



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ**

**Институт физической химии и электрохимии  
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук  
(ИФХЭ РАН)**

**ПРИНЯТО**

Ученым советом ИФХЭ РАН

Протокол № 6 от 22.09.2011 г.

Председатель Ученого совета  
академик



А.Ю. Цивадзе

**Рабочая программа дисциплины**

**Химия элементоорганических соединений**

Специальность 02.00.03- Органическая химия

Москва

2012 год

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Цели дисциплины Подготовить аспирантов и специалистов – химиков - органиков к научно-исследовательской деятельности, связанной с разработкой и применением методов химии элементоорганических соединений.

Задачи дисциплины: Создание углубленного представления химии элементоорганических соединений. и ее месте среди других химических наук и в химической промышленности. Освоение теоретических основ химии элементоорганических соединений. Формирование глубокого понимания общих закономерностей зависимости свойств элементоорганических соединений от их строения. Обучение навыкам теоретического анализа результатов экспериментальных исследований в области химии элементоорганических соединений, методам планирования экспериментов и обработки их результатов, систематизирования и обобщения как уже имеющейся в литературе, так и самостоятельно полученной в ходе исследований информации.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Данная дисциплина относится к группе специальных дисциплин отрасли науки и научной специальности ООП ППО (в соответствии с Федеральными государственными требованиями (ФГТ)).

Настоящая обязательная дисциплина «химия элементоорганических соединений» - модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) по специальности 02.00.03- органическая химия.

Обучающийся по данной дисциплине должен иметь фундаментальные представления об органической химии. Для обучения по данной дисциплине необходимо высшее образование с освоением курса по органической химии в объеме для химических специальностей.

## **3 Требования к результатам освоения дисциплины**

В рамках данной дисциплины углубляются и развиваются следующие компетенции:

а) общекультурные компетенции: способность к самостоятельному освоению новых методов, к изменению научного и научно-производственного профиля

своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы;

б) профессиональные компетенции: представление о основах элементоорганической химии: природе химической связи углерода с другими элементами, пространственного и электронного строения молекул элементоорганических соединений, механизмов реакций с их участием, методов их исследования. Способность использовать квантовохимические методы (теорию молекулярных орбиталей) при анализе строения элементоорганических соединений. Глубокое понимание общих закономерностей зависимости свойств от строения элементоорганических соединений. Способность выбирать оптимальные решения при выборе методов исследований; способность систематизировать и обобщать как уже имеющуюся в литературе, так и самостоятельно полученную в ходе исследований информацию; способность разрабатывать теоретические модели, позволяющие объяснять наблюдаемые результаты процессов и предсказывать пути их оптимизации; способность проводить анализ, синтез и оптимизацию процессов; способность проводить структурные, механистические и другие физико-химические исследования проводимых реакций с использованием современных физико-химических методов и оборудования, способность к самостоятельному освоению новых методов, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 часов.

##### 4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.		
1	Химия элементоорганических соединений.	180	144	36	108			36	экзамен

## 4.2 Содержание дисциплины

### 4.2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел Дисциплины	Виды учебной работы, и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа
		Лек.	Лаб.	Пр.	КСР	
1	Теоретические представления о природе химических связей и электронном строении элементоорганических соединений	4	8			2
2	Реакционная способность элементоорганических соединений	2	6			4
3	Физические методы исследования структуры и электронного строения ЭОС	2	8			6
4	Органические производные непереходных элементов	12	36			10
5	Органические производные переходных металлов	16	50			14

### 4.2.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий
1	Теоретические представления о природе химических связей и электронном строении элементоорганических соединений	1. Классификация и номенклатура элементоорганических соединений (ЭОС). 2. Теоретические методы моделирования структуры и электронного строения молекул. Природа и классификация химических связей в ЭОС. 3. Метод молекулярных орбиталей (МО) как основа анализа электронного строения ЭОС. 4. Концепция ароматичности в ЭОС.	Лекции, семинары

