

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,

Акад. РАН, профессор



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

направленной на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности

Бионеорганическая химия

Bioinorganic chemistry

Уровень высшего образования:

Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
(104-01-00-1411-ХН)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с приказом Министерства образования «Об утверждении федеральных государственных требований...» № 951 от 20 октября 2021 г., требованиями к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров, самостоятельно устанавливаемыми в Московском государственном университете, утвержденными приказом ректора МГУ 24 ноября 2021 г. № 1216 и паспортом научной специальности 1.4.11 "Бионеорганическая химия"

1. Краткая аннотация:

Программа курса «Бионеорганическая химия» представляет обязательный для аспирантов и соискателей единый минимум требований к уровню знаний в области химической науки – бионеорганическая химия. Программа включает описание основных закономерностей природных биохимических процессов с участием металлов и их соединений, общих и наиболее важных закономерностей химических процессов с участием металлопротеинов в биологических системах, участия ионов и комплексов металлов в метаболизме, применения соединений металлов в медицине, токсичности металлов и их соединений.

Цель изучения дисциплины – знание основных методов научно-исследовательской деятельности в области бионеорганической химии; знание основных закономерностей природных биохимических процессов с участием металлов и их соединений, общих и наиболее важных закономерностей химических процессов с участием металлопротеинов в биологических системах, участия ионов и комплексов металлов в метаболизме, применения соединений металлов в медицине, токсичности металлов и их соединений; умение различать главные металлопротеины и основные процессы с их участием; различать их структуру и механизм действия в зависимости от природы металла; определять типы физиологически активных и токсичных соединений металлов. искать и анализировать информацию о структуре, функции и механизме действия металлопротеинов и лекарственных препаратах на основе соединений металлов; владение технологиями планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований, современными физико-химическими методами исследования, способностью различать природу биохимических процессов с участием металлов, ответственных за ключевые метаболические пути, и молекулярный механизм их действия, иметь опыт работы с химической литературой.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации

3. Научная специальность: 1.4.11 Бионеорганическая химия, область науки: 1. Естественные науки

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: Дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - курс по специальности (для сдачи канд. минимума), может быть прослушана аспирантами в качестве факультативного курса

5. *Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего 108 академических часа, из которых 54 академических часа составляет контактная работа с преподавателем (36 академических часов занятия лекционного типа, 10 часов групповые консультации, 2 часа индивидуальные консультации, 6 часов – текущий контроль успеваемости), 54 академических часа составляет самостоятельная работа учащегося.*

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

На предыдущих уровнях высшего образования должны быть освоены общие курсы:

1. Неорганическая химия
2. Органическая химия

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов	Всего		
Тема 1: Роль металлов в биологических процессах. Эндогенные биолиганды (п.1,2, 5 Паспорта специальности)	8	4			2		6	2		2
Тема 2: Металлопротеины. Структура и механизм действия. Железо, цинк и медь-зависимые белки (п.1,2,3,4,11,12 Паспорта специальности).	28	12		4			16	12		12
Тема 3: Молибден, никель, кобальт, марганец в биологических системах (п.1,2,3,4,11,12 Паспорта)	28	12		4			16	12		12

специальности).										
Тема 4: Применение соединений металлов в медицине (п.6,8,9 Паспорта специальности).	20	8		2			10	10		10
Подготовка и защита реферата по бионеорганической химии	22					6	6		16	16
Промежуточная аттестация: <u>зачет</u>	2								2	2
Итого	108	36		10	2	6	54	36	18	54

Содержание блоков

Тема 1. Роль металлов в биологических процессах. Эндогенные биоллиганды.

1.1. Предмет бионеорганической химии. Связь с органической и неорганической химией, медицинской химией, фармакологией и токсикологией Общие представления о роли металлов в биохимических процессах.

1.2. БИОЛИГАНДЫ.

1.2.1. Особенности координационной химии биометаллов (Fe, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, Mn, V). Эндогенные биоллиганды (источник лигандов – белки). Экзогенные биоллиганды (лиганды небелкового происхождения).

