

УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

# ПРАКТИКУМ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Под редакцией  
академика РАН Н. С. Зефирова

Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по классическому университетскому образованию  
в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности  
ВПО 020101.65 «Химия»



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2010

УДК 547(076)  
ББК 24.2я73  
П69

А в т о р ы:

доктор хим. наук, профессор В. И. Теренин,  
канд. хим. наук М. В. Ливанцов, канд. хим. наук Л. И. Ливанцова,  
канд. хим. наук Е. Д. Матвеева, канд. хим. наук П. В. Ивченко,  
доктор хим. наук, профессор И. Э. Нифантьев

**Практикум по органической химии / В. И. Теренин [и др.] ;**  
П69 под редакцией академика РАН Н. С. Зефирова. — М. : БИНОМ.  
Лаборатория знаний, 2010. — 568 с. : ил. — (Учебник для высшей  
школы).

ISBN 978-5-94774-942-7

Учебное пособие по общему курсу органической химии составлено на основе многолетнего опыта работы студенческого практикума по органической химии химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Содержит методики синтеза органических соединений различных классов. Изложены общие правила и методы работы в органическом практикуме, даны общие указания по интерпретации спектров ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  синтезируемых соединений.

Для студентов, аспирантов и преподавателей химических вузов, а также научных работников.

УДК 547(076)  
ББК 24.2я73

---

*Учебное издание*

Серия: «Учебник для высшей школы»

**Теренин** Владимир Ильич  
**Ливанцов** Михаил Васильевич  
**Ливанцова** Людмила Ивановна и др.

**ПРАКТИКУМ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

Ведущий редактор канд. хим. наук *Т. И. Почкаева*  
Редактор канд. хим. наук *Е. Э. Григорьева*  
Художники *С. Инфантэ, Н. А. Новак*  
Технический редактор *Е. В. Денюкова*  
Компьютерная верстка: *К. А. Мордвинцев*

Подписано в печать 25.02.10. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 46,15. Тираж 1000 экз. Заказ

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3  
Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, http://www.Lbz.ru

---

ISBN 978-5-94774-942-7

© БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*«Чтоб музыкантом быть, так надобно уменье...»*

*И.А. Крылов, басня «Квартет»*

Согласно неоспоримой логике Соловья из басни, чтобы быть хорошим музыкантом, необходимо, как минимум, уметь (обладать умением) играть на каком-нибудь музыкальном инструменте. Точно так же, чтобы успешно работать в области тонкого органического синтеза, необходимо иметь соответствующую квалификацию, т. е. обладать умением работать в современной химической лаборатории. Совершенно очевидно, что даже очень хорошая теоретическая подготовка и самые подробные и не раз проверенные методики синтеза не могут гарантировать неопытному и неумелому экспериментатору ожидаемый конечный результат (выход целевого вещества, его чистота). На практике часто наблюдается ситуация, когда два студента выполняют один и тот же синтез из одних и тех же исходных реагентов по одной и той же методике, но с различным результатом, хотя оба они работали с неподдельным интересом и энтузиазмом. Преподаватели в таких случаях говорят, что у одного студента «хорошие» руки, а у другого – «плохие». По этой причине некоторые студенты уже на стадии практикума по органической химии делают выбор, чем в будущем заниматься – экспериментом или теорией.

Главная цель работы в практикуме – получение конкретных органических соединений с препаративным выходом и заданной степенью чистоты из имеющихся в наличии исходных реагентов, что невозможно без навыков работы с химическим оборудованием и без знания основных лабораторных операций по выделению и очистке веществ. Для оценки глубины протекания реакций и чистоты соединений, а также для доказательства их аутентичности широко используются хроматографические и физико-химические методы анализа, основами которых обязан овладеть квалифицированный химик-органик.

Данное учебное пособие – это по сути «большой практикум» по органическому синтезу, и содержит он практически все разделы, присущие современному учебному пособию такого типа. Мы старались включить в свою книгу максимум полезных сведений при сравнительно небольшом объеме. Как правило, практикум выполняется студентами параллельно с прослушиванием лекционного курса и семинарскими занятиями, поэтому мы сознательно отошли от установившихся традиций и не стали предварять синтетические разделы теоретическими сведениями, а сделали упор именно на практические работы. Объект исследования в органическом практикуме – конкретное органическое соединение; это исследование выполняет студент, которому предоставляется возможность своими руками синтезировать и изучить продукт – целевое химическое соединение, что делает зримым «сухой» материал учебников и лекционных курсов. Преподаватели, ведущие занятия в практикуме, хорошо знают, с каким неподдельным интересом работают студенты и как они расстраиваются, если синтез не идет по причине отсутствия у них необходимых экспериментальных навыков. Данное пособие обеспечит применение полученных теоретических знаний и поможет студентам достигнуть хорошего уровня экспериментального мастерства.

Пособие составлено на основе многолетнего успешного опыта работы практикума по органической химии на химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Книга состоит из трех больших частей: вводная (А), препаративная (Б)

и приложение (В). В вводной части излагаются основные правила работы в лаборатории органического синтеза, правила техники безопасности, приводится описание современных приборов и оборудования, обсуждаются основные методы выделения, очистки, идентификации и анализа синтезируемых соединений. Современный уровень профессиональной подготовки химика-органика предполагает знание основ хроматографических и физико-химических методов анализа и умение активно использовать эти методы на практике. В пособии большое внимание уделяется современным физико-химическим методам анализа (масс-спектрометрия, ИК- и УФ-спектроскопия, спектроскопия ЯМР), показаны возможности спектроскопии ЯМР на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  при проведении экспресс-анализов как отдельных органических соединений, так и сложных реакционных смесей (на конкретных примерах изложены методы расшифровки и интерпретации спектров ЯМР). Следует отметить, что спектры ЯМР сложных молекул часто могут быть полностью расшифрованы и проанализированы, тогда как ИК- и УФ-спектры дают достоверную информацию только для отдельных фрагментов молекул (функциональных групп).