		<p>5. Качественные способы оценки стабильности ЭОС.</p> <p>6. Теоретические основы стереохимии ЭОС.</p>	
2	<b>Реакционная способность элементоорганических соединений</b>	<p>1. Классификация основных типов реакций и реагентов с участием ЭОС.</p> <p>2. Превращения лигандов в координационной сфере металлов</p> <p>3. Окислительно-восстановительные превращения металлоорганических соединений.</p> <p>4. Различия в строении и свойствах ЭОС в газовой, жидкой и твердой фазах.</p> <p>5. СН-кислотность ЭОС.</p>	Лекции, семинары
3	<b>Физические методы исследования структуры и электронного строения ЭОС</b>	<p>1. ЯМР-спектроскопия в исследовании строения и реакционной способности ЭОС.</p> <p>2. Масс-спектрометрия ЭОС. Физические и теоретические основы метода.</p> <p>3. Метод рентгеноструктурного анализа (РСА), фото- (ФЭС) и рентгенофотоэлектронной (ЭСХА) спектроскопии.</p> <p>4. Оптическая спектроскопия (ИК, УФ, КР).</p> <p>5. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).</p>	Лекции, семинары.
4	<b>Органические производные непереходных элементов</b>	<p>1. Органические производные щелочных металлов (I группа).</p> <p>2. Органические производные элементов II группы.</p> <p>3. Органические производные элементов XII группы.</p> <p>4. Органические производные элементов III группы.</p> <p>5. Органические производные элементов XIII группы.</p> <p>6. Органические производные элементов XIV группы.</p> <p>7. Органические производные элементов XV группы.</p>	Лекции, семинары.
5	<b>Органические производные переходных металлов</b>	<p>1. Классификация металлоорганических соединений переходных металлов по типу лигандов, координированных с металлом.</p> <p>2. Карбонильные комплексы переходных металлов.</p> <p>3. Гидридные комплексы переходных металлов.</p>	Лекции, семинары

	<p>4. Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов.</p> <p>5. Карбиновые комплексы переходных металлов.</p> <p>6. Комплексы переходных металлов с олефинами, ацетиленами и алленами.</p> <p>7. Металлоцены.</p> <p>8. Ареновые комплексы.</p> <p>9. Би- и полиядерные соединения переходных металлов.</p> <p>10. Каталитические процессы с участием металлорганических соединений переходных металлов.</p> <p>11. Основные представления биометаллорганической химии.</p> <p>12. Органические соединения f- элементов</p>	
--	--	--

## **5. Образовательные технологии**

1. Активные образовательные технологии: лекции, семинары и практические работы.
2. Сопровождение лекций визуальным материалов в виде слайдов, подготовленных с использованием современных компьютерных технологий (программный пакет презентаций Microsoft Office Powerpoint), проецируемых на экран с помощью видеопроектора, а компьютерных моделей органических соединений и их спектров.
3. Проведение практических работ в научной лаборатории, участие обучаемых в научной работе и выполнении исследовательских проектов.
4. Использование специального программного обеспечения и интернет-ресурсов для обучения в ходе практических и самостоятельных работ.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

Форма контроля знаний – зачет в конце курса, включающий теоретические вопросы и задачу.

Контрольные вопросы к зачету:

### **1. Теоретические представления о природе химических связей и электронном строении элементоорганических соединений.**

Классификация элементоорганических соединений (ЭОС). Основные этапы развития химии ЭОС. Ее влияние на теорию химического строения молекулярных систем.

Основные положения квантовой химии. Уравнение Шредингера для атомно-молекулярной системы как основа для теоретического исследования ее структуры и электронного строения. Электронное строение атомов и их ионов. Атомные орбитали и их классификация.

Теоретические методы моделирования структуры и электронного строения молекул. Адиабатическое приближение. Понятие о поверхности потенциальной энергии молекулы. Метод молекулярных орбиталей (МО) как основа современной квантовой химии. Основные принципы построения неэмпирических и полуэмпирических квантово-химических методов. Использование методов квантовой химии для расчетов наблюдаемых свойств молекул.

Анализ электронного строения молекул в терминах эффективных зарядов на атомах и заселенной (порядков) связей.

Сопряженные молекулы как лиганды в ЭОС. Электронное строение сопряженных молекул в электронном приближении. Метод Хюккеля. Схемы электронных уровней энергий и МО аллила, бутадиена, аниона циклопентадиенила, бензола циклооктатетраена..