1.2.2. Аминокислоты как лиганды. Функциональные группы в аминокислотах, которые могут выступать в качестве хелатирующих групп или N-, S-, O-донорных лигандов при взаимодействии белков с металлами.

1.2.3. Биоллиганды небелкового происхождения. Кислоты-основания. Нейтральные молекулы. Гетероциклические соединения (макроциклы): геммы, хлорины, коррины.

1.3. ВАЖНЕЙШИЕ ПРОЦЕССЫ В БИОЭНЕРГЕТИКЕ КЛЕТКИ.

1.3.1. Энергетические «шаттлы». Роль соединений фосфора. АТФ – промежуточный переносчик энергии.

1.4. ИОНЫ МЕТАЛЛОВ КАК КОФАКТОРЫ ФЕРМЕНТОВ.

1.4.1. Общие представления о ионах металлов как кофакторах ферментов.

Тема 2. Металлопротеины. Структура и механизм действия. Железо, цинк и медь-зависимые белки.

2.1. РОЛЬ ЖЕЛЕЗА В МЕТАБОЛИЗМЕ.

2.1.1. Функции биомолекул, содержащих железо. Обратимое связывание, транспорт и сохранение кислорода (гемоглобин, миоглобин, гемэритрин). Обратимый перенос электронов (железо-серные белки, цитохромы a, b, c, цитохром C оксидаза). Функционирование активных центров редокс- ферментов: окисление биомолекул (цитохромы P450, пероксидазы); разложение активных метаболитов кислорода (каталаза, супероксиддисмутаза).

2.1.2. Основные характеристики Fe в биосистемах. Степени окисления, типы геометрии. Кинетическая лабильность (обратимое связывание лигандов). Термодинамическая стабильность комплексов. Регулирование свойств комплексов железа путем изменения белкового окружения.

2.2. ТРАНСПОРТ ЖЕЛЕЗА В КЛЕТКЕ.

2.2.1. Трансферрин (Tf). Активный центр Fe(III)-Tf. Взаимодействие Fe-Tf с трансферриновым рецептором (TfR). Ферритин - важнейший железосберегающий белок.

2.2.2. Сидерофоры. Типы лигандов: пирокатехины, гидроксамовые кислоты, α-гидроксикислоты. Свойства сидерофоров. Сидерофоры гидроксаматного типа. Строение Fe(III)-содержащего феррихрома. Хелатирование Fe(III) катехолат-анионом. Энтеробактин, катехол-содержащий сидерофор.

2.3. ГЕМСОДЕРЖАЩИЕ МЕТАЛЛОПРОТЕИНЫ.

2.3.1. Базисная структура порфирина. Разнообразие порфиринов. Металлопорфирины. Протопорфирин IX. Гем - наиболее распространенный макроциклический комплекс в природе. Способы связывания гема с белком.

2.3.2. Функции гемопротеинов: транспорт кислорода (глобины), транспорт электронов (цитохромы), катализ реакций окисления (монооксигеназы, диоксигеназы).

2.3.3. Редокс-свойства гемов. Низкопотенциальные геммы. Высокие редокс-потенциалы гемов.

2.4. БИОСИНТЕЗ ГЕМА.

2.4.1. Стадии биосинтеза гема: образование δ-аминолевулиновой кислоты (δ-ALA); образование пиррола из δ-ALA; образование тетрапиррольного продукта; модификация периферийных групп; преобразование мостиковых атомов C; включение иона железа. Образование протопорфирина IX, катализируемое феррохелатазой. Структура

феррохелатазы.

2.4.2. Метаболические ошибки биосинтеза гема. Врожденная порфирия (наследственный дефект уропорфириноген III ко-синтазы). Острая перемежающаяся порфирия (дефект уропорфириноген I синтазы). Отравление Pb(II) (ингибирование ALA-дегидратазы при координации Pb(II) в цинк-связывающих центрах).

