

# МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение по высшему медицинскому,  
фармацевтическому образованию

## УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель  
Министра здравоохранения  
Республики Беларусь,  
председатель Учебно-методического  
объединения по высшему  
медицинскому, фармацевтическому  
образованию



Е.Н.Кроткова

20.09.2023

Регистрационный № УПД-091-050 пр. /

## БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Примерная учебная программа по учебной дисциплине  
для специальности 7-07-0911-06 «Педиатрия»

### СОГЛАСОВАНО

Ректор учреждения образования  
«Гродненский государственный  
медицинский университет»



И.Г.Жук

20.09.2023

### СОГЛАСОВАНО

Начальник главного управления  
организационно-кадровой работы и  
профессионального образования  
Министерства здравоохранения  
Республики Беларусь

О.Н.Колюпанова

25.09.2023

### СОГЛАСОВАНО

Начальник Республиканского  
центра научно-методического  
обеспечения медицинского и  
фармацевтического образования  
государственного учреждения  
образования «Белорусская  
медицинская академия  
последипломного образования»

Л.М.Калацей

22.09.2023

Минск 2023

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

Н.Д.Павловский, доцент кафедры общей и биорганической химии учреждения образования «Гродненский государственный медицинский университет», кандидат химических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Кафедра биорганической химии учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет»;

В.Н.Бурдь, заведующий кафедрой химии и биотехнологии учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Я. Купалы», доктор химических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРНОЙ:**

Кафедрой общей и биорганической химии учреждения образования «Гродненский государственный медицинский университет»  
(протокол № 9 от 17.04.2023);

Научно-методическим советом учреждения образования «Гродненский государственный медицинский университет»  
(протокол № 8 от 18.05.2023);

Научно-методическим советом по педиатрии Учебно-методического объединения по высшему медицинскому, фармацевтическому образованию  
(протокол № 2 от 19.05.2023)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

«Биоорганическая химия» – учебная дисциплина химического модуля, содержащая систематизированные научные знания о связи структуры органических веществ с их биологическими функциями, методах органической и физической химии для изучения механизмов функционирования биологически активных молекул.

Примерная учебная программа по учебной дисциплине «Биоорганическая химия» разработана в соответствии с образовательным стандартом специального высшего образования по специальности 7-07-0911-06 «Педиатрия», утвержденным и введенным в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 01.09.2023 № 302/127; примерным учебным планом по специальности 7-07-0911-06 «Педиатрия» (регистрационный № 7-07-09-006/пр.), утвержденным первым заместителем Министра здравоохранения Республики Беларусь 24.11.2022 и первым заместителем Министра образования Республики Беларусь 20.12.2022.

Цель учебной дисциплины «Биоорганическая химия» – формирование базовой профессиональной компетенции для понимания физико-химических основ жизнедеятельности человеческого организма с учетом научных достижений и современных методов исследований в ходе решения медико-биологических и медицинских проблем.

Задачи учебной дисциплины «Биоорганическая химия» состоят в формировании научных знаний о классификации, номенклатуре, строении и свойствах основных классов органических соединений; типичных механизмах органических реакций; строении и свойствах поли- и гетерофункциональных соединений, природных биологически значимых соединений; принципах синтеза и самоорганизации биологических макромолекул, умений и навыков, необходимых для прогнозирования свойств органических соединений, направления и результата их химических превращений.

Знания, умения, навыки, полученные при изучении учебной дисциплины «Биоорганическая химия», необходимы для успешного изучения следующих учебных дисциплин: «Фармакология», «Радиационная и экологическая медицина» и «Биохимического модуля».

Студент, освоивший содержание учебного материала учебной дисциплины, должен обладать следующей базовой профессиональной компетенцией: оценивать свойства природных и синтетических органических соединений, потенциально опасных для организма человека веществ, прогнозировать их поведение в биологических средах.

В рамках образовательного процесса по учебной дисциплине студент должен приобрести не только теоретические знания, практические умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны.

Всего на изучение учебной дисциплины отводится 108 академических часов, из них 66 аудиторных и 42 часа самостоятельной работы студента.

Рекомендуемая форма промежуточной аттестации студентов: экзамен (2 семестр).

### ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Название раздела (темы)	Всего аудиторных часов	Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий	
		лекции	лабораторные
<b>1. Теоретические основы строения и общие закономерности реакционной способности органических соединений</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>27</b>
1.1. Введение в учебную дисциплину «Биоорганическая химия». Классификация и номенклатура органических соединений	3	–	3
1.2. Пространственное строение и стереоизомерия органических молекул	5	2	3
1.3. Химическая связь и взаимное влияние атомов в органической молекуле	5	2	3
1.4. Реакционная способность углеводородов. Реакции радикального замещения, электрофильного присоединения, электрофильного замещения	10	4	6
1.5. Кислотно-основные свойства органических соединений	5	2	3
1.6. Реакции нуклеофильного замещения у тетрагонального атома углерода и конкурентные им реакции элиминирования	5	2	3
1.7. Реакционная способность альдегидов и кетонов. Реакции нуклеофильного присоединения к карбонильным соединениям	3	–	3
1.8. Реакционная способность карбоновых кислот и их функциональных производных. Реакции нуклеофильного замещения у тригонального атома углерода	3	–	3
<b>2. Биологически важные поли- и гетерофункциональные соединения</b>	<b>9</b>	–	<b>9</b>
2.1. Поли- и гетерофункциональные соединения алифатического ряда, участвующие в процессах жизнедеятельности	3	–	3
2.2. Гетерофункциональные соединения бензольного и гетероциклического рядов, лежащие в основе важнейших групп лекарственных средств. Алкалоиды	6	–	6
<b>3. Биополимеры и их структурные компоненты. Низкомолекулярные биорегуляторы</b>	<b>18</b>		<b>18</b>
3.1. Липиды	3	–	3
3.2. Углеводы	6	–	6
3.3. Аминокислоты. Пептиды и белки	3	–	3

Название раздела (темы)	Всего аудиторных часов	Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий	
		лекции	лабораторные
3.4. Нуклеиновые кислоты	3	–	3
3.5. Низкомолекулярные биорегуляторы	3	–	3
<b>Всего часов</b>	<b>66</b>	<b>12</b>	<b>54</b>

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **1. Теоретические основы строения и общие закономерности реакционной способности органических соединений**

#### **1.1. Введение в учебную дисциплину «Биоорганическая химия». Классификация и номенклатура органических соединений**

Краткий исторический очерк развития биоорганической химии. Место биоорганической химии в медицинском образовании как одной из естественнонаучных учебных дисциплин. Задачи биоорганической химии как учебной дисциплины. Объекты, изучаемые биоорганической химией.

Классификация органических соединений по строению углеродного скелета и природе функциональных групп. Основные классы органических соединений.

Основные правила номенклатуры IUPAC органических соединений; заместительная и радикально-функциональная номенклатура.

#### **1.2. Пространственное строение и стереоизомерия органических молекул**

Конфигурация и конформация как способы описания пространственного строения молекулы. Связь пространственного строения с типом гибридизации атома углерода. Молекулярные модели, стереохимические формулы, проекционные формулы Фишера, формулы Ньюмена.

Хиральность. Хиральные молекулы. Асимметрический атом углерода. Энантиомерия. Оптическая активность. Относительная D- и L-система стереохимической номенклатуры. Глицериновый альдегид как конфигурационный стандарт. Понятие о R, S-номенклатуре. Сtereoизомерия молекул с одним, двумя и более центрами хиральности: энантиомерия и  $\sigma$ -диастереомерия. Мезоформы. Рацемические смеси. Понятие о методах разделения рацемических смесей.  $\pi$ -Диастереомерия ненасыщенных соединений.

Связь пространственного строения соединения с его биологической активностью. Теории Фишера, Кошленда. Комплементарность.

Конформации ациклических соединений. Виды напряжений в молекуле: торсионное и Ван-дер-ваальсово. Энергетическая характеристика конформаций алканов. Угловое напряжение и конформации пяти- и шестичленных циклических соединений, их энергетическая характеристика. Аксиальные и экваториальные связи. 1,3-Диаксиальное взаимодействие, инверсия цикла. Конформации *кресла* циклических  $\alpha$ - и  $\beta$ -форм D-глюкозы, участвующих в построении крахмала и целлюлозы.

#### **1.3. Химическая связь и взаимное влияние атомов в органической молекуле**

Электронное строение атома углерода и атомов-органогенов. Гибридизация атомных орбиталей. Типы гибридизации. Типы химических связей в органических соединениях. Основные характеристики ковалентных  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей. Водородные связи.

