



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Иванов А.Н. Шевчик

« 29 »

2022 г.



Программа кандидатского экзамена

1.4.8 «Химия элементоорганических соединений»

Санкт-Петербург
2022

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 1.4.8 Химия элементоорганических соединений

Экзаменуемый должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, истории ее формирования и развития, глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала, а также умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Настоящая программа составлена на кафедре химической технологии полимеров Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности, степени освоения дисциплины Химия элементоорганических соединений.

1. Порядок проведения кандидатского экзамена

Проведение кандидатского экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Кандидатский экзамен проводится в устной форме.

Аспиранты с ограниченными возможностями здоровья могут сдавать данный экзамен, как в устной форме, так и в письменной форме.

Экзаменационные билеты должны включать два вопроса из программы кандидатского экзамена по специальности и один вопрос из дополнительной программы, которая составляется аспирантом (соискателем) совместно с научным руководителем в соответствии с темой диссертационной работы соискателя и рассматривается на заседании кафедры.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится не более 60 минут, а на ответ – не более 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы аспиранту только в рамках содержания вопросов экзаменационного билета.

Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом.

Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии. Уровень знаний оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи кандидатского экзамена.

Все прочие необходимые условия приема кандидатского экзамена изложены в нормативных документах (локальных актах) СПбГТИ(ТУ).

2. Основное содержание программы кандидатского экзамена

2.1. Теоретические представления о природе химических связей и электронном строении элементоорганических соединений. Реакционная способность ЭОС и физические методы исследования структуры и электронного строения.

Предмет химии элементоорганических соединений (ЭОС), ее место в ряду других химических дисциплин. Диалектическое развитие науки с чередованием дифференциации и интеграции отдельных областей знания. Классификация элементоорганических соединений. Возникновение элементоорганической химии как результат взаимодействия органической и неорганической химии. "Третий континент химии" (А.Н. Несмеянов), необходимость его возникновения. Основные этапы развития химии ЭОС в России и за рубежом. Вклад отечественных и иностранных ученых в развитие химии ЭОС. Взаимное

влияние химии ЭОС и теории химической связи. Разработка синтетических методов получения органических соединений с использованием металлоорганических соединений.

Основы теории молекулярных орбиталей для описания природы химической связи. Уравнение Э. Шредингера. Метод молекулярных орбиталей, одноэлектронное приближение. Принципы построения полуэмпирических методов. Современные подходы к квантово-химическим расчетам наблюдаемых свойств молекул (геометрия, теплота образования, магнитные свойства, дипольные моменты) и реакционной способности.

Описание связи элемент-углерод в рамках метода молекулярных орбиталей, качественные представления. Заряд на атоме и порядок связи. Корреляция этих величин с наблюдаемыми свойствами. Рентгено- и фотоэлектронная спектроскопия, ЯМР (импульсная ЯМР-фурье спектроскопия, динамический ЯМР), ИК, электронная спектроскопия как методы изучения ЭОС.

Различия в свойствах связей, образуемых элементами органогенами и элементами неорганогенами. Роль различия в размерах атомов и значении электроотрицательности, строении электронных оболочек. Роль вакантных низколежащих орбиталей в образовании химических связей. Связи с участием вакантных *p*- и *d*-орбиталей. Общие свойства *d*-орбиталей, образование σ - и π -связей с их участием.

Ионные и ковалентные связи в металлоорганических соединениях непереходных и переходных элементов; σ -связи углерода с элементами главных подгрупп. Энергии связей, полярность, поляризуемость. Закономерности изменения этих характеристик в зависимости от положения элемента в периодической системе.

Гибридизация атомных орбиталей в ЭОС и ограниченность этого понятия. Проблема участия вакантных *d*-орбиталей в соединениях непереходных элементов. Кратные связи элемент-углерод и элемент-элемент элементов III-VI групп. Гетероциклические соединения элементов III-VI групп (кроме азота, кислорода, серы) и их ароматичность.

