

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Аннотированная рабочая программа дисциплины  
Ионообменная хроматография**

Направление подготовки  
**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Квалификация  
**Специалист**

Форма обучения  
**Очная**

Томск – 2016

**1. Код и наименование дисциплины Б1.В.ДВ.1.8.1 «Ионообменная хроматография»**

**2. Цель изучения дисциплины (модуля)** – формирование у студентов системы фундаментальных теоретических знаний и практических навыков применения хроматографических методов в анализе объектов окружающей среды.

**3. Год/годы и семестр/семестры обучения** – 4 год, 7 семестр

**4. Общая трудоемкость дисциплины (модуля)** составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, из которых 48 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов – занятия лекционного типа, 4 часа – занятия семинарского типа, 24 часа – лабораторные работы, 2 часа – групповые консультации, 2 часа – индивидуальные консультации), 24 часа составляет самостоятельная работа обучающегося, промежуточный контроль (подготовка к экзамену – 36 часов.

**5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы** (заполняется в соответствии с картами компетенций)

<b>Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<b>Второй уровень</b> (углублённый) <b>(ОПК-2) – II</b> владение навыками химического эксперимента, синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	<b>В (ОПК-2) – II – Владеть:</b> техникой выполнения операций по подготовке ионообменников к работе, получения их физико-химических характеристик, построения хроматографических кривых
<b>Первый уровень</b> (пороговый) <b>(СК-2) – I</b> владение основами методов пробоотбора и пробоподготовки, идентификации и определения, математической статистики для обработки аналитической информации и умение их применять в анализе реальных объектов	<b>З (СК-2) – I – Знать:</b> теоретические основы ионообменного концентрирования и разделения  <b>У (СК-2) – I – Уметь:</b> объяснить суть методик определения физико-химических свойств ионообменников ( $W$ , $pK_a$ , ПОЕ, $E_p$ , $D$ , ДОЕ, ПДОЕ)

**6. Содержание дисциплины «Ионообменная хроматография» и структура учебных видов деятельности**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

**6.1. Структура учебных видов деятельности**

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				СРС (час.)	Промежуточный контроль (час.)
		Лекции	Семинары	Практические занятия	Консультации		
Основные понятия. История развития хроматографии. Классификации методов хроматографии. Перспективы развития метода	6	2	-	-		4	
Характеристика ионообменных материалов	6	2	-	-		4	
Физико-химические свойства ионообменников	20	4	-	10	2	4	
Равновесие ионного обмена	13	2	2	4	2	4	
Кинетика ионного обмена	4	2				2	
Динамика ионного обмена	17	2	2	10		4	
Ионная хроматография	4	2				2	
Промежуточный контроль	36						36
<b>Всего</b>	<b>108</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>36</b>

## 6.2. Содержание дисциплины «Ионообменная хроматография»

**Тема 1. Введение.** Основные понятия. История развития хроматографии. Классификации методов хроматографии. Классификация по агрегатному состоянию фаз. Классификация на основе природы элементарного акта. Классификация по способу относительного перемещения фаз. Классификация методов по аппаратурному оформлению. Перспективы развития метода.

**Тема 2. Характеристика ионообменных материалов.** Природные ионообменные сорбенты (торфы, цеолиты). Их структура, ионообменные свойства, применение. Синтетические ионообменные сорбенты. Их синтез и свойства. Получение ионитов методом поликонденсации и полимеризации. Примеры синтеза (КУ-2, КБ, ЭДЭ-10, АВ-17). Структура сорбентов: гелевая, макропористая, макросетчатая, волокнистая. Примеры.

**Тема 3. Физико-химические свойства ионообменников.** Ионообменная емкость ионообменников, способы ее выражения: полная обменная ёмкость (ПОЕ), полная динамическая обменная ёмкость (ПДОЕ), динамическая обменная ёмкость (ДОЕ) или рабочая ёмкость (Е<sub>р</sub>). Факторы, влияющие на ПОЕ и ДОЕ. Кислотно-основные свойства сорбентов. Вывод уравнения Гендерсона-Гассельбаха. Применение метода потенциометрического титрования для определения рКа ионогенных групп и ПОЕ. Набухаемость ионообменников. Количественное описание равновесия набухания с точки зрения модельных представлений Грегора.

**Тема 4. Равновесие ионного обмена.** Избирательность. Характеристики избирательности: коэффициенты распределения и разделения, кажущаяся и термодинамическая константы ионного обмена, связь между ними. Изотермы ионного обмена. Описание равновесия ионного обмена с точки зрения теории Грегора. Влияние температуры, числа поперечных связей, структуры ионита, природы растворителя на ионообменное равновесие.

**Тема 5. Кинетика ионного обмена.** Внешнедиффузионная (пленочная) кинетика. Константа скорости и коэффициенты внешней диффузии. Признаки внешнедиффузионной кинетики. Внутридиффузионная (гелевая) кинетика. Константа скорости и коэффициенты диффузии. Основные признаки внутридиффузионного процесса. Энергия активации. Экспериментальное нахождение кинетических характеристик. Методы изучения кинетики: метод тонкого слоя и метод ограниченного объема. Факторы, влияющие на кинетику ионного обмена: заряд и радиус иона, степень сшитости и структура ионитов, температура раствора.

