать результаты эксперимента и теоретических расчетов, применяя их при решении практических задач в области аналитической химии.	формацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, выявляет ошибочные суждения и логические противоречия, опираясь на знание теоретических основ фундаментальных разделов химии.	зарубежный опыт в области в избранной области химии или смежных наук. Умеет: проводить сравнительный анализ существующих и перспективных технологий в области химии или смежных наук. Владеет: средства вычислительной техники, коммуникаций и связи.	письменный опрос, коллоквиум
	ПК-5.2. Грамотно планирует и интерпретирует результаты собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ.	Знает: способы определения задач исследований, видов исследований и методов их проведения. Умеет: разрабатывать элементы планов и методических программ проведения исследований и разработок. Умеет: анализировать научные проблемы по тематике проводимых исследований и разработок. Владеет: методами расчета и моделирования эксперимента по результатам исследований.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	ПК-5.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.	Знает: источники и основные методы обработки научной и технологической информации, а так же результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ. Умеет: оценивать уровень исследований, обоснованность предлагаемых расчетно-теоретических решений и рекомендаций по реализации и использованию результатов. Владеет: методами сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
ПК-6. Способен самостоятельно оптимизировать условия проведения конкретного процесса исходя из базовых теоретических представлений о механизме реакции и факторах, определяющих реакционную способность.	ПК-6.1. Выбирает оптимальный вариант синтеза целевого продукта из набора возможных.	Знает: методы проведения конкретных реакций с учетом механизмов. Умеет: учитывать механизмы и другие факторы, определяющие выход целевого продукта. Владеет: навыками выбора оптимального варианта синтеза.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум
	ПК-6.2. Оптимизирует условия получения целевого продукта на основании существующих методик.	Знает: реакционную способность типовых реагентов в аналитической химии. Умеет: использовать оптимальные методы синтеза. Владеет: методиками получения целевого продукта с максимальным выходом.	Устный опрос, письменный опрос, коллоквиум

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

4.2.1. Структура дисциплины в очной форме

№ п/п	Разделы и темы дисциплины по модулям	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (в часах)	Самостоятельная работа в т.ч. зачет, эк-	Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
-------	--------------------------------------	---------	---	--	---

			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	...		
<b>Модуль 1. Исследование поверхности твердых тел спектроскопическими методами</b>								
1	Сорбционные методы исследования поверхности твердых тел	3	2	-	-	-	8	устный опрос, лабораторная работа
2	Использование методов электронной спектроскопии (РФЭС, Оже-спектроскопия, ДМЭ) в анализе поверхности твердых тел	3	2	-	2		6	устный опрос, лабораторная работа
3	Метод сканирующей электронной микроскопии в анализе поверхности твердых тел	3	2	-	2		4	устный опрос, лабораторная работа
4	Спектроскопия комбинационного рассеяния как метод исследования поверхности твердых тел	3	2	-	2		4	устный опрос, лабораторная работа
	<i>Итого по модулю 1:</i>	3	8	-	6	-	22	Коллоквиум
<b>Модуль 2. Анализ поверхности твердых тел термогравиметрией и РФА</b>								
5	Термогравиметрический анализ твердых тел	3	2	-	3		13	устный опрос, лабораторная работа
6	Рентгенофазовый анализ поверхности твердых тел	3	2		3		13	устный опрос, лабораторная работа
	<i>Итого по модулю 2</i>	3	4	-	6	-	26	Коллоквиум
<b>Модуль 3. Физико-химические методы анализа поверхности</b>								
7	Физико-химические методы анализа поверхности: метод Бозма	3	3		3		12	устный опрос, лабораторная работа
8	Потенциометрическое титрование, определение рН точки нулевого заряда поверхности	3	3		3		12	устный опрос, лабораторная работа
	<i>Итого по модулю 3:</i>	3	6	-	6	-	24	Коллоквиум
	<b>ИТОГО:</b>	3	18		18	-	72	зачет

### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам, разделам и модулям

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### **Модуль 1. Исследование поверхности твердых тел спектроскопическими методами**

**Тема 1.** Наноматериалы, нанотехнологии. Сорбционные методы исследования поверхности твердых тел.

**Содержание темы.** Классификация наноматериалов. Физические причины специфики наноматериалов. Основные области применения наноматериалов. Методы получения наноматериалов.

**Тема 2.** Использование методов электронной спектроскопии (РФЭС, Оже-спектроскопия, ДМЭ) в анализе поверхности твердых тел.