Концепция ароматичности в химии ЭОС. Примеры металлоорганических ароматических систем.

Природа химических связей в ЭОС. Гибридные орбитали и принципы их использования в качественной теории химического строения. Классификация типов химических связей в ЭОС. Природа связи в олефиновых, ацетиленовых, циклопентадиенильных и ареновых комплексах переходных металлов. Кратные связи элемент-углерод и элемент-элемент. Многоцентровые связи.

Симметрия молекул и ее использование в теории химического строения ЭОС.

Молекулярные орбитали в олефиновых, аллильных, циклопентадиенильных и ареновых комплексах. Химические связи в электронодефицитных

молекулах (на примерах простейших и полиэдрических гидридов бора и карборанов).

Качественные способы оценки стабильности ЭОС. Правило эффективного атомного номера. Принцип изолобальной аналогии и его приближения.

Теоретические основы стереохимии ЭОС. Понятие о конформациях и конфигурациях. Координационные полиэдры, характерные для координационных чисел 4,5,6. Хиральность полиэдров с моно- и бидентатными лигандами. Планарная хиральность и оптическая активность металлокомплексов с олефиновыми, циклопентадиенильными, ареновыми лигандами.

## **2. Реакционная способность элементоорганических соединений.**

Основные типы реагентов (электрофилы, нуклеофилы, протофилы, радикалофилы, карбеноиды). Классификация основных типов реакций с участием ЭОС. Реакции по связи металл-лиганд (реакция замещения, присоединения, элиминирования, фрагментации. Внедрения, окислительного присоединения, восстановительного элиминирования).

Преращения лигандов в координационной сфере металлов (структурно нежесткие соединения, внутримолекулярные перегруппировки и молекулярная динамика ЭОС (таутометрия, металлотропия, внутренние вращения вокруг связи металл-лиганд).

Окислительно-восстановительные превращения металлоорганических соединений.

Различия в строении и свойствах ЭОС в газовой, жидкой и твердой фазах. Роль полярности среды и специфической сольватации. Ионы и ионные пары, их реакционная способность. Равновесная СН-кислотность, шкалы СН-кислотности, влияние строения СН-кислот на равновесную СН-кислотность, кинетическая кислотность СН-кислот.

## **3. Физические методы исследования структуры и электронного строения ЭОС.**

ЯМР-спектроскопии (импульсная ЯМР-фурье спектроскопия, динамический ЯМР) в исследовании строения и реакционной способности ЭОС. Физические и теоретические основы метода. Понятие об основных ЯМР-параметрах: химическом сдвиге, константах спин-спинового взаимодействия, временах релаксации. Области применения в химии ЭОС: изучение строения и динамики молекул, определение примесей.

Масс-спектрометрия. Физические и теоретические основы метода. Области применения в химии ЭОС: установление состава и строения молекул, качественный и количественный анализ смесей (хромат о-масс-спектрометрия), определение микропримесей, изотопный анализ, измерение термодинамических параметров (энергии ионизации молекул, энергии появления ионов, энергии диссоциации связей), изучение ионно-молекулярных реакций, газофазная кислотность и основность молекул.

Метод рентгеноструктурного анализа (РСА). Физические и теоретические основы метода. Области применения в химии ЭОС: установление строения молекул и кристаллов, исследование природы химических связей.



Фото- (ФЭС) и рентгенофотоэлектронная (ЭСХА) спектроскопии. Физические и теоретические основы методов. Применение в химии ЭОС: изучение электронного строения молекул, измерение энергий ионизации. Оптическая спектроскопия (ИК, УФ, КР). Физические и теоретические основы методов. Применение в химии ЭОС: установление строения молекул, изучение динамики молекул, измерение концентрации. Применение симметрии при интерпретации экспериментальных спектров. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Физические и теоретические основы методов. Применение в химии ЭОС: установление строения радикалов, изучение динамики молекул и механизмов радикальных реакций.

#### **4. Органические производные переходных элементов.**

*Органические производные щелочных металлов (I группа).*

Литийорганические соединения, их свойства, строение, методы получения и применение в органическом синтезе.

Органические соединения натрия и калия.

Реакция металлизации. Ароматические анион-радикалы: образование, строение, свойства.