Сопряжение. Виды сопряжения:  $\pi, \pi$ - и  $p, \pi$ -. Сопряженные системы с

открытой цепью: 1,3-диены, полиены, аллильные ионы и аллильный радикал. Сопряженные системы с замкнутой цепью. Ароматичность. Правило ароматичности Хюккеля. Ароматичность бензоидных и небензоидных соединений. Энергия сопряжения. Термодинамическая стабильность биологически важных молекул с открытыми и замкнутыми сопряженными системами.

Взаимное влияние атомов в молекуле: индуктивный и мезомерный электронные эффекты заместителей. Электронодонорные и электроноакцепторные заместители. Распределение электронной плотности в молекуле. Реакционные центры.

#### **1.4. Реакционная способность углеводородов. Реакции радикального замещения, электрофильного присоединения, электрофильного замещения**

Понятие о механизме реакции. Субстрат, реагент, реакционный центр. Классификация органических реакций по результату (замещения, присоединения, элиминирования, перегруппировки, окислительно-восстановительные, солеобразования). Реакции радикальные, ионные, согласованные. Типы реагентов: радикальные, электрофильные, нуклеофильные, кислотные, основные. Гомолитический разрыв ковалентной связи и понятие о свободных радикалах и цепных реакциях. Гетеролитический разрыв ковалентной связи; карбокатионы и карбоанионы. Электронное и пространственное строение частиц, образующихся при гомолизе и гетеролизе; факторы, обуславливающие их относительную устойчивость.

Реакционная способность насыщенных углеводородов. Реакции радикального замещения. Механизм реакции радикального замещения. Региоселективность. Пути образования радикальных частиц: фотолитическое, термическое разложение, окислительно-восстановительные реакции с участием ионов металлов переменной валентности. Понятие о цепных процессах. Роль радикальных реакций окисления в биологических процессах. Активные формы кислорода, пероксиды.

Реакции электрофильного присоединения в ряду алкенов. Механизм реакции гидратации, кислотный катализ. Влияние статических и динамических факторов на региоселективность реакций присоединения. Правило Марковникова. Особенности электрофильного присоединения к сопряженным системам: гидратация  $\alpha$ ,  $\beta$ -ненасыщенных карбоновых кислот.

Качественные реакции обнаружения кратных связей в анализируемом объекте.

Реакции электрофильного замещения у ароматических соединений. Механизм реакции, роль катализаторов в образовании электрофильной частицы. Влияние заместителей в ароматическом ядре на реакционную способность в реакциях электрофильного замещения. Ориентирующее влияние заместителей. Реакции алкилирования и галогенирования *in vivo*.

Реакции окисления ароматических соединений *in vivo* как путь повышения гидрофильности и выведения из организма чужеродных веществ.

#### **1.5. Кислотно-основные свойства органических соединений**

Реакционные центры в молекулах спиртов, фенолов, тиолов, аминов.



Кислотность и основность в соответствии с теориями Бренстеда и Льюиса. Количественная и качественная характеристика кислотных и основных свойств органических соединений. Общие закономерности в изменении кислотных или основных свойств во взаимосвязи с природой атомов в кислотном или основном центре, электронными эффектами заместителей при этих центрах и сольватационными эффектами. Токсичность сильных кислот и оснований. Амфотерность. Водородная связь как специфическое проявление кислотно-основных свойств. Водородные связи в структуре биополимеров. Ионизация органических кислот и оснований в зависимости от рН среды. Роль ионизации в проявлении биологической активности.

### **1.6. Реакции нуклеофильного замещения у тетрагонального атома углерода и конкурентные им реакции элиминирования**

Общий механизм реакции нуклеофильного замещения у  $sp^3$ -гибридизованного атома углерода. Моно- и бимолекулярные реакции. Стереохимия реакций нуклеофильного замещения. Нуклеофильное замещение гидроксильной группы в спиртах. Кислотный катализ. Реакции алкилирования спиртов, аминов, тиолов. Алкилирование *in vivo*. Конкурентные моно- и бимолекулярные реакции элиминирования у спиртов. Биологически важные реакции дегидратации гидроксисодержащих соединений.

Реакции окисления спиртов, тиолов, фенолов. Биологическое окисление с участием кофермента НАД<sup>+</sup>. Перенос гидрид-иона в системе НАД<sup>+</sup> - НАДН. Соединения, содержащие тиольную группу, фенольный гидроксил как антиоксиданты.

