

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,  
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«20» мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Катализ в органическом синтезе**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Органическая химия

**Форма обучения:**

очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770 (с изменениями по приказу № 1109 от 11.09.2019).

Год (годы) приема на обучение 2019/2020

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p><b>ОПК-1.С.</b> Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов</p>	<p><b>ОПК-1.С.1.</b> Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных в каталитических процессах</p>	<p><b>Уметь</b> анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы,  <b>Уметь:</b> самостоятельно составлять план исследования  <b>Владеть:</b> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения</p>
<p><b>СПК-1.С.</b> Способен использовать фундаментальные понятия органической химии и основные теоретические подходы к изучению механизмов реакций органических соединений при решении задач профессиональной деятельности</p>	<p><b>СПК-1.С.</b> Предлагает возможные механизмы реакций с участием катализаторов при синтезе органических соединений .</p>	<p><b>знать:</b> основные этапы и закономерности развития в органической химии  <b>знать:</b> важнейшие классы органических соединений, предсказывать их свойства, механизмы важнейших химических реакций и пути практического использования соединений  <b>знать:</b> фундаментальные понятия органической химии;  <b>знать:</b> систематические подходы, используемые в современных каталитических методах органической химии и набор базовых характеристик металлокомплексного и наноразмерного катализа, на которых основано планирование многостадийных синтезов.  <b>знать:</b> основные теоретические подходы к изучению механизмов реакций органических соединений, элементарные стадии каталитических циклов на основе комплексов переходных металлов, применение металлокомплексного катализа в современном органическом синтезе  <b>знать:</b> основные понятия стереохимии, факторы, влияющие на селективность и скорость каталитических процессов.</p>

		<p><b>Уметь:</b> предложить стратегию синтеза, основанную на знании свойств конкретных катализаторов, с оценкой ее сложности и выполнимости в стандартных лабораторных условиях.</p> <p><b>Уметь:</b> прогнозировать ход процессов используя полученные знания о каталитическом присоединения к кратным связям.</p> <p><b>Уметь:</b> рациональным образом вычленять области и границы применения каталитически опосредованной гетерофункционализации органических соединений.</p> <p><b>Уметь:</b> определить стереохимическую конфигурацию ожидаемого продукта на основании особенностей состава реакционной смеси и ультраструктурных свойств катализаторов изучаемой группы, обсуждать и прогнозировать влияние пространственных факторов на диастереоселективность реакций.</p> <p><b>Уметь:</b> составлять план химического синтеза, и оценивать его реальную осуществимость практическими навыками химического лабораторного синтеза.</p> <p><b>Владеть:</b> различными лабораторными методиками идентификации органических соединений на выходе реакций, катализируемых металлокомплексами.</p>
<p><b>СПК-2.С.</b> Способен определять стратегию проведения реакции и ее результат (состав продуктов и их стереохимию, возможность катализа, оптимизацию растворителя и т.п.) на основе теоретических знаний в области органической химии</p>	<p><b>СПК-2.С.2</b> Оценивает влияние различных факторов на выход целевого продукта органического синтеза, оптимизирует условия каталитических реакций</p>	<p><b>знать:</b> основные типы органических реакций и механизмы их протекания;</p> <p><b>знать:</b> основные тенденции развития теоретических представлений и новейшие достижения теоретической органической химии;</p> <p><b>знать:</b> общие закономерности, приёмы и методы постановки каталитических реакций изомеризации, окисления и восстановления, а также реакций метатезиса и сочетания в современном органическом синтезе.</p> <p><b>уметь:</b> самостоятельно оптимизировать условия проведения конкретной реакции исходя из базовых теоретических представлений о механизме реакции и факторах, определяющих реакционную способность.</p>

