

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

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

И.о. декана

А. С. Князев

Оценочные материалы по дисциплине

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

Томск – 2023

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

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. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- практико-ориентированное задание;
- опрос;
- отчеты;
- коллоквиум;
- контрольная работа.

Таблица – Виды оценочных средств и коды индикатора достижения компетенций

№	Контролируемые темы/разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Код индикатора достижения компетенции
1	Тема 1. Предмет и основные понятия химии координационных соединений	практико-ориентированное задание	ИОПК 1.1 ИОПК 1.2 ИОПК 1.3
2	Тема 2. Основные классы и способы получения комплексных соединений	опрос	ИОПК 1.2 ИОПК 1.3
3	Тема 3. Основные принципы синтеза комплексных соединений	отчет по лабораторной работе	ИОПК 1.2 ИОПК 2.1 ИОПК 2.2 ИОПК 2.3 ИОПК 2.4 ИПК 1.1 ИПК 1.2 ИПК 1.3
4	Тема 4. Химическая связь в комплексных соединениях	коллоквиум	ИПК 1.2 ИОПК 1.1 ИОПК 1.2 ИОПК 1.3
5	Тема 5. Реакции и механизмы взаимодействия комплексных частиц	опрос	ИОПК 2.1 ИОПК 1.1 ИОПК 1.2 ИОПК 1.3
6	Тема 6. Термодинамика координационных соединений, теория ионных равновесий в приложении к химии комплексных соединений	отчеты по лабораторным работам, контрольная работа	ИОПК 1.2 ИОПК 2.1 ИОПК 2.2 ИОПК 2.3 ИОПК 2.4 ИПК 1.1 ИПК 1.2 ИПК 1.3

### 2.2.1 Практико-ориентированное задание:

КЕЙС №1 «Химия комплексных соединений или координационная химия?»

Преподаватель Вуза попросил меня, как магистранта ХФ, имеющего знания о химии комплексных соединений, рассказать студентам 1 курса ХФ об основных понятиях и предмете изучения данного раздела химии. Я решил подготовить презентацию, в которой можно было бы отразить вопросы понимания того, что является комплексным соединением, какова специфика, строение и номенклатура. Однако, при подготовке презентации я совсем запутался в определениях и понимании того когда соединение является комплексным, а когда его можно назвать координационным. Можно ли между координационной химией и химией комплексных соединений ставить равенство?

### 2.2.3 Вопросы к опросу по теме «Основные принципы синтеза комплексных соединений»:

– периодическая система как методологическая основа синтеза комплексов (способность химических элементов выступать в качестве комплексообразователей и

донорных атомов лигандов; концепция изоэлектронности; теории кислотно-основных и окислительно-восстановительных реакций);

– термодинамические, кинетические и структурные принципы синтеза (превращение исходных продуктов в целевой с помощью термодинамически осуществимых реакций; хелатный эффект при комплексообразовании; ряд взаимного вытеснения лигандов; лабильность и инертность комплексных ионов; термическая изомеризация);

– эмпирические правила синтеза (подбор растворителя, противоиона при синтезе; использование эмпирических правил транс-влияния, эффективного номера, синтеза по аналогиям, метод проб и ошибок).

### 2.2.3 План написания отчета:

- дата;
- название лабораторной работы;
- цель;
- приборы и реактивы;
- теоретическая часть;
- расчетная часть;
- практическая часть;
- выводы.

### 2.2.4 Пример билетов коллоквиума по теме «Химическая связь в комплексных соединениях»

#### Билет 1

1. Основные положения теории поля лигандов и метода молекулярных орбиталей в рамках описания образования химической связи в комплексных частицах.
2. Ковалентность центрального поля.
3. Рассмотрите образование комплексной частицы  $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  с позиций теории кристаллического поля, и рассчитайте для нее ЭСКП. Будет ли этот комплекс окрашен, если параметр расщепления составляет  $34000 \text{ см}^{-1}$ ?
4. Изобразить геометрию комплексной частицы  $[[\text{Pd}(\text{NH}_3)_6]^{4+}$  (с учетом гибридизации).

#### Билет 2

1. Факторы, определяющие силу кристаллического поля. Энергия стабилизации кристаллическим полем в случае лигандов сильного и слабого полей.
2. Донорно-акцепторный механизм образования комплексных ионов. Типы связей между комплексообразователем и лигандами. Привести примеры.
3. Рассмотрите образование комплексных частицы  $[\text{FeCl}_4]^-$   $[\text{FeCl}_4]^{2-}$  с позиций теории кристаллического поля, и сравните значения их ЭСКП и эффективных магнитных моментов.
4. Изобразить геометрию комплексной частицы  $[\text{Fe}(\text{CN})_4]^-$  (с учетом гибридизации).