Препаративная часть содержит методики синтеза почти 800 органических соединений различных классов. Часть методик цитирована по хорошо зарекомендовавшим себя практическим руководствам, другие методики – по оригинальной химической литературе. Выбор методик синтезов для включения в пособие проводился с учетом финансовых и технических возможностей органического практикума химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Каждая методика предваряется соответствующей литературной ссылкой, а заканчивается описанием спектров ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , причем описание спектров сделано без привязки параметров к конкретным фрагментам молекул. Студенты сами должны проделать эту операцию, опираясь на собственные знания или воспользовавшись соответствующими компьютерными программами. Кроме того, в каждой методике содержатся необходимые сведения, касающиеся техники безопасности работы с вредными веществами и сложными приборами, требующими специальных экспериментальных навыков.

В приложении приводятся данные (в виде таблиц) по характеристическим частотам и химическим сдвигам, что необходимо для расшифровки и интерпретации спектров синтезируемых соединений. Наиболее информативные спектры соединений, синтезированных студентами по методикам, описанным в препаративной части, приведены в приложении. Кроме того, в приложении приведена рекомендуемая форма ведения лабораторного журнала, позволяющая не только оценить качество работы студента, но и выявить допущенные ошибки, если синтез не получился. Достаточно жесткие на первый взгляд требования к оформлению журнала обусловлены тем, что в дальнейшей научной работе (начиная с курсовой работы) небрежность в оформлении может привести к неоправданным материальным затратам, потере времени и другим неприятностям.

\* \* \*

Мы выражаем глубокую благодарность своим учителям, коллегам и ученикам за помощь в создании этой книги. Мы искренне надеемся, что предлагаемое пособие окажется полезным прежде всего студентам и преподавателям, а также химикам, интересующимся проблемами органического синтеза. Мы с благодарностью примем любые конструктивные замечания и пожелания читателей, касающиеся возможности дальнейшего усовершенствования данного учебного пособия.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
-----------------------	---

## А. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

<b>А1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА . . . . .</b>	<b>5</b>
А1.1. Общие правила . . . . .	5
А1.2. Меры предосторожности при работе в лаборатории . . . . .	7
Работа с ядовитыми и едкими веществами . . . . .	7
Работа с легковоспламеняющимися и взрывоопасными веществами. . . . .	9
Правила обращения со стеклом . . . . .	11
А1.3. Первая помощь при ожогах, отравлениях и других несчастных случаях . . . . .	11
А1.4. Тушение местных возгораний и горящей одежды. . . . .	12
<b>А2. ЛАБОРАТОРНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ПОСУДА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СИНТЕЗА И ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ. . . . .</b>	<b>13</b>
А2.1. Основные виды лабораторной посуды . . . . .	13
А2.2. Другое лабораторное оборудование . . . . .	21
А2.3. Сборка приборов для проведения синтеза . . . . .	22
А2.4. Мытье и сушка лабораторной посуды . . . . .	24
<b>А3. ОСНОВНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЕРАЦИИ . . . . .</b>	<b>26</b>
А3.1. Проведение синтеза и первичная обработка реакционных смесей . . . . .	26
А3.2. Экстракция. Работа с растворами веществ. Осушители. Удаление растворителей . . . . .	28
Разделение и экстракция жидкостей. . . . .	28
Экстракция твердых веществ . . . . .	32
А3.3. Кристаллизация и фильтрование . . . . .	33
Выбор растворителя . . . . .	33
Проведение перекристаллизации. . . . .	34
Фильтрование . . . . .	35
Сушка твердых продуктов синтеза . . . . .	36
А3.4. Перегонка и ректификация. Вакуумная перегонка. Возгонка . . . . .	37
Зависимость температуры кипения вещества от давления . . . . .	38
Равновесие жидкость – газ для смеси соединений. . . . .	40
Возгонка . . . . .	44
А3.5. Перегонка с водяным паром. . . . .	45
А3.6. Хроматография . . . . .	48
Основные принципы и классификация хроматографических методов . . . . .	48
<b>А4. КОНТРОЛЬ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИИ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АУТЕНТИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ . . . . .</b>	<b>50</b>
А4.1. Хроматографические методы контроля протекания реакции и чистоты продуктов. . . . .	50
Газо-жидкостная хроматография . . . . .	50
Тонкослойная хроматография. . . . .	51
А4.2. Аутентичность полученных соединений и простейшие методы ее доказательства . . . . .	53
Определение температуры плавления . . . . .	53
Определение показателя преломления. . . . .	53
Поляриметрия . . . . .	54

