

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
Аналитической химии

Селеменев В.Ф.

15.06.2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
М1.В.02 Термодинамика и кинетика ионного обмена

*Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

**1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:**

04.04.01 Химия

**2. Профиль подготовки/специализации:** Аналитическая химия

**3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр

**4. Форма образования:**

очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Аналитическая химия

**6. Составители программы:** Котова Диана Липатьевна д.х.н., профессор

*(ФИО, ученая степень, ученое звание)*

Селеменев Владимир Федорович д.х.н., профессор

**7. Рекомендована:** НМС химического факультета № 5 от 24.05.2018

*(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,*

*отметки о продлении вносятся вручную)*

**8. Учебный год:** 2018-2019

**Семестр(ы):** 1

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Цель:** Ознакомление магистров с современными аспектами теоретических основ термодинамики, кинетики и динамики сорбционных процессов.

**Задачи:** Применять имеющиеся теоретические модели для описания равновесия, кинетики и динамики сорбционных процессов.

Уметь анализировать полученные экспериментальные данные как точки зрения механизма процесса, так и с позиций практического использования.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** (блок Б1, базовая или вариативная часть, к которой относится дисциплина, требования к входным знаниям, умениям и компетенциям, дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей)

М1. Вариативная часть. Дисциплины по выбору

Иметь представления о наиболее актуальных проблемах современной теоретической и экспериментальной химии; понимать их значение для развития науки и производства

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	Способность использовать и развивать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	<b>Знать:</b> физико-химические основы сорбционных процессов: термодинамики, макрокинетики и динамики. <b>Уметь:</b> теоретически обосновать применение моделей для описания полученных экспериментальных данных по исследованию равновесия, кинетики и динамики сорбционных процессов. Установить механизм изучаемых процессов. <b>Владеть:</b> практические навыки в постановке эксперимента по исследованию равновесия, кинетики и динамики сорбции.
ПК-1	Способность проводить научные исследования по сформулированной тематике, самостоятельно составлять план исследования получать новые научные и прикладные результаты	<b>Знать:</b> современное состояние теории, описывающей ионообменные процессы <b>Уметь:</b> самостоятельно составлять план проведения экспериментального исследования ионообменных процессов <b>Владеть:</b> математическими навыками описания полученных экспериментальных данных
ПК-2	Владением теорией и	<b>Знать:</b> основные модельные представления и опирающиеся на них теории, позволяющие описать

	навыками практической работы в избранной области химии	ионообменные процессы <b>Уметь:</b> используя методические приемы, дать объяснения исследуемых процессов <b>Владеть:</b> практическими и теоретическими навыками для решения поставленной цели
ПК-3	Готовность использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований	<b>Знать:</b> современные методы для проведения научных исследований <b>Уметь:</b> анализировать полученные экспериментальные данные с целью выявления общих закономерностей, протекающих в ионообменниках <b>Владеть:</b> современными физико-химическими методами для решения поставленных задач

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 3 /108.**

**Форма промежуточной аттестации -зачет с оценкой**

**13. Виды учебной работы:**

**13. Виды учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1 семестр	№ семестра	...
Аудиторные занятия	54	54		
в том числе: лекции	18	18		
практические	36	36		
лабораторные				
Самостоятельная работа	162	162		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – __ час.)	36	36		
Итого:	252	252		

**13.1. Содержание дисциплины:**

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Понятие ионообменной системы. Ионообменное равновесие. Термодинамика ионного обмена.	Общие сведения об ионообменниках. Классификация ионитов. Строение и свойства ионообменников. Неоднородность ионитов. Существующие модели ионитов при описании ионообменных процессов.
1.2	Химические потенциалы компонентов в системе ионит – раствор. Определение коэффициентов активности компонентов в фазе ионообменника и термодинамической константы равновесия ионного обмена.	Термодинамика ионного обмена. Условия термодинамического равновесия в ионообменной системе. Уравнение закона действия масс для процессов в системе ионит – раствор. Химические потенциалы компонентов в системе ионит – раствор. Определение коэффициентов активности компонентов в фазе ионообменника и термодинамической константы равновесия ионного обмена. Дифференциальные термодинамические функции реакции ионнообмена.