Электронодефицитные молекулы органических производных лития, бериллия, бора и других элементов III группы, тип связи и диаграммы молекулярных орбиталей. Простейшие и полиэдрические гидриды бора, карбораны.

Многоцентровые связи в металлоорганических комплексах переходных элементов. Основы теории поля лигандов. Расщепление уровней *d*-орбиталей металла при тетраэдрическом, октаэдрическом и плоско-квадратном окружении. Дативное и донорно-акцепторное взаимодействие. Магнитные свойства комплексов.

Понятия сопряжения в классической и квантовой химии. Молекулярные орбитали аллильной системы, бутадиена, циклопентадиениланиона; σ - и π -сопряжение. Связи металл-углерод в карбонильных, олефиновых, аллильных, π -циклопентадиенильных и ареновых комплексах. Описание их в рамках метода молекулярных орбиталей.

Особенности реакционной способности элементоорганических соединений. Электрофильные и нуклеофильные реакции у атома элемента. Роль вакантных орбиталей в образовании переходных состояний. Механизмы S_N2 (Э) и S_N1 (Э). Строение молекул ЭОС в растворах. Ионы и ионные пары и их реакционная способность. Полярность среды и специфическая сольватация. Способность ЭОС к комплексообразованию с молекулами растворителя и его влияние на реакционную способность ЭОС.

2.2. Органические производные непереходных элементов

Получение органических производных щелочных металлов. Синтез замещением галогена на металл, действием металлоорганического соединения щелочного металла на галогеналкилы. Механизм реакции Ш.А. Вюрца. Реакция П.П. Шорыгина (замена водорода на металл). Присоединение щелочных металлов к непредельным и ароматическим соединениям. Ароматические анион-радикалы.

Изменение природы связи и реакционной способности в ряду щелочных металлов. Выбор растворителя. Ассоциация литийорганических соединений. Реакции органических производных щелочных металлов.

Ионные пары и ионы, спектральные методы исследования и реакционная способность. Комплексы щелочных элементов с краун-эфирами. Применение органических производных элементов I группы в органическом и элементоорганическом синтезе.

Цинкорганические соединения. Историческое значение, работы русских химиков (А.М. Бутлеров, А.М. Зайцев, Е.Е. Вагнер, С.Н. Реформатский). Смешанные цинкорганические соединения. Реакция Реформатского.

Магнийорганические соединения. Условия образования из магния и различных галогенпроизводных, реактивы Ф.О.В. Гриньяра. Побочные реакции при образовании магнийорганических соединений. Возможные механизмы образования магнийорганических соединений. Современные представления о строении и реакционной способности магнийорганических соединений. Значение магнийорганических соединений для органического и элементоорганического синтеза.

Общая характеристика борорганических соединений и их значение. Способы образования связей в органических производных бора. Участие вакантной *p*-орбитали. Способы получения борорганических соединений. Образование производных четырехкоординационного бора. Двоесвязанность и доказательство ее существования. Боразол. Многоцентровые связи и их квантово-химическая природа. Строение боранов. Карбораны, строение и свойства. Химические свойства борорганических соединений. Комплексообразование и каталитические свойства производных бора.

Алюминийорганические соединения и их практическое значение в современной химической промышленности. Особенности молекулярной структуры алюминийорганических соединений и их реакционной способности. Прямой синтез алюминийорганических соединений по К.В. Циглеру. Свойства алюминийорганических соединений: комплексообразование, окисление, гидролиз, восстановительные свойства, термолиз, реакции внедрения по связям Al–H и Al–C. Значение алюминийорганических соединений для синтеза органических и элементоорганических соединений. Получение мономеров, высших олефинов и высших спиртов на основе алюминийорганических соединений. Катализаторы на основе алюминийорганических соединений.

