

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ГОУ ВПО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ТАРАСА ШЕВЧЕНКО»**

**Т.А. Сараева, И.Н. Калашник**

## **Биохимия**

**Учебно-методическое пособие**  
для студентов очной формы обучения  
по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям). Технология и организация общественного питания»



**Луганск  
2020**

**УДК 577.1 (076)**  
**ББК 28.072р3 + 28.7р3**  
**С 20**

**Рецензенты:**

- Кривоколыско С.Г.** – заведующий кафедрой химии и инновационных химических технологий ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», доктор химических наук, профессор;
- Полупаненко Е.Г.** – доцент кафедры химии и биохимии ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко», кандидат педагогических наук;
- Коваленко Е.А.** – учитель химии ГУ ЛНР «Луганское образовательное учреждение – гимназия № 60 имени 200-летия города Луганска», учитель химии высшей категории, Заслуженный учитель Украины.

**Сараева Т.А., Калашник И.Н.**

**С 20**      **Биохимия** : учебно-методическое пособие / Т.А. Сараева, И.Н. Калашник; ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко». – Луганск : Книта, 2020. – 100 с.

Учебно-методическое пособие содержит теоретический и дидактический материал к основным разделам учебной дисциплины «Биохимия», лабораторный практикум, письменные вопросы и тестовые задания для студентов по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям). Технология и организация общественного питания».

Данное учебное издание может быть полезно учителям химии, преподавателям вузов, специалистам пищевой промышленности.

**УДК 577.1 (076)**  
**ББК 28.072р3 + 28.7р3**

*Рекомендовано Ученым советом Луганского национального университета имени Тараса Шевченко в качестве учебно-методического пособия для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям). Технология и организация общественного питания» (протокол № 6 от 31.01.2020 г.)*

© Сараева Т.А., Калашник И.Н., 2020  
© ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко», 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	4
<b>Структура курса</b>	5
<b>Техника лабораторных работ</b>	6
<b>Тема 1. Биохимия как наука. Аминокислоты как структурные элементы белков</b>	11
<b>Тема 2. Белки</b>	27
<b>Тема 3. Нуклеиновые кислоты</b>	41
<b>Тема 4. Ферменты</b>	49
<b>Тема 5. Углеводы</b>	62
<b>Тема 6. Липиды</b>	74
<b>Тема 7. Водный и минеральный обмен</b>	84
<b>Темы для рефератов</b>	94
<b>Вопросы к зачету</b>	96
<b>Список рекомендуемой литературы</b>	98
<b>Заключение</b>	99

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель** изучения дисциплины – дать фундаментальные знания о строении и свойствах макромолекул, входящих в состав живой материи; обмене веществ и энергии; о закономерностях биохимических превращений при деятельности и функционировании организма; пищевых источниках биохимических веществ, превращении веществ в процессе пищеварения, сохранение биохимических веществ в продуктах питания; развитие у студентов целостного естественнонаучного мировоззрения; формирование четкого материалистического понимания биохимических процессов для последующего изучения профессионально ориентированных дисциплин.

**Задачи** преподавания дисциплины: формирование правильного понимания сущности биохимических превращений в организме человека, лежащих в основе жизнедеятельности; правильного понимания сущности химических процессов; навыков проведения простейших биохимических исследований, умений интерпретировать результаты этих исследований; выработка у студентов умения применять полученные знания к решению задач возникающих в ходе профессиональной деятельности; подготовка студентов к восприятию учебного материала специальных курсов.

**Требования** к результатам освоения содержания дисциплины.

Общепрофессиональные компетенции: способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессионально-педагогической деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать: предмет, цели и задачи биохимии, главные химические компоненты клетки; химический состав, строение, свойства и функции важнейших классов биоорганических соединений; закономерности обмена веществ и энергии в живых системах; методы исследования биополимеров;

уметь: правильно применять методы химического анализа в биохимических исследованиях; составлять формулы и уравнения химических реакций, которые лежат в основе процессов синтеза и распада биоорганических веществ; применять полученные знания

при решении конкретных профессионально ориентированных заданий;

владеть навыками: работы в биохимической лаборатории с приборами, посудой, биологическим материалом.

### СТРУКТУРА КУРСА

№ п/п	Название темы	Лекции	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1	<b>Тема 1.</b> Биохимия как наука. Аминокислоты как структурные элементы белков	2	2	4
2	<b>Тема 2.</b> Белки	2	2	4
3	<b>Тема 3.</b> Нуклеиновые кислоты	2	2	4
4	<b>Тема 4.</b> Ферменты	2	2	4
5	<b>Тема 5.</b> Углеводы	2	2	5
6	<b>Тема 6.</b> Липиды	2	2	5
7	<b>Тема 7.</b> Водный и минеральный обмен	2	2	4
8	<b>Тема 8.</b> Витамины	2		5
9	<b>Тема 9.</b> Гормоны	2		5
<b>Итого:</b>		<b>18</b>	<b>14</b>	<b>40</b>

Формы контроля освоения дисциплины.

Текущая аттестация студентов производится лектором и преподавателем(ями), ведущими лабораторные занятия по дисциплине в следующих формах: выполнение письменных заданий, самостоятельной работы, выполнение лабораторных работ и их защита, зачетная работа.

Всего в течение семестра студент может набрать 100 баллов:

- выполнение лабораторных работ и их защита – 35 баллов;
- самостоятельная работа студентов (выполнение письменных заданий, рефератов) – 30 баллов;
- зачет – 35 баллов.

## ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### Порядок работы в лаборатории

Перед началом лабораторного практикума по биохимии студент должен изучить действующую инструкцию по технике безопасности при работе в лаборатории биологической химии и затем расписаться в специальном журнале.

На весь период практикума студенту отводится рабочее место. Работа в биохимической лаборатории только тогда продуктивна, когда она выполняется сознательно с пониманием теоретического ее обоснования. В связи с этим к выполнению каждой лабораторной работы допускаются студенты, предварительно ознакомившиеся с содержанием лабораторной работы, с соответствующими разделами учебника и записями лекций.

Основные правила, которых надо придерживаться при работе в биохимической лаборатории:

1. Не начинать осуществление опыта, пока не станет ясной цель его, пока не проверено наличие оборудования, необходимого для опыта (посуда, приборы, реактивы).

2. При работе точно соблюдать порядок и последовательность операций, указанных в руководстве.

3. Соблюдать все необходимые меры предосторожности, приведенные в данном разделе руководства и в инструкции по технике безопасности.

4. Пользоваться реактивами, приготовленными для данной лабораторной работы. Реактивы общего пользования, а также склянки с концентрированными растворами кислот и щелочей не уносить на рабочее место.

5. Перед использованием реактива внимательно изучить этикетку на склянке с целью установления пригодности реактива для данного опыта.

Этикетки на склянках с растворами должны содержать указания о концентрации раствора.

Если на склянке (банке) с реактивом нет этикетки или надписи, пользоваться им без согласования с преподавателем нельзя.

Необходимо знать название химической посуды и ее назначение (рис. 1).



**Рис. 1.** Химическая посуда

6. Если нет указаний о дозировке реактивов для данного опыта, то брать их надо в возможно меньшем количестве (экономия материалов и времени, затрачиваемого на операцию).

7. Излишек реактива не высыпать и не выливать обратно в сосуд, из которого он был взят, а помещать его (по указанию преподавателя) в специальные склянки-сборники или мусорницы.

8. После употребления реактива банку или склянку тотчас же закрыть пробкой и поставить на место.

9. Сухие реактивы брать фарфоровыми, металлическими, стеклянными ложечками или лопаточками (шпатели), которые должны быть всегда чистыми и сухими. После употребления их следует тщательно вымыть.

10. Если реактив отбирают пипеткой, то нельзя той же пипеткой, не вымыв ее, брать реактив из другой склянки.

11. Все опыты проводить в рабочем халате.

12. Во время лабораторной работы соблюдать тишину и порядок.

13. Внимательно следить за ходом опыта и замечать все изменения.

14. Запись наблюдений и уравнений реакций делать сразу же после окончания опыта.

15. После окончания лабораторной работы студент обязан вымыть химическую посуду, привести рабочее место в порядок и предъявить его дежурному по лаборатории для проверки его состояния.

### **Обязательные требования к технике безопасности при работе студентов в биохимической лаборатории**

*При работе в биохимической лаборатории надо помнить, что при выполнении каждого химического опыта требуется осторожность и внимание!*

1. При пользовании реактивами необходимо знать их основные свойства: огнеопасность, ядовитость, способность к образованию взрывчатых смесей с другими реактивами.

2. Все работы с сильнопахнущими и ядовитыми веществами, с концентрированными растворами кислот и щелочей проводить в вытяжном шкафу.

3. При работе в вытяжном шкафу дверцу вытяжного шкафа надо поднять на  $1/5$ – $1/4$  высоты ее подъема. После завершения работы ее следует плотно закрыть.

4. Новая или повторная постановка опыта с опасными веществами допускается лишь после получения разрешения на это руководителя работы (преподавателя).

5. Запрещается исследовать свойства веществ без разрешения преподавателя, а также пить воду из химической посуды.

6. Запрещается выполнение опытов в грязной посуде.

7. Без указания преподавателя нельзя проводить никаких дополнительных опытов.

8. Не нюхать выделяющиеся газы, близко наклоняясь к сосуду. При определении запаха газа или жидкости осторожно вдыхать воздух, слегка направляя рукой ток его от сосуда к себе.

9. При наливании реактивов не наклоняться над сосудом во избежание попадания брызг или частиц на лицо или одежду.



10. Не наклоняться над сосудом с нагреваемой жидкостью, так как ее может выбросить из сосуда.

11. При нагревании пробирки не держать ее отверстием к себе или в сторону товарищей.

12. При переносе химического стакана с горячей жидкостью необходимо стакан держать обеими руками, подложив под дно стакана полотенце.

13. При разбавлении концентрированных растворов серной кислоты необходимо приливать ее тонкой струйкой в воду, а не наоборот. Желательно работать в резиновых перчатках.