### **1.7. Реакционная способность альдегидов и кетонов. Реакции нуклеофильного присоединения к карбонильным соединениям**

Реакционные центры альдегидов, кетонов. Реакции нуклеофильного присоединения к карбонильным соединениям. Общий механизм реакции. Присоединение воды, спиртов, аминов. Образование циклических полуацеталей. Реакции альдольного присоединения. Обратимость реакций нуклеофильного присоединения. Биологическое значение реакций ацетализации, альдольного расщепления, взаимодействия с аминами. Токсичность альдегидов. Использование альдегидов как дезинфектантов и средств для стерилизации.

Реакции окисления и восстановления карбонильных соединений *in vitro* и *in vivo*.

Качественные реакции на альдегидную группу. Реакции обнаружения ацетона.

### **1.8. Реакционная способность карбоновых кислот и их функциональных производных. Реакции нуклеофильного замещения у тригонального атома углерода**

Реакционные центры в молекулах карбоновых кислот. Кислотные свойства одно-, двухосновных, предельных, непредельных, ароматических карбоновых кислот. Общий механизм реакции нуклеофильного замещения у  $sp^2$ -гибридизованного атома углерода карбоновых кислот и их функциональных производных. Реакции образования и гидролиза функциональных производных

карбоновых кислот: ангидридов, галогенангидридов, сложных эфиров, амидов. Ацилирующая способность функциональных производных карбоновых кислот. Сравнительная характеристика ацилирующей способности сложных эфиров и сложных тиоэфиров карбоновых кислот; их биологическое значение. Ацетилкофермент А. Биологически важные реакции ацилирования с участием ацилфосфатов. Понятие о реакциях фосфорилирования.

Амиды карбоновых кислот. Особенности строения амидной группы. Кислотно-основные свойства амидов. Амид бензойной кислоты: гиппуровая кислота. Функциональные производные угольной кислоты: полный (мочевина) и неполный (карбаминовая кислота) амиды; их кислотно-основные свойства, биологическое значение. Биурет. Использование в медицине уретанов, уреидов кислот и уреидокислот. Иминомочевина, ее биологически важные производные креатин, креатинфосфат.

## **2. Биологически важные поли- и гетерофункциональные соединения**

### **2.1. Поли- и гетерофункциональные соединения алифатического ряда, участвующие в процессах жизнедеятельности**

Классификация поли- и гетерофункциональных соединений. Кислотно-основные свойства. Типичная реакционная способность поли- и гетерофункциональных соединений. Специфические свойства, обусловленные взаимным влиянием групп: хелатообразование многоатомных спиртов,  $\alpha$ -аминоспиртов,  $\alpha$ -аминокислот, а также внутримолекулярная (у  $\gamma$ - и  $\delta$ -гидроксиальдегидов,  $\gamma$ - и  $\delta$ -гидрокси- и аминокислот, дикарбоновых кислот с числом атомов углерода 4 или 5) и межмолекулярная (у  $\alpha$ -гидрокси- и аминокислот) циклизация. Циклические полуацетали, циклические ангидриды, лактоны, лактамы, лактиды, дикетопиперазины. Реакции декарбоксилирования. Реакции элиминирования  $\beta$ -гидрокси- и  $\beta$ -аминокислот. Таутомерия: кето-енольная и лактим-лактаманная.

Многоатомные спирты: этиленгликоль, глицерин, инозит, ксилит, сорбит. Сложные эфиры многоатомных спиртов с неорганическими кислотами (нитроглицерин, фосфаты глицерина и инозита) и высшими жирными кислотами. Дегидратация глицерина при нагревании с образованием акролеина. Качественная реакция на диольный фрагмент. Понятие о краун-эфирах как избирательных комплексообразователях.

Двухатомные фенолы: гидрохинон, резорцин, пирокатехин. Окисление двухатомных фенолов. Участие системы *гидрохинон-хинон* в процессах биологического окисления. Фенолы как антиоксиданты. Токоферолы.

Двухосновные карбоновые кислоты: щавелевая, малоновая, янтарная, глутаровая, фумаровая. Дегидрирование янтарной кислоты с образованием фумаровой.

Аминоспирты: 2-аминоэтанол, холин. Образование холина из L-серина. Ацетилхолин. Катехоламины: дофамин, норадrenalин, адреналин.

