

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ястребов Олег Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 15.05.2026 12:28:37

Уникальный программный ключ:

ca953a01204891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

**«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Факультет физико-математических и естественных наук**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

#### **04.04.01 ХИМИЯ**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

#### **ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2026 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Металлоорганическая химия» входит в программу магистратуры «Фундаментальная и прикладная химия» по направлению 04.04.01 «Химия» и изучается в 3 семестре 2 курса. Дисциплину реализует Кафедра общей и неорганической химии. Дисциплина состоит из 8 разделов и 18 тем и направлена на изучение Дисциплина «Металлоорганическая химия» входит в программу магистратуры «Фундаментальная и прикладная химия» по направлению 04.04.01 «Химия» и изучается в 3 семестре 2 курса. Дисциплину реализует Кафедра общей и неорганической химии. Дисциплина состоит из 0 разделов и 0 тем и направлена на изучение основ химии металлоорганических соединений, их строения, методов синтеза, реакционной способности и роли в катализе.

Целью освоения дисциплины является Целью освоения дисциплины является формирование у студентов углубленных теоретических знаний и практических навыков в области металлоорганической химии, необходимых для понимания механизмов реакций с участием металлоорганических соединений и их применения в современном синтезе, металлокомплексном катализе и материаловедении. Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных при освоении курсов неорганической, органической и физической химии.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Металлоорганическая химия» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	ПК-1.2 Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов;

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Металлоорганическая химия» относится к блоку по выбору блока образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Металлоорганическая химия».

*Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины*

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы	Научно -исследовательская работа; Экспериментальные методы	Преддипломная практика;

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	исследования в химии; Методы органической химии; Основы биотехнологии; Домино-реакции в синтезе гетероциклов; Methods of Organic Chemistry; Fundamentals of Biotechnology; Domino-reactions in the synthesis of heterocycles; Спектральные методы в неорганической химии; Химия координационных соединений; Резонансные методы в химии; Физико-химический анализ; Кинетика элементарных реакций; Термодинамика неравновесных процессов; Адсорбция; Физико-химия поверхности и хемосорбция; Молекулярный спектральный анализ; ЯМР органических соединений; Molecular spectral analysis; NMR of organic compounds; Физические методы исследования веществ и материалов; Статистическая термодинамика; Катализ; Нанохимия;	

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Металлоорганическая химия» составляет «3» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			3
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	36		36
Лекции (ЛК)	36		36
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	0		0
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	72		72
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	0		0
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ак.ч.</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
	<b>зач.ед.</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Введение. Основы строения МОС	1.1	Предмет и история металлоорганической химии. Классификация лигандов ( $\sigma$ -доноры, $\pi$ -акцепторы, полигапто-лиганды). Понятие гаптности.	1760-1900: Первые металлоорганические соединения 1900-1950: Гриньяр, Сабатье, катализ и первые металлоорганические соединения Первые представители важных классов металлоорганических соединений, полученные в первой половине XX века 1950-1960: Открытие ферроцена и ?второе рождение? металлоорганической химии 1961-1981: Открытие кратных связей металл-углерод и золотой век катализа 1970-1985: Активация СН связей углеводородов, метатезис пи-связей и молекулярный водород как лиганд	ЛК
		1.2	Электронное строение комплексов переходных металлов. Теория кристаллического поля и метод молекулярных орбиталей. Правило 18 электронов. Спектрохимический ряд.	Подходы к методам описания электронного строения координационных соединений переходных металлов. Теория кристаллического поля. Высокоспиновые и низкоспиновые комплексы. Теория поля лигандов. Дативное взаимодействие. Правило 18 электронов (Правило Сиджвика). Исключения из правила 18 электронов. Степень окисления. Принцип электронейтральности. Транс-влияние.	ЛК
Раздел 2	Металлоорганические соединения s-элементов	2.1	Соединения щелочных металлов (Li, Na, K). Методы синтеза (прямое взаимодействие, обмен галоген-литий, металлизирование). Строение в твердой фазе и растворах (тетрамеры, гексамеры). Типы ионных пар.	Методы синтеза литийорганических соединений: прямое взаимодействие с металлом, обмен галоген-литий, металлизирование (депротонирование), переметаллизирование. Строение в твердой фазе и растворах: тетрамеры (MeLi) <sub>4</sub> , гексамеры (t-BuLi) <sub>6</sub> . Роль сольватации. Типы ионных пар (контактные и сольватно-разделенные) и их влияние на реакционную способность. Реакции литийорганических соединений: нуклеофильное присоединение, металлизирование, карболитирование, перегруппировки. Особенности соединений натрия, калия, рубидия, цезия.	ЛК
		2.2	Соединения щелочноземельных металлов. Магнийорганические соединения (реактивы Гриньяра): синтез, строение	Бериллийорганические соединения: синтез, полимерное строение диметилбериллия, комплексы с N-гетероциклическими карбенами (NHC). Магнийорганические соединения (реактивы Гриньяра): методы синтеза (прямой синтез из RNaI и Mg), строение в растворах (равновесие Шленка), реакционная способность (реакция	ЛК