14. Растворять твердые щелочи надо путем постепенного прибавления их к заранее рассчитанному объему воды. Дробить твердые куски гидроксида калия или натрия следует, завернув их в тряпку.

15. При работе с открытым пламенем (газовые и спиртовые горелки) сосуды с огнеопасными жидкостями необходимо отставлять от пламени на расстояние не менее 1 м.

16. Переливать из сосуда в сосуд легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ – бензин, спирт, эфир и т.д.) можно на расстоянии не менее 3 м от открытого пламени.

17. Следует помнить, что концентрированная азотная кислота при действии на некоторые органические вещества (скипидар, эфирные масла, промасленную бумагу, ветошь, древесную стружку и т.д.) вызывает их воспламенение.

18. Особую осторожность соблюдать при работе с газовыми горелками. Уходя из лаборатории, проверять, закрыты ли краны газовых горелок.

19. Нельзя остатки огнеопасных и взрывчатых веществ (щелочные металлы, красный и белый фосфор, сероуглерод, горючие легковоспламеняющиеся жидкости и т.п.) выбрасывать в мусорные ящики, выливать в раковину. Все это необходимо тщательно собирать в предназначенные для этой цели сосуды с соответствующими этикетками.

20. Отработанные (загрязненные) растворы кислот и щелочей нельзя сливать в канализацию. В лаборатории должны быть специальные сосуды для слива.

21. В случае воспламенения горючих жидкостей или других веществ быстро погасить горелку, выключить электронагревательные приборы, отставить сосуды с огнеопасными (горючими) веществами и принять следующие меры тушения: горящие жидкости прикрыть асбестовым или обычным одеялом или засыпать песком.

22. В случае загорания одежды следует гасить пламя обертыванием в одеяло или пальто и др. Ни в коем случае не бегать.

23. Если загорятся электрические провода, надо немедленно выключить рубильник и тушить пожар имеющимися средствами (песок, вода, асбестовое одеяло).

### **Правила оказания первой медицинской помощи**

1. В случае ожога (пламенем горелки или нагретыми предметами) обожженное место смочить концентрированным раствором перманганата калия или же приложить ватку, смоченную жидкостью от ожогов (из аптечки). При сильных ожогах немедленно обращаться к врачу.

2. При отравлении сероводородом, хлором, парами брома, оксидами азота, угарным газом немедленно вывести пострадавшего на свежий воздух и срочно вызвать врача.

3. Если на лицо или руки попадут брызги кислоты, надо тотчас же смыть их водой, после чего промыть пораженное место разбавленным раствором соды. Щелочь смывают водой до тех пор, пока пострадавший участок кожи не перестанет быть скользким. Затем промыть его 2%-ным раствором уксусной кислоты.

### **Рекомендации по подготовке и оформлению лабораторной работы:**

1. Изучить основные теоретические вопросы, используя рекомендуемую литературу и материалы раздела «Теоретическая подготовка».

2. Выполнить упражнения и дать ответы на тестовые вопросы по данной теме.

3. Результаты работ представить по указанной форме, составить необходимые уравнения реакций, сделать выводы.

# **ТЕМА 1. БИОХИМИЯ КАК НАУКА. АМИНОКИСЛОТЫ КАК СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ БЕЛКОВ**

## **Основные теоретические вопросы**

Биохимия как наука. Цели, задачи, основные разделы биохимии. Химический состав живых организмов. Биологические структуры живых систем. Общие понятия об обмене веществ и энергии в организме.

Аминокислоты как структурные элементы белков. Природные аминокислоты. Строение и свойства аминокислот. Их классификация.

Общие представления о белках. Уровни организации структуры белковой молекулы.

Содержание белков в органах и тканях. Функции белков.

Цветные реакции на белки.

## **Методические указания**

Изучение биохимии следует начинать с выяснения ее целей, задач, рассмотрения разделов биохимии. Необходимо отметить, что деление биохимии на разделы (статическая, динамическая и функциональная) является условным. Практически в ходе биохимических исследований все три раздела тесно переплетаются друг с другом, так как в живом организме состав и строение веществ неотделимы от их преобразований, от функций тех структур, органов и тканей, в которых эти вещества находятся и претерпевают трансформации.

Изучение химического состава живых организмов носит характер обобщения и систематизации, базируется на знании студентами соответствующих разделов неорганической, органической химии, физиологии человека.

Изучение аминокислотного состава белков необходимо начать с изучения строения природных аминокислот, их классификации, пространственной изомерии. При изучении химических свойств необходимо учесть наличие аминогруппы и карбоксильной группы (существование в водных растворах в виде биполярного

иона, амфотерность), способы связи аминокислот в молекулах белков.

При изучении пространственной организации белковой молекулы обратить внимание на виды химических связей, стабилизирующих данную структуру.

При составлении формул пептидов следует помнить, что у аминокислот, имеющих две аминогруппы или две карбоксильные группы, в реакцию образования пептидов вступают амино- и карбоксильные группы, расположенные у  $\alpha$ -углеродного атома.

При ознакомлении с цветными реакциями на белки следует главное внимание обратить на химическую структуру тех аминокислот, наличие которых в белке обуславливает данную реакцию.

### **Теоретическая подготовка**

Биохимия – это химия живых объектов (клеток и организмов). Все живые объекты состоят из неживых молекул, которые подчиняются всем основным законам природы (законы сохранения массы и энергии, законы термодинамики). Живые объекты отличаются от неживых своей способностью к метаболизму и воспроизведению (с передачей генетической информации). Живой организм находится в постоянной взаимосвязи с окружающей его средой. Из внешней среды он получает необходимые для жизни питательные вещества, воду и кислород. Из поступающих извне веществ в организме образуются сложные биоорганические молекулы, принимающие участие в биохимических превращениях, в результате которых во внешнюю среду выделяются продукты распада. От характера и скорости процессов обмена веществ зависит рост и развитие живого организма, его способность противостоять внешним воздействиям, активно адаптироваться к новым условиям существования.

Биохимию принято подразделять на статическую, динамическую и функциональную. К функциональной биохимии относятся те области биохимических знаний, где изучаются особенности протекания биохимических процессов при различных функциональных состояниях организма (медицинская биохимия, биохимия питания и др.).

По своему химическому составу организмы сильно отличаются от окружающей среды, в которой они живут. Большинство химических компонентов живых организмов представляют собой органические соединения, в которых углерод находится в относительно восстановленной или гидрированной форме. Многие биомолекулы содержат азот. Органические соединения, входящие в состав живого, разнообразны, а большинство из них крайне сложны. Каждый вид организмов имеет свой собственный набор молекул белков и нуклеиновых кислот. В белках обнаружено всего 20 различных аминокислот, однако благодаря тому, что они соединены друг с другом в разной последовательности, они образуют огромное множество всевозможных белков. Нуклеиновые кислоты, подобно белкам, имеют длинные полимерные цепи и состоят всего из 8 строительных блоков – мононуклеотидов. При этом 20 аминокислот и 8 мононуклеотидов – одни и те же у всех организмов.

Функционирование живых систем основано на биохимических реакциях, протекающих как в клеточных и субклеточных структурах, так и в цитоплазме и в межклеточных жидкостях.

Обмен веществ и энергии является основным признаком всего живого. Живые организмы, в отличие от неживого, имеют постоянную связь с окружающей средой, в процессе которой осуществляется обмен веществ. Обмен веществ состоит из двух противоположных и взаимодополняющих процессов – ассимиляции (анаболизм) и диссимиляции (катаболизм). Таким образом, обмен веществ – это диалектическое единство комплекса противоположных процессов – питания и выделения, усвоения и разрушения, синтеза и распада.

Следует отметить, что обмен веществ осуществляется благодаря наличию в организме биологических катализаторов – ферментов. Регуляция же обменных процессов осуществляется под влиянием центральной нервной и эндокринной систем.

Все обменные процессы в организме тесно связаны с обменом и превращением энергии. Известно, что вещества, поступающие в организм с продуктами питания, обладают определенным запасом потенциальной энергии (свободная энергия). Следует различать соединения с нормальными связями в энергетическом от-

ношении (12,5 кДж/моль) и макроэргические, в которых при распаде или синтезе изменение свободной энергии составляет 25–50 кДж/моль. Макроэргические соединения (АТФ и другие) являются основным аккумулятором и донатором энергии в организме в процессе обмена веществ.

Аминокислоты – это строительные блоки макромолекул белков. В аминокислотах присутствует карбоксильная группа (-COOH), аминогруппа (-NH<sub>2</sub>), асимметричный атом углерода и боковая цепь (радикал R). Строением боковой цепи аминокислоты и отличаются друг от друга. Именно радикал придает аминокислотам большое разнообразие строения и свойств.

Классификация аминокислот (табл. 1) может проводиться в зависимости от какого-либо свойства или качества аминокислот:

1. В зависимости от положения аминогруппы по отношению к C<sup>2</sup> ( $\alpha$ -углеродный атом) на  $\alpha$ -аминокислоты,  $\beta$ -аминокислоты и др.

2. По абсолютной конфигурации молекулы на *L*- и *D*-стереоизомеры.

3. По оптической активности в отношении плоскости поляризованного света – на право- и левовращающие.

4. По участию аминокислот в синтезе белков – протеиногенные и непротеиногенные.

5. По строению бокового радикала – ароматические, алифатические, содержащие дополнительные COOH- и NH<sub>2</sub>-группы.

6. По кислотно-основным свойствам – нейтральные, кислые, основные.

7. По необходимости для организма – заменимые и незаменимые.

Среди многообразия аминокислот только 20 участвует во внутриклеточном синтезе белков (протеиногенные аминокислоты). Также в организме человека обнаружено еще около 40 непротеиногенных аминокислот. Все протеиногенные аминокислоты являются  $\alpha$ -аминокислотами.