*Органические производные элементов II группы.*

Магнийорганические соединения: получение, строение, свойства. Роль растворителя в синтезе магнийорганических соединений. Реакционная способность магнийорганических соединений и их применение в органическом и металлоорганическом синтезе.

*Органические производные элементов VII группы.*

Цинк- и кадмийорганические соединения: получение, строение, свойства. Реакция Реформатского.

Органические соединения ртути: получение, строение, свойства.

Меркурирование ароматических соединений. Реакция Несмеянова.

Симметризация и диспропорционирование ртутьорганических соединений.

Ртутьорганические соединения в синтезе органических производных других металлов и органическом синтезе.

*Органические производные элементов III группы.*

Борорганические соединения. Основные типы соединений, синтез, свойства, реакции. Гидроборирование ненасыщенных соединений, региоселективность реакции. Применение борорганических соединений в органическом синтезе.

Карбораны, металлокарбораны, получение, свойства. Основные типы карборанов. Икосаэдрические карбораны, основные реакции.

Алюминийорганические соединения. Основные типы соединений, синтез, свойства, реакции. Катализаторы Циглера-Натта. Применение алюминийорганических соединений в промышленности и органическом синтезе.

*Органические производные элементов VIII группы.*

Галлий-, индий- и талийорганические соединения: получение, строение, свойства. Применение талийорганических соединений в органическом синтезе.

Получение полупроводниковых материалов методом газофазного разложения галлий- и индийорганических соединений.

Сравнительная реакционная способность органических производных элементов XIII группы.

*Органические производные элементов XIV группы.*

Кремнийорганические соединения: получение, строение, свойства.

Гидросилилирование ненасыщенных производных. Полиорганосилоксаны.

Силиловые эфиры. Кремнийорганические соединения в органическом синтезе и промышленности.

Германий-, олово- и свинцеорганические соединения. Основные типы соединений, получение, строение, свойства и реакции. Представление о гипервалентных соединениях. Практическое использование органических производных элементов XIV группы.

Соединения элементов XIV группы с s-связью элемент-элемент: синтез, строение, свойства.

Соединения элементов XIV группы с кратными связями элемент-элемент: синтез, строение, свойства. Проблема двоевязанности в химии Эос непереходных элементов.

*Органические производные элементов XV группы.*

Органические производные фосфора и мышьяка, основные типы соединений высшей и низшей степеней окисления, методы синтеза, строения, свойства.

Гетероциклические соединения фосфора. Реакция Виттига. Применение органических производных элементов V группы в промышленности, сельском хозяйстве, медицине.

Сурьма и висмуторганические соединения.

### **5. Органические производные переходных металлов.**

Классификация металлоорганических соединений переходных металлов по типу лигандов, координированных с металлом.

*Карбонильные комплексы переходных металлов.*

Основные типы карбониллов металлов. Методы синтеза, строение и реакции.

Карбонилат анионы, карбонил галогениды, карбонилгадриды. Природа связи металл-карбонил.

Металлкарбонильные кластеры переходных металлов. Основные типы, получение. Стереохимическая нежесткость: миграция карбонильных, гидридных, углеводородных лигандов и металлического остова.

Превращения углеводородов на кластерных карбонилах металлов.

Практическое применение карбониллов металлов.

*Гидридные комплексы переходных металлов.*

Основные типы водородных комплексов переходных металлов. Соединения с водородным атомом: моно-, би- и полиядерные. Соединения с терминальным и мостиковым атомами водорода. Соединения с молекулярным водородом: синтез, строение, свойства. Характер связи металл-водород, ее полярность, возможность диссоциации. Взаимные превращения водородных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль водородных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.

### *Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов.*

Карбеновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбеновые комплексы Фишера. Карбеновые комплексы Шрока. Методы синтеза карбеновых комплексов Фишера (по Фишеру, по Лэпперту). Реакции карбеновых комплексов Фишера (нуклеофильное присоединение к С), депротонирование связей С-Н. Роль карбеновых комплексов в катализе (метатезис олефинов). Использование в тонком органическом синтезе. Реакция Децца. Метатезис циклических алкенов. Карбиновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбиновые комплексы Фишера. Карбиновые комплексы Шрока. Синтез карбиновых комплексов действием кислот Льюиса на карбеновые комплексы Фишера. Реакции карбиновых комплексов с нуклеофильными реагентами. Роль карбиновых комплексов в катализе: метатезис и полимеризация алкинов.