Гидроксикислоты: молочная, яблочная, винная, лимонная кислоты. Реакции окисления молочной и яблочной кислот с участием кофермента НАД<sup>+</sup>. Лимонная кислота. Использование цитрата для консервирования донорской крови. Дегидратация лимонной кислоты *in vivo*.

Оксокислоты: пировиноградная, ацетоуксусная, щавелевоуксусная,  $\alpha$ -кетоглутаровая кислоты. Реакция конденсации щавелевоуксусной кислоты и ацетилкофермента А. Реакции декарбоксилирования  $\beta$ -кетомасляной кислоты и окислительного декарбоксилирования пировиноградной кислоты. Кето-енольная таутомерия щавелевоуксусной кислоты.

$\beta$ -Гидроксимасляная,  $\beta$ -кетомасляная кислоты, ацетон-представители кетоновых тел, их биологическое и диагностическое значение.

## **2.2. Гетерофункциональные соединения бензольного и гетероциклического рядов, лежащие в основе важнейших групп лекарственных средств. Алкалоиды**

Салициловая кислота и ее производные: ацетилсалициловая кислота, метилсалицилат, фенилсалицилат.

*n*-Аминобензойная кислота и ее производные, обладающие анестезирующим действием: анестезин, новокаин. *n*-Аминобензойная кислота как структурный компонент фолиевой кислоты. Современные анестезирующие лекарственные средства.

Сульфаниловая кислота и ее амид. Сульфаниламидные лекарственные препараты. Понятие об антиметаболитах.

Гетероциклы с одним гетероатомом: пиррол, тиофен, фуран, индол, пиридин, хинолин. Гетероциклы с несколькими гетероатомами: пиразол, имидазол, пиримидин, пурин. Электронное и пространственное строение пиррольного и пиридинового атомов азота. Ароматичность гетероциклов,  $\pi$ -избыточные и  $\pi$ -недостаточные ароматические системы. Влияние гетероатомов на реакционную способность пиррола и пиридина в реакциях электрофильного замещения. Распределение электронной плотности в молекулах пиррола и пиридина. Кислотно-основные свойства гетероциклических соединений.

Тетрапиррольное соединение порфин и его производные – порфирины. Ароматичность, биологическое значение.

Фуран. Тетрагидрофуран. Фурфурол, 5-нитрофурановые производные.

Тиофен. Биотин как производное тетрагидротиофена.

Индол – структурный компонент биогенных аминов серотонина, триптамина и ряда биологически активных веществ растительного происхождения.

Имидазол. Прототропная таутомерия. Межмолекулярные водородные связи. Имидазол – структурный компонент биогенного амина гистамина. Участие имидазола в кислотном и основном катализе реакций *in vivo*.

Пиразол. Лекарственные средства на основе пиразолона-5.

Биологически важные производные пиридина: никотинамид, пиридоксаль, лекарственные средства на основе изоникотиновой кислоты. Участие никотинамида в гидридном переносе в реакциях биологического окисления.

Хинолин и лекарственные средства на его основе.

Пиримидин. Витамин В<sub>1</sub>. Барбитуровая кислота и ее производные, таутомерия барбитуровой кислоты и ее производных.

Гидроксипурины: гипоксантин, ксантин, мочевая кислота, их таутомерные формы. Соли мочевой кислоты.

Понятие об алкалоидах.

### **3. Биополимеры и их структурные компоненты. Низкомолекулярные биорегуляторы**

#### **3.1. Липиды**

Классификация липидов, биологическое значение. Нейтральные жиры. Понятие о строении восков. Основные природные высшие жирные кислоты, входящие в состав липидов: пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, линолевая, линоленовая, арахидоновая. Особенности ненасыщенных высших жирных кислот,  $\omega$ -номенклатура. Роль свободных жирных кислот в энергообеспечении и терморегуляции.

Фосфолипиды. Фосфатидилэтаноламины и фосфатидилсерины, фосфатидилхолины (лецитины), фосфатидилинозитолы – структурные компоненты клеточных мембран. Понятие о составе и роли сурфактанта.

Сфинголипиды и гликолипиды, их роль в миелинизации нервных волокон.

Прогоркание жиров – цепной свободнорадикальный процесс как модель пероксидного окисления ненасыщенных жирных кислот в клеточных мембранах, его механизм и биологическая роль. Роль пероксидного окисления липидов мембран в реализации повреждающего действия факторов окружающей среды. Понятие о системах антиоксидантной защиты.