		Факторы, влияющие на ионообменное равновесие.
1.3	Закономерности сорбции органических ионов. Явление ионообменного изотермического пересыщения.	Некоторые закономерности сорбции органических ионов. Явление ионообменного изотермического пересыщения. Характеристики образования пересыщенных растворов в ионообменниках.
1.4	Набухание ионообменников.	Модели набухания. Определение термодинамических характеристик сорбции воды ионообменниками
1.5	Равновесие в многокомпонентных системах.	Изотопный обмен. Внешняя диффузия. Внутридиффузионная кинетика. Коэффициенты самодиффузии в ионитах. Смешанная кинетика. Экспериментальное обоснование моделей.
1.6	Кинетика ионообменных процессов. Модель однородного ионита.	Общие положения кинетики ионного обмена. Методы исследования кинетики массопереноса в ионообменниках. Механизмы ионного обмена. Методы определения лимитирующей стадии процесса.
1.7	Модель ионита, как раствора электролита. Кинетика сорбции, контролируемая химической реакцией.	Модель ионита, как раствора электролита. Внутренняя диффузия. Решение для модели Туницкого – Гельфериха. Экспериментальная проверка модели. Внешнедиффузионная кинетика. Общее решение задачи для начальной стадии обмена.
1.8	Массообмен на ионитах при наличии быстрых химических реакций.	Обмен в условиях, когда одна или обе ионные формы малодиссоциированы. Исходная форма не полностью диссоциирована. Влияние необратимости реакции ионного обмена на диффузионную кинетику.
1.9	Динамика ионного обмена.	Выходные кривые. Уравнение движения фронта сорбции в случае фронтальной сорбции одного иона.
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Понятие ионообменной системы. Ионообменное равновесие. Термодинамика ионного обмена.	Экспериментальное исследование равновесия сорбции. Описание полученных изотерм с применением теорий Ленгмюра, Фрейндлиха, БЭТ
2.2	Закономерности сорбции органических ионов. Явление ионообменного изотермического пересыщения.	Исследование сорбции БАВ на ионообменниках. Описание закономерностей сорбции.
2.4	Кинетика ионообменных процессов. Модель однородного ионита.	Экспериментальное получение кинетических кривых. Описание кинетики сорбции с применением модели однородного ионита.
2.5	Модель ионита, как раствора электролита. Кинетика сорбции, контролируемая химической реакцией.	Экспериментальное получение кинетических кривых. Описание кинетики сорбции с применением модели ионита как раствора электролита.
2.6	Динамика ионного обмена.	Экспериментальных выходные кривые сорбции. Описание выходных кривых с одновременным учетом статических и динамических факторов.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Понятие ионообменной системы. Ионообменное равновесие. Термодинамика ионного обмена.	2	5		18	15

2	Химические потенциалы компонентов в системе ионит – раствор. Определение коэффициентов активности компонентов в фазе ионообменника и термодинамической константы равновесия ионного обмена.	2	5		18	12
3	Закономерности сорбции органических ионов. Явление ионообменного изотермического насыщения.	2	4		18	14
4	Набухание ионообменников.	1	4		18	3
5	Равновесие в многокомпонентных системах.	2	4		18	10
6	Кинетика ионообменных процессов. Модель однородного ионита.	2	4		18	14
7	Модель ионита, как раствора электролита. Кинетика сорбции, контролируемая химической реакцией.	3	4		18	15
8	Массообмен на ионитах при наличии быстрых химических реакций.	2	4		18	14
9	Динамика ионного обмена.	2	2		18	11
Итого:		18	36		162	252

**14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (рекомендации обучающимся по освоению дисциплины):** организация дисциплины предполагает работу с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, проведение тест-контроля.:

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Котова Д.Л. Кинетика ионного обмена / Котова Д.Л., Крысанова Т.А., Крысанов В.А. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2012 – 75 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена / Ф. Гельферих; пер. с немец. / под ред. С.М. Чернوبرова. М. : Изд-во иностр. лит., 1962. – 490 с.
3	Кокотов Ю.А. Теоретические основы ионного обмена. Сложные ионообменные равновесия / Ю.А. Кокотов, П.П. Золотарев, Г.Э.Елькин. Л. : Химия, 1986. – 270 с.
4	Самсонов Г.В. Ионный обмен. Сорбция органических соединений / Г.В. Самсонов, Е.Б. Тростянская, Г.Э.Елькин. Л. : Наука, 1969. – 336 с.
5	Самсонов Г.В. Сорбционные и хроматографические методы физико-химической биотехнологии / Г.В. Самсонов, А.Т. Меленевский. Л. : Наука, 1986. – 225 с.
6	Кравченко Т.А. Наноконпозиты металл-ионообменник / Т.А.Кравченко, Л.Н.Полянский, А.И.Калиничев, Д.В.Конев. М.:Наука, 2009. – 391 с.
7	Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов / В.А. Углянская [и др.]. Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1989. – 200 с.
8	Солдатов В.С. Ионообменные равновесия в многокомпонентных системах / В.С. Солдатов, В.А. Бычкова. Минск : Наука и техника, 1988. – 182 с.

9	Полянский Н.Г. Методы исследования ионитов / Н.Г. Полянский, Г.В. Горбунов, Н.Л. Полянская. М. : Химия, 1976. – 208 с.
10	Практикум по ионному обмену / В.Ф. Селеменов [и др.]. Воронеж : изд-во Воронеж. ун-та, 2004. – 180 с.
11	Кокотов Ю.А. Равновесие и кинетика ионного обмена / Ю.А. Кокотов, В.А. Пасечник. Л. : Химия, 1988. – 366 с.
12	Самуэльсон О. Ионообменные разделения в аналитической химии / О. Самуэльсон. Л. : Химия, 1966. – 416 с.
13	Либинсон Г.С. Физико-химические свойства карбоксильных катионитов / Г.С. Либинсон. М. : Наука, 1968. –182 с.
14	Амелин А.Н. Калориметрия ионообменных процессов / А.Н. Амелин, Ю.А. Лейкин. Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. –102 с
15	Синявин М.М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ / М.М. Синявин. М. : Химия, 1980. – 124 с.
16	Марийский Я. Ионный обмен / Я. Марийский. М. : Мир, 1968. –551 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы-справочные и поисковые системы:

№ п/п	Источник
1	«Аналитика-Мир профессионалов» ИНТЕРНЕТ ПОРТАЛ ХИМИКОВ-АНАЛИТИКОВ <a href="http://www.anchem.ru/">http://www.anchem.ru/</a>
2	Интернет-ресурсы по методам химического анализа - <a href="http://www.rusanalytchem.org">http://www.rusanalytchem.org</a>
3	Интернет портал для химиков <a href="http://www.chemweb.com">http://www.chemweb.com</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Котова Д.Л. Термический анализ ионообменных материалов / Д.Л. Котова, В.Ф. Селеменов. – М. : Наука, 2002. – 156 с
2	Николаев Н.И. Кинетика ионного обмена на смолах // Кинетика и динамика физической адсорбции / Н.И.Николаев – М.: Наука. 1973. С.32-38.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

ноутбук DellInspiration, мультимедийный проектор EPSON

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-1 Способность использовать и развивать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	<b>Знать:</b> физико-химические основы сорбционных процессов: термодинамики, макрокинетики и динамики.	Раздел 1,2,3,6,7,8,9	Тест, контрольные вопросы
	<b>Уметь:</b> теоретически обосновать применение моделей для описания полученных	Раздел 2,3,6,7,9	Контрольные вопросы

	экспериментальных данных по исследованию равновесия, кинетики и динамики сорбционных процессов. Установить механизм изучаемых процессов. :		
	<b>Владеть:</b> практическими навыками в постановке эксперимента по исследованию равновесия, кинетики и динамики сорбции.	Раздел 2,3,5,6,9	Рефераты
ПК-1 Способность проводить научные исследования по сформулированной тематике, самостоятельно составлять план исследования получать новые научные и прикладные результаты	<b>Знать:</b> современное состояние теории, описывающей ионообменные процессы	Раздел 1,2,3,6,7,8,9	Тест, контрольные вопросы
	<b>Уметь:</b> самостоятельно составлять план проведения экспериментального исследования ионообменных процессов		
	<b>Владеть:</b> математическими навыками описания полученных экспериментальных данных		
ПК-2 Владением теорией и навыками практической работы в избранной области химии	<b>Знать:</b> основные модельные представления и опирающиеся на них теории, позволяющие описать ионообменные процессы	Раздел 2,3,5,6,9	Тест, контрольные вопросы
	<b>Уметь:</b> используя методические приемы, дать объяснения исследуемых процессов		
	<b>Владеть:</b> практическими и теоретическими навыками для решения поставленной цели		
ПК-3 Готовность использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований	<b>Знать:</b> современные методы для проведения научных исследований	Раздел 1,2,3,6,7,8,9	Тест, контрольные вопросы
	<b>Уметь:</b> анализировать полученные экспериментальные данные с целью выявления общих закономерностей, протекающих в ионообменниках		
	<b>Владеть:</b> современными физико-химическими методами для решения поставленных задач		
<b>Промежуточная аттестация</b>			КИМ