Кремний и соединения на его основе, распространенность в природе. Сходство и различие углерода и кремния и их производных. Основные схемы получения кремнийорганических соединений, синтез из чистого кремния и тетрахлорида кремния. Номенклатура кремнийорганических соединений. Особенности реакционной способности кремнийорганических соединений. Механизм реакции нуклеофильного замещения при атоме кремния. Стереохимия реакций замещения и природа переходного состояния. Пути синтеза кремнийорганических соединений. Основные закономерности и техническое значение магнийорганического синтеза в химии кремнийорганических соединений. Прямой синтез хлорсиланов. Синтез диметилдихлорсилана и других метилхлорсиланов, основные и побочные реакции. Бесхлорный способ получения алкоксисиланов. Механизм каталитического процесса. Влияние различных факторов на процесс: природы и активности катализатора, состава контактной массы, примесей и добавок, температуры, давления, объемной скорости. Синтезы на основе гидросиланов. Источники гидросиланов, синтез трихлорсилана. Дегидроконденсация хлорсиланов с углеводородами. Катализаторы процесса, механизм реакции. Конденсация гидросиланов с галогенпроизводными. Присоединение гидросиланов к непредельным соединениям. Закономерности, катализаторы и механизм реакции гидросилилирования.

Олово- и свинецорганические соединения, методы синтеза и основные химические свойства. Распад с образованием радикалов. Получение дикаприлата диэтилолова и других солей диалкилолова.

Фторорганические соединения. Прямое фторирование. Фториды металлов как фторирующие агенты. «Вещество Джо». Открытие Планкета. Замещение хлора на фтор. Реакция Свартса. Электрохимическое фторирование. Реакция Саймонса. Синтез и

свойства фторомономеров. Специфика реакционной способности фторомономеров. Эластопласты и эластомеры. Физико-механические свойства фторопластов. Гетероцепные фторкаучуки: фторсилоксановые, фторфосфазеновые, фтортриазиновые. Карбоцепные фторкаучуки. Методы вулканизации фторкаучуков.

История развития химии фосфорорганических соединений, роль российских ученых. Место производных фосфора в процессах жизнедеятельности. Систематизация, основные классы соединений фосфора и основы номенклатуры. Биологическая активность фосфорорганических соединений.

Основные способы образования связи фосфор–углерод. Особенности связей, образуемых фосфором. Реакционная способность соединений трехвалентного фосфора. Проявление бифильности. Фосфины, методы получения и реакционная способность. Фосфониевые соли и фосфиноксиды. Производные фосфинистых и фосфонистых кислот. Реакция А.Е. Арбузова, ее механизм и значение в химии фосфорорганических соединений. Реакции соединений со связью Р–Н. Иллиды фосфора, реакция Г.Ф.К. Виттига, ее механизм и значение в синтезе непредельных соединений.

Производные фосфиновых и фосфоновых кислот. Типы нуклеофильного замещения у тетраэдрического атома фосфора, стереохимия реакции и механизм. Получение биологически активных фосфорорганических соединений, правила Шрадера.

Фосфорорганические мономеры, особенности строения. Фосфонитрилхлорид и его производные.

2.3. Органические производные переходных металлов

История развития металлоорганической химии переходных металлов. Значение металлоорганических соединений в развитии химической теории; практическое применение. Особенности образования связей углерод–переходный металл. Развитие представлений о природе химической связи. Многообразие металлоорганических соединений и основы их классификации. Классификация наиболее распространенных лигандов. Связь формальной степени окисления металла с электронной конфигурацией *d*-подуровня. 18-электронное правило и его приложения. Типы связей, образуемых между лигандом и переходным металлом. Общая характеристика строения и устойчивости различных типов органических соединений переходных металлов.

Основные элементарные реакции в химии переходных металлов. Координация и диссоциация лигандов. Окислительное присоединение и восстановительное элиминирование. Реакции внедрения и обратные реакции.

Комплексы переходных металлов с моноолефинами, их типы. Природа связи в олефиновых комплексах. π -Комплексы переходных металлов, их строение, получение и основные свойства. Роль π -комплексов в каталитических процессах с участием непредельных соединений. Механизм реакции гидрирования.

Комплексы с ацетиленами, их типы. Природа связи с металлом. Методы получения, химические свойства. Реакционная способность координированного ацетилена (реакции, не затрагивающие тройной связи, присоединение по тройной связи, реакции циклоолигомеризации, приводящие к лиганду енового типа).

Комплексы с сопряженными диенами и аллильные комплексы. π -Аллильный лиганд, способ его связывания с переходным металлом, син-анти перегруппировка. Возможности и механизм стереорегулирования процессов полимеризации на металлокомплексных катализаторах. Типы катализаторов стереоспецифической полимеризации. Катализаторы Циглера-Натта, представления об их строении, роль алюминийорганической составляющей. Стереорегулирование при полимеризации олефинов. Стереоспецифическая полимеризация диенов. Механизм стереорегулирования полимеризации диенов. Новые поколения металлокомплексных катализаторов полимеризации. Реакции метатезиса и полимеризации циклоолефинов.

Карбонилы металлов, их свойства. Своеобразие связей в карбонилах металлов. Моно и полиядерные карбонильные комплексы, кластеры. Практическое значение важнейших карбониллов: никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$, железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$, кобальта $\text{Co}_2(\text{CO})_8$. Получение чистых металлов по карбонильной технологии. Синтезы на основе карбониллов никеля и кобальта: карбонилирование ацетиленов, оксосинтез, синтез углеводов из CO и H_2 (реакция Фишера-Тропша). Значение реакции гидроформилирования и ее механизм.

Циклопентадиенильные и ареновые комплексы. Типы связи в циклопентадиенильных комплексах. Структура и особенности реакционной способности. Синтез и свойства производных ферроцена. Типы ареновых комплексов. Природа связи аренового кольца с металлом. Моно- и бисареновые комплексы. Методы получения и реакции.

3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

1. Классификация элементоорганических соединений. Взаимное влияние химии ЭОС и теории химической связи. Основные этапы развития химии ЭОС.
2. Метод молекулярных орбиталей, уравнение Э. Шредингера. Квантово-химические расчеты в химии ЭОС.
3. Различия в свойствах связей, образуемых элементами органогенами и элементами неорганогенами. Связи с участием вакантных *p*- и *d*-орбиталей. Образование σ - и π -связей с их участием.
4. Физико-химические методы исследования ЭОС.
5. Энергии связей, полярность, поляризуемость. Закономерности изменения этих характеристик в зависимости от положения элемента в периодической системе.
6. Ионные и ковалентные связи в металлорганических соединениях непереходных и переходных элементов; σ -связи углерода с элементами главных подгрупп.
7. Кратные связи элемент–углерод и элемент–элемент элементов III–VI групп. Участие вакантных *d*-орбиталей в соединениях непереходных элементов. Гибридизация атомных орбиталей в ЭОС.
8. Тип связи и диаграммы молекулярных орбиталей в электронодефицитных молекулах органических производных лития, бериллия, бора и других элементов III группы. Простейшие и полиэдрические гидриды бора, карбораны.
9. Многоцентровые связи в металлорганических комплексах переходных элементов. Основы теории поля лигандов. Дативное и донорно-акцепторное взаимодействие.
10. σ - и π -сопряжение. Молекулярные орбитали аллильной системы, бутадиена, циклопентадиениланиона.
11. Связи металл–углерод в карбонильных, олефиновых, аллильных, π -циклопентадиенильных и ареновых комплексах. Описание их в рамках метода молекулярных орбиталей.
12. Особенности реакционной способности элементоорганических соединений. Электрофильные и нуклеофильные реакции у атома элемента. Механизмы $\text{S}_{\text{N}}2$ (Э) и $\text{S}_{\text{N}}1$ (Э).
13. Строение молекул ЭОС в растворах. Ионы и ионные пары и их реакционная способность. Полярность среды и специфическая сольватация. Способность ЭОС к комплексообразованию с молекулами растворителя и его влияние на реакционную способность ЭОС.
14. Получение органических производных щелочных металлов. Синтез замещением галогена на металл, действием металлорганического соединения щелочного металла на галогеналкилы. Механизм реакции Ш.А. Вюрца. Реакция П.П. Шорыгина. Присоединение щелочных металлов к непредельным и ароматическим соединениям.