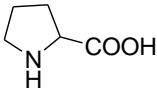
По строению бокового радикала выделяют:

– алифатические (аланин, валин, лейцин, изолейцин, пролин, глицин),

- ароматические (фенилаланин, тирозин, триптофан),
- серусодержащие (цистеин, метионин),
- содержащие OH-группу (серин, треонин, опять тирозин),
- содержащие дополнительную COOH-группу (аспарагиновая и глутаминовая кислоты),
- дополнительную NH<sub>2</sub>-группу (лизин, аргинин, гистидин, также глутамин, аспарагин).

Таблица 1

### Классификация протеиногенных аминокислот

Название	Структура	Сокращенное название
1	2	3
<b>1. Неполарные, или гидрофобные аминокислоты</b>		
<i>L</i> -Аланин ( $\alpha$ -аминопропионовая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Ала ( <i>Ala</i> )
<i>L</i> -Валин ( $\alpha$ -аминоизовалериановая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Вал ( <i>Val</i> )
<i>L</i> -Лейцин ( $\alpha$ -аминоизокапроновая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$	Лей ( <i>Leu</i> )
<i>L</i> -Изолейцин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -метилвалериановая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C} \quad \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_2 \end{array}$	Иле ( <i>Ile</i> )
<i>L</i> -Триптофан ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -индолилпропионовая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{Indole ring} \end{array}$	Три ( <i>Try</i> )
<i>L</i> -Пролин (пирролидин- $\alpha$ -карбоновая кислота)		Про ( <i>Pro</i> )

Продолжение табл. 1

1	2	3
<p><i>L</i>-Фенилаланин (<math>\alpha</math>-амино-<math>\beta</math>-фенилпропионовая кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	<p>Фен (<i>Phe</i>)</p>
<p><i>L</i>-Метионин (<math>\alpha</math>-амино-<math>\gamma</math>-метилтиомасляная кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{S} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	<p>Мет (<i>Met</i>)</p>
<b>2. Полярные (гидрофильные) незаряженные аминокислоты</b>		
<p>Глицин (аминоуксусная кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	<p>Гли (<i>Gly</i>)</p>
<p><i>L</i>-Серин (<math>\alpha</math>-амино-<math>\beta</math>-оксипропионовая кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	<p>Сер (<i>Ser</i>)</p>
<p><i>L</i>-Треонин (<math>\alpha</math>-амино-<math>\beta</math>-оксималяная кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	<p>Тре (<i>Thr</i>)</p>
<p><i>L</i>-Цистеин (<math>\alpha</math>-амино-<math>\beta</math>-тиопропионовая кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{SH} \end{array}$	<p>Цис (<i>Cys</i>)</p>
<p><i>L</i>-Тирозин (<math>\alpha</math>-амино-<math>\beta</math>-параоксифенилпропионовая кислота)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	<p>Тир (<i>Tyr</i>)</p>
<p><i>L</i>-Аспарагин (амид аспарагиновой кислоты)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	<p>Асн (<i>Asn</i>)</p>



Окончание табл. 1

1	2	3
L-Глутамин (амид глутаминовой кислоты)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Глн ( <i>Gln</i> )
<b>3. Отрицательно заряженные (кислые) аминокислоты</b>		
L-Аспарагиновая кислота ( $\alpha$ -аминоянтарная кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{COOH} \end{array}$	Асп ( <i>Asp</i> )
L-Глутаминовая кислота ( $\alpha$ -аминоглутаровая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{COOH} \end{array}$	Глу ( <i>Glu</i> )
<b>4. Положительно заряженные (основные) аминокислоты</b>		
L-Лизин ( $\alpha,\epsilon$ -диаминокапроновая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Лиз ( <i>Lys</i> )
L-Аргинин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -гуанидинвалериановая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{NH} \\   \\ \text{C}=\text{NH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Арг ( <i>Arg</i> )
L-Гистидин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -имидазолпропионовая кислота)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{Imidazole ring} \end{array}$	Гис ( <i>His</i> )

Белки – это высокомолекулярные азотсодержащие органические соединения. Кроме азота в состав всех белков входят углерод, водород, кислород, а также сера. В некоторых белках содержатся фосфор, железо, медь и цинк (и многие другие *d*-элементы). Молекулярная масса белков колеблется в широких пределах – от нескольких тысяч до сотен миллионов. Так, молекулярная масса миоглобина мышечной ткани составляет 16900, в то время как белок вирусов гриппа имеет молекулярную массу 332 млн.

Для белков характерно чрезвычайное разнообразие функций. Самую большую и наиболее важную по своему биологическому значению группу белков составляют ферменты. В настоящее время известно несколько тысяч различных ферментов, каждый из которых катализирует определённый тип химической реакции.

Белки являются основными структурными элементами живых организмов. Они входят в состав соединительной и костной тканей. К числу наиболее распространённых клеточных белков принадлежат белки мембран, которые в соединении с липидами образуют основу клеток.

Отдельные типы белков являются обязательными компонентами сократительных и двигательных систем. Например, актин и миозин – основные элементы сократительной системы мышц. Другие белки выполняют транспортную функцию. Они могут связывать и переносить с током крови определённые молекулы.

Веществами белковой природы являются многие гормоны, обладающие высокой биологической активностью. К ним относятся соматотропин – гормон передней доли гипофиза, который стимулирует рост, инсулин, секретируемый поджелудочной железой и регулирующий углеводный обмен в организме, и ряд других гормонов.

Белки выполняют в организме энергетическую функцию. За их счёт обеспечивается 10–15% энергии.

Среди множества различных белков, содержащихся в живых организмах, имеются белки особого типа, для которых впервые была показана их видовая специфичность. Эти белки называются антителами. Они вырабатываются в организме в ответ на появление чужеродного белка. Таким образом, белки выполняют защит-

ную функцию в организме. Они обеспечивают также свёртывание крови, наблюдаемое при повреждениях сосудов. Это обусловлено наличием в составе крови специфических белков – фибриногена и тромбина.

Различные яды, выделяемые бактериями и содержащиеся в некоторых растениях, а также змеиные яды представляют собой вещества белковой природы, выполняющие токсическую функцию.

В результате исследований, проведённых в начале XIX века, было установлено, что белки, обладая большой молекулярной массой, при кислотном гидролизе распадаются на более простые, низкомолекулярные органические соединения – аминокислоты, которые отличаются друг от друга по своему строению. В настоящее время известно свыше 150 аминокислот. Однако в качестве структурных элементов («структурных блоков») в составе белков обнаружено только 20 различных  $\alpha$ -аминокислот.

Следует подчеркнуть, что все белки, выполняющие столь разнообразные функции, в том числе и белки с высокой биологической активностью или токсическим действием, содержат один и тот же набор из 20 аминокислот, которые сами по себе не обладают ни присущей белку биологической активностью, ни токсичностью. Специфическую функцию белку придаёт его пространственная конфигурация, которая, в свою очередь, обусловлена определённой последовательностью аминокислот в белковой молекуле.

По биологическому значению (пищевой ценности) аминокислоты делятся на заменимые и незаменимые. Незаменимые аминокислоты не могут синтезироваться организмом из других соединений. Человек получает их только с пищей. Таких аминокислот восемь: из алифатических незамещённых – валин, лейцин, изолейцин; из алифатических замещённых – треонин, лизин, метионин; из ароматических – фенилаланин; из гетероциклических – триптофан. Две аминокислоты – аргинин и гистидин – незаменимые для детского организма, у взрослых в здоровом состоянии они синтезируются в необходимом количестве. Тирозин и цистеин являются условно заменимыми аминокислотами, т.к. источником их могут служить фенилаланин и метионин.

Высшие растения могут содержать все необходимые для белкового синтеза аминокислоты. В организме человека синтезируются только 12 из 20 аминокислот, поэтому они принадлежат к заменимым аминокислотам.

В белках есть и модифицированные аминокислоты. Химическая модификация обычно происходит уже после того, как исходная аминокислота попадает в состав белка. Один из примеров важной модификации – окисление двух SH-групп цистеиновых остатков с образованием аминокислоты цистина, которая содержит дисульфидную связь.

Благодаря пептидным связям образуются полипептидные цепи и, таким образом, формируется *первичная структура* белка. Пространственная организация белковой молекулы определяется в основном водородными, ионными связями, ван-дер-ваальсовыми силами, гидрофобными взаимодействиями. Водородные связи, возникающие между пептидными группами, определяют *вторичную структуру* белка. Формирование *третичной и четвертичной структуры* осуществляется водородными связями, образующимися между радикалами полярных аминокислот, ионными связями, ван-дер-ваальсовыми силами, гидрофобными взаимодействиями. Дисульфидные связи принимают участие в стабилизации третичной структуры.

При взаимодействии белка с отдельными химическими веществами возникают окрашенные продукты реакции. Образование их обусловлено наличием в молекуле белка той или иной аминокислоты или химической группировки. Поэтому так называемые «цветные реакции на белки» часто используют для установления белковой природы вещества, структуры полипептидной цепи и количественного определения в белке той или иной аминокислоты.

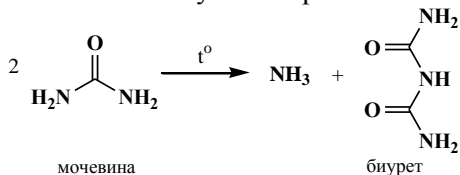
### **Лабораторная работа**

**Цель:** изучить аминокислоты как структурные элементы белков, способы установления белковой природы вещества, определения структуры полипептидной цепи.

**Задание 1. Биуретовая реакция (Пиотровского).** В две пробирки наливают по 1 мл в одну – 1%-ного раствора яичного

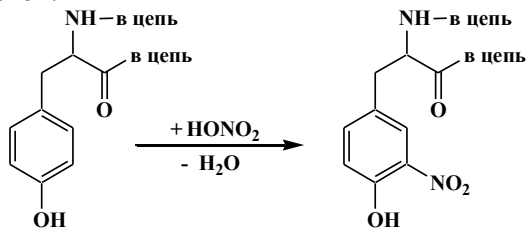
белка, в другую – 1%-ного раствора желатины. В обе пробирки доливают равный объём 10%-ного раствора NaOH и по 1–2 капли 1%-ного раствора CuSO<sub>4</sub>, смесь перемешивают. В обеих пробирках появляется устойчивое красно-фиолетовое (или сине-фиолетовое) окрашивание, свидетельствующее о наличии пептидных связей в молекуле белка.