<b>A5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА</b> . . . . .	55
A5.1. Основные принципы, задачи и методы . . . . .	55
A5.2. Масс-спектрометрия . . . . .	56
A5.2.1. Основы метода . . . . .	56
A5.2.2. Методы ионизации . . . . .	58
A5.2.3. Молекулярный ион. Общие закономерности . . . . .	60
A5.2.4. Молекулярный кластер. Изотопные пики и определение элементного состава ионов . . . . .	61
A5.3. Основные понятия и термины спектроскопии . . . . .	65
A5.4. ИК-Спектроскопия . . . . .	66
A5.5. Спектроскопия в УФ и видимой областях . . . . .	68
A5.5.1. Основные понятия . . . . .	68
A5.5.2. Закон поглощения . . . . .	70
A5.5.3. Общий вид спектров и их информативность . . . . .	71
A5.5.4. Основные термины электронной спектроскопии . . . . .	72
A5.5.5. Окрашенные соединения. Красители . . . . .	73
A5.5.6. Применение электронной спектроскопии . . . . .	73
A5.6. Основы спектроскопии ЯМР . . . . .	75
A5.6.1. Магнитные свойства ядер. Эффект Зеемана. Основы спектроскопии ЯМР . . . . .	75
A5.6.2. Заселенность энергетических уровней. Чувствительность различных ядер . . . . .	77
A5.6.3. Релаксационные процессы и ширина линий в спектрах ЯМР . . . . .	78
A5.6.4. Конструкция спектрометра ЯМР . . . . .	80
A5.7. Спектроскопия ЯМР на ядрах $^1\text{H}$ . . . . .	84
A5.7.1. Химический сдвиг . . . . .	84
A5.7.2. Спин-спиновое взаимодействие. Мультиплетность сигналов. Классификация спиновых систем . . . . .	93
A5.7.3. Константы спин-спинового взаимодействия . . . . .	97
A5.7.4. Некоторые вопросы классификации двухкомпонентных спиновых систем. Определение КССВ и химических сдвигов мультиплетов для спектров первого порядка . . . . .	102
A5.7.5. Геминальная спиновая система рядом с асимметрическим центром. Диастереотопия . . . . .	104
A5.7.6. Трех- и многокомпонентные системы. . . . .	106
A5.8. Спектроскопия ЯМР на ядрах $^{13}\text{C}$ . . . . .	112
A5.8.1. Некоторые основные положения. . . . .	112
A5.8.2. Спин-спиновые взаимодействия в спектроскопии ЯМР $^{13}\text{C}$ . . . . .	113
A5.9. Спектроскопия ЯМР на ядрах других элементов. Спин-спиновое взаимодействие ядер $^1\text{H}$ и $^{13}\text{C}$ с этими ядрами . . . . .	117
A5.10. Динамические эффекты в спектрах ЯМР . . . . .	123
A5.10.1. Обмен протонов между положениями с различными резонансными частотами . . . . .	124
A5.10.2. Межмолекулярный обмен . . . . .	128
A5.11. Экспериментальные аспекты спектроскопии ЯМР . . . . .	129
A5.12. Примеры использования спектроскопии ЯМР в синтезе . . . . .	131
<b>A6. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ</b> . . . . .	135

## **Б. ПРЕПАРАТИВНАЯ ЧАСТЬ**

<b>Б1. ВВОДНЫЙ КОНЦЕНТР</b> . . . . .	137
Б1.1. Синтез сложных эфиров . . . . .	137
Б1.1.1. Этилхлорацетат . . . . .	137
Б1.1.2. Этилацетат . . . . .	138

Б1.1.3.	Бутилацетат . . . . .	139
Б1.1.4.	Синтез высших алкилацетатов (общая методика) . . . . .	140
Б1.1.5.	Этилформиат . . . . .	141
Б1.1.6.	Диэтилсукцинат (диэтиловый эфир янтарной кислоты) . . . . .	142
Б1.1.7.	Фенилбензоат . . . . .	142
Б1.1.8.	2-(Ацетилокси)бензойная кислота (ацетилсалициловая кислота, аспирин) . . . . .	143
Б1.1.9.	1,2,3,4,6-Пента-О-ацетил- $\alpha$ -D-глюкопираноза (пентаацетил- $\alpha$ -D-глюкоза) . . . . .	144
Б1.1.10.	4-(Ацетилокси)фенилацетат (гидрохинондиацетат). . . . .	145
Б1.1.11.	3-Метилбутилсалицилат (изоамиловый эфир салициловой кислоты, коммерческое название – орхидея, трефоль) . . . . .	146
Б1.1.12.	Этилглицинатгидрохлорид (этиловый эфир глицина, гидрохлорид). . . . .	146
Б1.2.	Синтез амидов органических кислот . . . . .	147
Б1.2.1.	Бензамид . . . . .	147
Б1.2.2.	Хлорацетамид . . . . .	148
Б1.2.3.	(Бензоиламино)уксусная кислота (гиппуровая кислота, N-бензоилглицин) . . . . .	148
Б1.3.	Синтез анилидов . . . . .	149
Б1.3.1.	N-Фенилацетамид (ацетанилид) . . . . .	149
Б1.3.2.	N-(4-Гидроксифенил)ацетамид ( <i>n</i> -гидроксиацетанилид, парацетамол) . . . . .	150
Б1.4.	Перекристаллизация органических веществ . . . . .	151
Б1.4.1.	Перекристаллизация полумикроколичеств ацетанилида из воды с применением ампулы. . . . .	151
Б1.4.2.	Перекристаллизация бензойной кислоты из толуола . . . . .	151
Б1.4.3.	Кристаллизация легкоплавких веществ из органических растворителей . . . . .	152
Б1.5.	Аналитическая и препаративная хроматография. . . . .	152
Б1.5.1.	Анализ смеси динитрофенилгидразонов (ДНФГ) на пластинке «Silufol» . . . . .	152
Б1.5.2.	Разделение смеси ферроцена и ацетилферроцена . . . . .	152
Б1.5.3.	Разделение смеси азобензола и <i>o</i> -нитроанилина . . . . .	153
<b>Б2.</b>	<b>НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ . . . . .</b>	<b>153</b>
Б2.1.	Циклогексен . . . . .	153
Б2.2.	( <i>E</i> )-1,2-Дифенилэтилен ( <i>транс</i> -стильбен). . . . .	155
Б2.3.	<i>транс</i> -1,2-Дибромциклогексан . . . . .	155
Б2.4.	2,3-Дибром-3-фенилпропановая кислота (дибромкоричная кислота) . . . . .	156
Б2.5.	2,3-Дибром-3-(4-хлорфенил)пропановая кислота (дибром- <i>n</i> -хлоркоричная кислота) . . . . .	157
Б2.6.	[( <i>E</i> )-2-Бромэтенил]бензол и [( <i>Z</i> )-2-бромэтенил]бензол ( $\omega$ -бромстирол) . . . . .	157
Б2.7.	(1-Бромвинил)бензол ( $\alpha$ -бромстирол) . . . . .	158
Б2.8.	2,3-Дибром-1,3-дифенил-1-пропанон (дибромид бензилиденацетофенона). . . . .	159
Б2.9.	(1,2-Дибром-2-фенилэтил)бензол ( <i>мезо</i> -дибромстильбен) . . . . .	160
Б2.10.	1,1-Дихлор-2-фенилциклопропан . . . . .	160
Б2.11.	7-Оксабицикло[4.1.0]гептан (циклогексеноксид, 1,2-эпоксициклогексан) . . . . .	161