**Содержание темы.** Электронная оже-спектроскопия (ЭОС). Физические основы метода. Энергия оже-электронов. Факторы, влияющие на выход оже-электронов. Сечение ионизации внутреннего уровня. Вероятность оже-процесса. Средняя длина свободного пробега электронов. Быстрые обратно-рассеянные электроны. Химические сдвиги. Количественная оже-спектроскопия. Основное уравнение оже-спектроскопии. Метод внешних эталонов. Метод, использующий коэффициенты элементной чувствительности. Специальные методы для изучения тонкослойных структур. Абсолютная чувствительность методики электронной оже-спектроскопии. Применение спектров  $N(E)$  и  $dN/dE$ . Устранение фона. Применение электронной оже-спектроскопии. Совмещение растровой электронной микроскопии и электронной оже-спектроскопии. Приборы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Физические основы метода. Факторы, влияющие на величину фотоэмиссионного тока. Количественная РФЭС. Химические сдвиги. Учет зарядки поверхности. Использование РФЭС в химии поверхности. Аппаратура. Дифракция медленных электронов

(ДМЭ). Дифракционные картины от чистых поверхностей и адсорбированных слоев. Основы кинематической и динамической теории ДМЭ. Применение методики. Аппаратура.

**Тема 3.** Метод сканирующей электронной микроскопии в анализе поверхности твердых тел.

**Содержание темы.** Теоретические основы метода. Используемая аппаратура. Примеры практического использования метода при исследовании различных поверхностей.

**Тема 4.** Спектроскопия комбинационного рассеяния как метод исследования поверхности твердых тел.

**Содержание темы.** Теоретические основы метода. Устройство растрового микроскопа. Определение элементного состава поверхности твердых тел. Возможности метода. Примеры практического использования метода при исследовании различных поверхностей.

**Модуль 2.** Анализ поверхности твердых тел термогравиметрией и РФА

**Тема 5.** Термогравиметрический анализ твердых тел.

**Содержание темы.** Теоретические основы метода. Используемая аппаратура. Примеры практического использования метода. Термогравиметрия (ТГ) назначение, преимущества по сравнению с родственными методами измерений, устройство, калибровка, режимы работы.

**Тема 6.** Рентгенофазовый анализ поверхности твердых тел.

**Содержание темы.** Применение рентгенофазового метода анализа при определении фазового состава сорбентов, катализаторов, глин и других нерудных минералов, почв и донных отложений.

**Модуль 3.** Физико-химические методы анализа поверхности

**Тема 7.** Физико-химические методы анализа поверхности: метод Бозма.

**Содержание темы.** Основные модели пористых тел. Пористость. Удельная поверхность. Адсорбция физическая и химическая. Адсорбция газов на твердой поверхности. Изотермы адсорбции. Изотерма полимолекулярной адсорбции БЭТ. Использование интегрального метода БЭТ для определения величин удельной поверхности. Методики расчета распределения мезопор по размерам. Динамический метод измерения величин адсорбции: преимущества и недостатки. Динамические приборы серии СОРБИ. Измерение удельной поверхности, пористости, распределения пор по размерам активированного угля.

**Тема 8.** Потенциометрическое титрование, определение рН точки нулевого заряда поверхности.

**Содержание темы.** Потенциометрия: мембранные электроды, металлические электроды, прямая потенциометрия, Потенциометрическое титрование. Определение рН точки нулевого заряда различных сорбентов.

#### 4.3.2. Темы лабораторных занятий (лабораторный практикум)

Названия разделов и тем	Цель и содержание лабораторной работы
<b>Модуль 1 Исследование поверхности твердых тел спектроскопическими методами</b>	
Лаб. работа № 1. Адсорбционные методы анализа поверхности твердых тел.	Ознакомление с прибором SORBI для определения текстуры твердых тел. Приготовление образцов.
Лаб. работа № 2. Адсорбционные методы анализа поверхности твердых тел.	Определение удельной поверхности (Sуд), пористости и распределения пор по размерам различных материалов.
Лаб. работа № 3. Рентгенофазовый анализ в исследовании структуры твердых тел.	Исследование структуры и фазового состава поверхности АУ методом РФА.
<b>Модуль 2. Анализ поверхности твердых тел термогравиметрией и РФА</b>	
Лаб. работа № 4. Использование метода конфокальной КР-спектроскопии в анализе поверхности твердых тел.	Устройство и принцип работы конфокального КР-спектрометра микроскопа SENTERRA. Изучение структуры образцов активированных углей.
Лаб. работа № 5. Метод сканирующей электронной микроскопии в исследовании поверхности твердых тел.	Устройство растрового микроскопа, изучение морфологии и химического состава поверхности различных твердых тел.
<b>Модуль 3. Физико-химические методы анализа поверхности</b>	
Лаб. работа № 6. Термогравиметрический анализ твердых тел.	Получение и анализ термогравиметрических кривых образцов активированных углей.
Лаб. работа № 7. Физико-химические методы анализа поверхности сорбентов.	Определение поверхностных функциональных групп образцов активированных углей методами Бозма, потенциометрического титрования. Определение рН точки нулевого заряда различных сорбентов.