Для сравнения можно провести ту же реакцию с биуретом, который легко может быть получен нагреванием мочевины:



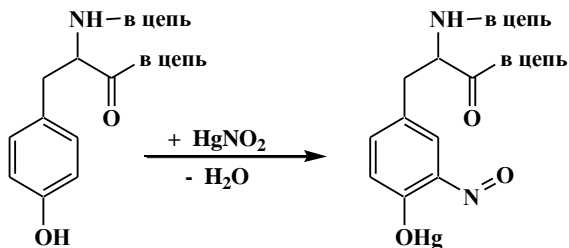
Для этого несколько кристалликов мочевины помещают в пробирку и осторожно прокалывают в пламени газовой горелки. По охлаждению приливают в пробирку 10%-ный раствор NaOH и добавляют несколько капель 1%-ного раствора CuSO<sub>4</sub>. После перемешивания развивается сине-фиолетовое окрашивание. И в том и в другом случае окраска вызвана образованием комплексного соединения.

**Задание 2. Ксантопротеиновая реакция.** В три пробирки наливают по 1 мл раствора белков: в первую – яичного, во вторую – пшеничного, в третью – желатины. Во все пробирки добавляют по 5–6 капель концентрированной HNO<sub>3</sub> и нагревают. В первой и второй пробирках жидкость и осадок окрашиваются в лимонно-жёлтый цвет, в третьей пробирке получается едва заметное бледно-жёлтое окрашивание. После охлаждения в каждую пробирку добавляют по каплям избыток концентрированного раствора аммиака или 30%-ного раствора NaOH. Окраска жидкости становится оранжевой.



Ксантопротеиновая реакция протекает только при наличии в белках остатков ароматических аминокислот (фенилаланина, тирозина, триптофана). Желатина, например, не содержащая ароматических аминокислот, не даёт ксантопротеиновой пробы. В результате реакции нитрования в ароматические кольца аминокислот образуются желтоокрашенные нитросоединения. Изменение жёлтой окраски в оранжевую в щелочной среде обусловлено появлением хромофорной группы (солей хиноидного строения).

**Задание 3. Реакция на тирозин (Миллона).** В три пробирки наливают по 0,5–1 мл раствора белков: в первую – яичного, во вторую – пшеничного, в третью – желатины, и в каждую пробирку прибавляют реактив Миллона. Белок свертывается под действием солей ртути и азотной кислоты, входящих в реактив, образуя сгусток белого цвета. При нагревании пробирок в пламени горелки в первых двух осадок приобретает кирпично-красное окрашивание, в пробирке с желатиной осадок растворяется и жидкость остаётся бесцветной. Реакцию Миллона дают все белки, содержащие в своём составе остаток тирозина. Белки, не содержащие тирозина (желатина, протамины и другие), реакцию Миллона не дают. Реактив Миллона представляет собой смесь нитратов и нитритов ртути (I и II), растворённых в концентрированной азотной кислоте. При взаимодействии его с фенольным ядром тирозина возникает нитрозотирозин, ртутное соединение которого окрашено в красный цвет.



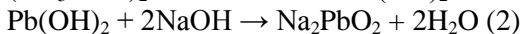
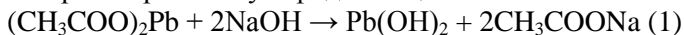
**Задание 4. Реакция Фоя на серусодержащие аминокислоты.** В три пробирки наливают по 0,5–1 мл растворов белков: в первую – яичного, во вторую – пшеничного, в третью – желатины, добавляют в каждую пробирку по 1 мл 30%-ного раствора щёлочи, кладут несколько «кипелок» и кипятят смесь. При этом выделяется

аммиак, который может быть обнаружен по запаху и посинению универсального индикатора (или «лакмусовой» бумажки), поднесённых к отверстию пробирки (не касаться стенки!). Образующийся незначительный осадок растворяется при кипячении.

Горячую щелочную жидкость каждой пробирки делят на две части: к первой порции приливают 5%-ный раствор ацетата свинца (II), ко второй – 2–3 капли свежеприготовленного разбавленного раствора нитропруссид натрия.

В пробирках с яичным и пшеничным белками образуется жёлто-бурое или чёрное окрашивание при действии ацетата свинца (II) и красно-фиолетовое окрашивание при действии нитропруссид натрия. В пробирке с раствором желатины осадка и окрашивания не образуется.

Под действием щелочей белки подвергаются частичному гидролизу по пептидным связям, превращаясь в щелочные альбуминаты. Наряду с этим наблюдается частичное дезаминирование (запах аммиака). При наличии в молекуле белка серусодержащих аминокислот постепенно отщепляется также и сера в виде иона  $S^{-2}$ . Его образование можно обнаружить с помощью ионов тяжёлых металлов, например, ионов свинца, образующих с ионами серы чёрный нерастворимый сульфид свинца.



Ион серы, образующийся из сероводорода в сильнощелочной среде, может быть открыт нитропруссидом натрия, являющимся реактивом на ион серы.

Результаты лабораторной работы рекомендуется записать в виде таблицы 2, сделать выводы, в которых указать, чем обусловлена та или иная цветная реакция и для чего она может быть использована.

Таблица 2

## Цветные реакции на белки

№ п/п	Наименование реакции	Материал для исследования	Применяемые реактивы	Наблюдаемое окрашивание	Чем обусловлена реакция*
1	2	3	4	5	6

---

\* В графе «Чем обусловлена реакция» рекомендуется приводить формулы тех аминокислот, присутствие которых в белках обуславливает данную реакцию.



*Продолжение табл. 2*

1	2	3	4	5	6

*Окончание табл. 2.*

1	2	3	4	5	6

**Выводы:**

---

---

---

---

---

**Дайте ответы на вопросы:**

1. Как связаны между собой аминокислоты в молекуле белка?

---

---

2. Записать формулу полипептида, состоящего из аланина, триптофана, глутаминовой кислоты, лизина и дать название:

## **ТЕМА 2. БЕЛКИ. КЛАССИФИКАЦИЯ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЛКОВ**

### **Основные теоретические вопросы**

Методы выделения и очистки белков из биологического материала. Молекулярная масса белков. Физико-химические свойства белков. Электрические свойства белковых молекул. Растворимость белков. Денатурация белка.

Классификация белков. Классификация по форме белковых молекул. Классификация по составу белковой молекулы. Классификация по функциям.

Характеристика основных классов простых белков. Характеристика основных классов сложных белков.

Реакции осаждения белков.

Обмен белков: динамическое состояние белков организма, факторы, определяющие состояние белкового обмена, нормы белка в питании, биологическая ценность белков, резервные белки, переваривание белков, всасывание продуктов распада белков, обмен аминокислот в тканях, обезвреживание аммиака в организме, специфические пути обмена некоторых аминокислот, патология азотистого обмена.

Биосинтез белков. Значение белков для полноценного питания.

### **Методические указания**

Изучение физико-химических свойств белков имеет большое значение. При изучении реакций осаждения белков следует ознакомиться с понятием денатурации, ее признаками, выяснить, какие физические и химические факторы ее вызывают, как процесс денатурации сказывается на физико-химических и биологических свойствах белков. Для этого необходимо раскрыть взаимозависимость между явлением денатурации, величиной молекулой массы и структурой белковой макромолекулы.

Логическим продолжением изучения физико-химических свойств белков является рассмотрение классификации простых белков, основанной на некоторых их физико-химических свойст-

вах. Характеристику основных классов простых белков рекомендуется давать по плану:

1. Растворимость в условно выбранных растворителях (вода, солевые и водно-спиртовые смеси).
2. Молекулярная масса.
3. Особенности аминокислотного состава.
4. Кислотно-основная характеристика.
5. Осаждение белков.
6. Отношение к нагреванию и гидролизу.
7. Важнейшие представители и функции в организме.

Сложными белками называются белки, которые, кроме белковой части, содержат небелковый компонент, называемый простетической группой (от греч. *prosteto* – присоединяю, дополняю). Следует отметить, что простетическая группа в значительной мере определяет характер структуры и биологическое действие белка.

Характеризуя перечисленные выше классы белков, следует указать химическую природу простетической группы и характер её связи с белковой частью, рассмотреть особенности аминокислотного состава или строения белковой компоненты, дать кислотно-основную характеристику, отметить реакции осаждения, важнейших представителей и их биологическую роль.

Обмен белков является центральным звеном всех биохимических процессов, которые лежат в основе жизни. Поэтому изучение молекулярных механизмов превращения белков раскрывает важные закономерности, лежащие в основе всего обмена веществ, а также формирования структуры и функций организма.

Изучать белковый обмен необходимо после изучения строения и свойств белков и аминокислот.

Процесс обмена белков включает такие основные звенья, как переваривание, всасывание и внутриклеточный обмен. При этом следует указать, что это только основные звенья, каждое из которых складывается из целого ряда биохимических процессов.

Для более глубокого понимания многих вопросов белкового питания необходимо иметь четкое представление о заменимых и незаменимых аминокислотах, полноценных и неполноценных белках, азотистом балансе, физиологическом минимуме и суточных

нормах белка в питании, белковых «резервах», скорости и глубине обновления белков в различных органах и тканях.

Изучая процессы гниения белков в толстом кишечнике, важно подчеркнуть, что в результате их протекания практически не образуется питательных веществ для организма человека, а наоборот накапливаются токсические вещества, которые частично всасываются в кровь и обезвреживаются в печени путем синтеза парных соединений с активными формами серной и глюкуроновой кислот, а также с глицином. Наиболее активно гнилоственному разложению подвергаются циклические аминокислоты (фенилаланин, тирозин, триптофан), диаминомонокарбоновые (аргинин, лизин, орнитин) и серусодержащие аминокислоты.