<b>Б3.</b>	<b>НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АЛКИЛГАЛОГЕНИДАХ И СПИРТАХ</b> . . . . .	162
Б3.1.	Синтез алкилгалогенидов . . . . .	162
Б3.1.1.	2-Хлорпропан (изопропилхлорид) . . . . .	162
Б3.1.2.	Хлорциклогексан (циклогексилхлорид) . . . . .	163
Б3.1.3.	2-Хлор-2-метилпропан ( <i>трет</i> -бутилхлорид) . . . . .	164
Б3.1.4.	[Хлор(дифенил)метил]бензол (трифенилхлорметан, тритилхлорид) . . . . .	164
Б3.1.5.	Бромэтан (этилбромид) . . . . .	166
Б3.1.6.	Алкилбромиды . . . . .	167
Б3.1.7.	1-Бром-2,2-диметилпропан (неопентилбромид) . . . . .	168
Б3.1.8.	Иодметан (метилюдид) . . . . .	168
Б3.1.9.	Алкилиодиды . . . . .	169
Б3.1.10.	1,4-Диiodбутан . . . . .	170
Б3.1.11.	Иодуксусная кислота . . . . .	171
Б3.2.	Синтез простых эфиров . . . . .	172
Б3.2.1.	Метилфениловый эфир (анизол) . . . . .	172
Б3.2.2.	Фенилэтиловый эфир (фенетол) . . . . .	172
Б3.2.3.	Феноксиуксусная кислота . . . . .	173
Б3.2.4.	<i>n</i> -Бутилэтиловый эфир . . . . .	174
Б3.2.5.	Ди- <i>n</i> -бутиловый эфир . . . . .	174
Б3.2.6.	Бензилэтиловый эфир . . . . .	176
Б3.2.7.	1-Метил-4-метоксибензол (метиловый эфир <i>n</i> -крезола, метил-4-метилфениловый эфир) . . . . .	176
Б3.2.8.	1-(Изопентилокси)-3-метилбутан (диизопентиловый эфир, диизоамиловый эфир) . . . . .	177
Б3.2.9.	1,4-Диоксан . . . . .	178
Б3.2.10.	2,3-Дигидро-1,4-бензодиоксин (бензодиоксан) . . . . .	178
Б3.2.11.	[Этокси(дифенил)метил]бензол (этилтрифенилметиловый эфир) . . . . .	179
Б3.3.	Синтез эфиров борной и фосфористой кислот . . . . .	180
Б3.3.1.	Трибутилборат . . . . .	180
Б3.3.2.	Диэтилфосфонат (диэтилфосфит) . . . . .	181
Б3.4.	Синтез аминов и их производных . . . . .	181
Б3.4.1.	Триэтилбензиламмонийхлорид (ТЭБАХ) . . . . .	181
Б3.4.2.	<i>N,N</i> -Диэтиланилин . . . . .	182
Б3.4.3.	<i>N</i> -Бензил- <i>N</i> -этилэтанамин (диэтилбензиламин) . . . . .	183
Б3.4.4.	2-Бром- <i>N,N</i> -диметиланилин ( <i>o</i> -бром- <i>N,N</i> -диметиланилин) . . . . .	183
Б3.4.5.	1-Фенилэтанамин ( $\alpha$ -фенилэтиламин) . . . . .	184
<b>Б4.</b>	<b>АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ</b> . . . . .	185
Б4.1.	Получение альдегидов и кетонов из органических соединений других классов . . . . .	185
Б4.1.1.	Пропаналь (пропионовый альдегид) . . . . .	185
Б4.1.2.	2-Метилпропаналь (изомасляный альдегид) . . . . .	186
Б4.1.3.	Циклогексанон . . . . .	187
Б4.1.4.	1,4-Бензохинон ( <i>n</i> -бензохинон) . . . . .	188
Б4.1.5.	Бензил (добензоил) . . . . .	189
Б4.1.6.	3,3-Диметилбутанон-2 (пинаколин) . . . . .	190
Б4.1.7.	1,3-Дифенилацетон (добензилкетон) . . . . .	191
Б4.1.8.	Антра-9,10-хинон (антрахинон) . . . . .	192
Б4.1.9.	Флуоренон . . . . .	192
Б4.1.10.	1,3-Дифенил-1,3-пропандион (добензоилметан) . . . . .	193
Б4.1.11.	4-Фенилбутанон-2 (метил- $\beta$ -фенилэтилкетон) . . . . .	194