2.4.3. Распад гема. Продукты распада: биливердин, билирубин. Избавление от билирубина. Ошибки в деградации гема (ошибки в транспорте и в распаде). Аккумуляция билирубина в крови (желтуха). Нарушение механизма сопряжения с глюкуронатом при заболеваниях печени, недостаток сывороточного альбумина для транспорта в печень.

2.5. ПЕРЕНОСЧИКИ КИСЛОРОДА.

2.5.1. Гемоглобин, миоглобин, гемэритрин, гемоцианин. Способы координации кислорода, супероксида, пероксида. Активные метаболиты кислорода (АМК). Антиоксиданты (хинолы и фенолы: α -токоферол, убихинон, аскорбиновая кислота; каротиноиды: β -каротин, глутатион).

2.5.2. Гемоглобин. Дезокси-форма, окси-форма. Взаимодействие субъединиц. Феноменология связывания кислорода гемоглобином. Миоглобин. Гемэритрин. Дезокси-форма, Окси-форма. Механизм связывания кислорода.

2.6. ЦИТОХРОМЫ P450.

2.6.1. Биосинтез стероидов, биосинтез желчных кислот, гидроксирование холестерина, гидроксирование ксенобиотиков. Кофакторы P450 (НАД(Ф)Н-цитохром P450 редуктазы, цитохром b5, O₂, НАД(Ф)Н). Редокс-химия цитохромов-P450.

2.6.2. Реакционная способность цитохрома P450. Реакционный цикл. Реакции (С-, N- и S- гидроксирование, окисление, дезалкилирование, восстановление, дегалогенирование). Разнообразие цитохромов P450.

2.7. ПЕРОКСИДАЗА И КАТАЛАЗА.

2.7.1. Свойства пероксидаз. Строение и каталитический цикл. Механизм окислительного дегалогенирования гемсодержащими пероксидазами.

2.7.2. Каталаза. Реакционноспособные интермедиаты. Каталитический цикл. Роль в антиоксидантной защитной системе организма.

2.7.3. Гем-тиолатные белки (гем хлоропероксидаза, NO синтаза).

2.8. ЖЕЛЕЗО-СЕРНЫЕ ПРОТЕИНЫ.

2.8.1. Функции железо-серных протеинов (обратимые переносчики электронов, катализ, регуляция экспрессии генов).

2.8.2. Свойства железо-серных протеинов. Строение [Fe_nSn(SR)_m] кластеров (рубредоксин, ферредоксин). Аконитаза. Механизм действия. Модельные соединения.

2.9. РОЛЬ ЦИНКА В МЕТАБОЛИЗМЕ.

2.9.1. Гидролазы. Металлосодержащие гидролазы. Три типа протеаз (протеиназ). Катализ расщепления белков до свободных аминокислот. Кофакторы некоторых гидролитических ферментов (Zn²⁺, Ca²⁺, Ni²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺).

2.9.2. Карбоангидраза (катализ гидратации CO₂). Строение карбоангидразы в организме человека. Координационные особенности Zn²⁺. Зависимость каталитической активности от pH. Механизм каталитической гидратации диоксида углерода в активном центре карбоангидразы. Гистидиновый протонный «шаттл». Модели карбоангидразы.

2.9.3. Переваривание в тонком кишечнике. Расщепление полисахаридов, белков, аминокислот и триглицеридов. Карбоксипептидаза А. Расщепление пептидной связи в полипептидах. Катализ с помощью иона металла. Механизм гидролиза пептидов карбоксипептидазой А. Щелочная фосфатаза. Лейцин аминопептидаза, Термолизин.

2.10. МЕДЬСОДЕРЖАЩИЕ БЕЛКИ.