Усвоение раздела «Биосинтез белков» является очень важным, поскольку основным условием существования живой материи является процесс самообновления ее состава и в первую очередь белка. Кроме того, учение о закономерностях биосинтеза белков и специфичности этого процесса тесно связано с такими важными проблемами, как наследственность, изменчивость, естественный отбор, выведение новых форм растительных и животных организмов, и с разработкой методов управления жизненными процессами, особенно обменом веществ.

При изучении обмена белков должно сложиться ясное представление, что ДНК, РНК и белок составляют единую взаимосвязанную систему. Нуклеиновые кислоты принимают участие в биосинтезе белков и определяют их специфичность, а белки, в частности белки-ферменты, катализируют биосинтез нуклеиновых кислот. Важно отметить, что биосинтез белков является саморегулирующим процессом.

### **Теоретическая подготовка**

Белки – наиболее важные компоненты питания (табл. 3). Способность белка выполнять функцию питания характеризует его биологическую ценность. Эффективность употребления белковых веществ человеком определяется двумя основными факторами – сбалансированностью содержания незаменимых аминокислот в белке и его усвояемостью. Если не удовлетворяется потребность

хотя бы в одной из незаменимых аминокислот, то ограничивается использование других, и, значит, снижается ценность белка в целом. Незаменимая аминокислота, которая находится в белке в минимальном количестве, называется лимитирующей аминокислотой, т.к. она наибольшей мерой уменьшает биологическую ценность данного белка.

*Таблица 3*

**Содержание белка в основных пищевых продуктах**

Продукт	Белок, г/100г	Продукт	Белок, г/100г
Говядина	18,6–20,0	Грибы сушеные	20,1
Баранина	15,6–19,8	Орех фундук	16,1
Свинина мясная	14,3	Мука пшеничная	10,6
Печень говяжья	17,9	Мука ржаная сеянная	6,9
Куриное мясо	18,2–21,2	Крупа манная	10,3
Яйца куриные	12,7	Крупа гречневая	12,3
Колбаса варенная (высший сорт)	12,2	Крупа рисовая	7,0
Сервелат	24,0	Хлеб пшеничный	7,6–8,1
Молоко	2,8	Хлеб ржаной	4,7–7,0
Сыр нежирный	18,0	Макароны	10,4–11,8
Сыры (твердые)	19,0–31,0	Капуста белокочанная	1,8
Масло сливочное	0,5	Морковь	1,3
Картофель	2,0	Свекла	1,5
Горох	20,5	Яблоки	0,4
Фасоль	21,0	Груши	0,4

Существуют несколько подходов к классификации белков: по форме белковой молекулы, по составу белка, по функциям.

**По форме белковых молекул** различают *фибриллярные* и *глобулярные* белки.

Фибриллярные белки представляют собой длинные нитевидные молекулы, полипептидные цепи которых вытянуты вдоль одной оси и скреплены друг с другом поперечными сшивками. Эти белки отличаются высокой механической прочностью, нерастворимы в воде. Они выполняют главным образом структурные функции: входят в состав сухожилий и связок (коллаген, эластин), образуют волокна шелка и паутины (фиброин), волосы, ногти, перья (кератин).

В глобулярных белках одна или несколько полипептидных цепей свернуты в плотную компактную структуру – клубок. Эти белки, как правило, хорошо растворимы в воде. Благодаря им осуществляются многие биологические процессы.

**Белки по составу** можно разделить на две группы: *простые* и *сложные* белки. Простые белки состоят только из аминокислотных остатков и не содержат других химических составляющих. Сложные белки, помимо полипептидных цепей, содержат другие химические компоненты.

К простым белкам относятся РНКазы и многие другие ферменты. Фибриллярные белки коллаген, кератин, эластин по своему составу являются простыми. Запасные белки растений, содержащиеся в семенах злаков, – *глутелины*, и *гистоны* – белки, формирующие структуру хроматина, принадлежат также к простым белкам.

Среди сложных белков различают *металлопротеины*, *хромопротеины*, *фосфопротеины*, *гликопротеины*, *липопротеины* и др.

К **металлопротеинам** относят белки, в составе которых имеются ионы металлов. В их молекулах встречаются такие металлы, как медь, железо, цинк, молибден, марганец и др. Некоторые ферменты по своей природе являются металлопротеинами.

В составе **хромопротеинов** в качестве простетической группы присутствуют окрашенные соединения. Типичными хромопротеинами являются зрительный белок родопсин, принимающий уча-

ствие в процессе восприятие света, и белок крови гемоглобин (Hb). В состав гемоглобина входит *гем*, представляющий собой плоскую молекулу, в центре которой расположен ион  $Fe^{2+}$ . При взаимодействии гемоглобина с кислородом образуется *оксигемоглобин*. В альвеолах легких гемоглобин насыщается кислородом. В тканях, где содержание кислорода незначительно, *оксигемоглобин* распадается с выделением кислорода, который используется клетками.

**Фосфопротеины** в своем составе содержат остатки фосфорной кислоты, связанные с гидроксильной группой аминокислотных остатков сложноэфирной связью.

К **липопротеинам** относятся белки, содержащие ковалентно связанные липиды. Эти белки встречаются в составе клеточных мембран. Липидный (гидрофобный) компонент удерживает белок в мембране.

**Гликопротеины** содержат в качестве протетической группы ковалентно связанный углеводный компонент. Гликопротеины разделяют на *истинные гликопротеины* и *протеогликаны*. Углеводные группировки истинных гликопротеинов содержат обычно до 15–20 моносахаридных компонентов, у протеогликанов они построены из очень большого числа моносахаридных остатков.

В состав белков входят разнообразные аминокислотные радикалы, поэтому белки вступают во взаимодействие со многими соединениями (кислотами, ионами металлов, спиртами и т.д.), а также конкурируют с ними за молекулы растворителя (воды). Во многих случаях результатом указанных процессов является выпадение белков в осадок.

Пути метаболизма аминокислот в клетках характеризуются большой сложностью и разветвленностью. Главными закономерностями в обмене аминокислот являются: использование аминокислот пищи для биосинтеза специфических для данного организма белков; превращение аминокислот до конечных продуктов; специфические пути обмена отдельных аминокислот и их групп с образованием различных биологически активных веществ; использование продуктов обмена аминокислот (азотистых и безазотистых) для биосинтеза других соединений.



Выделяют три типа реакций аминокислот в организме: по  $\alpha$ -аминогруппе, карбоксильной группе и радикалу аминокислоты (взаимопревращения аминокислот).

Реакции по  $\alpha$ -аминогруппе однотипны у всех аминокислот, это в основном реакции дезаминирования и переаминирования. Дезаминирование может осуществляться четырьмя путями – окислительным, восстановительным, гидролитическим и внутримолекулярным. Преобладающим является окислительное дезаминирование.

Переаминирование (трансаминирование) является одним из важнейших путей превращения аминокислот в тканях живых организмов и заключается в обратимом переносе аминогрупп от  $\alpha$ -аминокислот на  $\alpha$ -кетокислоты без промежуточного освобождения аммиака.

Реакции по карбоксильной группе аминокислот представлены их декарбоксилированием. Однако в организме человека процесс декарбоксилирования аминокислот относительно ограничен и его значение заключается в том, что образующиеся при этом амины и их производные являются биологически активными веществами, играющими важную роль в регуляции обмена и функций, в том числе центральной нервной системы.

В результате превращения аминокислот по функциональным группам и радикалам образуются аммиак, оксид углерода (IV), карбоновые кислоты, кетокислоты, амины (диамины) и другие вещества. Все они, за исключением  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ , подвергаются дальнейшей деструкции. Амины (диамины) путем окислительного дезаминирования при участии моноамино(диамино)оксидаз превращаются в карбоновые кислоты. Карбоновые кислоты и кетокислоты подвергаются  $\beta$ -окислению и в цикле Кребса расщепляются до конечных продуктов –  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ . Вода поступает в общий метаболический фонд, оксид углерода (IV) беспрепятственно выводится из организма, аммиак обезвреживается в печени путем синтеза мочевины.

Репродукция белков у всех организмов происходит по принципу матричного синтеза с обязательным участием нуклеиновых

кислот. Это одна из важных особенностей биологического обмена веществ.

Под матричным синтезом подразумевают процесс воспроизводства белков и нуклеиновых кислот в точном соответствии с программой, заложенной в структуре молекулы предшественника. Роль такого предшественника и хранителя генетической информации играет ДНК. Именно в последовательности нуклеотидов ДНК запрограммирована соответствующая информация, т.е. как бы составлена соответствующая матрица, согласно которой синтезируется специфический белок.

Биосинтез белка имеет ступенчатый (постадийный) характер и осуществляется одновременно с синтезом иРНК, тРНК и рРНК, необходимых для белкового синтеза.

### Лабораторная работа

**Цель:** изучить классификацию белков, их физико-химические свойства.

**Задание 1. Высаливание белков сульфатом аммония.** Наливают в пробирку 1–1,5 мл солевого раствора яичного белка, добавляют равный объём насыщенного раствора сульфата аммония (образуется полунасыщенный раствор) и слегка встряхивают смесь. Появляется муть от выпадающего осадка глобулинов. Мутную жидкость фильтруют через сухой складчатый фильтр и к фильтрату добавляют при перемешивании избыток  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в порошке до прекращения его растворения (образуется насыщенный раствор). Появляется муть или хлопья выпадающего в осадок альбумина. Снова отфильтровывают осадок, с фильтратом и растворенным в воде осадком альбумина проделывают биуретовую реакцию (тема 1). В выводах указывают причины выпадения в осадок белков при действии солей высокой концентрации, а также особенности этого процесса у различных белков.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Задание 2. Осаждение белков при нагревании.** В пять пробирок наливают по 2 мл раствора белка.

№ 1. Нагревают содержимое первой пробирки. Осадок появляется ещё до того, как жидкость закипает.