Б4.2.	Реакции альдегидов и кетонов по карбонильной группе . . . . .	195
Б4.2.1.	2-Фенил-1,3-диоксолан (этиленацеталь бензальдегида) . . . . .	195
Б4.2.2.	1,3-Диоксаспиро[4.5]декан (этиленкеталь циклогексанона) . . . . .	195
Б4.2.3.	( <i>E</i> )-Оксим бензальдегида ( <i>анти</i> -бензальдоксим) . . . . .	196
Б4.2.4.	( <i>Z</i> )-Оксим бензальдегида ( <i>син</i> -бензальдоксим) . . . . .	197
Б4.2.5.	Оксим циклогексанона . . . . .	197
Б4.2.6.	2,4-Динитрофенилгидразон циклогексанона . . . . .	198
Б4.2.7.	Фенилметанимин (бензальметиламин) . . . . .	198
Б4.2.8.	N-[( <i>E</i> )-Фенилметиле]анилин (N-бензилиденанилин, бензальанилин) . . . . .	199
Б4.2.9.	4-(1-Циклогексен-1-ил)морфолин (1-морфолиноциклогексен-1) . . . . .	200
Б4.2.10.	N,N,N,N-Тетраметилметандиамин (бис(диметиламино)метан, тетраметилметилендиамин) . . . . .	201
Б4.2.11.	N,N,N,N-Тетраэтилметандиамин (бис(диэтиламино)метан, тетраэтилметилендиамин) . . . . .	201
Б4.2.12.	N-(Этоксиметил)-N-этилэтанамиин (диэтиламинометилэтиловый эфир) . . . . .	202
Б4.2.13.	1,3,5-Триметил-1,3,5-триазиин (1,3,5-триметилгексагидро-1,3,5-триазиин) . . . . .	203
Б4.2.14.	1-Фенилэтанол (метилфенилкарбинол) . . . . .	204
Б4.2.15.	Бензгидрол (дифенилкарбинол, дифенилметанол) . . . . .	205
Б4.2.16.	4-[1-Метил-1-(4-гидроксифенил)этил]фенол (бисфенол А, 2,2-бис( <i>n</i> -гидроксифенил)пропан) . . . . .	205
Б4.3.	Реакции альдегидов и кетонов по атому углерода, соседнему с карбонильной группой . . . . .	206
Б4.3.1.	(3 <i>E</i> )-4-Фенил-3-бутен-2-он (бензилиденацетон) . . . . .	206
Б4.3.2.	(3 <i>E</i> )-4-(2-Фурил)-3-бутен-2-он (2-фурфурилиденацетон) . . . . .	207
Б4.3.3.	(1 <i>E</i> ,4 <i>E</i> )-1,5-Дифенил-1,4-пентадиен-3-он (добензальацетон, добензилиденацетон) . . . . .	207
Б4.3.4.	(2 <i>E</i> )-1,3-Дифенил-2-пропен-1-он (халкон, бензилиденацетофенон) . . . . .	208
Б4.3.5.	2-Ацетилциклопентанон . . . . .	209
Б4.3.6.	[(1 <i>E</i> )-2-Нитро-1-пропенил]бензол (2-нитро-1-фенилпропен) . . . . .	210
Б4.3.7.	3-Диметиламино-1-фенилпропанон-1-гидрохлорид (β-диметиламинопропиофенон солянокислый) . . . . .	211
Б4.3.8.	Тетрафенилциклопентадиенон (циклон) . . . . .	212
Б4.3.9.	1,2,4,5-Тетрафенилпентандион-1,5 . . . . .	213
Б4.3.10.	Триодметан (иодоформ) . . . . .	214
Б4.3.11.	2-Бром-1-фенилэтанон (фенацилбромид, бромацетофенон) . . . . .	215
Б4.3.12.	4-Метоксибензойная кислота (анисовая кислота, <i>n</i> -метоксибензойная кислота) . . . . .	215
<b>Б5.</b>	<b>КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ</b> . . . . .	216
Б5.1.	Получение карбоновых кислот из органических соединений других классов . . . . .	216
Б5.1.1.	(2 <i>E</i> )-3-Фенил-2-пропеновая кислота (коричная кислота) . . . . .	216
Б5.1.2.	(2 <i>E</i> )-3-(2-Фурил)-2-пропеновая кислота (3-(2-фурил)акриловая кислота) . . . . .	217
Б5.1.3.	(2 <i>E</i> )-3-(4-Метоксифенил)-2-пропеновая кислота ( <i>n</i> -метоксикоричная кислота) . . . . .	218
Б5.1.4.	(2 <i>E</i> )-3-(4-Хлорфенил)-2-пропеновая кислота ( <i>n</i> -хлоркоричная кислота) . . . . .	218
Б5.1.5.	2-Фуранкарбоновая кислота (пироглизиновая кислота) . . . . .	219
Б5.1.6.	Гександиовая кислота (адипиновая кислота) . . . . .	220
Б5.1.7.	Бензойная кислота . . . . .	220
Б5.1.8.	Бензойная кислота и бензиловый спирт . . . . .	221