#### **3.2. Углеводы**

Классификация моносахаридов: альдозы, кетозы; пентозы, гексозы. Стереои́зомерия моносахаридов. D- и L- стереохимические ряды. Открытые и циклические формы. Фуранозы и пиранозы;  $\alpha$ - и  $\beta$ - аномеры. Формулы Фишера и Хеурса. Цикло-оксо-таутомерия. Мутаротация. Конформации пиранозных форм моносахаридов. Строение наиболее важных представителей пентоз (D-рибоза, 2-дезоксид-рибоза, D-ксилоза); гексоз (D-глюкоза, D-манноза, D-галактоза, D-фруктоза). Аминосахара (D-глюкозамин, D-маннозамин, D-галактозамин), их свойства. Нейраминаовая кислота, сиаловые кислоты.

Физические свойства моносахаридов.

Химические свойства моносахаридов. Нуклеофильное замещение у аномерного центра в циклических формах моносахаридов. O- и N-гликозиды. Гидролиз гликозидов. Биологически важные реакции фосфорилирования моносахаридов. Восстановительные свойства альдоз. Окисление моносахаридов: гликоновые, гликаровые, гликуроновые кислоты. Восстановление моносахаридов в глициты: ксилит, сорбит, маннит; их использование в медицине. Реакции эпимеризации моносахаридов, взаимопревращение альдоз и кетоз. Нуклеофильное присоединение по карбонильной группе открытой формы глюкозы (реакции гликирования белков). Аскорбиновая кислота: строение, свойства.

Биологическое значение моносахаридов и их производных.

Общая характеристика и классификация полисахаридов. Олигосахариды. Дисахариды: мальтоза, лактоза, лактулоза, сахароза, целлобиоза. Строение,

цикло-оксо-таутомерия. Восстановительные свойства полисахаридов, гидролиз. Конформационное строение мальтозы, целлобиозы, лактозы. Роль олигосахаридов группы лактозы в формировании непатогенной микрофлоры в кишечнике, необходимой для нормального пищеварения.

Полисахариды. Гомо- и гетерополисахариды.

Гомополисахариды: крахмал, (амилоза, амилопектин), гликоген, декстраны, целлюлоза. Первичная структура гомополисахаридов, гидролиз. Понятие о вторичной структуре гомополисахаридов (амилоза, целлюлоза). Пектины (полигалактуроновая кислота). Плазмозамещающие растворы на основе декстрана и крахмала.

Гетерополисахариды: гиалуроновая кислота, хондроитинсульфаты. Первичная структура гетерополисахаридов. Понятие о смешанных биополимерах: протеогликаны, гликопротеины, гликолипиды.

### 3.3. Аминокислоты. Пептиды и белки

Аминокислоты, входящие в состав белков. Классификация протеиногенных аминокислот с учетом различных признаков: по кислотно-основным свойствам, по химической природе радикала и содержащихся в нем заместителей (алифатические, ароматические, гетероциклические, содержащие гидроксильную, аминогруппу, карбоксильную или амидную группу, серосодержащие); по характеру радикалов (гидрофильные и гидрофобные). Строение, номенклатура аминокислот, стереоизомерия. Кислотно-основные свойства аминокислот, биполярная структура. Незаменимые аминокислоты.

Методы получения  $\alpha$ -аминокислот: гидролиз белков, синтез из  $\alpha$ -галогенпроизводных карбоновых кислот. Реакции восстановительного аминирования и реакции переаминирования. Пиридоксальный катализ.

Химические свойства  $\alpha$ -аминокислот как гетерофункциональных соединений. Образование внутрикомплексных солей. Реакции этерификации, ацилирования, алкилирования, дезаминирования, образования иминов. Качественные реакции  $\alpha$ -аминокислот.

Биологически важные реакции  $\alpha$ -аминокислот. Декарбоксилирование  $\alpha$ -аминокислот – путь к образованию биогенных аминов и биорегуляторов: этаноламин, гистамин, триптамин, серотонин, дофамин,  $\gamma$ -аминомасляная кислота, их биологическое значение. Понятие о нейромедиаторах. Реакции окислительного и неокислительного дезаминирования. Реакции гидроксирования (фенилаланин  $\rightarrow$  тирозин, тирозин  $\rightarrow$  3,4-дигидроксифенилаланин, триптофан  $\rightarrow$  5-гидрокситриптофан, пролин  $\rightarrow$  4-гидроксипролин), участие аскорбиновой кислоты в реакциях гидроксирования аминокислот. Дезаминирование аминокислот. Окисление цистеина. Дисульфидная связь.