2.10.1. Типы медьсодержащих центров. Тип I (синие медные протеины): малые синие протеины (азурин, семейство пластоцианинов, семейство фитоцианинов, растицианин, аурацианин), синие оксидазы (аскорбат оксидаза, лакказы, церулоплазмин). Тип II: Cu, Zn супероксид-дисмутаза, диоксигеназы, монооксигеназы, дофамин β -гидроксилаза,

метан монооксигеназа, Нитрит редуктаза, “несиние оксидазы”, аминоксидаза, галактооксидаза. Тип III: гемоцианин, тирозиназа. Трехядерный центр (Тип II + Тип III).
Модельные соединения.

2.10.2. ЦИТОХРОМ С ОКСИДАЗА.

2.10.2.1. Митохондриальная электронтранспортная цепь. Восстановление кислорода до воды.

2.10.2.2. Субъединица I, Субъединица II, Субъединица III. Механизм действия.

Тема 3. Молибден, никель, кобальт, марганец в биологических системах.

3.1. КОМПЛЕКСЫ МОЛИБДЕНА.

3.1.1. Биохимия фиксации атмосферного азота.

3.1.2. Нитрогеназа. Строение MoFe-кофактора. Структурные составляющие. Процесс восстановления молекулярного азота на молибденсодержащей нитрогеназе. Восстановление разнообразных субстратов нитрогеназой.

3.2. КОРРИНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ КОБАЛЬТА.

3.2.1. Витамин B12. Производные витамина B12. Механизм действия.

3.2.2. Метилкобаламин. Образование и разрыв связей Co-C. Перенос метильной группы. Метилкобаламин как метилирующий агент в биохимических реакциях алкилирования металлов.

3.4. РОЛЬ НИКЕЛЯ В МЕТАБОЛИЗМЕ

3.4.1. Уреаза. Гидролиз мочевины.

3.5. РОЛЬ МАРГАНЦА В МЕТАБОЛИЗМЕ

3.5.1. Аргиназа. Терминальный фермент цикла мочевины. Механизм.

3.5.2. Супероксиддисмутаза (Mn-SOD). Участие в антиоксидантной защитной системе. Активный центр. Механизм действия.

3.6. УЧАСТИЕ КАЛИЯ И НАТРИЯ В МЕМБРАННОМ ТРАНСПОРТЕ.

3.6.1. Системы активного транспорта. АТФ-зависимый транспорт: АТФ-азы.

3.6.2. Схема действия калиево-натриевого насоса. Транспорт ионов кальция в мышцах. Транспорт ионов Ca^{2+} в мышцах, аналогичный транспорту ионов Na^+ , K^+ .

Тема 4. Применение соединений металлов в медицине.

4.1. Цели и принципы неорганической медицинской химии. Стратегия создания препаратов на основесоединений металлов.

4.2. Классификация фармацевтических средств на основе соединений металлов. Свойства соединений металлов, обеспечивающие физиологическую активность. Гидрофильность/липофильность соединений металлов. Роль металла и лиганда в механизме действия.

4.3. Лекарственные средства на основе солей и оксидов металлов. Антисептики и дезинфицирующие средства. Соединения Bi, Hg, Pb, Ag, Zn, Cu, As, Sb, Au. Терапевтические дозы. Активность в отношении бактерий, бацилл, простейших и грибов. Механизм действия (денатурация белка, нарушение проницаемости мембран, ингибирование ферментов).

4.4. Соединения металлов как биоматериалы для замены тканей и органов. Костные имплантаты. Применение солей La, Al, Ca для связывания фосфатов при гиперфосфатемии.

4.5. Биосенсоры на основе соединений металлов.

4.6. Противоопухолевые препараты на основе координационных соединений металлов платиновой группы. Цисплатин. История открытия. Механизм действия. Связывание комплексов платины ДНК. Аналоги цисплатина. Действие комплексов Pt(II) и Pt(IV). Карбоплатин. Оксалиплатин. Сатраплатин. Неклассические комплексы платины. Полиядерные комплексы платины.

4.7. Комплексы палладия, рутения, галлия, олова, меди, золота как противоопухолевые средства. Взаимодействие металлоорганических и координационных соединений металлов платиновой группы с нуклеотидами. Комплексы металлов в фотодинамической терапии рака.

4.8. Различные механизмы действия соединений металлов. Использование биологически активных лигандов.

4.9. Механизмы токсичности соединений металлов.

4.10. Токсичные ксенобиотики. Тяжелые металлы и их органические производные. Антропогенные источники металлоорганических соединений. Перенос метильной группы (C-1 перенос) в биохимическом алкилировании тяжелых металлов (Hg, Sn, Pb, Bi, As). Соединения металлов как промоторы окислительного стресса.

8. Образовательные технологии.

Лекции проводятся с использованием мультимедийной техники: чтение лекций сопровождается демонстрацией слайдов и других визуальных материалов.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература:

1. Биологическая неорганическая химия. Под ред. И. Бертини. Изд. БИНОМ. М., 2013, в 2-х томах. Перевод с англ. под ред. Н.Т. Кузнецова, Е.Р. Милаевой, К.Ю. Жижина. 1097 с. I. Bertini, H.V. Gray, E.I. Stiefel, J.S. Valentine, *Biological Inorganic Chemistry*, University Science Books, 2007.

2. Биометаллоорганическая химия. Под ред. Ж. Жауэна М., БИНОМ, 2009.

3. Ю.В. Чистяков. Основы бионеорганической химии. М.: Химия, Колос, 2007, 539 с.

4. Е.Р. Милаева. Неорганическая медицинская химия. Учебное пособие. М.: Издательство Московского университета. 2022. 224 с. ISBN: 978-5-19-011660-1.

5. *Concepts and Models in Bioinorganic Chemistry*, H.-B. Kraatz, N. Metzler-Nolte (Eds), John Wiley and Sons, 2006.

6. *Glossary of Terms Used in Bioinorganic Chemistry*. IUPAC Recommendation 1997. *Pure & Appl. Chem.* 1997. Vol. 69, N 6, pp. 1251-1303.

Дополнительная литература:

1. Биохимия человека. Под ред. Р. Марри, Д. Греннера, П. Мейеса, В. Родуэлла. Изд. «Мир». Москва, 2004.

2. J. M. Berg, S.J. Lippard. *Bioinorganic chemistry*. *Current Opinion in Chemical Biology*. 2004, Vol. 8, Iss. 2, pp. 160-161.

3. Ленский, А. С. Биофизическая и бионеорганическая химия: Учебное пособие для вузов / А. С. Ленский, И. Ю. Белавин, С. Ю. Былинкин. - М.: Медицинское информационное агентство, 2008. - 416 с.

4. *Medicinal Inorganic Chemistry*. Eds. J.L. Sessler, S.R. Doctrow, T.J. McMurphy, S. J. Lippard. Acad. Press. 2004.

5. *Handbook of Metalloproteins*, Albrecht Messerschmidt, Robert Huber, Thomas L. Poulos, and Karl Wieghardt (Eds.), John Wiley & Sons, Ltd., (2001).

6. R.R. Crichton, R.J. Ward. *Metal-based Neurodegeneration. From Molecular Mechanisms to Therapeutic Strategies*. John Wiley & Sons, Chichester, 2006.

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
pdb.org (Protein Data Bank)

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

Профессора и доценты кафедры медицинской химии и тонкого органического синтеза химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова:

http://www.chem.msu.ru/rus/chair/med_w.html

8(495)939-52-49

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Текущий контроль успеваемости осуществляется на семинарских занятиях, на которых проверяется умение использовать положения и категории бионеорганической химии для оценивания и анализа биохимических процессов в живых организмах и в окружающей среде.

С этой целью аспирантов знакомят с основными проблемами в развитии бионеорганической химии, ближе всего стоящих к направлению подготовки аспирантов, и предлагают обсудить задачи и цели развития бионеорганической химии, формулируя свои собственные аргументы. Для этого на семинарских занятиях аспиранты изучают и обсуждают набор специально подобранных с этой целью текстов современных публикаций.