#### 5. Образовательные технологии

Рекомендуемые образовательные технологии: - на лекциях по всем разделам используется демонстративный материал в виде презентаций; - лабораторные работы выполняются студентами самостоятельно под контролем лаборанта и преподавателя. В ходе освоения дисциплины предусматривается применение

следующих активных методов обучения: - выполнение лабораторных работ с элементами исследования. - отчетные занятия по разделам «Методы разделения и концентрирования», «Гитриметрические методы анализа». Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах (лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция, лекция-визуализация, лекция с запланированными ошибками), определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом в учебном процессе по данной дисциплине они должны составлять не менее 16 часов аудиторных занятий. При чтении данного курса применяются такие виды лекций, как вводная, лекция-информация, обзорная, проблемная, лекция-визуализация. Занятия лекционного типа составляют 43% аудиторных занятий. Для аттестации студентов по каждому модулю должны проводиться контрольные работы. В качестве итогового контроля проводится зачет.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Формы и виды самостоятельной работы студентов по дисциплине устанавливаются следующие:

- проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- проработка пройденных лекционных материалов по конспекту лекций, учебникам и пособиям на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к промежуточному и рубежному контролю.

Контроль результатов самостоятельной работы осуществляется преподавателем в течение всего семестра в виде:

- устного опроса (фронтального и индивидуального);
- подготовка конспекта;
- проведения письменной (контрольной) работы;
- проведения коллоквиума.

#### **Виды и порядок выполнения самостоятельной работы:**

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Вид контроля	Учебно-метод. обеспечение
1	Подготовка к сдаче лабораторных работ.	Проверка конспекта лабораторной работы, алгоритм выполнения, оформление, построение графиков, расчет.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа
2	Составление обзоров по тематике дисциплины из научно - периодической литературы, решение экспериментальных и расчетных задач.	Проработка конспектов по дисциплине, подготовка лит. обзора, проработка алгоритма решения задач.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа
3	Подготовка к коллоквиумам.	Подготовка к промежуточной аттестации в виде контрольной работы: выполнение тестовых задач, решение расчетных задач, составление конспектов по вопросам коллоквиума.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа
4	Подготовка к тестированию.	Промежуточная аттестация в форме тестов.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа
5	Подготовка к зачету.	Итоговая аттестация в форме зачета.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа

#### **Вопросы для самостоятельной работы**

1. Что такое наноматериалы и нанотехнологии?
2. Назовите типы адсорбции.
3. Каким методом проводится определение удельной поверхности твердых тел?
4. С помощью какого прибора осуществляют съемку дифрактограмм?
5. Каковы возможности метода сканирующей электронной микроскопии в исследовании поверхности твердых тел?
6. Какую информацию о поверхности твердого тела можно получить с помощью рентгенофлуоресцентного метода?
7. Что такое простая и дифференциальная термогравиметрические кривые?
8. Какие растворы и почему используются в методе Бозма?

## **7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **7.1. Типовые контрольные задания**

1. Основные понятия и определения. Адсорбция как самопроизвольный процесс, приводящий к различию в концентрациях компонентов в поверхностном слое и в фазе.
2. Изотермы, изобары, изостеры, изопикны адсорбции. Виды графических зависимостей.
3. Теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эмметта, Теллера (БЭТ). Предпосылки теории.
4. Математическая основа теории БЭТ. Вывод уравнения адсорбции.
5. Физический смысл константы С. Выбор экспериментального метода получения изотермы адсорбции.
6. Условия удаления летучих и хемосорбированных веществ из адсорбента перед измерениями.
7. Условия измерения изотермы адсорбции.
8. Определение возможности оценки распределения мезопор по размерам.