Б5.1.9.	3-Фенилпропановая кислота (гидрокоричная кислота) . . . . .	222
Б5.2.	Получение сложных эфиров и других производных карбоновых кислот . . . . .	224
Б5.2.1.	Этил-2-фуранкарбоксилат (этил-2-фуроат, этиловый эфир пирогликолевой кислоты) . . . . .	224
Б5.2.2.	Этилбензоат . . . . .	224
Б5.2.3.	<i>трет</i> -Бутилацетат . . . . .	225
Б5.2.4.	Диэтилгександиоат (диэтиловый эфир адипиновой кислоты) . . . . .	225
Б5.2.5.	2-Фенилацетамид (амид фенилуксусной кислоты) . . . . .	226
Б5.3.	Реакции сновлятов сложных эфиров (алкилирование, конденсации) . . . . .	227
Б5.3.1.	Диэтил-2-бензилмалонат (диэтиловый эфир бензилмалоновой кислоты) . . . . .	227
Б5.3.2.	Диэтил-2-бензилиденмалонат (диэтиловый эфир бензилиденмалоновой кислоты) . . . . .	228
Б5.3.3.	Этил-3-оксобутаноат (ацетоуксусный эфир) . . . . .	228
Б5.3.4.	Этил-2-оксоциклопентанкарбоксилат (2-карботоксиклопентанон) . . . . .	229
Б5.3.5.	Этил-(2 <i>E</i> )-3-фенил-2-пропеноат (этиловый эфир коричной кислоты) . . . . .	230
Б5.3.6.	Диэтил-2-фенилмалонат (диэтиловый эфир фенилмалоновой кислоты) . . . . .	231
Б5.3.7.	1-Фенил-1,3-бутандион (бензоилацетон) . . . . .	233
Б5.3.8.	1,3-Дифенил-1,3-пропандион (добензоилметан) . . . . .	234
Б5.3.9.	Этил-2-бензил-3-оксобутаноат (бензилацетоуксусный эфир) . . . . .	235
Б5.3.10.	Этил-(2 <i>E</i> )-3-фенил-2-пропеноат (этиловый эфир коричной кислоты) . . . . .	236
<b>Б6.</b>	<b>СИНТЕЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (РЕАКТИВОВ ГРИНЬЕРА) . . . . .</b>	<b>239</b>
Б6.1.	Получение реактивов Гриньяра . . . . .	239
Б6.2.	1-Фенилэтанол (метилфенилкарбинол) . . . . .	240
Б6.3.	Бензигдрол (дифенилкарбинол, дифенилметанол) . . . . .	240
Б6.4.	1,2-Дифенилэтанол (бензилфенилкарбинол) . . . . .	241
Б6.5.	1-(2-Фурил)пропанол-1 (этил- $\alpha$ -фурилкарбинол) . . . . .	242
Б6.6.	2-Метилбутанол-2 (диметилэтилкарбинол) . . . . .	243
Б6.7.	3-Метилгексанол-3 (метилэтилпропилкарбинол) . . . . .	244
Б6.8.	2-Фенилбутанол-2 (метилэтилфенилкарбинол) . . . . .	245
Б6.9.	2-Фенилпропанол-2 (диметилфенилкарбинол) . . . . .	245
Б6.10.	Изопропенилбензол ( $\alpha$ -метилстирол) . . . . .	246
Б6.12.	Трифенилметанол (трифенилкарбинол) . . . . .	247
Б6.13.	1-Метилциклогексен-1 . . . . .	248
Б6.14.	1-Циклогексен-1-илбензол (1-фенилциклогексен-1) . . . . .	249
Б6.15.	Бензойная кислота . . . . .	250
Б6.16.	Пentanовая кислота ( <i>n</i> -валериановая кислота) . . . . .	251
<b>Б7.</b>	<b>ЭЛЕКТРОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АРОМАТИЧЕСКОМ РЯДУ . . . . .</b>	<b>252</b>
Б7.1.	Нитрование . . . . .	252
Б7.1.1.	1-Бром-2-нитробензол и 1-бром-4-нитробензол ( <i>o</i> -бромнитробензол и <i>n</i> -бромнитробензол) . . . . .	252
Б7.1.2.	3-Нитробензойная кислота . . . . .	253
Б7.1.3.	4-Метокси-2-нитроанилин . . . . .	255
Б7.1.4.	<i>N</i> -(4-Нитрофенил)ацетамид ( <i>n</i> -нитроацетанилид) . . . . .	256
Б7.1.5.	<i>N</i> -(2-Нитрофенил)ацетамид ( <i>o</i> -нитроацетанилид) . . . . .	257
Б7.1.6.	<i>N</i> -(4-Бром-2-нитрофенил)ацетамид (4-бром-2-нитроацетанилид) . . . . .	258
Б7.1.7.	2-Амино-5-нитробензойная кислота (5-нитроантралиловая кислота) . . . . .	259