№ 2. Добавляют во вторую пробирку одну каплю 1%-ного раствора уксусной кислоты ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и нагревают. Хлопьевидный осадок выпадает быстрее и полнее.

№ 3. Добавляют в третью пробирку около 0,5 мл 10%-ного раствора уксусной кислоты и нагревают. Осадок белка не образуется даже при кипячении.

№ 4. Добавляют в четвертую пробирку около 0,5 мл 10%-ного раствора уксусной кислоты, несколько капель насыщенного раствора хлорида натрия и нагревают. Образуется осадок белка.

№ 5. Добавляют в пятую пробирку около 0,5 мл раствора  $\text{NaOH}$  и нагревают. Осадок белка не образуется даже при кипячении.

Выпадение белков в осадок при нагревании – свёртывание – характерно почти для всех белков (исключение составляет желатина). Особенно легко и более полно происходит осаждение белка в слабокислой среде, вблизи от изоэлектрической точки. В нейтральной и кислой средах осаждение идёт значительно хуже, а в щелочной среде вовсе не наблюдается.

Добавление к раствору белка нейтральных солей ( $\text{NaCl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) облегчает и ускоряет свёртывание белков при кипячении вследствие наступающего дегидратирования (обезвоживания) белковых частиц. В отличие от осаждения солями свёртывание белков при нагревании (денатурация) необратимо.

Результаты работы по осаждению белка при нагревании зафиксировать в таблице 4:

**Осаждение белков при нагревании**

Нейтральная среда	Слабокислая среда (1% $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	Кислая среда (10% $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	Кислая среда + электролит (10% $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaCl}$ )	Щелочная среда (10% $\text{NaOH}$ )
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5

**Задание 3. Осаждение белков концентрированными минеральными кислотами.** В три пробирки наливают по 1–2 мл концентрированной азотной, серной и соляной кислот. Затем, наклонив каждую пробирку, осторожно по стенке приливают в неё из пипетки по 0,5 мл исследуемого раствора белка так, чтобы он не смешивался с кислотой. В месте соприкосновения двух жидкостей появляется белый аморфный осадок белка. При встряхивании осадок, выпавший при действии азотной кислоты, увеличивается, а осадки, выпавшие при действии соляной и серной кислот, растворяются в их избытке.

Концентрированные минеральные кислоты вызывают необратимое осаждение белков. Это связано как с дегидратацией белковых молекул, так и с денатурацией белка. Длительное воздействие избытка серной и соляной кислот приводит к частичному гидролизу белка и растворению осадка. В азотной кислоте растворение осадка происходит значительно медленнее.

**Задание 4. Осаждение белков органическими кислотами.** В две пробирки наливают по 2–3 мл раствора белка и добавляют в одну из них несколько капель 5%-ного раствора трихлоруксусной

кислоты ( $\text{CCl}_3\text{COOH}$ ), в другую – несколько капель 20%-ного раствора сульфосалициловой кислоты. В обоих случаях наблюдается выпадение осадка белка. Сульфосалициловая и трихлоруксусная кислоты являются чувствительными и специфичными реактивами на белок. Трихлоруксусная кислота в отличие от сульфосалициловой осаждает только белки и не осаждает продукты распада белка и аминокислоты, поэтому ею пользуются для полного удаления белков из биологических жидкостей (например, сыворотки крови). В этих условиях продукты распада белков остаются в растворе.

**Задание 5. Осаждение белков солями тяжёлых металлов.**

В две пробирки наливают 1–1,5 мл исследуемого раствора белка и медленно, по каплям при встряхивании прибавляют в одну из них раствор  $\text{CuSO}_4$ , а в другую – раствор ацетата свинца (II) ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub>Pb). Выпадает хлопьевидный осадок вследствие образования малорастворимого солеобразного соединения (с солью меди – голубого цвета). При избытке реактива осадок растворяется (почему?).

Соли тяжёлых металлов (Hg, Ag, Cu, Pb и др.) вызывают необратимое осаждение белков, образуя с ними нерастворимые в воде соединения. Поэтому белки применяют в качестве противоядия при отравлениях солями тяжёлых металлов.

Но некоторые из таких осадков (например, с солями меди, свинца, цинка) растворяются в избытке осадителя вследствие адсорбции ионов поверхностью денатурированных белковых частиц, в результате этого белковые частицы приобретают заряд и вновь растворяются. Растворение осадков денатурированных белков в избытке солей тяжёлых металлов называется адсорбционной пептизацией.

**Задание 6. Осаждение белков органическими растворителями.** В две пробирки, содержащие по 0,5 мл раствора белка, добавляют: в первую – 2 мл 96%-ного этилового спирта, во вторую – 2 мл ацетона. Раствор белка мутнеет. Добавляют в обе пробирки по капле насыщенного раствора хлорида натрия. При стоянии выпадает осадок белка.

Реакция обусловлена обезвоживанием коллоидных частиц белка. Осаждение наступает только из нейтральных или слабокис-

лых растворов и лучше в присутствии электролитов, например, хлорида натрия. Кратковременное воздействие органических растворителей при низкой температуре от 0 °С до -15 °С сохраняет белок в нативном состоянии, длительное воздействие приводит к денатурации белка.

Результаты работы по осаждению белка различными реактивами фиксируют в таблице 5:

*Таблица 5*

**Реакции осаждения белка**

№ п/п	Название группы веществ, осаждающих белки	Используемые реактивы	Характер и цвет осадка	Чем обусловлена реакция и её особенности?
1	2	3	4	5

*Окончание табл. 5*

1	2	3	4	5

**Выводы:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Дайте ответы на вопросы:**

1. От чего зависит заряд белка в водном растворе? Назовите белки кислого и основного характера.

---

---

---

---

---

---

2. Чем обусловлены реакции осаждения белка?

---

---

---

---

---

---

---

3. Что такое диализ и для каких целей его применяют?

---

---

---

---

---

---

---

**Тесты для самостоятельного контроля знаний**

1. Какие соединения являются мономерами молекул белка (глюкоза, глицерин, жирные кислоты, аминокислоты)?

2. Сколько из известных аминокислот участвуют в биосинтезе белков (20, 22, 34)?

3. Какая часть молекул аминокислот отличает их друг от друга (радикал, аминогруппа, карбоксильная группа); что является общим для всех аминокислот (радикал, аминогруппа, карбоксильная группа)?



4. Посредством какой химической связи соединены между собой аминокислоты в молекуле белка первичной структуры (дисульфидная, пептидная, водородная)?

5. В каких органеллах клетки синтезируются белки (хлоропласты, рибосомы, митохондрии, эндоплазматическая сеть)?

6. Где находятся рибосомы (хлоропласты, митохондрии, мембраны эндоплазматической сети, матрикс цитоплазмы)?

7. Для какой структуры молекулы белка характерно образование глобулы (первичная, вторичная, третичная, четвертичная)?

8. Какие структуры молекул белка способны нарушаться при осаждении белка, а затем вновь восстанавливаться (первичная, вторичная, третичная, четвертичная)?

9. Какие белки расщепляются в клетках человека при диссимиляции (растительные, животные, собственные белки человека)?

10. Какие соединения могут откладываться в запас в организме человека (белки, жиры, углеводы)?

11. Какая структурная единица ответственна за синтез определенной молекулы белка (молекула ДНК, нуклеотид, триплет, ген)?

12. Сколько энергии освобождается при расщеплении 1 г белка (17,6 кДж, 38,9 кДж)?

13. Что образуется в рибосоме в процессе биосинтеза белка (белок третичной структуры, белок вторичной структуры, полипептидная цепь)?

14. Каковы главнейшие функции белков (строительная, каталитическая, двигательная, транспортная, защитная, энергетическая)?

### **ТЕМА 3. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ**

#### **Основные теоретические вопросы**

Общая характеристика нуклеиновых кислот. Методы их выделения. Химический состав нуклеиновых кислот. Структура нуклеиновых кислот. Физико-химические свойства нуклеиновых кислот. Обмен нуклеиновых кислот. Биосинтез ДНК и РНК. Биологическая роль нуклеиновых кислот.

### **Методические указания**

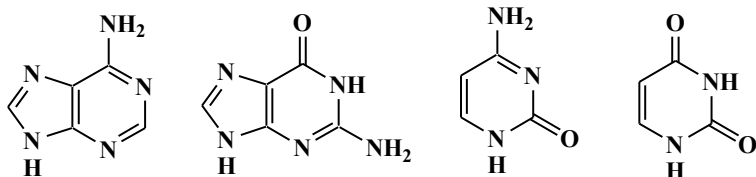
Подробного рассмотрения требуют сложные белки нуклеопротеиды, что обусловлено важнейшей ролью их простетической группы – нуклеиновых кислот – в жизнедеятельности организмов (деление клеток, хранение и передача наследственных признаков, биосинтез белков). Изучение строения нуклеиновых кислот следует начинать с рассмотрения строения структурных компонентов нуклеиновых кислот (пиримидиновые и пуриновые основания, пентозы, фосфорная кислота), характера и порядка их связи в мононуклеотидах. Нуклеотиды, соединяясь между собой, образуют полинуклеотиды, т.е. нуклеиновые кислоты. Соединение нуклеотидных остатков в молекулах РНК и ДНК осуществляется одним и тем же путем: третий атом углерода пентозы одного нуклеотида соединяется сложноэфирной (фосфодиэфирной) связью с пятым углеродным атомом пентозы другого нуклеотида. Следует подчеркнуть, что моно- и динуклеотиды представляют большой интерес не только как структурные элементы нуклеиновых кислот, но также как универсальные донаторы и акцепторы энергии в организме (АТФ) и необходимые компоненты простетических групп ферментов, обуславливающие их каталитическое действие (НАД, НАДФ, ФАД).

Важное значение имеет также выяснение сущности принципа комплементарности азотистых оснований, лежащего в основе вторичной структуры ДНК, процессов транскрипции. Биосинтез белков и биосинтез нуклеиновых кислот следует рассматривать в их взаимосвязи.

