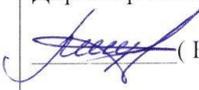
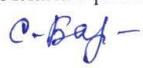


МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)  
**Структурное подразделение Новосибирского государственного университета –  
Специализированный учебно-научный центр Университета (СУНЦ НГУ)**  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

СОГЛАСОВАНО Заместитель директора по УР  (Петровская О.В.) 23 ноября 2023 г.	УТВЕРЖДЕНО На заседании ученого совета СУНЦ НГУ Протокол № 48 от 23 ноября 2023 г.	УТВЕРЖДАЮ Директор СУНЦ НГУ  (Некрасова Л.А.) 23 ноября 2023 г.
---	--	--

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**курса внеурочной деятельности «Органическая химия для олимпиадников»**

Заведующий кафедрой химии  
Барам Светлана Григорьевна, к.х.н.  


Новосибирск 2023

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### *Аннотация программы спецкурса*

Содержание спецкурса охватывает круг вопросов, связанных с классификацией, номенклатурой и изомерией органических соединений, способами получения и реакционной способностью разных классов органических соединений, механизмами реакций в органической химии, физическими методами установления строения органических веществ.

Основными целями освоения программы спецкурса является развитие у школьников химического мировоззрения, приобретение ими современных представлений о реакционной способности органических соединений и механизмах органических реакций, приобретение навыков предсказания химических свойств органических веществ на основе их строения. Немаловажно, что освоение программы спецкурса поможет школьникам успешно выступать на школьных олимпиадах вплоть до всероссийского и международного уровня.

На занятиях школьники учатся использовать методологию предмета для решения различных задач, опирающихся на закономерности в реакционной способности органических соединений и механизмы органических реакций.

Систематическое изложение органической химии происходит на основе последовательного рассмотрения строения, промышленных и лабораторных способов получения и химических свойств различных классов органических соединений. Рассмотрение классов органических соединений начинается с насыщенных и ненасыщенных углеводородов, далее рассматриваются галогенпроизводных, кислород- и азотсодержащие органические соединения, гетероциклические соединения, органические соединения других неметаллов (серы, фосфора, кремния, бора), углеводы. Химические свойства рассматриваются с классификацией органических реакций исходя из их механизмов. Везде, где это целесообразно, детально рассматриваются механизмы превращений с выделением общих принципов и закономерностей протекания реакций в органической химии. Также дополнительно рассматриваются темы общего характера, такие как номенклатура и стереоизомерия органических соединений, физические методы установления строения органических веществ, энантиоселективный синтез органических соединений, металлокомплексный катализ в органической химии, биологически важные органические соединения, химические методы в молекулярной биологии.

Программа спецкурса рассчитана на 136 часов (4 часа в неделю в течение учебного года).

### **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

В результате освоения программы спецкурса обучающийся должен:

- иметь представление о фундаменте современной органической химии (основах теории электронного строения органических соединений, включая понятия резонанса и ароматичности, влиянии электронных и стерических эффектов заместителей на электронное строение и реакционную способность органических соединений, понятиях нуклеофильности и электрофильности, принципе жёстких и мягких кислот и оснований);
- знать классификацию, виды изомерии и номенклатуру органических соединений;
- знать основные способы получения и химические свойства различных классов органических соединений;

- иметь представления о механизмах реакций органических соединений, включая как общие закономерности, так и особенности механизмов отдельных рассматриваемых в курсе реакций;
- иметь представление о физических основах таких физических методов установления строения органических веществ, как спектроскопия ядерного магнитного резонанса, спектроскопия в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областях, масс-спектрометрия; уметь применять данные методы для установления строения органических веществ;
- уметь применять полученные знания для предсказания реакционной способности органических соединений и строения продуктов органических реакций;
- уметь применять полученные знания для решения задач по органической химии, в том числе олимпиадных.

## СОДЕРЖАНИЕ СПЕЦКУРСА

**Тема 1. (4 часа).** Введение в органическую химию. Номенклатура органических соединений: систематическая номенклатура IUPAC, рациональная номенклатура. Понятие формального заряда. Теория резонанса, критерии значимости резонансных структур. Электронные эффекты заместителей: индуктивный эффект, мезомерный эффект, гиперконъюгация. Кислотность и основность в органической химии: теории кислот и оснований Брэнстеда и Льюиса. Понятия нуклеофилов и электрофилов.