		<p><b>уметь:</b> обобщать, анализировать и интерпретировать наблюдаемые экспериментальные данные по составу продуктов, кинетике, стереохимии реакций и относительной реакционной способности реагентов;</p> <p><b>уметь:</b> анализировать современную научную литературу по профильной тематике;</p> <p><b>Владеть:</b> знаниями по идентификации органических соединений</p>
<p><b>СПК-3.С.</b> Способен самостоятельно оптимизировать условия проведения конкретной реакции исходя из базовых теоретических представлений о механизме реакции и факторах, определяющих реакционную способность</p>	<p><b>СПК-3.С.3.</b> оптимизирует условия проведения конкретной реакции исходя из базовых теоретических представлений определяющих стратегию проведения реакции и ее результат</p>	<p><b>знать:</b> основные реагенты, используемые в органическом синтезе, и области применения этих реагентов.</p> <p><b>знать:</b> использовать теоретические знания для решения конкретных задач, возникающих в ходе исследования;</p> <p><b>знать:</b> основные принципы, определяющие стратегию проведения реакции и ее результат (состав продуктов и их стереохимию, возможность катализа, оптимизацию растворителя и т.п.).</p> <p><b>уметь:</b> составлять план химического синтеза, и оценивать его реальную осуществимость.</p> <p><b>уметь:</b> выбирать оптимальные исходные соединения и условия реакций в зависимости от степени окисления атомов палладия и выбора лигандов;</p> <p><b>уметь:</b> модифицировать катализатор для решения комплексных синтетических задач.</p> <p><b>уметь:</b> анализировать информацию по применению металлокомплексных и наноразмерных катализаторов в современном органическом синтезе;</p> <p><b>Владеть:</b> практическими навыками химического лабораторного синтеза,</p> <p><b>Владеть:</b> Методическими приемами, позволяющими планировать синтез соединений с заданным взаимным пространственным расположением групп в скелете молекулы</p> <p><b>Владеть:</b> опытом работы с химической литературой</p> <p><b>Владеть:</b> синтетическими методами на основе металлокомплексного катализа</p>

		<b>Владеть:</b> основными приемами работы с органическими веществами в каталитических реакциях
--	--	--

**3. Объем дисциплины** в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

*Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единицы, всего 72 час, из которых 42 часа составляет контактная работа студента с преподавателем (28 часов занятия лекционного типа, 12 часов занятия семинарского типа, 2 часа – мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 30 часов составляет самостоятельная работа студента.*

**4. Входные требования для освоения дисциплины** (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен:

**знать:** области применения, достоинства и недостатки различных методов анализа и принципы работы основных приборов, используемых для этих целей.

**уметь:** обсуждать результаты проведенного исследования; ориентироваться в современной литературе по теории методов и их применению в различных областях науки и производства.

**владеть:** основными химическими теориями, концепциями, законами, описывающими физико-химические явления, применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.

**5. Содержание дисциплины** (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	<b>Всего</b>	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	<b>Всего</b>
Раздел 1. Применение металлокомплексного катализа в современном органическом синтезе	7	3	1				4	3		3
Раздел 2. Элементарные стадии каталитических циклов на основе комплексов переходных металлов	7	3	1				4	3		3
Раздел 3. Механизмы каталитических реакций	10	3	1			1	5	5		5
Раздел 4. Реакции изомеризации, реакции окисления и восстановления, реакция метатезиса	7	3	1				4	3		3
Раздел 5. Реакции сочетания, комплексы палладия в	11	4	2				6	5		5

современном органическом синтезе										
Раздел 6. Металлокомплексный катализ и экологически безопасные методы синтеза	10	4	2			1	7	3		3
Раздел 7. Сравнение металлокомплексных и наноразмерных каталитических систем	11	4	2				6	5		5
Раздел 8. Самоорганизующиеся и наноструктурированные каталитические системы	9	4	2				6	3		3
Итоговая аттестация <i>зачет</i>	2					2	2			
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>28</b>	<b>12</b>			<b>2</b>	<b>42</b>	<b>30</b>		<b>30</b>

#### 6. Образовательные технологии:

- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплины в форме авторского курса по программе, составленной на основе результатов исследований ведущих научных школ МГУ им. М.В. Ломоносова и Института органической химии им Н.Д. Зелинского РАН.

#### 7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Самостоятельная работа проводится в соответствии с заданиями, получаемыми студентами во время лекций. Самостоятельная работа студентов обеспечивается доступом к сети Интернет и базам данных.

#### 8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу



## Основная литература

1. В. А. Смит, А. Д. Дильман. «Основы современного органического синтеза» М., БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. Учебное пособие. Допущено УМО по классическому университетскому образованию качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности ВПО 120101.65 - Химия

## Дополнительная литература

1. N.Clayden, N.Greeves, S.Warren, P.Wothers, Organic chemistry, Oxford University Press, 2001.
2. Diederich, F.; Stang, P. J., Eds. Metal-Catalyzed Cross-Coupling Reactions, Wiley-VCH, Weinheim, 2004.
3. Ananikov, V.P.; Tanaka, M., Eds. Hydrofunctionalization, Springer, Berlin-Heidelberg, 2013.
4. Benaglia, M. (Ed.), Recoverable and Recyclable Catalysts, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2009.
5. V.P.Ananikov (Ed.), Understanding Organometallic Reaction Mechanisms and Catalysis, Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
6. Materials of the websites of the American Chemical Society – [pubs.acs.org](http://pubs.acs.org) and Royal Society of Chemistry - [pubs.rsc.org](http://pubs.rsc.org)

- Материально-техническое обеспечение: лекционные занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)
- Дополнительные факультативные практические занятия для успевающих студентов проводятся на базе лаборатории № 30 Института органической химии им Н.Д. Зелинского РАН. Оборудование: Аналитическое оборудование приборной базы Института органической химии им Н.Д. Зелинского РАН (спектрометры ядерного магнитного резонанса, масс-спектрометры)

## 9. Язык преподавания – русский

**10. Преподаватели:** Анаников Валентин Павлович, академик РАН, заведующий лабораторией № 30 Института органической химии им Н.Д. Зелинского РАН

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

## Вопросы для зачета:

1. Прямая и обратная спектральная задача (определение). Эволюция физико-химических методов исследования (на что направлена, результаты). Сравнение ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии и РСА по количеству и типу образца, необходимого для анализа.
2. Химические сдвиги  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  по классам органических соединений. ЯМР-эксперимент DOSY (принцип действия и область приложения). Базовые двумерные эксперименты ЯМР (перечисление и область приложения). Области приложения констант спин-спинового взаимодействия ЯМР в изучении молекул.
3. Методы ионизации и анализа в масс-спектрометрии (виды и области приложения). Принцип работы масс-спектрометрической ионизации электрораспылением. Особенности ESI-MS мониторинга каталитических реакций.
4. Определение микроскопа и микроскопии, виды микроскопии. Принцип работы микроскопа в просвечивающем и отражающем режимах. Виды электронной микроскопии и получаемая с их помощью информация. Методы определения морфологии наночастиц в газовой фазе, растворе и твердом теле.
5. ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия и электронная микроскопия в изучении химических систем в газовой фазе (сравнение информативности и области приложения).
6. ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия и электронная микроскопия в изучении химических систем в жидкой фазе (сравнение информативности и области приложения).
7. ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия и электронная микроскопия в изучении химических систем в твердой фазе (сравнение информативности и области приложения).
8. Характеристики сигнала ЯМР. Зачем нужен дейтерированный растворитель при съемке спектров ЯМР? Определение чувствительности и разрешения в спектрах ЯМР. Сравнение типа анализируемых объектов и требований к образцу для ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии. Как связаны между собой чувствительность, разрешение и интегральная интенсивность сигналов ЯМР?
9. Физико-химические методы исследования хиральных молекул. Различия в спектрах ЯМР энантиомеров и диастереомеров. Различия в масс-спектрах энантиомеров и диастереомеров. Анализ абсолютной конфигурации методами ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии. Чувствительность ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии при определении энантиомерного избытка. ХДА – определение, строение и примеры использования.
10. Достоинства и недостатки гомогенных металлсодержащих каталитических систем, методы экспериментального изучения. Тесты на природу каталитической системы (гомогенная и гетерогенная каталитические системы).
11. Физико-химические особенности реакций в микрореакторах. Электронная микроскопия в микрореакторах. Пример реакции в микрореакторе и графическая диаграмма. Мониторинг реакций в микрореакторах (методы и области

приложения). Минатюризация аналитического оборудования (примеры, области приложения, особенности). Системы LC-NMR и LC-NMR-MS (принцип работы и общая схема).

12. Эффект микроволнового воздействия на химические системы, физико-химическая природа явления. Эффект ультразвукового воздействия на химические системы, физико-химическая природа явления.

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
<p><b>знать:</b> основные этапы и закономерности развития в органической химии</p> <p><b>знать:</b> важнейшие классы органических соединений, предсказывать их свойства, механизмы важнейших химических реакций и пути практического использования соединений</p> <p><b>знать:</b> фундаментальные понятия органической химии;</p> <p><b>знать:</b> систематические подходы, используемые в современных каталитических методах органической химии и набор базовых характеристик металлокомплексного и наноразмерного катализа, на которых основано планирование многостадийных синтезов.</p> <p><b>знать:</b> основные теоретические подходы к изучению механизмов реакций органических</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>

<p>соединений, элементарные стадии каталитических циклов на основе комплексов переходных металлов, применение металлокомплексного катализа в современном органическом синтезе</p> <p><b>знать:</b> основные понятия стереохимии, факторы, влияющие на селективность и скорость каталитических процессов.</p> <p><b>знать:</b> основные типы органических реакций и механизмы их протекания;</p> <p><b>знать:</b> основные тенденции развития теоретических представлений и новейшие достижения теоретической органической химии;</p> <p><b>знать:</b> общие закономерности, приёмы и методы постановки каталитических реакций изомеризации, окисления и восстановления, а также реакций метатезиса и сочетания в современном органическом синтезе.</p> <p><b>знать:</b> основные реагенты, используемые в органическом синтезе, и области применения этих реагентов.</p> <p><b>знать:</b> использовать теоретические знания для решения конкретных задач, возникающих в ходе исследования;</p> <p><b>знать:</b> основные принципы, определяющие стратегию проведения реакции и ее результат (состав продуктов и их стереохимию, возможность катализа, оптимизацию растворителя и т.п.).</p>	
<p><b>Уметь:</b> предложить стратегию синтеза, основанную на знании свойств конкретных катализаторов, с оценкой ее сложности и выполнимости в стандартных лабораторных условиях.</p> <p><b>Уметь:</b> прогнозировать ход процессов используя полученные знания о каталитическом присоединения к кратным связям.</p> <p><b>Уметь:</b> рациональным образом вычленять области и границы применения каталитически опосредованной гетерофункционализации органических соединений.</p> <p><b>Уметь:</b> определить стереохимическую конфигурацию ожидаемого продукта на основании особенностей состава реакционной смеси и ультраструктурных свойств катализаторов изучаемой группы, обсуждать и прогнозировать влияние пространственных факторов на диастереоселективность реакций.</p> <p><b>Уметь:</b> составлять план химического синтеза, и оценивать его реальную осуществимость практическими навыками химического лабораторного синтеза.</p> <p><b>Уметь</b> анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов,</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>

<p>применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы,  <b>Уметь:</b> самостоятельно составлять план исследования  <b>уметь:</b> самостоятельно оптимизировать условия проведения конкретной реакции исходя из базовых теоретических представлений о механизме реакции и факторах, определяющих реакционную способность.  <b>уметь:</b> обобщать, анализировать и интерпретировать наблюдаемые экспериментальные данные по составу продуктов, кинетике, стереохимии реакций и относительной реакционной способности реагентов;  <b>уметь:</b> анализировать современную научную литературу по профильной тематике;  <b>уметь:</b> составлять план химического синтеза, и оценивать его реальную осуществимость.  <b>уметь:</b> выбирать оптимальные исходные соединения и условия реакций в зависимости от степени окисления атомов палладия и выбора лигандов;  <b>уметь:</b> модифицировать катализатор для решения комплексных синтетических задач.  <b>уметь:</b> анализировать информацию по применению металлокомплексных и наноразмерных катализаторов в современном органическом синтезе;</p>	
<p><b>Владеть:</b> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения  <b>Владеть:</b> практическими навыками химического лабораторного синтеза,  <b>Владеть:</b> различными лабораторными методиками идентификации органических соединений на выходе реакций, катализируемых металлокомплексами.  <b>Владеть:</b> Методическими приемами, позволяющими планировать синтез соединений с заданным взаимным пространственным расположением групп в скелете молекулы  <b>Владеть:</b> опытом работы с химической литературой  <b>Владеть:</b> синтетическими методами на основе металлокомплексного катализа  <b>Владеть:</b> основными приемами работы с органическими веществами в каталитических реакциях  <b>Владеть:</b> знаниями по идентификации органических соединений</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>