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

## 19.2. Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень	Шкала оценок
---------------------------------	---------	--------------

	<b>сформированности компетенций</b>	
Обучающийся должен овладеть теоретическими и практическими основами ионообменных процессов. Уметь теоретически обосновать применение моделей для описания равновесия и кинетики сорбционных процессов. Иметь практические навыки в определении термодинамических, кинетических и динамических характеристик процесса. Уметь теоретически обосновать применение моделей для описания равновесия, кинетики и динамики сорбционных процессов для решения практических задач.	Повышенный уровень	Отлично
Студент должен представить полное знание учебного материала, предусмотренного рабочей программой, успешно выполнять задания всех форм текущего контроля, но при этом ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному или двум из перечисленных показателей. На дополнительные вопросы обучающийся дает правильные ответы	Базовый уровень	Хорошо
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует двум или трем из перечисленных вопросов. Дает неполные ответы на дополнительные вопросы, частично владеет теоретическими основами дисциплины.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ обучающего не соответствует любым заданным вопросам контрольно-измерительного материала. Отсутствуют систематические, устойчивые знания по предлагаемому курсу и допускаются студентом грубые принципиальные ошибки при ответе.	-	Неудовлетворительно

### **19.3. Типовые контрольные задания.**

#### **19.3.1. Перечень вопросов к зачету:**

Строение и свойства ионообменников. Неоднородность ионитов. Существующие модели ионитов при описании ионообменных процессов.

Термодинамика ионного обмена. Условия термодинамического равновесия в ионообменной системе. Уравнение закона действия масс для процессов в системе ионит – раствор.

Химические потенциалы компонентов в системе ионит – раствор. Определение коэффициентов активности компонентов в фазе ионообменника и термодинамической константы равновесия ионного обмена. Дифференциальные термодинамические функции реакции ионнообмена. Факторы, влияющие на ионообменное равновесие.

Некоторые закономерности сорбции органических ионов. Явление ионообменного изотермического пересыщения. Характеристики образования пересыщенных растворов в ионообменниках.

Модели набухания. Определение термодинамических характеристик сорбции воды ионообменниками.

Общие положения кинетики ионного обмена. Методы исследования кинетики массопереноса в ионообменниках.

Механизмы ионного обмена. Методы определения лимитирующей стадии процесса.

Изотопный обмен. Внешняя диффузия. Внутридиффузионная кинетика. Коэффициенты самодиффузии в ионитах. Смешанная кинетика. Экспериментальное обоснование моделей.

Модель ионита, как раствора электролита. Внутренняя диффузия. Решение для модели Туницкого – Гельфериха. Экспериментальная проверка модели. Внешнедиффузионная кинетика. Общее решение задачи для начальной стадии обмена.

Кинетика сорбции, контролируемая химической реакцией.

Массообмен на ионитах при наличии быстрых химических реакций.

Динамика ионного обмена.