Б7.1.8.	9-Нитроантрацен . . . . .	260
Б7.1.9.	2-Нитрофенол и 4-нитрофенол. . . . .	261
Б7.1.10.	Нитробензол . . . . .	262
Б7.1.11.	1,3-Динитробензол ( <i>м</i> -динитробензол) . . . . .	263
Б7.1.12.	3-Нитробензальдегид . . . . .	264
Б7.2.	Бромирование . . . . .	264
Б7.2.1.	Бромбензол . . . . .	264
Б7.2.2.	1,4-Дибромбензол ( <i>п</i> -дибромбензол) . . . . .	265
Б7.2.3.	4-Бром- <i>трет</i> -бутилбензол . . . . .	266
Б7.2.4.	1-Метокси-4-бромбензол ( <i>п</i> -броманизол) . . . . .	267
Б7.2.5.	<i>N</i> -(4-Бромфенил)ацетамид ( <i>п</i> -бромацетанилид) . . . . .	268
Б7.2.6.	4-Броманилин ( <i>п</i> -броманилин) . . . . .	269
Б7.2.7.	4-Бром- <i>N,N</i> -диметиланилин ( <i>п</i> -бром- <i>N,N</i> -диметиланилин) . . . . .	269
Б7.2.8.	2,4,6-Триброманилин . . . . .	270
Б7.2.9.	3-Нитробромбензол ( <i>м</i> -бромнитробензол) . . . . .	271
Б7.2.10.	3-Бромбензальдегид ( <i>м</i> -бромбензальдегид) . . . . .	272
Б7.2.11.	9-Бромантрацен . . . . .	273
Б7.2.12.	9,10-Дибромантрацен . . . . .	274
Б7.3.	Иодирование . . . . .	274
Б7.3.1.	3-Иодбензойная кислота ( <i>м</i> -иодбензойная кислота) . . . . .	274
Б7.3.2.	1,4-Диiod-2,5-диметилбензол (2,5-диiod- <i>п</i> -ксилол) . . . . .	275
Б7.3.3.	2-Иод-1,3,5-триметилбензол (иодмезитилен) . . . . .	276
Б7.3.4.	2,4-Диiod-1,3,5-триметилбензол (диiodмезитилен) . . . . .	276
Б7.3.5.	4-Иод-1,1'-бифенил (4-иодбифенил) . . . . .	277
Б7.3.6.	4,4'-Диiod-1,1'-бифенил (4,4'-диiodбифенил) . . . . .	278
Б7.3.7.	2,7-Диiod-9 <i>H</i> -флуоренон-9 (2,7-диiodфлуоренон) . . . . .	278
Б7.4.	Нитрозирование . . . . .	279
Б7.4.1.	<i>N,N</i> -Диметил-4-нитрозоанилин ( <i>п</i> -нитрозодиметиланилин) . . . . .	279
Б7.4.2.	4-Нитрозофенол ( <i>п</i> -нитрозофенол) . . . . .	280
Б7.5.	Сульфирование . . . . .	281
Б7.5.1.	4-Метилбензолсульфокислота, гидрат ( <i>п</i> -толуолсульфокислота, моногидрат) . . . . .	281
Б7.5.2.	2,5-Диметилбензолсульфокислота, дигидрат ( <i>п</i> -ксилолсульфокислота, дигидрат) . . . . .	281
Б7.6.	Ацилирование . . . . .	282
Б7.6.1.	1-(4-Метоксифенил)этанон ( <i>п</i> -ацетиланизол, <i>п</i> -метоксиацетофенон) . . . . .	282
Б7.6.2.	1-(2-Гидрокси-5-метилфенил)этанон (2-гидрокси-5-метилацетофенон) . . . . .	283
Б7.6.3.	Ацетилферроцен . . . . .	284
Б7.6.4.	1-(9-Антрил)этанон (9-ацетилантрацен) . . . . .	285
Б7.6.5.	1-(2,4-Дигидроксифенил)этанон (2,4-дигидроксиацетофенон) . . . . .	286
Б7.6.6.	2-(4-Метилбензоил)бензойная кислота (2-( <i>п</i> -толуил)бензойная кислота) . . . . .	287
Б7.7.	Формилирование . . . . .	288
Б7.7.1.	2-Гидрокси-1-нафталальдегид (2-гидроксиафтойный альдегид) . . . . .	288
Б7.7.2.	9-Антраценкарбальдегид (9-антральдегид) . . . . .	289
Б7.8.	Алкилирование . . . . .	290
Б7.8.1.	Изопропилбензол . . . . .	290
Б7.8.2.	<i>трет</i> -Бутилбензол . . . . .	290
Б7.8.3.	Бензилбензол (дифенилметан) . . . . .	291
Б7.8.4.	Бензгидрилбензол (трифенилметан) . . . . .	292
Б7.8.5.	Циклогексилбензол . . . . .	292
Б7.8.6.	2,6-Ди- <i>трет</i> -бутилантрацен . . . . .	293

<b>Б8.</b>	<b>НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АРОМАТИЧЕСКОМ РЯДУ</b> . . . . .	294
Б8.1.	1-(2,4-Динитрофенил)гидразин (2,4-динитрофенилгидразин) . . . . .	294
Б8.2.	4,4'-Динитродифениловый эфир . . . . .	294
Б8.3.	2,4-Динитрофенол . . . . .	296
Б8.4.	1-(2,4-Динитрофенил)пиперидин (N-2,4-динитрофенилпиперидин) . . . . .	297
<b>Б9.</b>	<b>ВОССТАНОВЛЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ НИТРОСОЕДИНЕНИЙ</b> . . . . .	297
Б9.1.	(Z)-1,2-Дифенилдиазен-1-оксид (азоксибензол) . . . . .	297
Б9.2.	1-Нитрозо-4-хлорбензол ( <i>n</i> -хлорнитрозобензол) . . . . .	298
Б9.3.	4-Аминобензойная кислота ( <i>n</i> -аминобензойная кислота) . . . . .	299
Б9.4.	1,2-Бензолдиамин ( <i>o</i> -фенилендиамин) . . . . .	300
Б9.5.	2-Аминометилфуран . . . . .	301
Б9.6.	Бензгидраламин . . . . .	302
<b>Б10.</b>	<b>РЕАКЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ ДИАЗСОЕДИНЕНИЙ</b> . . . . .	303
Б10.1.	Иодбензол . . . . .	303
Б10.2.	2-Иодбензойная кислота ( <i>o</i> -иодбензойная кислота) . . . . .	304
Б10.3.	4-Бромтолуол ( <i>n</i> -бромтолуол) . . . . .	305
Б10.4.	2-Хлорбромбензол ( <i>o</i> -бромхлорбензол) . . . . .	306
Б10.5.	4-Нитроиодбензол ( <i>n</i> -нитроиодбензол) . . . . .	308
Б10.6.	4-(4-Диметиламинофенил)азобензолсульфонат натрия (метиловый оранжевый, гелиантин) . . . . .	308
Б10.7.	<i>n</i> -Нитробензолазонафтол-2 (краситель паракрасный) . . . . .	309
<b>Б11.</b>	<b>СИНТЕЗ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ</b> . . . . .	310
Б11.1.	Хинолин . . . . .	310
Б11.2.	2,3-Диметилиндол . . . . .	311
Б11.3.	2-Фенилиндол . . . . .	312
Б11.4.	2-Фенилбензимидазол . . . . .	313
Б11.5.	Бензоксазол . . . . .	313
Б11.6.	2-Метилбензоксазол . . . . .	314
Б11.7.	Бензотриазол . . . . .	315
Б11.8.	2-Метилбензимидазол . . . . .	315
Б11.9.	4,5-Дифенилимидазол . . . . .	316
Б11.10.	3,5-Диметилпиразол . . . . .	316
Б11.11.	4(5)-Фенилимидазол . . . . .	317
Б11.12.	Метил-2-амино-4,5,6,7-тетрагидро-1-бензотиофен-3-карбоксилат . . . . .	318
Б11.13.	5-Нитрофуран-2-карбальдегид (5-нитрофурфурол) . . . . .	318
Б11.14.	2-Бромтиофен . . . . .	319
Б11.15.	5-Бромфуран-2-карбальдегид (5-бромфурфурол) . . . . .	320
Б11.16.	5-Иодфуран-2-карбальдегид (5-иодфурфурол) . . . . .	321
Б11.17.	2-Тиофенкарбальдегид (2-тиенилальдегид) . . . . .	322
Б11.18.	1 <i>H</i> -Индол-3-карбальдегид (3-формилиндол) . . . . .	322
Б11.19.	2-Метилфуран (сильван) . . . . .	323
Б11.20.	Изоникотиновая кислота . . . . .	324
Б11.21.	Метилизоникотинат . . . . .	324
Б11.22.	1-Этилкарбометоксипиридинийиодид . . . . .	325
Б11.23.	2-Феноксипиридин . . . . .	326
Б11.24.	1 <i>H</i> -Индол-2,3-дион-3-гидразон (изатин-3-гидразон) . . . . .	326
Б11.25.	1,3-Дигидро-2 <i>H</i> -индол-2-он (индолинон-2, оксиндол) . . . . .	327
Б11.26.	1-(5-Метил-2-фурил)этанон (2-метил-5-ацетилфуран) . . . . .	327
Б11.27.	1-(2-Тиенил)этанон (2-ацетилтиофен) . . . . .	329
Б11.28.	Ацилфураны . . . . .	329
Б11.29.	2-Фурил(фенил)метанон (2-бензоилфуран) . . . . .	330
Б11.30.	2-Фурил(2-тиенил)метанон (2-тиенил-2-фурилкетон) . . . . .	331