### **Вопросы по итоговому контролю**

#### **Модуль 1. Исследование поверхности твердых тел спектроскопическими методами**

##### **Коллоквиум 1**

1. Основные понятия и определения. Адсорбция как самопроизвольный процесс, приводящий к различию в концентрациях компонентов в поверхностном слое и в фазе.
2. Адсорбция в границе раздела твердое тело – газ. Сорбция. Сорбат, ад-сорбат, адсорбтив, сорбент, ад-сорбент.
3. Понятия об адсорбции, сорбции. Сорбат, адсорбат, адсорбтив, сорбент, адсорбент.
4. Весовой и объемный методы определения количества адсорбированного (сорбированного) вещества. Единицы измерения количества адсорбированного газа или пара на твердой поверхности.
5. Изотермы, изобары, изостеры, изопикны адсорбции. Виды графических зависимостей.
6. Типы изотерм адсорбции по классификации С. Брунауэра, Л. Деминга, У. Деминга.
7. Адсорбционные силы.
8. Специфическая и неспецифическая адсорбция.
9. Типы адсорбентов и адсорбатов по классификации Киселева.
10. Реальные твердые тела. Энергетическая и геометрическая неоднородность твердой поверхности.
11. Пористые и непористые тела с большой удельной поверхностью.
12. Внешняя и внутренняя поверхности твердого тела.
13. Типы адсорбентов и адсорбатов по классификации Киселева.
14. Удельная поверхность твердого тела (Sуд). Соотношения между удельной поверхностью и размером частиц твердых тел разной структуры.
15. Связь величины Sуд с емкостью монослоя.
16. Теория мономолекулярной адсорбции Лангмюра. Предпосылки теории.
17. Вывод уравнения адсорбции. Линейная форма уравнения Лангмюра. Определение констант уравнения.
18. Расчет величины удельной поверхности из адсорбционных данных с помощью уравнения Лангмюра.

#### **Модуль 2. Анализ поверхности твердых тел термогравиметрией и РФА**

##### **Коллоквиум 2**

1. Теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эмметта, Теллера (БЭТ). Предпосылки теории.
2. Математическая основа теории БЭТ. Вывод уравнения адсорбции.
3. Физический смысл константы С.
4. Уравнение БЭТ в линейной форме. Приложение уравнения к экспериментальным данным.
5. Определение удельной поверхности твердого тела методом БЭТ.
6. Требования к адсорбатам для определения величины удельной поверхности методом БЭТ.
7. Проверка надежности определения емкости монослоя по ур. БЭТ.
8. Условия, необходимые для успешного применения метода БЭТ.
9. Точка Б на изотерме адсорбции. Метод определения величины Sуд по одной точке.
10. Стандартные изотермы адсорбции. Критерии выбора стандартных изотерм.
11. Анализ изотерм адсорбции: t-графики: кривые зависимости величины адсорбции от толщины адсорбционной пленки.
12. Расчет величины удельной поверхности по t-графикам.
13. Влияние микро- и мезопористости на форму t-графиков.
14. Анализ изотерм адсорбции: as-графики. Нормализованная величина адсорбции.
15. Отклонения от линейности as-графиков. Преимущества as-графиков.
16. Оценка величины удельной поверхности по as—графикам. Преимущества as-графиков.
17. Анализ изотерм адсорбции с помощью сравнительных графиков.
18. Сравнение изотерм адсорбции на данном твердом теле и эталоне с помощью f-графиков.