### *Комплексы переходных металлов.*

Общая характеристика строения и устойчивости. Различные типы связей металл-лиганд. Структурно-нежесткие соединения. Внутренняя динамика молекул.

### *Комплексы металлов с олефинами.*

Типы комплексов с линейными и циклическими моно- и полиолефинами. Методы получения, строение, свойства. Природа связи олефина с металлом. Циклобутадиенилжелезотрикарбонил. Роль олефиновых комплексов в катализе.

### *Ацетиленовые комплексы.*

Типы ацетиленовых комплексов. Методы получения, строение, свойства. Моно- и биметаллические комплексы. Ацетилен-винилиденная перегруппировка в координационной сфере металлов как метод синтеза винилиденных комплексов. Ацетиленовые комплексы в катализе.

### *Аллильные комплексы.*

Типы аллильных комплексов. Методы синтеза, строение, реакции. Роль в катализе.

### *Циклопентадиенильные комплексы.*

Типы комплексов. Строение. Металлоцены: ферроцен, никелецен, кобальтоцен. Синтез. Реакционная способность (замещение в лиганде, реакции с разрывом связи металл-кольцо, редокс-реакции). Металлоценилалкильные катионы. Циклопентадиенильные производные титана и циркония. Типы комплексов. Синтез, применение в катализе процессов полимеризации. Циклопентадиенилкарбонильные комплексы. Синтез. Химия циклопентадиенилмарганецтрикарбонила (цимантрена).

Циклопентадиенилкарбонильные комплексы железа, кобальта, молибдена.

### *Ареновые комплексы.*

Типы ареновых комплексов. Бис-ареновые комплексы хрома. Методы получения и реакции. Аренохромтрикарбонильные комплексы. Методы получения и реакции. Применение в органическом синтезе. Катионные ареновые комплексы железа и марганца. Синтез и реакции..

### *Би- и полиядерные соединения переходных металлов.*

Линейные би- и полиядерные соединения переходных металлов: синтез, строение, свойства. Природа связи металл-лиганд. Соединения с кратными связями металл-металл. Кластерные (каркасные) соединения переходных металлов. Важнейшие структурные типы кластеров, их минимальные и максимальные размеры. Электронное строение. Свойства и динамика молекул.

*Каталитические процессы с участием металлоорганических соединений переходных металлов.*

Олигомеризация олефинов и ацетиленов. Никелевые комплексы в катализе олигомеризации этилена. Циклоолигомеризация (системы, содержащие никель (0) и линейная олигомеризация бутадиена (системы, содержащие палладий (0)). Циклическая тримеризация и тетрамеризация ацетиленов (синтез производных бензола и циклооктатетраена).

Полимеризация олефинов: катализаторы Циглера-Натта, полиэтилен, полипропилен. Стереоспецифическая полимеризация бутадиена.

Изомеризация олефинов: миграция двойной связи с участием металлалкильных и металлаллильных интермедиатов. Реакция метатезиса олефинов.

Гомогенное гидрирование: комплексы с молекулярным водородом, механизмы активации водорода, родиевые, кобальтовые и рутениевые катализаторы. Селективное гидрирование. Асимметрическое гидрирование.

Каталитические превращения моноуглеродных молекул; оксо-синтез: кобальтовые и родиевые катализаторы. Синтез Фишера-Тропша. Конферсия водяного газа. Карбонилирование и гадрокарбонилирование.

Окисление олефинов: эпоксидирование, катализируемое переходными металлами. Получение ацетальдегида и винилацетата из этилена.

Аллильное алкилирование СН-, NH- и OH-органических соединений в условиях металлокомплексного катализа. Моно-, ди- и полидентатные лиганды. Хиральные лиганды и асимметрический синтез.

Метатезис олефинов и ацетиленов. Реакция кросс-сочетания.

*Основные представления биометаллоорганической химии.*

Понятие о металлоферментах: хлорофилл, цитохромы, ферредоксины, витамин B12; строение и биологические функции. Применение металлоорганических соединений в медицине.