### 2.2.5 Вопросы к опросу по теме «Реакции и механизмы взаимодействия комплексных частиц»:

теория кислотно-основных превращений координационных соединений;

- природа эффектов лабильности и инертности комплексных соединений;
- теория взаимного влияния лигандов;
- механизмы реакций замещения и обмена.

### 2.2.6 Пример билета контрольной работы

«Теория ионных равновесий в приложении к химии комплексных соединений»

Билет 1

1. Пренебрегая комплексообразованием, вычислить растворимость гексахлороплатината(IV) аммония в подкисленном растворе соляной кислоты ( $C(Cl^-) = 1,25 \cdot 10^{-3}$  моль/л) при  $I = 0,05$  и  $25^\circ C$ , если для соли  $-\lg IP = 5,05$ , а  $p[H]$  насыщенного раствора 4,5, константы диссоциации соляной кислоты возьмите из справочной литературы.
2. Записать выражения константы протонизации комплекса  $ML$ , константы устойчивости  $\beta_{11}$  кислого комплекса  $MHL$ , константы устойчивости  $\beta_1$  комплекса  $ML$  и найти соотношение между ними.
3. Для реакции комплексообразования никеля с метионином  $Ni^{2+} + L^- \rightleftharpoons NiL^-$  известны термодинамические данные для  $25^\circ C$ :  $\Delta H^0 = -21,63$  кДж/моль и  $\Delta S^0 = 8,1$  Дж/моль·К. Оценить константы устойчивости при  $25$  и  $20^\circ C$

Билет 2

1. Для тартратного комплекса,  $Mn^{2+}$  при  $I = 0,1$  и  $25^\circ C$  определено значение  $\lg \beta_1$  2,49, и значения константы протонизации комплекса  $\lg K$  3,90. Рассчитать константу образования комплексов  $MHL$ . константы диссоциации винной кислоты возьмите из справочной литературы.
2. Провести пример и вывести уравнение для расчета константы протонизации одноосновной кислоты  $HL$  по спектрофотометрическим данным (диссоциированная и недиссоциированная форма кислоты поглощают при разных длинах волн).
3. Для комплекса  $Pb^{2+}$  с анионом винной кислоты при  $I = 0,1$  и  $25^\circ C$  определено значение  $\lg \beta_1 = 3,15$ , комплекса  $Ba^{2+}$  с анионом глутаровой кислоты значения  $\lg \beta_1$  равно 2,08 при  $I = 0$  ( $25^\circ C$ ). Привести обе константы к одинаковой ионной силе. Какой комплекс устойчивее?

Оценочные материалы в полном объеме содержатся на странице электронного курса в системе Moodle <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21489>

### 2.3 Методические рекомендации

#### 2.3.1 Порядок проведения текущего контроля

Текущий контроль осуществляется на протяжении периода обучения по дисциплине в рамках организации и проведения лекционных занятий, практических занятий, лабораторных работ, самостоятельной работы студентов и оценивается зачетом и оценкой.

#### 2.3.2 Критерии оценивания по видам оценочных средств

Практико-ориентированное задание:

- задание выполнено- зачет;
- задание не выполнено – незачет.

Опросы на семинарах:

- отвечает не менее чем на 2 вопроса – зачет;
- не отвечает на 2 вопроса – незачет.

Написание отчета:

- отчет правильно оформлен и содержание отчета соответствует целям и выводам соответствующей темы лабораторной работы – зачет;
- отчет неправильно оформлен и содержание отчета не соответствует целям и выводам соответствующей темы лабораторной работы – незачет

Коллоквиум:

- студент имеет пробелы по отдельным теоретическим разделам и не владеет основными умениями и навыками – неудовлетворительно;
- студент имеет недостаточно глубокие знания по отдельным теоретическим разделам, показал не все основные умения и навыки – удовлетворительно;
- студент раскрыл все теоретические вопросы, показал основные умения и навыки – хорошо;
- студент раскрыл все теоретические вопросы, показал, что владеет материалом в совершенстве, привел свои примеры – отлично.

Контрольная работа:

- решил 2 задачи – зачет;
- не решил 2 задачи – незачет.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

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.

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 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)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{NO}_2]\text{NO}_2$ .

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.

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 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 Pu (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 Pu(III) для реакции:



Оценочные материалы текущего контроля в полном объеме содержатся на странице электронного курса в системе Moodle <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21489>

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.

### **Информация о разработчиках**

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

Рецензент: Мишенина Людмила Николаевна, канд. хим. наук, доцент кафедры неорганической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент