

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

И.о. декана химического факультета  
А.С. Князев

Рабочая программа дисциплины

**Химия комплексных соединений**

по направлению подготовки

**04.03.01 Химия**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Химия»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
В.В. Шелковников

Председатель УМК  
Л.Н. Мишенина

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений.

– ОПК-2. Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием.

– ПК-1. Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.

ИОПК-1.2. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии.

ИОПК-1.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.

ИОПК-2.1. Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности.

ИОПК-2.2. Проводит синтез веществ и материалов разной природы с использованием имеющихся методик.

ИОПК-2.3. Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе.

ИОПК-2.4. Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования.

ИПК-1.1. Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР.

ИПК-1.2. Готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР.

ИПК-1.3. Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР.

## **2. Задачи освоения дисциплины:**

– сформировать у студентов представления о развитии химии комплексных соединений, а также роли комплексов в науке, практике для решения задач профессиональной деятельности;

– научить применять теоретические представления описания химической связи и химических превращений комплексных соединений и соотносить комплексобразующую способность элементов с их положением в периодической системе Д.И. Менделеева;

– научить оценивать реакционную способность и термодинамическую устойчивость комплексных соединений в растворах, применяя теорию ионных равновесий;

– научить обосновывать выбор методик синтеза и исследования комплексных соединений в твердой фазе и растворе.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор

Дисциплина входит в Модуль Неорганическая химия и химическое материаловедение

#### **4. Семестр освоения и форма промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 7, экзамен.

#### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Неорганическая химия», «Аналитическая химия» и «Физическая химия», «Математический анализ».

#### **6. Язык реализации**

Русский

#### **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

– лекции 32 ч.;

– семинарские занятия: 0 ч.

– практические занятия: 0 ч.;

– лабораторные работы: 36 ч.,

в том числе практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

#### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

**Тема 1. Предмет и основные понятия химии координационных соединений, номенклатура комплексов. Значение комплексных соединений в науке и практике.** Открытие комплексных соединений. Координационная теория Вернера. Значение комплексных соединений в науке и практике. Номенклатура, классификация, изомерия комплексных соединений.

**Тема 2. Химическая связь в комплексных соединениях.** Теория кристаллического поля. Геометрические формы комплексов. Расщепление *d*-атомных орбиталей металла в плоскоквадратном, октаэдрическом и тетраэдрическом окружении лигандов. Спектрохимический ряд лигандов. Энергия стабилизации кристаллическим полем. Границы применимости теорий описания химической связи в комплексных соединениях. Применение теории кристаллического поля для объяснения цветности, магнитных свойств комплексов и их термодинамической стабильности.

**Тема 3. Обзор комплексообразующей способности элементов периодической системы и основных классов координационных соединений.** Основные классы координационных соединений. Обзор по комплексообразующей способности элементов периодической системы (комплексообразователи, лиганды). Одноядерные комплексы с моно- и полидентатными лигандами. Многоядерные комплексы,  $\pi$ -комплексы. Алкоголяты.

**Тема 4. Принципы синтеза и реакции комплексных соединений.** Периодическая система как методологическая основа синтеза комплексов. Термодинамические, кинетические, структурные, эмпирические принципы синтеза. Фотохимические реакции координационных соединений, реакции замещения лиганда во внутренней сфере инертного комплексного иона, реакции координирования лигандов. Эффект транс-влияния во внутренней координационной сфере. Механизмы взаимодействия комплексных частиц (диссоциативный, ассоциативный, обменный).

**Тема 5. Термодинамика координационных соединений, теория ионных равновесий в приложении к химии комплексных соединений.** Типы констант равновесия; константы устойчивости комплексов, зависимость их от ионной силы раствора. Полная система уравнений для равновесного раствора, сокращенная запись уравнений материального баланса. Влияние pH на комплексообразование, диаграмма выхода комплекса. Методы определения состава и констант устойчивости комплексов: метод изомольярных серий и кривых насыщения; pH-потенциометрия; спектро- и фотометрия, метод растворимости. Закономерности ступенчатого комплексообразования в растворах, хелатный эффект. Факторы, влияющие на устойчивость комплексных частиц.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, входного теста по остаточным знаниям дисциплин: «Неорганическая химия», «Аналитическая химия» и «Физическая химия»; устного коллоквиума, включающего теоретические вопросы и практические задания по теме модели описания химической связи в комплексных соединениях; выполнения лабораторных работ и написания отчетов по лабораторным работам, контрольной работы по теории ионных равновесий применительно к химии комплексных соединений,

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Текущий контроль знаний влияет только на допуск к экзамену. К экзамену допускаются только те студенты, которые выполнили в полном объеме текущий контроль знаний.