#### **Модуль 3. Физико-химические методы анализа поверхности**

### Коллоквиум 3

1. Источники погрешностей в определении удельной поверхности из адсорбционных данных.
2. Точность определения удельной поверхности по адсорбционным данным.
3. Требования к определению удельной поверхности из адсорбционных данных по методу БЭТ.
4. Значения константы  $C$ , необходимые для получения корректных результатов по методу БЭТ.
5. Причины широкого использования адсорбции азота для определения удельной поверхности. Возможности применения других адсорбатов.
6. Классификация пор по размерам, предложенная Дубининым.
7. Классификация сорбентов по виду изотерм сорбции, предложенная Киселевым.
8. Взаимосвязь механизма заполнения пор с видом изотерм сорбции.
9. Анализ изотерм сорбции IV типа.
10. Капиллярная конденсация в мезопорах.
11. Уравнение Томсона (Кельвина), связывающее давление пара жидкости с радиусом кривизны ее поверхности. Его вывод.
12. Соотношение между радиусом кривизны и размером пор.
13. Радиусы пор и радиусы «кор». Адсорбционная пленка на стенках пор.
14. Использование уравнения Кельвина для расчета распределения пор по размерам.
15. Интервал применимости уравнения Кельвина.
16. Правило Гурвича о предельном объеме адсорбированного вещества.
17. Сорбционный гистерезис, его причины.
18. Причины использования десорбционной ветви изотермы для расчета распределения пор по размерам.
19. Учет двойкой природы десорбируемого адсорбата. при расчете распределения пор по размерам.
20. Методы вычисления распределения пор по размерам, учитывающие толщину адсорбционной пленки на стенках пор.
21. Механизм адсорбции в микропорах.
22. Анализ вида изотерм на микропористых адсорбентах.
23. Влияние развитой внешней поверхности и наличия мезопор на форму изотерм.
24. Оценка микропористости из изотермы адсорбции.
25. Оценка объема микропор с помощью  $a_s$  – графиков.
26. Использование  $t$ -графиков для определения объема микропор.
27. Теория адсорбции в микропорах Дубинина - Радушкевича.
28. Уравнение Дубинина-Радушкевича. Линейная форма уравнения. Его графическая зависимость.
29. Расчет суммарного объема микропор по уравнению Дубинина-Радушкевича.
30. Выбор адсорбтива для оценки параметров пористой структуры и удельной поверхности.
31. Выбор экспериментального метода получения изотермы адсорбции
32. Условия удаления летучих и хемосорбированных веществ из адсорбента перед измерениями.
33. Условия измерения изотермы адсорбции.
34. Необходимость проверки воспроизводимости изотерм.
35. Анализ типа изотермы и петли гистерезиса.
36. Условия анализа изотермы адсорбции с помощью метода БЭТ.
37. Определение возможности оценки распределения мезопор по размерам.
38. Оценка микропористости образца по изотерме адсорбции.

### Примерные вопросы к зачету

1. Особенности ультрадисперсных (наноразмерных) систем.
2. Роль поверхности в таких системах.
3. Адсорбция в границе раздела твердое тело – газ. Особенности процесса. Методы определения количества адсорбированного вещества.
4. Принципы весового и объемного методов определения количества адсорбированного (сорбированного) вещества. Единицы измерения количества адсорбированного газа или пара на твердой поверхности.
5. Изотермы, изобары, изостеры, изопикны адсорбции. Виды графических зависимостей.
6. Типы изотерм адсорбции по классификации С. Брунауэра, Л. Деминга, У. Деминга.
7. Адсорбционные силы. Специфическая и неспецифическая адсорбция. Типы адсорбентов и адсорбатов по классификации Киселева.
8. Реальные твердые тела. Энергетическая и геометрическая неоднородность твердой поверхности.
9. Внешняя и внутренняя поверхности твердого тела. Пористые и непористые тела с большой удельной поверхностью.
10. Удельная поверхность твердого тела ( $S_{уд}$ ). Соотношения между удельной поверхностью и размером частиц твердых тел разной структуры. Связь величины  $S_{уд}$  с емкостью монослоя.
11. Теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эмметта, Теллера (БЭТ). Вывод уравнения адсорбции.

12. Теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эмметта, Теллера (БЭТ). Уравнение БЭТ в линейной форме. Приложение уравнения к экспериментальным данным. Определение удельной поверхности твердого тела методом БЭТ.
13. Определение величины удельной поверхности методом БЭТ. Требования к адсорбатам.
14. Определение величины удельной поверхности методом БЭТ. Проверка надежности определения емкости монослоя поур. БЭТ.
15. Условия, применения метода БЭТ для определения величины удельной поверхности твердых тел.
16. Метод определения величины удельной поверхности поодной точке на изотерме адсорбции.
17. Использование стандартных изотерм адсорбции для анализа адсорбционных данных. Критерии выбора стандартных изотерм.
18. Анализ изотерм адсорбции с помощью  $t$ -графиков: кривые ависимости величины адсорбции от толщины адсорбционной пленки. Расчет величины удельной поверхности по  $t$ -графикам. Влияние микро- и мезопористости на форму  $t$ -графиков.
19. Анализ изотерм адсорбции с помощью  $as$ -графиков. Нормализованная величина адсорбции. Отклонения от линейности  $as$ -графиков. Преимущества  $as$ -графиков.
20. Оценка величины удельной поверхности по  $as$ -графикам. Преимущества  $as$ -графиков.
21. Анализ изотерм адсорбции с помощью сравнительных графиков. Сравнение изотерм адсорбции на данном твердом теле и эталоне с помощью  $f$ -графиков.
22. Точность определения удельной поверхности по адсорбционным данным. Источники погрешностей.
23. Требования к определению удельной поверхности из адсорбционных данных по методу БЭТ. Выбор адсорбтивов в соответствии со значениями константы  $C$  уравнения БЭТ.
24. Требования к определению удельной поверхности из адсорбционных данных по методу БЭТ. Выбор адсорбата. Азот как наиболее широко используемый адсорбат для определения удельной поверхности. Возможности применения других адсорбатов.
25. Классификация пор по размерам, предложенная Дубининым. Механизмы сорбции газов и паров пористыми твердыми телами. Влияние размера пор.
26. Классификация пор по размерам Дубинина. Взаимосвязь механизма заполнения пор с видом изотерм сорбции.
27. Классификация сорбентов по виду изотерм сорбции, предложенная Киселевым. Анализ изотерм сорбции IV типа.
28. Изотермы сорбции мезопористых сорбентов. Механизм процесса адсорбции в мезопорах. Капиллярная конденсация в мезопорах.
29. Уравнение Томсона (Кельвина), связывающее давление пара жидкости с радиусом кривизны ее поверхности. Вывод уравнения.
30. Расчет распределения пор по размерам с помощью уравнения Кельвина. Соотношение между радиусом кривизны мениска и размером пор. Радиусы пор и радиусы «кор». Адсорбционная пленка на стенках пор. Использование уравнения Кельвина для расчета распределения пор по размерам. Интервал применимости уравнения Кельвина.
31. Адсорбция в мезопорах. Механизм процесса. Предельный объем адсорбированного вещества. Правило Гурвича.
32. Сорбционно-десорбционный гистерезис, его причины. Использование десорбционной ветви изотермы для расчета распределения пор по размерам.
33. Адсорбция в мезопорах. Расчет распределения пор по размерам по изотерме десорбции. Учет двойственной природы десорбируемого адсорбата и толщины десорбционной пленки на стенках пор.
34. Методы вычисления распределения пор по размерам, учитывающие толщину адсорбционной пленки на стенках пор.
35. Анализ вида изотерм на микропористых адсорбентах. Механизм адсорбции в микропорах. Оценка объема микропор из адсорбционных данных.
36. Изотермы адсорбции на микропористых адсорбентах. Влияние развитой внешней поверхности и наличия мезопор на форму изотерм. Оценка микропористости из изотермы адсорбции.
37. Адсорбция на микропористых адсорбентах. Вид изотерм. Оценка объема микропор с помощью  $as$ -графиков.
38. Адсорбция на микропористых адсорбентах. Влияние микро- и мезопористости на форму  $t$ -графиков.
39. Адсорбция на микропористых адсорбентах. Использование  $t$ -графиков для определения объема микропор.
40. Теория адсорбции в микропорах Дубинина-Радушкевича. Уравнение Дубинина-Радушкевича и его анализ.
41. Адсорбция на микропористых адсорбентах. Использование уравнения Дубинина-Радушкевича для расчета суммарного объема микропор.
42. Условия применения адсорбции газов для оценки параметров пористой структуры и удельной поверхности. Выбор адсорбтива. Способы подготовки адсорбента.

43. Условия применения адсорбции газов для оценки параметров пористой структуры и удельной поверхности. Весовой и объемный методы получения изотермы адсорбции.
44. Условия измерения изотермы адсорбции. Источники экспериментальных погрешностей. Необходимость проверки воспроизводимости изотерм.
45. Условия применения адсорбции газов для оценки параметров пористой структуры и удельной поверхности. Анализ типа изотермы и петли гистерезиса.
46. Условия анализа изотермы адсорбции с помощью метода БЭТ.
47. Условия применения адсорбции газов для оценки параметров пористой структуры и удельной поверхности. Определение возможности оценки распределения мезопор по размерам.
48. Условия применения адсорбции газов для оценки параметров пористой структуры и удельной поверхности. Оценка микропористости образца по изотерме адсорбции.

## **7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 70% и промежуточного контроля - 30%.

### **Текущая работа по дисциплине включает:**

- посещение занятий - 10баллов,
- выполнение лабораторных заданий - 30баллов,

Текущий контроль по дисциплине включает:

- коллоквиум - 15баллов.
- тестирование - 15баллов.

### **Промежуточный контроль по дисциплине включает:**

- зачет – 30 баллов.