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
			(равновесие Шленка), реакционная способность (реакция Гриньяра). Соединения Be, Ca, Sr, Ba.	Гриньяра с карбонильными соединениями, CO <sub>2</sub> , нитрилами). Соединения Ca, Sr, Ba: трудности синтеза, структуры (клиновидные сэндвичи с Cr <sup>*</sup> -лигандами), уникальная реакционная способность (нуклеофильное алкилирование бензола, фиксация N <sub>2</sub> ). Соединения магния в низких степенях окисления (Mg(I), Mg(0)).	
Раздел 3	Металлоорганические соединения p-элементов (группы 13 и 14)	3.1	Борорганические соединения. Электронное строение, кислоты Льюиса. Методы синтеза: переметаллирование, гидроборирование. Реакции кросс-сочетания.	Электронное строение: трёхкоординированный бор как кислота Льюиса. Методы синтеза: переметаллирование (из B(OR) <sub>3</sub> , BHal <sub>3</sub> ), гидроборирование алкенов и алкинов (регио- и стереоселективность). Реакции кросс-сочетания (реакция Сузуки–Мияуры). Донорно-акцепторные комплексы бора. «Фрустрированные» пары Льюиса и активация малых молекул (H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ). Соединения с кратной связью B=B.	ЛК
		3.2	Алюминийорганические соединения. Строение димеров (трехцентровые двухэлектронные связи). Реакции гидро- и карбоалюминирования. Соединения Ga, In, Tl. Особенности таллийорганических соединений.	Методы синтеза: переметаллирование и гидроалюминирование (промышленные процессы получения высших алюминийалкилов). Строение: димеры (R <sub>3</sub> Al) <sub>2</sub> с трёхцентровыми двухэлектронными связями Al–C–Al. Энергия димеризации. Реакционная способность: гидро- и карбоалюминирование, реакции с электрофилами. Промышленное применение триалкилалюминия (процесс «роста цепи» для получения α-олефинов и спиртов). Соединения алюминия в низких степенях окисления (Al(II), Al(I)) и соединения с кратной связью Al=Al.	ЛК
		3.3	Соединения элементов 14 группы (Si, Ge, Sn, Pb). Методы синтеза. Природа связи. Проблема кратных связей и роль стерической стабилизации.	Галлий- и индийорганические соединения: синтез, строение, сравнение с аналогами алюминия. Гидриды галлия и гидрогаллирование. Таллийорганические соединения Tl(III): синтез R <sub>3</sub> Tl, R <sub>2</sub> TlX, RTlX <sub>2</sub> . Прямое таллирование ароматических соединений. Соединения Tl(I): циклопентадиенилталлий (CpTl) – синтез, строение, применение как переносчика Cr-лиганда.	ЛК
Раздел 4	σ-Комплексы и гидриды переходных металлов	4.1	σ-Алкильные и арильные комплексы. Кинетическая стабилизация, β-водородное элиминирование. Энергии связей M–C. Агостические взаимодействия. Гомометалльные и перфторалкильные комплексы. Витамин B12.	σ-Алкильные и арильные комплексы *Учебник: Глава 9 «Сигма-комплексы переходных металлов» (с. 184–200)* Кинетическая стабилизация: предотвращение β-водородного элиминирования. Энергии связей M–C (таблица). Агостические взаимодействия C–H…M. Гомометалльные и перфторалкильные комплексы. Природные σ-алкильные	ЛК