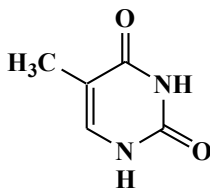
### **Теоретическая подготовка**

Нуклеиновые кислоты наряду с белками играют очень важную роль в жизнедеятельности организмов, поэтому их изучение имеет чрезвычайно большое значение. В зависимости от химического состава, строения и биологической роли нуклеиновые кислоты (НК) делят на две группы: рибонуклеиновые кислоты (РНК) и дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК). Рибонуклеиновые кислоты (полинуклеотиды) построены из нуклеотидов, состоящих из

остатка фосфорной кислоты, рибозы и азотистых оснований – аденина, гуанина, цитозина и урацила соответственно:



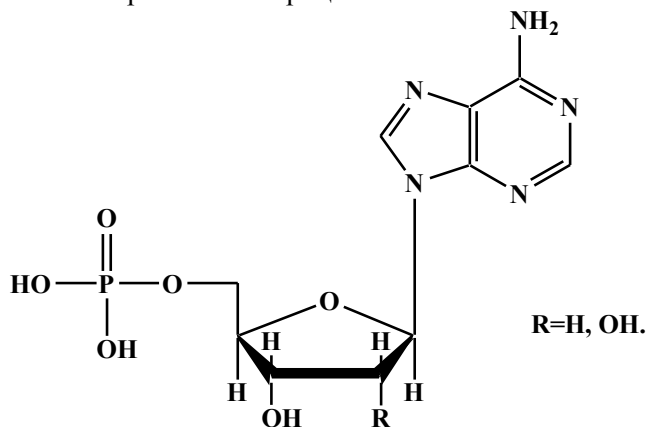
В состав дезоксирибонуклеиновых кислот входят нуклеотиды, у которых углеводный компонент – дезоксирибоза, азотистые основания – аденин, гуанин, цитозин, а вместо урацила – тимин:



Таким образом, ДНК и РНК отличаются по химическому составу. Нуклеотиды, соединяясь между собой, образуют полинуклеотиды, т.е. нуклеиновые кислоты. В состав НК входят сотни и тысячи отдельных нуклеотидов. Как в молекулах ДНК, так и РНК они соединяются между собой так: остаток фосфорной кислоты у пятого углеродного атома пентозы с одного нуклеотида соединяется сложноэфирной связью с третьим углеродным атомом пентозы второго нуклеотида.

Нуклеиновые кислоты имеют очень большую молекулярную массу, особенно молекулы ДНК. Для различных ДНК молекулярная масса колеблется от 1,5 до 200 млн.; РНК по сравнению с ДНК имеют более низкую молекулярную массу. По этому признаку их делят на низкомолекулярные и высокомолекулярные РНК (первые имеют молекулярный вес от 18 до 35 тыс.; вторые – от 500 тыс. до 1,5 млн.). К низкомолекулярным РНК относят растворимую, её ещё называют транспортной РНК (тРНК). Высокомолекулярные РНК – это информационная или матричная (иРНК или мРНК), рибосомальная или структурная (рРНК) и вирусная РНК. Нуклеиновые

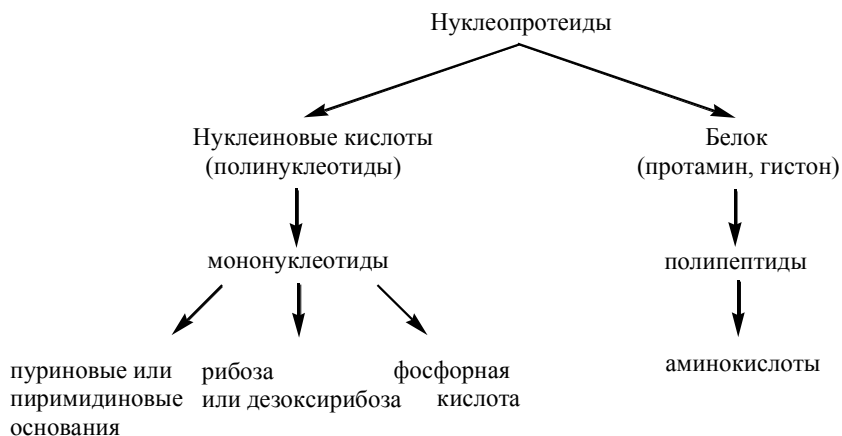
кислоты в организме выполняют разнообразные функции, но наиболее важные из них – участие нуклеиновых кислот в передаче наследственных признаков и процессах биосинтеза белка.



Пример нуклеотида (аденилового)

Для изучения химического состава нуклеопротеидов проводят гидролиз дрожжей, которые берут в качестве источника, богатого нуклеопротеидами. Одним из простейших способов гидролиза рибонуклеопротеидов является нагревание их в течение 1 часа при 100 °С в 10%-ном растворе  $H_2SO_4$ . Прежде всего происходит расщепление нуклеопротеидов на белки и нуклеиновые кислоты. Далее белки гидролизуются до аминокислот, но в этих условиях гидролиз белка будет незначителен. Рибонуклеиновые кислоты в этих условиях расщепляются с образованием пиримидиновых нуклеотидов (азотистое основание + пентоза + фосфат), пуриновые же нуклеотиды распадаются до пуринов, рибозы и фосфорной кислоты.

## Схема полного гидролиза нуклеопротеидов:



Первичная структура нуклеиновых кислот представляет собой порядок чередования нуклеотидов в полинуклеотидной цепи. Нуклеотиды в молекулах ДНК и РНК связаны друг с другом фосфодиэфирными мостиками между 3'- и 5' – углеродными атомами остатков пентоз.

ДНК состоит из двух цепей, закрученных в правую двойную спираль. При этом цепи располагаются антипараллельно, т.е. они ориентированы во взаимно противоположных направлениях. Плоские молекулы азотистых оснований расположены перпендикулярно оси двойной спирали. На внешней стороне двойной спирали расположены остатки дезоксирибозы и фосфорной кислоты. Цепи ДНК связаны друг с другом водородными связями, которые образуются между гуанином одной цепи и цитозином другой цепи, а также между тиминном и аденином, расположенными в разных цепях. При этом между тиминном и аденином образуются две водородные связи, а между гуанином и цитозином – три водородные связи. Способность гуанина взаимодействовать в молекуле ДНК только с цитозином, а аденина – только с тиминном называют комплементарностью.

## Лабораторная работа

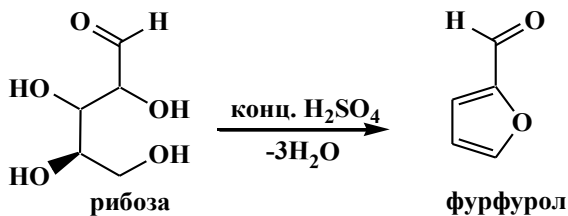
**Цель:** изучить химический состав нуклеиновых кислот.

**Задание 1. Проведение гидролиза нуклеопротеидов.** Гидролитическое расщепление нуклеопротеидов можно производить без выделения их из дрожжей. Отвешивают 1 г прессованных дрожжей, переносят навеску в круглодонную колбу, вливают 20 мл 10%-ного раствора серной кислоты. Колбу закрывают пробкой с воздушным холодильником (трубка длиной 50–70 см и диаметром 0,7–0,8 см) и смесь кипятят на водяной бане в течение 1 часа, после чего колбу охлаждают, содержимое её фильтруют через бумажный фильтр. В фильтрате определяют наличие белков, пентозы, пуриновых оснований и фосфорной кислоты. (Гидролизат готовят дежурный перед занятием под руководством лаборанта).

**Задание 2. Открытие белка и полипептидов.** С частью гидролизата (1–2 мл) прodelьвают биуретовую реакцию (обратить внимание, что гидролизат очень кислый, биуретовая реакция проходит в щелочной среде).

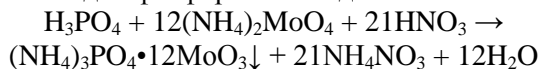
**Задание 3. Открытие пуриновых оснований.** К 2 мл гидролизата добавляют концентрированный раствор аммиака до щелочной реакции на лакмус и приливают 1 мл 1%-ного раствора  $\text{AgNO}_3$ . Через несколько минут выпадает бурый осадок серебряных солей пуриновых оснований.

**Задание 4. Открытие пентоз (сахаров).** Открытие пентозы основано на реакции с тимолом и концентрированной серной кислотой. Серная кислота вызывает дегидратацию пентозы и образование фурфурола, который с тимолом даёт соединения красного цвета (продукты конденсации). К 1 мл гидролизата добавляют 2–3 капли 1%-ного спиртового раствора тимола и по стенке пробирки осторожно наливают 1 мл концентрированной серной кислоты. Жидкость окрашивается в красный цвет. Окраска более выражена на границе раздела слоёв. Пентозы можно обнаружить также с помощью реакций с флороглюцином или фелинговой жидкостью.

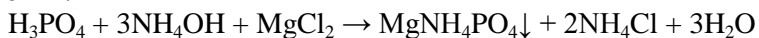


**Задание 4. Открытие фосфорной кислоты.** Фосфорную кислоту обнаруживают с помощью молибдата аммония или магниезальной смеси.

а) к 2 мл раствора молибдата аммония в азотной кислоте прибавляют 1 мл гидролизата. Смесь слегка нагревают. Образуется желто-зеленый осадок фосфорномолибденовокислого аммония.



б) к 2 мл гидролизата постепенно прибавляют концентрированный раствор аммиака до резкого запаха, после чего добавляют равный объём магниезальной смеси. Образуется кристаллический осадок (при потирании стеклянной палочкой) фосфата магний-аммония.



Выводы:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Дайте ответы на вопросы:**

1. В чем отличие сложных белков от простых?

---

---

---

---

---

---

2. Какие белки входят в состав нуклеопротеидов и какова их особенность?