### **Критерии оценивания по зачету:**

**ответ оценивается «зачтено»**, если студент: полно раскрыл содержание материала в области, предусмотренной программой; изложил материал грамотным языком в определенной логической последовательности, точно использовал терминологию; показал умения иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами из практики; продемонстрировал усвоение изученных сопутствующих вопросов, сформированность и устойчивость знаний; отвечал самостоятельно без наводящих вопросов; возможны одна – две неточности при освещении второстепенных вопросов;

**ответ оценивается «не зачтено»** в следующих случаях: не раскрыто основное содержание учебного методического материала; обнаружено незнание и непонимание студентом большей или наиболее важной части дисциплины; допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов преподавателя; допускает ошибки в освещении основополагающих вопросов дисциплины.

### **Критерии оценки контрольных работ (коллоквиум):**

**оценка «отлично»:** ответ полный, правильный, самостоятельный, материал изложен в определенной логической последовательности, демонстрируется многосторонность подходов, многоаспектность обсуждения проблемы, умение находить рациональные пути решения задач, устанавливать причинно-следственные связи между строением, свойствами и применением веществ, в логическом рассуждении при решении задачи, графических построениях нет ошибок, задача решена рациональным способом с корректным использованием необходимых физико-химических величин, получен верный ответ;

работа выполнена на 66-85 % **оценка «хорошо»:** дан полный, правильный ответ на основе изученных понятий, концепций, закономерностей, теорий, но допускаются несущественные ошибки в расчетах при решении задач;

работа выполнена на 51-65 %. **оценка «удовлетворительно»:** дан полный ответ, но при этом есть существенные ошибки указывающие на неумение использовать теоретические знания и умения при решении поставленных задач. Данные пробелы в знаниях не препятствуют дальнейшему обучению;

**оценка «неудовлетворительно»:** ответ обнаруживает незнание основного (порогового) содержания учебного материала, работа выполнена менее 50%

### **Критерии оценки устного опроса:**

**оценка «отлично»** - выставляется студенту, если студент дал подробные ответы на все заданные вопросы. При этом студент должен показать знания не только из основной литературы, но и знания из дополнительной литературы, сети Internet;

**оценка «хорошо»** - выставляется студенту, если студент дал полные ответы на все вопросы, показав знания из основной литературы. При этом студент допустил незначительные ошибки в одном вопросе;

**оценка «удовлетворительно»** - выставляется студенту, если студент дал обобщенные ответы на все вопросы, показав знания из основной литературы. При этом студент допустил незначительные ошибки в нескольких вопросах;

**оценка «неудовлетворительно»** - выставляется студенту, если студент не дал базовые ответы на все вопросы, не продемонстрировал логической связи между теоретическим и практическим материалом. Не показал знания из основной литературы. Студент допустил значительные ошибки в вопросах.

#### **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) <http://edu.dgu.ru/course/index.php?categoryid=86>  
<http://chemistry-chemists.com/Uchebniki/Chemistry-books-Biochem.html>  
<http://chemistry-chemists.com/Libraries.html>

##### **б) основная литература:**

1. В. Лебухов, Анна Окара, Л. Павлюченкова Физико-химические методы исследования. Издательство: Лань Серия: Учебники для вузов. Специальная литература 2016 г. 480 с
2. В. В. Старостин. Материалы и методы нанотехнологии. Москва. БИ- НОМ. Лаборатория знаний. 2010. 431 с.
3. Физико-химические основы нанотехнологий [Электронный ресурс] : методические указания / . — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. — 64 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63530.html>
4. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур : учебное пособие / А.А. Барыбин, В.А. Бахтина, В.И. Томилин, Н.П. Томилина. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. - 236 с. - ISBN 978-5-7638-2396-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [http:// biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229593](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229593)

##### **в) дополнительная литература:**

1. Наноструктурные материалы / ред. Р. Ханнинк, А. Хилл ; пер. А.А. Шустиков. - Москва : РИЦ "Техносфера", 2009. - 488 с. - (Мир материалов и технологий). - ISBN 978-5-94836-221-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [http:// biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115678](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115678)
2. Генералов М.Б. Криохимическая нанотехнология: Учебное пособие для вузов. М.: ИКЦ "Академкнига", 2006, 325 с.
3. Головин Ю.И. Основы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Ю.И. Головин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Машиностроение, 2012. — 656 с. — 978-5-94275-662-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18532.html>

#### **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1999. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>. – Яз. рус., англ.
2. Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>, свободный
3. Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучения: [базаданных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. –URL: <http://moodle.dgu.ru/>.
4. <https://ibooks.ru/>
5. [www.book.ru/](http://www.book.ru/)
6. Химические серверы ChemWeb, ChemExpress Online, ChemNet.com <http://www.Himhelp.ru>
7. Каталог образовательных интернет-ресурсов <http://www.edu.ru/>

#### **10. Методические указания для обучающихся по освоению программы**

Перечень учебно-методических изданий, рекомендуемых студентам, для подготовки к занятиям представлен в разделе 8.