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				соединения: витамин В <sub>12</sub> (метилкобаламин).	
		4.2	Гидридные комплексы. Методы синтеза. Типы связывания водорода: терминальные, мостиковые, η <sup>2</sup> -H <sub>2</sub> . Силановые комплексы	Методы синтеза: нуклеофильное замещение, протонирование, β-водородный сдвиг, C–H активация. Типы связывания водорода: терминальные, мостиковые (M–H–M), η <sup>2</sup> -H <sub>2</sub> (диводородные комплексы). Спектроскопия ЯМР гидридных лигандов (сигналы в сильном поле). Диводородные комплексы (комплекс Кубаса) и диводородная связь. Силановые σ-комплексы (координация связи Si–H).	ЛК
Раздел 5	π-Комплексы переходных металлов	5.1	Карбонильные комплексы. Модель Дьюара-Чатта-Дункансона. Синтез, строение и свойства гомо- и смешаннолигандных карбониллов. Карбонилат-анионы. Нитрозильные и изонитрильные комплексы как аналоги карбонильных.	Модель Дьюара-Чатта-Дункансона (ДЧД). Синтез гомолептических карбониллов (Ni(CO) <sub>4</sub> , Fe(CO) <sub>5</sub> , Cr(CO) <sub>6</sub> ). Строение и свойства. Карбонилат-анионы. Нитрозильные и изонитрильные комплексы как аналоги карбонильных.	ЛК
		5.2	Олефиновые и ацетиленовые комплексы. Модель ДЧД, геометрия связывания. Синтез, строение и реакции. Биметаллические ацетиленовые комплексы. 5.3 Аллильные и енильные комплексы. Методы синтеза. Динамические превращения и псевдовращение. Металлобензолы.	Применимость модели ДЧД. Геометрия связывания олефинов и алкинов. Цис-искажение ацетиленового лиганда. Синтез, строение и реакции. Биметаллические ацетиленовые комплексы. Превращения лигандов в координационной сфере (циклотримеризация алкинов).	ЛК
Раздел 6	Карбеновые и карбиновые комплексы. Сэндвичевые соединения	6.1	Карбеновые комплексы. Карбены Фишера и Шрока. Методы синтеза, строение, реакционная способность. N-Гетероциклические карбены как лиганды. Карбиновые комплексы.	Карбены Фишера (электрофильные) и Шрока (нуклеофильные): методы синтеза, строение, реакционная способность. N-Гетероциклические карбены (NHC) как лиганды: синтез, свойства, применение в катализе (катализаторы Граббса второго поколения). Карбиновые (алкилидиновые) комплексы: синтез и строение.	ЛК
		6.2	Сэндвичевые комплексы. Синтез и строение ферроцена. Природа связи в металлоценах. Реакции электрофильного замещения в ферроцене. Электронное строение кобальтоцена и никелоцена. Клиновидные сэндвичи ранних переходных металлов. Многопалубные сэндвичи. Ферроценофаны.	Синтез и строение ферроцена. Природа связи в металлоценах. Реакции электрофильного замещения в ферроцене («небензойная ароматическая система»). Электронное строение кобальтоцена и никелоцена (19- и 20-электронные комплексы). Клиновидные сэндвичи ранних переходных металлов (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta). Многопалубные сэндвичи и ферроценофаны. Практическое применение ферроцена	ЛК