Пептиды. Электронное и пространственное строение пептидной связи. Гидролиз пептидов. Отдельные представители пептидов: аспартам, глутатион, нейропептиды, инсулин.

Установление первичной структуры пептидов. Понятие о стратегии искусственного синтеза пептидов.

Первичная структура белков. Понятие о вторичной, третичной (домены) и четвертичной структурах; механизм их образования; фолдинг. Гемоглобин, гем. Понятие о сложных белках.

### **3.4. Нуклеиновые кислоты**

Нуклеиновые основания: пиримидиновые (урацил, тимин, цитозин) и пуриновые (аденин, гуанин). Ароматические свойства нуклеиновых кислот. Лактим-лактаманная таутомерия. Реакции дезаминирования.

Нуклеозиды. Нуклеотиды. Строение моонуклеотидов, входящих в состав нуклеиновых кислот. Номенклатура. Гидролиз нуклеотидов.

Первичная структура нуклеиновых кислот. Фосфодиэфирная связь. Рибонуклеиновые и дезоксирибонуклеиновые кислоты. Нуклеотидный состав РНК и ДНК. Гидролиз нуклеиновых кислот. Строение и свойства и-РНК, т-РНК, Si-РНК.

Понятие о вторичной структуре ДНК. Роль водородных связей в формировании вторичной структуры. Комплементарность нуклеиновых оснований. Водородные связи в комплементарных парах нуклеиновых оснований. Стэкинг-взаимодействие.

Лекарственные средства на основе модифицированных нуклеиновых оснований. Принцип химического подобия. Изменение структуры нуклеиновых оснований под действием химических мутагенов, ультрафиолетового излучения и радиации.

Нуклеозидмоно- и полифосфаты. АМФ, АДФ, АТФ. Роль АТФ как аккумулятора и переносчика энергии в клетке. Макроэргическая связь. Нуклеозидциклофосфаты (цАМФ и цГМФ) как вторичные посредники в регуляции метаболизма клетки. Понятие о коферментах. Строение НАД<sup>+</sup> и его фосфата НАДФ<sup>+</sup>. Система НАД<sup>+</sup> – НАДН; гидридный перенос как одна из стадий биологических реакций окисления – восстановления с участием этой системы.

### **3.5. Низкомолекулярные биорегуляторы**

Понятие о биологически активных соединениях. Значение пространственной структуры и физико-химических свойств биорегуляторов в их взаимодействии с рецепторами и реализации действия на молекулярном уровне.

Стероиды. Гонан (стеран, циклопентанпергидрофенантрен), стереохимическое строение 5 $\alpha$ - и 5 $\beta$ -стеранового скелета, физические свойства. Родоначальные структуры стероидов: эстран, андростан, прегнан, холан, холестеран.

Стероидные гормоны. Эстрогены, андрогены, гестагены, кортикостероиды: строение, биологическая роль.

Желчные кислоты (холевая, гликохолевая, таурохолевая), реакции взаимодействия с таурином и глицином, биологическая роль.

Холестерин – представитель стеринов, его конформационное строение. Свойства, роль в обмене и структуре мембран, в развитии сердечно-сосудистых заболеваний. 7-Дегидрохолестерин, превращение в витамин Д<sub>3</sub>.

Эргостерин, превращение его в эргокальциферол. Роль витаминов группы

Д в регуляции кальций-фосфорного обмена.

Алкалоиды. Классификация алкалоидов по видам содержащих их растений и химической структуре входящих гетероциклов. Алкалоиды яды и лекарственные средства. Строение и действие на организм человека никотина, хинина, папаверина, морфина, атропина. Метилированные производные ксантина (теобромин, теofilлин, кофеин) и их применение в медицине.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Литература

#### Основная:

1. Биоорганическая химия : учебник / И. В. Романовский [и др.] ; под общ. ред. И. В. Романовского. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М., 2015. – 504 с.
2. Тюкавкина, Н. А. Биоорганическая химия: учебник / Н. А. Тюкавкина, Ю. И. Бауков. – М. : Дрофа, 2005. – 544 с.
3. Руководство к лабораторным занятиям по биоорганической химии: учебное пособие / Н. А. Тюкавкина [и др.] ; под ред. Н. А. Тюкавкиной. – М. : Дрофа, 2009. – 319 с.
4. Тюкавкина, Н. А. Биоорганическая химия [Электронный ресурс] : учебник / Н. А. Тюкавкина, Ю. И. Бауков, С. Э. Зурабян – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020.