### 19.3.2. Тестовые задания

1. Укажите две основные стадии, лимитирующие скорость обмена, которые применяют в основном для описания кинетики ионного обмена:
  - диффузия ионов через пленку жидкости, окружающей зерно ионита;
  - диффузия ионов в зерне ионита;
  - поток ионов в объеме раствора по направлению к зерну ионита за счет конвекции или диффузии;
  - диффузия ионов из раствора и ионита через границу раздела между раствором и ионитом;
  - обмен ионов.
2. Укажите, какие системы имеют склонность к внутридиффузионной кинетике:
  - иониты, обладающие высокой емкостью, малым размером гранул, высокой степенью сшивки в растворе низкой концентрации со слабым перемешиванием;
  - иониты малой емкостью, высокой степенью сшивки, большим радиусом зерна, в растворе высокой концентрации с интенсивным перемешиванием;
  - иониты малой емкостью, низкой степенью сшивки, большим радиусом зерна, в растворе высокой концентрации со слабым перемешиванием.
3. При каком механизме кинетики ионного обмена зависимость  $-\ln(1-F) = kt$  имеет линейный вид?
  - внутридиффузионном;
  - внешнедиффузионном;
  - смешаннодиффузионном.
4. Приведите аналитический вид уравнения в случае внутридиффузионной кинетики для изотопного обмена:
5. Приведите уравнение Нернста –Планка:
6. Что показывают кривые распределения вещества в ионите при проведении ионообменного процесса в колонке?
  - a. движение фронта сорбции в колонке;
  - b. распределение вещества между сорбатом и сорбентом;
  - c. перераспределение вещества в самой колонке.
7. Какие факторы определяют коэффициент самодиффузии ионов в ионите?
  - d. заряд, радиус, подвижность иона, степень набухаемости ионита, емкость ионита, размеры пор в ионите, температура раствора;
  - e. заряд и радиус иона, концентрация иона в растворе, степень набухаемости ионита, емкость ионита, степень его сшивки, температура раствора;
  - f. заряд, радиус, подвижность иона, концентрация его в растворе, емкость ионита, степень сшивки сорбента.
7. Влияет ли вид изотермы сорбции на скорость перемещения вещества вдоль колонки? Если да, то, как идет изменение фронта сорбции в случае выпуклой изотермы?
  - не влияет;
  - влияет, идет сужение фронта сорбции, т.е. его обострение;
  - влияет, фронт сорбции размывается.
9. На основе выражения для коэффициента взаимодиффузии в случае внутридиффузионной кинетики укажите, когда обмен ионов протекает быстрее?
  - в ионите первоначально находился более быстрый ион;
  - в ионите первоначально находился более медленный ион.
10. Дайте правильное понятие ложному равновесию в случае сорбции органического иона:
  - затухание процесса сорбции при степени достижения равновесия равной 0,2-0,4;

- уменьшение коэффициента диффузии иона по мере протекания сорбционного процесса;
- быстрый проскок вещества в фильтрат.

### **19.3.3. Контрольные вопросы по курсу «Термодинамика и кинетика ионного обмена»**

#### **Раздел «Термодинамика ионного обмена»**

1. Обменная емкость. Способы определения обменной емкости.
2. В чем заключается осмотическая теория ионного обмена?
3. Перечислить какие характеристики используют для количественной оценки набухания ионообменников.
4. Ионообменное равновесие и факторы, влияющие на ионообменное равновесие.
5. Термодинамическое описание ионообменного равновесия.
6. Перечислите факторы, определяющие селективность ионного обмена.
7. Параметры селективности ионного обмена.
8. Чем обусловлено установление ложного равновесия при ионном обмене?
9. Особенности сорбции физиологически активных веществ на ионообменниках
10. Чем обусловлено явление ионообменного изотермического пересыщения?

#### **Раздел «Кинетика ионного обмена»**

1. Методы исследования кинетики ионного обмена. Определение лимитирующей стадии процесса сорбции.
2. Расчет кинетических характеристик сорбции по экспериментальным данным.
3. Массообмен на ионообменниках при протекании быстрых химических реакций.
4. Перечислить особенности кинетики сорбции больших органических ионов.
5. Особенности кинетики сорбции на неорганических сорбентах.
6. Перечислить факторы, влияющие на форму выходных кривых.

#### **19.3.4. Темы рефератов:**

1. Структура и физико-химические свойства ионообменников.
2. Гидратация ионообменников.
3. Селективность ионного обмена.
4. Доннановская сорбция.
5. Закономерности сорбции органических ионов.
6. Двухзонная модель для описания кинетики массопереноса.
7. Особенности кинетики сорбции больших органических ионов.
8. Формально-кинетический анализ кинетических экспериментальных данных.
9. Особенности кинетики редокс-сорбции.