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				(лиганды в катализе, биологическая активность, полимеры).	
Раздел 7	Соединения со связями металл-металл и металлоорганические соединения в катализе	7.1	Соединения со связями металл-металл. Методы синтеза. Кратные связи металл-металл. Роль мостиковых лигандов. Энергии связей в комплексах.	Методы синтеза комплексов с ординарными связями М-М. Кратные связи металл-металл: от двойных до четверных (анион $[Re_2Cl_8]^{2-}$ ) и выше ( $Cr_2$ , $Mo_2$ в газовой фазе). Роль мостиковых лигандов. Энергии связей в комплексах. Кластерные соединения.	ЛК
		7.2	Металлоорганические соединения в катализе. Основные стадии каталитических циклов. Реакции кросс-сочетания. Метатезис олефинов (катализаторы Граббса). Промышленные процессы (гидроформилирование, Вакер-процесс).	Основные стадии каталитических циклов: окислительное присоединение, внедрение, восстановительное элиминирование. Реакции кросс-сочетания (Сузуки-Мияуры, Хека, Кумады, Негиши). Метатезис олефинов: механизм Шовена, катализаторы Граббса и Шрока. Промышленные процессы: гидроформилирование (оксо-синтез), Вакер-процесс, полимеризация олефинов (Циглер-Натта). Фоторедокс-катализ с участием комплексов переходных металлов.	ЛК
Раздел 8	Металлоорганическая химия пост-переходных металлов и f-элементов	8.1	Соединения меди, серебра, золота. Особенности электронного строения. $\sigma$ -Органические производные меди(I) и купраты. Ацетилениды. Реакции с участием медьорганических соединений (реакция Ульмана, Чан-Лама). Соединения серебра и золота (ауروفильные взаимодействия).	Особенности электронного строения ( $d^{10}s^1$ ) и влияние релятивистского эффекта (особенно для Au). $\sigma$ -Органические производные меди(I) и купраты (купрат Гилмана). Реакции: присоединение к карбонильным соединениям, реакции Ульмана, Чан-Лама. Ацетилениды серебра. Соединения золота(I) и золота(III): синтез, ауروفильные взаимодействия, медицинские приложения (ауранофин).	ЛК
		8.2	Соединения цинка, кадмия и ртути. Синтез и строение. Реакция Симмонса-Смита. Прямое меркурирование. Декаметилдицинкоцен.	Цинкорганические соединения: синтез, строение, реакция Симмонса-Смита. Ртутьорганические соединения: прямое меркурирование, переметаллирование. Высокая ковалентность связи Hg-C. Декаметилдицинкоцен и соединения кадмия. Токсичность и экологические аспекты ртустьорганических соединений.	ЛК
		8.3	Металлоорганические соединения лантанидов и актинидов. Роль ионного и ковалентного вклада в связь. Циклопентаденильные и циклооктатетраенильные комплексы. Особенности соединений U и Th.	Роль ионного и ковалентного вклада в связь. Отличие лантанидов (преимущественно ионная связь) от актинидов (значительный ковалентный вклад 5f-орбиталей). Циклопентаденильные комплексы ( $Cp_3Ln$ , $Cp_3Ac$ ). Циклооктатетраенильные комплексы (ураноцен, тороцен). Особенности соединений U и Th в степенях окисления +3 и +4. Соединения двухвалентных лантанидов (Sm, Eu, Yb): синтез и восстановительная способность.	ЛК

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия : учебное пособие / К. Эльшенбройх ; перевод с немецкого Ю. Ф. Опруненко, Д. С. Перекалина. - 3-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2017. - 749 с. - ISBN 978-5-00101-504-8.
2. Методы элементорганической химии. Подгруппы меди, скандия, титана, ванадия, хрома, марганца. Лантаноиды и актиноиды. / Под ред. Несмеянова А.Н. - М.: Наука, 1974.
3. Методы элементорганической химии. Типы металлоорганических соединений переходных металлов. Кн. 1,2 - М.: Наука, 1975
4. Грин М. Металлоорганические соединения переходных металлов. М.: Мир, 1972

### Дополнительная литература:

1. Химия металлоорганических соединений. / под ред. Г. Цейсса. - М.: Мир, 1964.
2. Химия металлоорганических соединений. / под ред. Посона П. - М.: Мир, 197

### Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров
  - Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <https://mega.rudn.ru/MegaPro/Web>
  - ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
  - ЭБС «Юрайт» <http://www.biblio-online.ru>
  - ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)
  - ЭБС «Знаниум» <https://znanium.ru/>
2. Базы данных и поисковые системы
  - Sage <https://journals.sagepub.com/>
  - Springer Nature Link <https://link.springer.com/>
  - Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>

- Наукометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>  
*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Металлоорганическая химия».

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

**РАЗРАБОТЧИК:**

Профессор

*Должность, БУП*

*Подпись*

Цховребов Александр  
Георгиевич

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Заведующий кафедрой

*Должность БУП*

*Подпись*

Хрусталев Виктор  
Николаевич

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Заведующий кафедрой

*Должность, БУП*

*Подпись*

Воскресенский Леонид  
Геннадьевич

*Фамилия И.О.*