#### Дополнительная:

5. Романовский, И. В. Краткий теоретический курс биоорганической химии: учеб.-метод. пособие / И. В. Романовский, О. Н. Ринейская, В. В. Пинчук ; Белорус. гос. мед. ун-т, каф. биоорган. химии. – 2-е изд., испр. – Минск : БГМУ, 2011. – 166 с.
6. Грандберг, И. И. Органическая химия: учебник / И. И. Грандберг, Н. Л. Грандберг – М. : Дрофа, 2009. – 608 с.

### Примерный перечень результатов обучения

В результате изучения учебной дисциплины «Биоорганическая химия» студент должен

#### знать:

правила международной химической номенклатуры; фундаментальные представления теоретической органической химии как основу для понимания строения и реакционной способности органических соединений, участвующих в процессах жизнедеятельности;

строение, химические свойства и биологическую значимость поли- и гетерофункциональных соединений, участвующих в процессах жизнедеятельности и являющихся структурными компонентами липидов, полисахаридов, белков, нуклеиновых кислот, сложных биополимеров;

принципы организации макромолекул для понимания основ их функционирования с использованием стереохимических представлений;

основы стереохимии (хиральность, энантиомерия, диастереомерия), необходимые для понимания специфичности комплементарного взаимодействия на уровне фермента и субстрата, гормона и рецептора и т.д.;

условия генерирования свободных радикалов, в том числе активных форм кислорода, механизм реакции свободно-радикального окисления ненасыщенных жирных кислот, лежащий в основе перекисного окисления липидов, химические основы антиоксидантного действия биологически активных веществ, содержащих фенольный гидроксил, тиольную группу;

молекулярные основы действия антисептиков и дезинфектантов,



являющихся спиртами, фенолами, альдегидами, четвертичными аммониевыми соединениями и др.;

**уметь:**

классифицировать органические соединения по строению углеродного скелета и по природе функциональных групп; составлять формулы по названию и по структурной формуле давать название представителям биологически важных веществ и лекарственных средств;

выделять функциональные группы, определять реакционные центры, сопряженные и ароматические фрагменты в молекулах для прогнозирования химического поведения органических соединений;

определять в структуре биологически значимых молекул гидрофильные и гидрофобные участки, их способность распределяться в средах организма человека;

качественно оценивать кислотно-основные свойства органических соединений, участвующих в процессах жизнедеятельности, лекарственных средств, а также веществ, потенциально опасных для организма человека;

прогнозировать направление и результат химических превращений органических соединений;

выполнять простейшие химические эксперименты с последующим анализом и оформлением результатов;

**владеть:**

методами проведения качественных реакций на важнейшие функциональные группы органических соединений;

навыками безопасной работы в химической лаборатории, безопасного обращения с химической посудой, горелкой, ядовитыми, летучими, легковоспламеняющимися веществами.

**Примерный перечень практических навыков**

1. Определение принадлежности органического соединения к определенному классу по его структурной формуле.

2. Составление названия органического соединения (по номенклатуре IUPAC) по его структурной формуле.

3. Составление структурной формулы соединения по его названию по номенклатуре IUPAC.

4. Прогнозирование наиболее характерных химических свойств соединения и его реакционной способности исходя из наличия функциональных групп и реакционных центров в органической молекуле.

5. Определение pH среды с использованием различных индикаторов.

6. Проведение сравнительной оценки силы кислот и оснований на основе справочных данных ( $K_a$ ,  $pK_a$ ,  $K_b$ ,  $pK_b$ ,  $K_{BH^+}$ ,  $pK_{BH^+}$ ).

7. Проведение качественных реакций на обнаружение кетоновых тел, альдегидов, многоатомных спиртов, одно- и многоатомных фенолов,  $\alpha$ -аминокислот, белков, непредельных соединений, крахмал.

8. Проведение реакции на доброкачественность аспирина.