*Органические соединения f- элементов*

Представления об органических соединениях f- элементов. Важнейшие структурные типы, методы синтеза, природа связи, динамика молекул.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Методы элементорганической химии / Под ред. А.Н. Несмеянова и К.А. Кочешкова. М.: Наука, 1973.
2. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Основы неорганической химии. Гл. 28-31. М.: Мир, 1979.

3. Грин М. Металлорганические соединения переходных металлов. М.: Мир, 1972.
  4. Губин С.П., Шульпин Г.Б. Химия комплексов со связями металл-углерод. Новосибирск: Наука, 1984.
  5. Comprehensive Organometallic Chemistry, 3-th ed., N. -Y., 2006
  6. Дж. Колмен, Л. Хегедас, Дж. Нортон, Р. Финке. «Металлоорганическая химия переходных металлов», М., Мир, 1989.
  7. Бартон Д., Оллис У.Д., Джонс Д.Н. «Общая органическая химия», том 7 «Металлоорганические соединения», М., «Химия», 1984.
  8. Дж. Хьюи «Неорганическая химия», М., «Химия», 1987.
  9. Травень В.Ф. Электронная структура и свойства органических молекул. М.; Химия, 1989. 384с.
- б) дополнительная литература:
1. Ch. Elschenbroich. Organometallics, 3-th ed., Wiley-VCH, Weinheim, 2006
  2. Несмеянов А.Н. Элементоорганическая химия. М.: Наука, 1970.
  3. A. Rauk, Orbital Interaction Theory of Organic Chemistry, 2001, J. Wiley & Sons, Inc., 256 p.
  4. Общая органическая химия. М. Т.4,5. 1983; Т.6,7. 1984.
  5. Органикум, Т. 1, 2. М.: Мир, 1992.
  6. Коллмен Дж., Хигедас Л., Нортон Дж., Финке Р., Металлоорганическая химия переходных металлов. Основы и применения: в 2-х частях. М.: Мир, 1989. 504 с.
  7. Реутов О. А., Белецкая И. П., Соколов В. И. Механизмы реакций металлоорганических соединений. М.: Химия, 1972.
  8. Химия металлоорганических соединений. Ред. Г. Цейсс. М.: Мир, 1964.
  9. Лебр М., Мазероль П., Сатже Ж. Органические соединения германия. М.: Мир, 1974.
  10. Ингам Р., Розенберг С., Гильман Г., Рикенс Ф. Оловоорганические и германийорганические соединения. М.: ИИЛ, 1962.
  11. Алюминийорганические соединения: Пер. с нем. Ред. А. Д. Жигач. М.: ИИЛ, 1972.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

программа для анализа электронной структуры молекул и спектров Chemissian ([www.chemissian.com](http://www.chemissian.com)). Интернет-ресурсы: Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федерального портала Российское образование <http://www.window.edu.ru>, национальный WWW-сервер по химии [www.chem.msu.ru](http://www.chem.msu.ru)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

НОК располагает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки,

предусмотренных учебным планом, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

Аудитория для проведения лекций, оснащенная компьютером и проектором для показа слайдов компьютерных презентаций. Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российским научным базам данных и электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

Инструментальная база НОК основана на центре коллективного пользования физическими методами исследования ИФХЭ РАН. В составе имеющегося оборудования ЯМР-спектрометр фирмы «Брукер»: AVANCE II DRX-600, масс-спектрометр MALDI-TOF Bruker ultraflex III, масс-спектрометр ICP-MS - Bruker Daltonics aurora M90, спектрофотометр УФ и видимой области Specord M400, ИК-спектрометр Perkin-Elmer-2000, спектрофотометр Agilent 8453, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 PRO, атомно-силовой микроскоп – спектрометр Force Master 402 MD, рентгено-флюороресцентный микроанализатор VRA-30, рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000 и многие другие приборы. Лаборатории оснащены современными приборами для синтеза и исследования элементоорганических соединений: стеклопосуда в широком ассортименте, реакторы низкого и высокого давления, автоклавы.

Программа составлена в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 16.03.2011 № 1365 «Федеральные государственные требования к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)» лабораторией новых физико-химических проблем.