Написание и защита реферата по бионеорганической химии позволяет сформировать и проверить навыки анализа основных научных проблем, возникающих в бионеорганической химии на современном этапе ее развития, а также технологии планирования в профессиональной деятельности. Темы рефератов выбираются преимущественно из области бионеорганической химии, максимально близкой к направлению профессиональной подготовки аспирантов.

ПРИМЕРЫ ТЕМ РЕФЕРАТОВ:

- 1.Цинковый палец
- 2.Транспорт меди. Шапероны
- 3.Ферменты, содержащие сирогем
- 4.Кофактор F420 гидрогеназа
- 5.[NiFe] гидрогеназа
- 6.Аминоксидаза
- 7.Рибозимы
- 8.Матриксные металлопротеиназы (ММП)
- 9.Контрастные агенты для МРТ
- 10.Металлошапероны
- 11.Алкогольдегидрогеназа
- 12.Альдегидоксидаза
- 13.Циклооксигеназа
- 14.Аминооксидазы
- 15.Биологическая роль хрома
- 16.Метаболизм адреналина

На зачете проверяется степень сформированности систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности, основных концепциях современной химической науки – бионеорганическая химия, основных закономерностях природных биохимических процессов с участием металлов и их соединений, а также умение творчески использовать знания об основных металлопротеинах и процессах с их участием для анализа и оценивания различных факторов, определяющих механизмы действия в зависимости от природы металла, и механизмы фармакологического действия соединений металлов.

Примеры вопросов на зачете.

Тема 1.

1. Основные химические процессы в организме с участием металлов.
2. Эндогенные и экзогенные биолиганды, примеры.
3. Функциональные группы в аминокислотах, способные координировать ион металла.

Тема 2.

1. Каково строение карбоангидразы и карбоксипептидазы и механизм их

каталитического действия?

2. Стадии биосинтеза гема.
3. Цитохром С оксидаза. Электронтранспортная цепь. Роль меди в действии цитохром с оксидазы.

Тема 3.

1. Биохимия фиксации атмосферного азота. Нитрогеназа.
2. Роль никеля в биохимических процессах. Уреаза. Механизм действия.
3. Витамин В12 и его роль как кофактора в ферментативных процессах.

Тема 4.

1. Соединения металлов как противоопухолевые лекарственные препараты.
2. История открытия цисплатина. Лекарственные препараты на основе соединений платины.
3. Понятие о биомиметическом катализе. Моделирование активных центров металлопротеинов.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится в форме индивидуального собеседования. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», и при условии выполнения всех домашних заданий, аспирант получает общую оценку «зачтено».

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)
Знания	Отсутствие базовых знаний о современных концепциях бионеорганической химии	Общие, но неглубокие знания о современных концепциях бионеорганической химии, об основных закономерностях природных биохимических процессов с участием металлов и их соединений	Общие, но не структурированные знания о современных концепциях бионеорганической химии, об основных закономерностях природных биохимических процессов с участием металлов и их соединений	Сформированные систематические знания о современных концепциях бионеорганической химии, об основных закономерностях природных биохимических процессов с участием металлов и их соединений

Умения	Отсутствие умения применять знания о современном состоянии бионеорганической химии для решения научных задач, неспособность различать главные металлопротеины и основные процессы с их участием	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания о современном состоянии бионеорганической химии для решения научных задач, в т.ч., умение различать главные металлопротеины и основные процессы с их участием	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания о современном состоянии бионеорганической химии для решения научных задач (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение применять знания о современном состоянии бионеорганической химии для решения научных задач
Навыки (владения)	Отсутствие навыков решения задач современной бионеорганической химии	Наличие базовых навыков решения задач современной бионеорганической химии, в т.ч., синтетических и аналитических	В целом, сформированные навыки решения задач современной бионеорганической химии (как синтетических, так и аналитических), но не в активной форме	Сформированные навыки решения задач современной бионеорганической химии, в т.ч., синтетических и аналитических