**Тема 2. (4 часа).** Алканы. Промышленные и лабораторные способы получения алканов. Реакции Дюма, Кольбе, Вюрца, Клемменсена, Кижнера-Вольфа. Химические свойства алканов. Реакции радикального замещения: механизм, закономерности селективности.

**Тема 3. (8 часов).** Стереизомерия органических соединений. Понятия конформации и конфигурации. Конформации ациклических соединений. Хиральность, виды хиральности: центральная, аксиальная, планарная, спиральная, топологическая. Энантиомеры. Оптическая активность, энантиомерный избыток, рацемат. R/S-номенклатура соединений с хиральными центрами. Способы изображения конфигурации хиральных центров: клиновидные проекции, проекции Фишера. Диастереомеры, D,L-форма, мезо-форма, трео-форма, эритро-форма. Номенклатура соединений с аксиальной и спиральной хиральностью. Цис-транс-изомерия алкенов и циклических соединений, E/Z-номенклатура. Стереизомерия в бициклических соединениях: эндо-экзо-изомерия, син-анти-изомерия.

**Тема 4. (2 часа).** Циклоалканы. Способы получения циклоалканов. Получение производных циклопропана с помощью карбенов и карбеноидов. Строение циклоалканов. Конформации «кресло» для циклогексана. Классификация циклоалканов по размеру цикла. Химические свойства малых циклов.

**Тема 5. (8 часов).** Алкены. Способы получения алкенов с помощью реакций элиминирования, восстановления, реакции Виттига. Химические свойства алкенов. Реакции электрофильного присоединения: механизм, различные виды электрофильных реагентов. Реакции гидроборирования и гидроцирконирования алкенов. Реакции окисления алкенов: эпоксирирование, гидроксильрирование, окисление с разрывом C=C связи. Восстановление алкенов: каталитическое гидрирование, восстановление диимидом. Радикальные реакции алкенов. Полимеризация алкенов. Метатезис алкенов.

**Тема 6. (4 часа).** Алкины. Терминальные и интернальные алкины. Способы получения алкинов. Химические свойства алкинов: кислотные свойства терминальных алкинов, депротонирование пропаргильного атома углерода, реакции электрофильного присоединения, гидроборирование и гидроцирконирование алкинов, реакции олигомеризации и циклоолигомеризации алкинов, реакции сочетания алкинов.

**Тема 7. (4 часа).** Диены. Типы диенов: сопряжённые, кумулированные, изолированные диены. Способы получения сопряжённых диенов. Способы получения кумулированных диенов. Химические свойства сопряжённых диенов: реакции электрофильного присоединения, понятия кинетического и термодинамического контроля, реакция Дильса-Альдера, полимеризация. Химические свойства кумулированных диенов.

**Тема 8. (8 часов).** Ароматические соединения. Ароматичность, антиароматичность. Способы получения бензола и его производных. Химические свойства ароматических соединений. Электрофильное ароматическое замещение: механизм, влияние заместителей на ориентацию и реакционную способность ароматических соединений, электрофильное замещение в ряду нафталина, типы электрофильных реагентов, особенности реакций электрофильного ароматического замещения с различными электрофилами. Восстановление ароматических соединений. Окисление ароматических соединений. Химические свойства алкилароматических соединений.

**Тема 9. (6 часов).** Галогенсодержащие органические соединения. Способы получения алкилгалогенидов. Механизмы реакций нуклеофильного замещения:  $S_N2$ ,  $S_N1$ ,  $S_Ni$ . Механизмы реакций элиминирования:  $E2$ ,  $E1$ ,  $E1cb$ . Способы получения арилгалогенидов. Ароматическое нуклеофильное замещение. Реакции кросс-сочетания.

**Тема 10. (2 часа).** Металлорганические соединения. Способы получения и химические свойства металлорганических соединений. Принцип жёстких и мягких кислот и оснований.