**Тема 6. Динамика ионного обмена. Элюентная хроматография.** Теория тарелок Мартина и Синджа: уравнение кривой элюирования, уравнения для расчёта параметров эффективности колонки (число теоретических тарелок, ВЭТТ). Расчёт высоты колонки при заданной степени чистоты фракции. Влияние условий опыта (заряд элюируемого иона, концентрация элюента, рН раствора) на выход максимальной концентрации. Построение кривой элюирования. Принципы ионообменного разделения. Использование комплексобразования ионов в растворе, природы растворителя для повышения селективности хроматографического разделения. Влияние скорости потока и температуры на эффективность разделения. *Фронтальная хроматография.* Построение выходной кривой. Понятие стационарного и размывающегося фронта. Ширина и средняя точка хроматографического фронта. Определение ПДОЕ и ДОЕ.

**Тема 7. Ионная хроматография.** Ионообменники, используемые в ионной хроматографии, их особенности строения. Анионная и катионная двухколоночная и одноколоночная виды ионной хроматографии, их преимущества и недостатки. Использование ИХ при анализе природных объектов (природные, дождевые, снеговые воды, атмосферные аэрозоли и др.)

**Тема 8.** Параметры хроматографической колонки: пористость, эффективное сечение, ионное отношение. Определение некоторых физико-химических свойств ионообменников. Методики определения набухаемости, истинной плотности ионообменников в гидратированном состоянии, полной обменной ёмкости, коэффициентов распределения и селективности для разделяемых ионов.

## **7. Ресурсное обеспечение дисциплины «Ионообменная хроматография»**

### **7.1. Основная литература**

1. Конюхов В.Ю. Хроматография: учебник / В.Ю. Конюхов. – СПб.: Лань, 2012. – 222 с.
2. Бёккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза / Ю. Бёккер; пер. с нем. В.С. Куровой; под ред. А. А. Курганова. М.: Техносфера, 2009. – 470 с.
3. Сычев К.С. Практическое руководство по жидкостной хроматографии / К.С. Сычев. – М.: Техносфера, 2010. – 270 с.
4. Аналитическая химия. Химический анализ реальных объектов / М. А. Киселева [и др.]. Томск: РИО ТГУ, 2012. – 91 с.
5. Москвин Л. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии / Л. Москвин, О. Родинков. – СПб.: Интеллект, 2011. – 352 с.
6. Большова Т.А. Основы аналитической химии: учебник для студентов вузов. Т. 1. / Т.А. Большова, Г.Д. Брыкина, А.В. Гармаш и др.; под ред. Ю.А. Золотова. М.: Академия, 2012. – 383 с.
7. Риман В., Уолтон Г. Ионообменная хроматография в аналитической химии / В. Риман, Г. Уолтон. – М.: Мир, 1973. – 376 с.
8. Шпигун О.А. Ионная хроматография и ее применение в анализе вод / О.А. Шпигун, Ю.А. Золотов. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 90 с.

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Жебентяев А.И. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа: уч. пособие / А.И. Жебентяев. – М. [и др.]: Инфра-М [и др.], 2013. – 205 с.
2. Хенке Х. Жидкостная хроматография: перевод с нем. Н.Е. Киреевой; под ред. А.А. Демина / Х. Хенке. – М.: Техносфера, 2009. – 263 с.
3. Сычев С.Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Аналитика, физическая химия, распознавание многокомпонентных систем: уч. пособие / С.Н. Сычев, В.А. Гаврилина. – СПб [и др.]: Лань, 2013. – 255 с.
4. Карпов Ю. А. Методы пробоотбора и пробоподготовки / Ю. А. Карпов, А.П. Савостин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 243 с.
5. Другов Ю. С. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Ю. С. Другов, А. А. Родин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 469 с.
6. Другов Ю.С. Анализ загрязненной воды: Практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 681 с.
7. Другов Ю.С. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха: практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2015. – 531 с.

### **7.3. Электронные ресурсы**

1. Хроматография: инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза. [Электронный ресурс] / Бёккер Ю. – М.: Техносфера, 2009. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948362120.html>
2. Анализ загрязненной воды [Электронный ресурс]: практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – 2-е изд. (эл.). – Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 681 с.). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – (Методы в химии) <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326532.html>

3. Программа «Origin Pro 8» для статистической обработки результатов хроматографического анализа, рекомендации к использованию программы на сайте: <http://www.OriginLab.com>
4. Крылов В.А., Сергеев Г.М., Улипашева Е.А. Введение в хроматографические методы анализа. Ч. 1. Ионообменная и ионная хроматографии. Ч. 2. Практическая ионная хроматография [Электронный учебно-методический комплекс] /В.А. Крылов, Г.М. Сергеев, Е.А. Улипашева. – Н. Новгород: Нижегород. госуниверситет, 2010. [http://www.unn.ru/books/met\\_files/Krylov1.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Krylov1.pdf)
5. Хроматография [Электронный ресурс]: учебник / В. Ю. Конюхов [и др.] - Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 224 с. /<http://e.lanbook.com/books/element>
6. Другов Ю. С. Пробоподготовка в экологическом анализе / Ю. С. Другов, А. А. Родин. – М.: БИНОМ. Лаборатория Знаний, 2009, – 855 с. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб. 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>

**8. Преподаватель (автор):** к.х.н., доцент Л.Б. Наумова