Б11.31.	2-Фуральдегида оксим (оксим фурфурола) . . . . .	332
Б11.32.	2-Цианофуран . . . . .	333
Б11.33.	Бензил-2-фурилкетон . . . . .	333
Б11.34.	Пирроло[1,2- <i>a</i> ]пиразины . . . . .	334
<b>Б12.</b>	<b>ДРУГИЕ РЕАКЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ</b> . . . . .	<b>337</b>
Б12.1.	( <i>R,S</i> )-2,2'-Дигидрокси-1,1'-бинафтил (BINOL) . . . . .	337
<b>Б13.</b>	<b>«УГАДАЙКА»</b> . . . . .	<b>338</b>
Б13.1.	Реакция трифенилметанола с иодистоводородной кислотой . . . . .	338
Б13.2.	Окисление ацетофенона гипохлоритом натрия . . . . .	339
Б13.3.	Восстановление $\alpha,\beta$ -непредельной ароматической кислоты . . . . .	340
Б13.4.	Взаимодействие салицилового альдегида с диэтилмалонатом . . . . .	341
Б13.5.	Взаимодействие <i>n</i> -хлорбензальдегида с гидроксидом калия . . . . .	342
Б13.6.	Реакция 3-фенилпропановой кислоты с полифосфорной кислотой . . . . .	343
Б13.7.	Реакция ацетоуксусного эфира с гидразином . . . . .	344
Б13.8.	Взаимодействие ароматических альдегидов с гидросиламином в муравьиной кислоте . . . . .	345
Б13.9.	Реакция бензонитрила с <i>трет</i> -бутиловым спиртом . . . . .	346
Б13.10.	Реакция бензамида с бромом в щелочной среде . . . . .	347
Б13.11.	Определение структуры аддукта гидрохлорида цистеина с ацетоном ( $C_6H_{12}ClNO_2S$ ) . . . . .	347
Б13.12.	Нитрование фенилацетонитрила . . . . .	348
<b>Б14.</b>	<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> . . . . .	<b>349</b>

## В. ПРИЛОЖЕНИЯ

<b>В1.</b>	<b>ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ЧАСТОТЫ ПОГЛОЩЕНИЯ В ИК-СПЕКТРАХ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЛЕКУЛ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ</b> . . . . .	<b>351</b>
<b>В2.</b>	<b>ХАРАКТЕРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ХИМИЧЕСКИХ СДВИГОВ ПРОТОНОВ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП (в м.д.)</b> . . . . .	<b>353</b>
<b>В3.</b>	<b>ДИАПАЗОНЫ ХИМИЧЕСКИХ СДВИГОВ (в м.д.) В СПЕКТРАХ ЯМР <math>^{13}C</math> НЕКОТОРЫХ ГРУППИРОВОК</b> . . . . .	<b>354</b>
<b>В4.</b>	<b>ФОРМЫ ВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЖУРНАЛА</b> . . . . .	<b>355</b>
<b>В5.</b>	<b>СПЕКТРЫ ЯМР НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b> . . . . .	<b>358</b>
<b>В6.</b>	<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА</b> . . . . .	<b>551</b>
В6.1.	Лабораторное оборудование. Основные правила, приемы и методы работы в лаборатории органического синтеза . . . . .	551
В6.2.	Спектроскопия органических соединений . . . . .	551
	<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b> . . . . .	<b>552</b>