**Тема 11. (8 часов).** Спирты, простые эфиры и эпоксиды. Способы получения спиртов. Химические свойства спиртов: реакции замещения и элиминирования. Реакции окисления спиртов: окисление соединениями  $Cr(VI)$ , реакции Оппенауэра, Сверна, Париха-Дёринга, Корнблюма, Пфизнера-Моффатта, Кори-Кима, Десса-Мартина, Лея. Защитные группы для спиртов. Способы получения и химические свойства диолов, пинакон-пинаколиновая перегруппировка, реакция Малапрада. Способы получения и химические свойства простых эфиров. Способы получения и химические свойства эпоксидов.

**Тема 12. (4 часа).** Фенолы. Способы получения фенолов. Химические свойства фенолов: взаимодействие с электрофильными реагентами по атому кислорода и по ароматическому кольцу, реакции окисления.

**Тема 13. (6 часов).** Амины. Способы получения алифатических аминов: реакции Гофмана, Габриэля, Риттера, восстановительные методы, секстетные перегруппировки. Химические свойства алифатических аминов: основные и кислотные свойства, взаимодействие с электрофильными реагентами, защитные группы. Способы получения и химические свойства ароматических аминов. Взаимодействие с электрофильными реагентами по атому азота и по ароматическому кольцу. Получение и свойства ароматических солей диазония.

**Тема 14. (12 часов).** Карбонильные соединения. Способы получения карбонильных соединений. Химические свойства карбонильных соединений. Нуклеофильное присоединение по связи  $C=O$ , защита карбонильной группы взаимодействием с диолами и дитиолами, образование иминов и енаминов, реакции Виттига, Хорнера-Уодсворта-Эммонса, Кори-Фукса, Сейферта-Гилберта, Такаи. Реакции восстановления. Реакции окисления: реакции Райли, Байера-Виллигера. Реакции диспропорционирования: реакция Канниццаро, бензиловая перегруппировка, бензоиновая конденсация, реакция Тищенко. Кето-енольная таутомерия и связанные с ней реакции карбонильных соединений: альдольная конденсация, кротоновая конденсация, конденсация Кнёвенагеля, реакции енолят-ионов с жёсткими и мягкими электрофилами, реакция Сторка, галоформная реакция, нитрозирование, реакция Манниха, перегруппировка Фаворского. Свойства азотсодержащих производных карбонильных соединений: перегруппировка Бекмана,

реакции Бэмфорда-Стивенса и Шапиро. Свойства  $\alpha,\beta$ -ненасыщенных карбонильных соединений: 1,2- и 1,4-присоединение, присоединение по Михаэлю, аннелирование по Робинсону, реакция Штеттера, реакция Бэйлиса-Хиллмана.

**Тема 15. (10 часов).** Карбоновые кислоты и их производные. Способы получения карбоновых кислот и их солей, галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, ортоэфиров, амидов, амидинов, нитрилов, нитрилоксидов, кетенов. Декарбокислирование карбоновых кислот. Химические свойства кетенов. Восстановление карбоновых кислот и их производных. Реакции производных карбоновых кислот по  $\alpha$ -положению: реакция Гелля-Фольгарда-Зелинского, конденсации Кляйзена, Дикмана, Штоббе и Перкина, реакции Торпа-Циглера, Дарзана, Реформатского. Свойства производных 1,3-дикарбоновых кислот,  $\beta$ -кетокислот, 1,3-дикетенов: расщепление, образование устойчивых сопряженных анионов, их алкилирование и димеризация.

**Тема 16. (4 часа).** Нитросоединения и диазосоединения. Способы получения нитросоединений. Химические свойства нитросоединений: кислотные свойства, таутомерия, нуклеофильные свойства анионов нитросоединений, реакция Нефа. Взаимопревращения различных классов ароматических азотсодержащих соединений. Перегруппировка Бамбергера, бензидиновая перегруппировка. Способы получения и свойства алифатических диазосоединений.

**Тема 17. (8 часов).** Гетероциклические соединения. Способы получения и химические свойства пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом: фурана, пиррола, тиофена. Получение и свойства индола. Получение и свойства пятичленных гетероциклов с двумя гетероатомами (азолов). Получение пиридина. Химические свойства пиридина: взаимодействие с электрофилами, реакция Чичибабина,  $\text{C}=\text{N}$  кислотность  $\alpha$ - и  $\gamma$ -замещённых производных пиридина, использование N-окисей для активации электрофильного и нуклеофильного замещения в пиридине. Получение и химические свойства хинолина и изохинолина. Способы получения и химические свойства пиридазина, пиримидина и пиазина. Пурины.

**Тема 18. (6 часов).** Органические соединения серы, фосфора, кремния и бора. Способы получения сераорганических соединений. Химические свойства сераорганических соединений: нуклеофильные и электрофильные свойства атома серы, реакции окисления и восстановления, депротонирование сераорганических соединений по  $\alpha$ -положению и свойства образующихся карбанионов, стабилизация серой катионов в  $\alpha$ -положении и их свойства, перегруппировки сульфоксидов. Способы получения и химические свойства фосфорорганических соединений. Получение органохлорсиланов по «прямому» процессу. Химические свойства кремнийорганических соединений. Борорганические соединения.

**Тема 19. (4 часа).** Углеводы. Моносахариды: триозы, тетрозы, пентозы, гексозы. Эпимеры. Циклические формы углеводов, аномеры, проекции Хеуорса. Химические свойства углеводов: алкилирование, ацилирование, восстановление, окисление, образование кеталей, синтез Килиани-Фишера, деградация по Волю и по Руффу. Олигосахариды.

**Тема 20. (6 часов).** Биохимический минимум. Аминокислоты, пептиды. Азотистые основания, нуклеозиды, нуклеотиды. Липиды. Ферменты и кофакторы, классификация ферментов. Кинетика ферментативных реакций. Некоторые биохимические процессы катаболизма: гликолиз, цикл Кребса, расщепление жиров и аминокислот. Химические методы молекулярной биологии: синтез олигонуклеотидов, установление первичной последовательности аминокислот в пептидах, синтез пептидов.

**Тема 21. (10 часов).** Физические методы установления строения органических веществ. Электромагнитный спектр. Инфракрасная спектроскопия. Валентные и деформационные колебания. Характеристические частоты колебаний. Спектроскопия в УФ- и видимой

области. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Ядерный спин. Явление ЯМР. Химический сдвиг. Экранирование и дезэкранирование ядерных спинов. Характерные химические сдвиги в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Интегральная интенсивность сигналов в спектрах ЯМР. Спин-спиновое взаимодействие, мультиплетность сигналов ЯМР. Масс-спектрометрия.

**Тема 22. (4 часа).** Энантиоселективный синтез органических соединений. Определение энантиомерного состава. Получение индивидуальных энантиомеров расщеплением рацемических смесей. Синтез из энантиомерно чистых природных соединений. Энантиоселективный синтез с использованием стехиометрических количеств хирального реагента. Энантиоселективный синтез с использованием хиральных катализаторов.

**Тема 23. (4 часа).** Металлокомплексный катализ. Типа стадий в реакциях металлокомплексного катализа. Реакции кросс-сочетания: обобщённый механизм, реакции Кумады, Негиши, Стилле, Хиямы, Сузуки, Мияуры, Соногаширы, Бухвальда-Хартвига, Хека. Реакции гомогенного гидрирования на катализаторе Уилкинсона и катионных комплексах родия, гидрирование по Нойори. Гидроформилирование. Декарбонилирование альдегидов. Карбонилирование метанола. Полимеризация алкенов на катализаторах Циглера-Натта и металлоценовых катализаторах. Вакер-процесс. Реакция метатезиса алкенов и алкинов, метатезис енинов.

## ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

№ п/п	Наименование разделов и тем программы	Количество часов	Воспитательный компонент
Раздел 1. Основной курс органической химии			
1.1.	Введение в органическую химию. Номенклатура органических соединений. Теория резонанса. Электронные эффекты заместителей. Кислотность и основность в органической химии. Нуклеофилы и электрофилы.	4	<p>Развитие компетенций молодежи (креативное мышление, коммуникативные умения, профессиональные траектории).</p> <p>Воспитание готовности у обучающихся руководствоваться системой позитивных ценностных ориентаций и расширение опыта познавательной деятельности.</p> <p>Вовлечение обучающихся в проектную и исследовательскую деятельность.</p> <p>Приобщение обучающихся к ценностям научного познания, их готовность к саморазвитию, самостоятельности, умению выявлять проблемы.</p>
1.2.	Алканы	4	
1.3.	Стереоизомерия органических соединений	8	
1.4.	Циклоалканы	2	
1.5.	Алкены	8	
1.6.	Алкины	4	
1.7.	Диена	4	
1.8.	Ароматические соединения	8	
1.9.	Галогенсодержащие органические соединения	6	
1.10.	Металлорганические соединения	2	
1.11.	Спирты, простые эфиры и эпоксиды	8	
1.12.	Фенолы	4	
1.13.	Амины	6	
1.14.	Карбонильные соединения	12	
1.15.	Карбоновые кислоты и их производные	10	

1.16.	Нитросоединения и diaзосоединения	4	
1.17.	Гетероциклические соединения	8	
Итого по разделу		102	
Раздел 2. Дополнительные главы органической химии			
2.1.	Органические соединения серы, фосфора, кремния и бора	6	Привлечение внимания обучающихся к ценностному аспекту изучения химии и химических явлений, инициирование обсуждений, высказываний собственного мнения, выработка личностного отношения к природным явлениям.
2.2.	Углеводы	4	
2.3.	Биохимический минимум	6	
2.4.	Физические методы установления строения органических веществ	10	
2.5.	Энантиселективный синтез органических соединений	4	
2.6.	Металлокомплексный катализ	4	
Итого по разделу		34	
Всего		136	

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА****а) Основная литература:**

1. Резников В.А. Лекции по органической химии. Новосибирск: НГУ, 2020.
2. Резников В. А. Сборник задач и упражнений по органической химии. Новосибирск: НГУ, 2007.
3. Я.В. Зонов, Е.В. Пантелеева, В.А. Резников. Сборник задач и упражнений по органической химии (Часть 2). Санкт-Петербург: Лань, 2019.
4. Реутов О. А., Курц А. Л., Бутин К. П. Органическая химия (4 т.). М.: Бином, 2004.
5. Клейден Дж. П., Гривс Н., Уоррен С., Узерс П. Д. Органическая химия (3 т.). Неофициальный перевод.
6. Kürti L., Czako V. Strategic applications of named reactions in organic synthesis. Elsevier Academic Press, 2005.
7. Терней А. Современная органическая химия (2 т.). М.: Мир, 1981.

**б) Дополнительная литература:**

1. Робертс Дж., Касерио М. Основы органической химии (2 т.). М.: Мир, 1978.
2. Моррисон Р., Бойд Р. Органическая химия. М.: Мир, 1974.
3. Ли Дж. Дж. Именные реакции. Механизмы органических реакций. М.: Бином, 2006.
4. Wang Z. Comprehensive Organic Name Reactions and Reagents. Wiley, 2010.
5. Джоуль Дж., Миллс К. Химия гетероциклических соединений. М.: Мир, 2004.
6. Wuts P. G. M., Greene T. W. Greene's Protective Groups in Organic Synthesis. Wiley-Interscience, 2007.
7. Колтунов К. Ю. Энантиоселективный синтез органических соединений. Новосибирск: НГУ, 2010.
8. Соколов М. Н., Гущин А. Л., Самсоненко Д. Г. Координационная химия. Часть II: Металлоорганические соединения, катализ с участием комплексов переходных металлов, кластерные соединения. Новосибирск: НГУ, 2011.
9. Бунева В. Н. Биохимия. Новосибирск: НГУ, 2014.
10. Воробьев П. Е., Жарков Д. О. Основы молекулярной биологии. Новосибирск: НГУ, 2009.

**в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Интернет-представительство факультета естественных наук НГУ (Методические пособия) – <http://fen.nsu.ru/fen.phtml?topic=meth>
2. Ельцов И. В., Нефёдов А. А. Физические методы определения строения органических молекул. Слайды к лекциям, доступные на сайте <https://nsu.ru/xmlui/handle/nsu/655>
3. White M. C. Organometallic lectures. Материалы к лекциям, доступные на сайте <http://faculty.scs.illinois.edu/white/index.php?p=lectures>