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и две задачи. Продолжительность подготовки ответа по билетам 45 минут, ответ 20 минут.

*Примерное содержание экзаменационных билетов:*

Билет 1

Задание 1. Обзор элементов периодической системы по способности выступать в качестве комплексообразователей. Катионы классов А и В по Чатту.

Задание 2. Многоядерные координационные соединения. Структура, свойства, способы получения.

Первые два задания в билете проверяют приобретенные знания по ОПК-1 (ИОПК-1.3., ИОПК-1.1.).

*Критерии оценивания*

Студент владеет теоретическими знаниями по дисциплине в полном объеме учебной программы.

Задание 3. Предложите несколько способов получения аммиачного комплекса меди(II) и поясните возможность записанных реакций с позиций кислотно-основного взаимодействия. Рассмотрите образование связи между катионом меди и молекулой аммиака в рамках теории кристаллического поля, объяснив цветность и термодинамическую устойчивость данного комплексного соединения.

Задание 3 в билете проверяют приобретенные знания по ПК-1 (ИПК-1.1.).

*Критерии оценивания*

1. Записаны уравнения реакций не менее 3 способов получения комплексного соединения.

2. Соединения названы согласно номенклатуре.

3. Используется периодическая система, электронные конфигурации, теория кислот и оснований Пирсона для объяснения взаимодействия катиона меди с молекулой аммиака;

4. Представлена схема образования связи между катионом меди и молекулой аммиака в рамках теории кристаллического поля.

5. Приведено объяснение цветности и термодинамической устойчивости комплексного соединения.

Задание 4. В соединениях с комплексным катионом  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{NO}_2]^+$  одна из молекул аммиака легко замещается другими группировками. Используя представления о трансвлиянии предскажите результат нагревания твердого нитрита нитротриамминплатины (II)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{NO}_2]\text{NO}_2$ .

Задание 4 в билете проверяют приобретенные знания по ПК-1 (ИПК-1.1. и ИПК-1.3.).

*Критерии оценивания*

1. Записана структурная формула комплексной частицы.
2. Определена активная молекула аммиака.
3. Используется номенклатура комплексных соединений.
4. Применен ряд трансвлияния по Черняеву.
5. Записано уравнение реакции термического разложения комплексного соединения.

Билет 2

Задание 1. Основные положения и предпосылки развития теории кристаллического поля.

Задание 2. Классификация констант равновесия. Константы термодинамические и концентрационные. Типы равновесий, константы этих равновесий. Зависимость их от ионной силы.

Первые два задания в билете проверяют приобретенные знания по ОПК-1 (ИОПК-1.3, ИОПК-1.1).

*Критерии оценивания*

Студент владеет теоретическими знаниями по дисциплине в полном объеме учебной программы.

Задание 3. Предложите несколько способов получения  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$  и поясните возможность данных реакций с позиций кислотно-основного взаимодействия. Рассмотрите образование связи между катионом хрома и молекулой воды в рамках теории кристаллического поля, объяснив цветность и термодинамическую устойчивость данного комплексного соединения.

Задание 3 в билете проверяют приобретенные знания по ПК-1 (ИПК-1.1.).

*Критерии оценивания*

1. Записаны уравнения реакций не менее 3 способов получения комплексного соединения.
2. Соединения названы согласно номенклатуре.
3. Используется периодическая система, электронные конфигурации, теория кислот и оснований Присона для объяснения взаимодействия катиона меди с молекулой аммиака;
4. Представлена схема образования связи между катионом меди и молекулой аммиака в рамках теории кристаллического поля.
5. Приведено объяснение цветности и термодинамической устойчивости комплексного соединения.

Задание 4. Предложите несколько комплексообразователей при получении комплексного соединения с оксалат анионом для образования катионного, анионного и нейтрального комплексов в растворе, сравните их устойчивость. Можно использовать дополнительные лиганды. В оксалатных растворах  $\text{Pu}(\text{III})$  А. Д. Гельман с сотр. (1957) наблюдали образование следующих комплексных ионов:  $[\text{Pu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^-$ ,  $[\text{Pu}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ ,  $[\text{Pu}(\text{C}_2\text{O}_4)_4]^{5-}$ ,  $[\text{Pu}(\text{HC}_2\text{O}_4)_4]^-$ , полные константы нестойкости которых составляют  $4,9 \cdot 10^{-10}$ ,  $4,10 \cdot 10^{-10}$ ,  $11,9 \cdot 10^{-11}$  и  $7,1 \cdot 10^{-10}$ . В водных растворах карбоната аммония для первых трех комплексных ионов вычислены следующие полные константы нестойкости:  $11,6 \cdot 10^{-9}$ ,  $5,6 \cdot 10^{-9}$  и  $2,5 \cdot 10^{-9}$ . Рассчитайте энтальпию образования комплексных ионов  $\text{Pu}(\text{III})$  для реакции:



Задание 4 в билете проверяют приобретенные знания по ПК-1 (ИПК-1.1., ИПК-1.3.).