15. Изменение природы связи и реакционной способности в ряду щелочных металлов. Выбор растворителя. Ассоциация литийорганических соединений. Реакции органических производных щелочных металлов.
16. Ионные пары и ионы. Комплексы щелочных элементов с краун-эфирами. Применение органических производных элементов I группы в органическом и элементоорганическом синтезе.
17. Цинкорганические соединения. Историческое значение, работы русских химиков (А.М. Бутлеров, А.М. Зайцев, Е.Е. Вагнер, С.Н. Реформатский). Смешанные цинкорганические соединения. Реакция Реформатского.
18. Магнийорганические соединения. Реактивы Гриньяра. Побочные реакции при образовании магнийорганических соединений. Значение магнийорганических соединений для органического и элементоорганического синтеза.
19. Борорганические соединения, их способы получения и значение. Способы образования связей в органических производных бора. Четырехкоординационный бор. Двоесвязанность и доказательство ее существования. Боразол. Многоцентровые связи. Бораны, карбораны, строение и свойства. Химические свойства борорганических соединений. Комплексообразование и каталитические свойства производных бора.
20. Алюминийорганические соединения. Особенности молекулярной структуры алюминийорганических соединений и их реакционной способности. Прямой синтез алюминийорганических соединений по К.В. Циглеру. Свойства алюминийорганических соединений: комплексообразование, окисление, гидролиз, восстановительные свойства, термолиз, реакции внедрения по связям Al–H и Al–C.
21. Алюминийорганические соединения. Получение мономеров, высших олефинов и высших спиртов на основе алюминийорганических соединений. Катализаторы на основе алюминийорганических соединений.
22. Номенклатура кремнийорганических соединений. Основные методы получения кремнийорганических соединений. Сходство и различие углерода и кремния и их производных. Особенности реакционной способности кремнийорганических соединений. Механизм реакции нуклеофильного замещения при атоме кремния. Стереохимия реакций замещения и природа переходного состояния.
23. Кремнийорганические соединения. Основные закономерности и техническое значение магнийорганического синтеза в химии кремнийорганических соединений. Прямой синтез хлорсиланов. Синтез диметилдихлорсилана и других метилхлорсиланов, основные и побочные реакции. Бесхлорный способ получения алкоксисиланов. Механизм каталитического процесса. Влияние различных факторов на процесс: природы и активности катализатора, состава контактной массы, примесей и добавок, температуры, давления, объемной скорости.
24. Кремнийорганические соединения. Синтезы на основе гидросиланов. Источники гидросиланов, синтез трихлорсилана. Дегидроконденсация хлорсиланов с углеводородами. Катализаторы процесса, механизм реакции. Конденсация гидросиланов с галогенпроизводными. Присоединение гидросиланов к непредельным соединениям. Закономерности, катализаторы и механизм реакции гидросилилирования.
25. Олово- и свинецорганические соединения, методы синтеза и основные химические свойства. Распад с образованием радикалов. Получение дикаприлата диэтилолова и других солей диалкилолова.
26. Строение и методы синтеза фторорганических низкомолекулярных соединений. Тетрафторэтилен, трифторпропилен, винилиденфторид и др. Прямое и каталитическое фторирование. Реакции Планкета, Свартса и Саймонса. Специфика реакционной способности фтормономеров.