**Лекционный курс.** Лекция является основной формой обучения в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится систематическое изложение современных научных материалов, с целью формирования у студентов знаний и умений в области экологической паспортизации и аттестации. Что особенно важно инженерам, специализирующимся в области защиты окружающей среды. В тетради для конспектирования лекций записи должны быть избирательными, полностью следует записывать только определения. В конспекте рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие у студентов в ходе лекции, рекомендуется записывать на полях, и после окончания лекции обратиться за разъяснением к преподавателю. Студенту необходимо активно работать с конспектом лекций: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций следует использовать при подготовке к практическим занятиям экзамену, модульным контрольным, при выполнении самостоятельных заданий.

**Лабораторные занятия.** Перед началом лабораторных занятий, студент должен самостоятельно изучить методику выполнения и получить допуск у преподавателя. В ходе лабораторных занятий студент

под руководством преподавателя выполняет лабораторные задания, позволяющие закрепить лекционный материал по изучаемой теме, научиться выполнять статистическую обработку полученных данных, научиться работать с методиками, руководящими документами, информацией различного уровня. Студент должен вести активную познавательную работу. Целесообразно строить ее в форме наблюдения, эксперимента и конспектирования. Важно научиться включать вновь получаемую информацию в систему уже имеющихся знаний. Необходимо также анализировать материал для выделения общего в частном и, наоборот, частного в общем.

**Самостоятельная работа** выполняется студентом в виде конспектирования первоисточника, закрепления материала при выполнении практических работ по теме. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводится: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

#### 11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине

«Методы анализа поверхности твердых материалов» используются следующие информационные технологии:

Занятия компьютерного тестирования.

Демонстрационный материал применением проектора и интерактивной доски.

Программы пакета Microsoft Office

#### 12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями ФГОС ВО кафедра имеет специально оборудованную учебную аудиторию для проведения лекционных занятий по потокам студентов, помещения для лабораторных работ на группу студентов из 12 человек и вспомогательное помещение для хранения химических реактивов и профилактического обслуживания учебного и учебно-научного оборудования.

Помещение для лекционных занятий укомплектовано комплектом электропитания ЩЭ (220 В, 2 кВт, в комплекте с УЗО), специализированной мебелью и оргсредствами (доска аудиторная для написания мелом и фломастером, стойка-кафедра, стол лектора, стул-кресло, столы аудиторные двухместные (1 на каждого двух студентов), стул аудиторный (1 на каждого студента), а также техническими средствами обучения (экран настенный с электроприводом и дистанционным управлением, мультимедиа проектор с ноутбуком).

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения (лабораторного оборудования, образцов, нормативных и технических документов и т.п.). Помещения лабораторных практикумов укомплектованы специальной учебно-лабораторной мебелью (в том числе столами с химически стойкими покрытиями), учебно-научным лабораторным оборудованием, измерительными приборами и химической посудой, в полной мере обеспечивающими выполнение требований программы по аналитической химии.

При проведении занятий используется учебное и лабораторное оборудование: Атомно-абсорбционный спектрометр, Contr AA-700, AnalytikJena, Германия; Спектрофотометр UV-3600 с интегрирующей сферой LISR-3100, UV-3600, Япония; Многоцелевой экспериментальный массспектрометрический комплекс ЭМК, Россия; Рентген-флуоресцентный спектрометр EDX-800 HS, Япония; ИК-Фурье спектрометр ИнфраЛЮМ ФТ02, Россия; Спектрофлуориметр F-700, Япония; Спектрофотометр, SPECORD 210 PlusBU, AnalytikJena, Германия; Спектрометрический комплекс МДР-41 в комплекте с азотным проточным криостатом OptCryo198, Россия; Микроволновая система минерализации проб под давлением, TOPwaveIV, AnalytikJena, Германия; Рентгеновский дифрактометр, EmpyreanSeries 2 Фирма Panalytical (Голландия); Дифференциальный сканирующий калориметр, NETZSCH STA 409 PC/PG, Германия; Лабораторная экстракционная система, SFE1000M1-2-FMC-50, Waters, США; Хроматомасс-спектрометр, 7820 Маэс ро, США, Россия; Высокоэффективный жидкостной хроматограф, Agilent 1220 Infinity, США.