*Критерии оценивания*

1. Объяснен выбор комплексообразователей.
2. Записаны уравнения реакций.
3. Приведен расчет энтальпий образования комплексных ионов Pu(III).

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

«Отлично» – студент самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на все вопросы билета, подчеркивая при этом самое существенное, умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделять в нем главное: устанавливать причинно-следственные связи.

«Хорошо» – студент в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на все вопросы билета с помощью наводящих вопросов экзаменатора, подчеркивая при этом самое существенное, умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделять в нем главное: устанавливать причинно-следственные связи.

«Удовлетворительно» – студент в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на все вопросы билета с помощью наводящих вопросов экзаменатора, но допускает не более 3 ошибок, подчеркивая при этом самое существенное, умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделять в нем главное: устанавливать причинно-следственные связи.

«Неудовлетворительно» – студент не может в логической последовательности и исчерпывающе отвечать на все вопросы билета с помощью наводящих вопросов экзаменатора, не умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделять в нем главное, устанавливать причинно-следственные связи.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

1. Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21489>

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

Перечень основной учебной литературы:

– Киселев Ю. М. Химия координационных соединений : учебник и практикум для вузов / Ю. М. Киселев. – 2-е изд. – М. : Издательство Юрайт, 2022. – 747 с. – (Высшее образование). Онлайн доступ: [Юрайт ЭБС ЮрайтЭБС Юрайт](#)

– Неудачина Л. К. Химия координационных соединений : учебное пособие для вузов / Л. К. Неудачина, Н. В. Лакиза. – М. : Издательство Юрайт, 2022. – 123 с. – (Высшее образование). (Неудачина Л. К., Лакиза Н. В. «Физико-химические основы применения координационных соединений»: – Екатеринбург : изд-во Урал. ун-та, 2014. – 124 с.) Онлайн доступ: [Юрайт ЭБС ЮрайтЭБС Юрайт](#)

– Киселев Ю. М. Добрынина Н. А. Химия координационных соединений. – М. : Юрайт, 2007, 2016. – 657 с.

Перечень дополнительной учебной литературы:

– Костромина Н. А., Кумок В. Н., Скорик Н. А. Химия координационных соединений. М. : Высшая школа, 1990. – 431 с. Онлайн доступ: [Электронная библиотека](#)

### ТГУ (доступно читателям НБ ТГУ)

– Кумок В. Н., Скорик Н. А. Лабораторные работы по химии комплексных соединений. Томск: ТГУ, 1983. – 140 с. <https://vital.lib.tsu.ru> > vital > Repository > vtls:000048722

– Скорик Н. А., Чернов Е. Б. Расчеты с использованием персональных компьютеров в курсе химии комплексных соединений: Учебно-методическое пособие. Томск : Томский государственный университет, 2009. – 92 с. <https://vital.lib.tsu.ru> > vtls:000398727 > SOURCE1

Ресурсы сети Интернет:

– Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21489>

– Образовательный портал по химии - <http://www.chemiemaniamania.ru/chemie-99.html>

– Образовательный портал по химии - <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2123.html>

– Электронная коллекция слайдов к образовательным курсам - <http://www.slideshare.net/zaharov/1-4-16152662>

– Образовательный портал по химии - [http://www.alhimik.ru/compl\\_soed/gl\\_1.htm](http://www.alhimik.ru/compl_soed/gl_1.htm)

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Обучение по дисциплине осуществляется на базе: лекционной аудитории, оснащенной мультимедийным оборудованием для демонстрации презентаций, слайдов и компьютерной анимации, интерактивной доской (аудитории № 402, 103 ауд. 6-го учебного корпуса ТГУ) и лабораторной аудитории (№ 102, 6-го учебного корпуса ТГУ).

### **15. Информация о разработчиках**

Кузнецова Светлана Анатольевна, канд. хим. наук, доцент, кафедра неорганической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.