27. Фторластопласты и фторэластомеры. Гетероцепные и карбоцепные фторкаучуки. Методы вулканизации фторкаучуков.
28. Основные классы соединений фосфора и основы номенклатуры. Биологическая активность фосфорорганических соединений.
29. Основные способы образования связи фосфор–углерод. Особенности связей, образуемых фосфором. Реакционная способность соединений трехвалентного фосфора. Проявление бифильности.
30. Фосфины, методы получения и реакционная способность. Фосфониевые соли и фосфиноксиды. Производные фосфинистых и фосфонистых кислот. Реакция А.Е. Арбузова, ее механизм и значение в химии фосфорорганических соединений.
31. Реакции соединений со связью Р–Н. Иллиды фосфора, реакция Г.Ф.К. Виттига, ее механизм и значение в синтезе непредельных соединений.
32. Производные фосфиновых и фосфоновых кислот. Типы нуклеофильного замещения у тетраэдрического атома фосфора, стереохимия реакции и механизм. Получение биологически активных фосфорорганических соединений, правила Шрадера.
33. Фосфорорганические мономеры, особенности строения. Фосфонитрилхлорид и его производные.
34. Классификация металлоорганических соединений и наиболее распространенных лигандов. Электронная конфигурация; 18-электронное правило и его приложения. Типы связей, образуемых между лигандом и переходным металлом. Строение и устойчивость различных типов органических соединений переходных металлов.
35. Основные элементарные реакции в химии переходных металлов. Координация и диссоциация лигандов. Окислительное присоединение и восстановительное элиминирование. Реакции внедрения и обратные реакции.
36. Комплексы переходных металлов с моноолефинами, их типы. Природа связи в олефиновых комплексах. π -Комплексы переходных металлов, их строение, получение и основные свойства. Роль π -комплексов в каталитических процессах с участием непредельных соединений. Механизм реакции гидрирования.
37. Комплексы с ацетиленами, их типы. Природа связи с металлом. Методы получения, химические свойства. Реакционная способность координированного ацетилена (реакции, не затрагивающие тройной связи, присоединение по тройной связи, реакции циклоолигомеризации, приводящие к лиганду нового типа).
38. Комплексы с сопряженными диенами и аллильные комплексы. π -Аллильный лиганд, способ его связывания с переходным металлом, син-анти перегруппировка. Стереорегулирование полимеризации на металлокомплексных катализаторах, стереоспецифическая полимеризация. Катализаторы Циглера-Натта. Стереоспецифическая полимеризация диенов. Механизм стереорегулирования полимеризации диенов. Реакции метатезиса и полимеризации циклоолефинов.
39. Карбонилы металлов, их свойства. Моно и полиядерные карбонильные комплексы, кластеры. Получение чистых металлов по карбонильной технологии. Синтезы на основе карбониллов никеля и кобальта: карбонилирование ацетиленов, оксосинтез, синтез углеводородов из СО и Н₂ (реакция Фишера-Тропша). Значение реакции гидроформилирования и ее механизм.
40. Циклопентадиенильные и ареновые комплексы. Типы связи в циклопентадиенильных комплексах. Структура и особенности реакционной способности. Синтез и свойства производных ферроцена. Типы ареновых комплексов. Природа связи аренового кольца с металлом. Моно- и бисареновые комплексы. Методы получения и реакции.
41. Синтетические методы получения органических соединений с использованием металлоорганических соединений.

4. Рекомендуемая литература

а) печатные издания:

- 1 Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнева – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 368 с. ISBN 978-5-8114-1779-7.
- 2 Кленин, В.И. Высокомолекулярные соединения / В.И. Кленин, И.В. Федусенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 512 с. ISBN 978-5-8114-1473-4.
- 3 Скворцов, Н.К. Основы химии и технологии элементоорганических соединений : учебное пособие / Н.К. Скворцов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии каучука и резины. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2010. – 75 с.
- 4 Резников, А.Н. Синтез и реакционная способность фосфорорганических соединений. Ч.1 : учебное пособие / А.Н. Резников, Н.К. Скворцов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии каучука и резины. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2007. – 71 с.
- 5 Половняк, В.К. Комплексы 4d-платиновых металлов с фосфор(III)- и мышьяк(III)-органическими лигандами. / В.К. Половняк, О.В. Михайлов, А.М. Кузнецов; под ред. О.В. Михайлова. – Москва : ЛЕНАНД, 2006. – 279 с. ISBN 5-9710-0079-9.
- 6 Кабачник, М. И. Межфазный катализ в фосфорорганической химии / М. И. Кабачник, Т. А. Мастрюкова. – Москва : Эдиториал УРСС, 2002. – 319 с. ISBN 5-8360-0322-X.
- 7 Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольтер. – Москва : Бином, Лаборатория знаний, 2013. – 438 с. ISBN 978-5-94774-572-6.
- 8 Денисов, В. Я. Органическая химия / В. Я. Денисов, Д. А. Мурышкин, Т. В. Чуйкова. – Москва : Высш. шк., 2009. – 547 с. ISBN 978-5-06-005743-0.
- 9 Федотов, М.А. Ядерный магнитный резонанс в неорганической и координационной химии (растворы и жидкости) / М.А. Федотов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 384 с. ISBN 978-5-9221-1202-4.
- 10 Бутырская, Е.В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и GaussView / Е.В. Бутырская. – Москва : Солон-пресс, 2011. – 218 с. ISBN 978-5-91359-095-4.
- 11 Резников, А. Н. Синтез и реакционная способность фосфорорганических соединений: учебное пособие / А. Н. Резников, Н. К. Скворцов. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2007. – 71 с.
- 12 Фурин, Г. Г. Современные методы фторирования органических соединений / Г. Г. Фурин, А. А. Файнзильберг. - Москва : Наука, 2000. – 240 с. ISBN 5-02-004489-X.

б) электронные издания:

- 1 Галочкин, А.И. Органическая химия. Книга 2. Карбоциклические и элементоорганические соединения. Галогено- и гидроксипроизводные углеводов : учебное пособие / А.И. Галочкин, И.В. Ананьина. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 404 с. ISBN 978-5-8114-3580-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 08.02.2021). – Режим доступа: по подписке.
- 2 Скворцов, Н.К. Основы химии и технологии элементоорганических соединений / Н.К. Скворцов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химии и технологии каучука и резины. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 110 с. Электронная библиотека. – URL:

- <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 08.02.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
- 3 Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – Москва : Лаборатория знаний, 2021. – 749 с. ISBN 978-5-93208-543-1 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 18.03.2021). – Режим доступа: по подписке.
 - 4 Гринвуд, Н. Химия элементов : В 2 томах [комплект] : Перевод с английского. Т. 1 ; Т. 2 / Н. Гринвуд, А. Эрншо. - 5-е изд., испр., электрон. – Москва : Лаборатория знаний, 2021. – 1348 с. ISBN 978-5-93208-567-7. ISBN 978-5-93208-568-4 (Т. 1). ISBN 978-5-93208-569-1 (Т. 2) // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 18.03.2021). - Режим доступа: по подписке.
 - 5 Цирельсон, В. Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела: Учебное пособие для вузов по химико-технологическим направлениям и специальностям / В. Г. Цирельсон. – 5-е изд., электрон. – Москва : Лаборатория знаний, 2021. – 522 с. – (Учебник для высшей школы). – ISBN 978-5-93208-518-9. // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 05.05.2021). – Режим доступа: по подписке.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета - <http://bibl.lti-gti.ru>
2. Российская государственная библиотека - www.rsl.ru
3. Российская национальная библиотека - www.nlr.ru
4. Библиотека Академии наук - www.rasl.ru
5. Библиотека по естественным наукам РАН - www.benran.ru
6. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) - www.viniti.ru
7. Государственная публичная научно-техническая библиотека - www.gpntb.ru
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - www.elibrary.ru
9. База данных издательства Springer <https://link.springer.com>
Marciniec, B., Maciejewski, H., Pietraszuk, C., Pawluć, P. Hydrosilylation. A Comprehensive Review on Recent Advances // Advances in Silicon Science / Ed. B. Marciniec. – Springer, 2009. Vol. 1. – 398 p. ISBN 978-1-4020-8171-2.
Abd-El-Aziz, A. S., Carraher, C. E., Pittman, C. U., Zeldin, M. Inorganic and Organometallic Macromolecules. Design and Applications / Ed. B. Marciniec. – Springer, 2008. Vol. 12. – 476 p. ISBN: 978-0-387-72947-3.
10. Реферативная база данных научных публикаций WebofScience- webofknowledge.com
11. Электронно-библиотечная система "Лань" <http://e.lanbook.com>
12. Программа для расчета термодинамических параметров химических реакций IVTANTHERMO