---

---

---

---

---

---

3. В чём отличие ДНК от РНК? Дать развёрнутый ответ по схеме: состав → строение → функции.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Тесты для самостоятельного контроля знаний**

1. Какова функция нуклеиновых кислот в клетке (хранение и передача наследственных свойств, контроль за синтезом белка, регуляция биохимических процессов, деление клеток)?

2. Что представляет собой мономер нуклеиновых кислот (аминокислота, нуклеотид, нуклеозид, молекула белка)?

3. Что входит в состав нуклеотида (аминокислота, азотистое основание, остаток фосфорной кислоты, углевод)?

4. К каким веществам относится рибоза (белок, липид, углевод)?



5. Какие вещества входят в состав нуклеотидов ДНК (аденин, гуанин, цитозин, урацил, тимин, фосфорная кислота, рибоза, дезоксирибоза)?

6. Какую спираль представляет собой молекула ДНК (одинарная, двойная)?

7. Чему соответствует информация одного триплета ДНК (аминокислота, белок, ген)?

8. С какой из структур ядра связано образование всех видов РНК (ядерная оболочка, ядрышко, хромосомы, ядерный сок)?

9. Какая из структур ядра содержит информацию о синтезе одного белка (молекула ДНК, ген, нуклеотид, триплет нуклеотидов)?

10. Когда происходит самоудвоение молекулы ДНК (интерфаза, профаза, метафаза)?

11. Какая из нуклеиновых кислот имеет наибольшую длину и молекулярную массу (ДНК, иРНК, тРНК, рРНК)?

## **ТЕМА 4. ФЕРМЕНТЫ**

### **Основные теоретические вопросы**

Общие представления о ферментах. Сходства и различия ферментов с небелковыми катализаторами. Строение ферментов. Свойства ферментов. Номенклатура и классификация ферментов.

Кинетика ферментативных реакций. Влияние температуры, рН на скорость ферментативной реакции. Регуляция активности ферментов. Механизм действия ферментов. Функции ферментов.

### **Методические указания**

Тема «Ферменты» – один из важнейших разделов биохимии, т.к. они являются биологическими катализаторами процессов обмена веществ. При рассмотрении темы необходимо изучить строение, свойства, функции и механизм действия ферментов. Необходимо запомнить, что они относятся к простым или сложным белкам. Это обуславливает их физико-химические свойства и ряд их существенных отличий от неорганических катализаторов. Классифицируют ферменты согласно типу катализируемой реакции.

При изучении этого раздела особое внимание следует уделить вопросам, связанным с химической природой и механизмом (в общих чертах) действия ферментов. Кроме того, необходимо усвоить материал, который касается свойств ферментов, их классификации, номенклатуры, характеристики отдельных групп ферментов.

При изучении механизма химической реакции, катализируемой ферментами, обратить внимание не только на определение промежуточных и конечных продуктов и выяснение отдельных стадий реакции, но и природу тех функциональных групп в молекуле фермента, которые обеспечивают специфичность действия фермента на данный субстрат (субстраты) и высокую каталитическую активность.

### **Теоретическая подготовка**

В основе всех процессов жизнедеятельности организма лежат тысячи химических реакций, которые катализируются особыми белками – ферментами (энзимами). Название «фермент» происходит от лат. *fermentum* (закваска); другой термин «энзим» – от греч. *en* – в середине, *zyme* – дрожжи. Именно с процессов брожения начинается наука о ферментах.

Благодаря ферментам в живых организмах происходят такие дивные превращения, которые в других условиях не всегда возможны даже при условии использования наиболее современных достижений науки и техники. Так, например, для расщепления молекул пероксида водорода на молекулярный кислород и воду в присутствии железа необходимо 300 лет, тогда как фермент каталаза осуществляет этот процесс в живой клетке за одну секунду.

Ферменты характеризуются очень высокой активностью. Ферментативная реакция происходит в  $10^6$ – $10^{12}$  раз быстрее, чем спонтанная реакция в водном растворе, которая не катализируется. В живых организмах в присутствии ферментов за доли секунд могут происходить сложные упорядоченные во времени и пространстве реакции, для проведения которых в лабораторных условиях необходимы были бы дни, недели и даже месяцы. Так, 1 г пепсина, фермента желудочного сока, который катализирует переваривание белков, за 1 час может гидролизовать 100 кг яичного белка.

Реакции, которые катализируются ферментами, в отличие от многих химических реакций органических веществ, осуществляемых в лабораторных условиях, протекают без образования побочных продуктов, почти со 100%-ным выходом.

Ферменты в клетке жестко локализованы. Четкое соответствие биохимических процессов органоидам клетки обуславливает локализацию в них тех или иных индивидуальных ферментов, мультиферментных комплексов – полиферментных блоков. Например, в митохондриях сосредоточены комплексы окислительно-восстановительных ферментов, в рибосомах – ферменты, которые принимают участие в биосинтезе белка, в лизосомах – гидролазы, в протоплазме – ферменты, которые активируют аминокислоты, в ядерном аппарате клетки – в основном ферменты, которые осуществляют биосинтез нуклеиновых кислот. Благодаря такой локализации ферментных систем процесс катализа является серией последовательных элементарных превращений веществ, максимально скоординированных и организованных в пространстве и времени.

**Ферменты** – энзимы – биологические катализаторы процессов обмена веществ. Они представляют собой высокомолекулярные соединения и относятся к простым или сложным белкам.

Обладая многими свойствами неорганических катализаторов, ферменты характеризуются рядом особенностей, к которым следует отнести их термолабильность, большую зависимость их активности от pH среды, высокую специфичность (групповую и абсолютную, включая стереохимическую), огромную эффективность каталитического действия и другие. Протекает ферментативный катализ с большой скоростью и в мягких условиях. Многие химические вещества способны усиливать (активаторы) или затормаживать (ингибиторы) каталитическую активность ферментов. Ферменты можно разделить на две большие группы: ферменты-протеины (простые белки) и ферменты-протеиды (сложные белки). К протеинам относятся многочисленные ферменты, катализирующие процессы гидролитического расщепления сложных соединений на более простые (гидролазы). Ферменты-протеиды состоят из белковой части (апофермента) и термостабильной небелковой части (кофермента или простетической группы в зависимости от типа

связи между белковой и небелковой частями фермента, кофактора – ионы металлов:  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mo}^{2+}$  и др.). Чаще всего в качестве небелковой части выступают витамины.

Действующие ныне номенклатура и классификация ферментов были утверждены в 1961 году на V Международном биохимическом конгрессе в Москве.

В основу номенклатуры были положены такие положения:

1) окончание -аза следует использовать только для простых ферментов; для мультиферментных комплексов рекомендован термин «система» (например, пируватдегидрогеназная система);

2) в названии должен быть отражен механизм реакции, название субстрата и кофермента, тип реакции, которая катализируется.

С учетом этих правил вместо бывшего названия, например, «лактатдегидрогеназа» рекомендуют систематическое название лактат-НАД-оксидоредуктаза, которое содержит три позиции: субстратом является лактат (молочная кислота), коферментом – НАД (никотинамидадениндинуклеотид), фермент оксидоредуктаза катализирует перенос водорода от субстрата к акцептору, т.е. указанный тип реакции.

Все ферменты подразделяются на шесть классов согласно типу катализируемой реакции, каждый класс имеет подклассы:

**1. Оксидоредуктазы** – ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции. Оксидоредуктазы подразделяются на две большие группы:

а) анаэробные дегидрогеназы, катализирующие процессы окисления органических веществ путём отнятия водорода и переноса его на другой субстрат, но не кислород;

б) аэробные дегидрогеназы, катализирующие процессы окисления органических веществ путём отнятия водорода и переноса его на кислород (чаще через цепь переносчиков).

**2. Трансферазы** – ферменты, катализирующие реакции переноса атомных и функциональных групп:  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{PO}_3\text{H}_2$ ,  $-\text{CH}_3$  и т.д.

**3. Гидролазы** – ферменты, катализирующие реакции гидролитического распада сложных соединений на более простые. К этому классу относятся многочисленные ферменты, действующие

на сложноэфирные связи (эстеразы, к которым относятся, например, липазы, катализирующие процесс гидролитического расщепления липидов), гликозильные соединения (гликозидазы, катализирующие гидролитический распад поли- и олигосахаридов: амилаза, сахараза и др.), пептидные связи (пептидазы, катализирующие расщепление белков и полипептидов: пепсин, трипсин, химотрипсин, карбоксипептидаза, аминопептидаза, дипептидаза и т.д.).

**4. Лиазы** – ферменты, катализирующие отщепление от субстратов определённых групп с образованием двойной связи, и негидролитическое расщепление углерод-углеродной связи.

**5. Изомеразы** – ферменты, катализирующие разнообразные реакции изомеризации, например, превращение цис-формы в транс-форму, взаимопревращение альдоз и кетоз, внутримолекулярный перенос групп (мутазы) и т.д.

**6. Лигазы (синтеказы)** – ферменты, катализирующие синтез различных веществ (белков, углеводов и др.) с участием богатых энергией веществ – АТФ и других макроэргических соединений.

Скорость ферментативной реакции зависит от многих факторов: от концентрации субстрата и фермента, температуры, pH среды, наличия различных регуляторных веществ, способных увеличивать или снижать активность ферментов.

Являясь белковыми веществами, ферменты весьма чувствительны к температуре, при которой они проявляют каталитическую активность. Температурный оптимум действия ферментов теплокровных животных составляет 40–50 °С. При повышении температуры выше 50 °С скорость ферментативных реакций падает, а при 70–80 °С исчезает. Кипячение ведёт за собой полную потерю каталитической активности ферментов вследствие денатурации их белковой части. При температуре ниже 0 °С скорость ферментации также падает практически до нуля, но сами ферменты при этом не разрушаются и при осторожном оттаивании восстанавливают активность.

Скорость ферментативной реакции, как и активность фермента, в значительной степени определяется также присутствием в среде активаторов и ингибиторов: первые повышают скорость реакции, а вторые тормозят эту реакцию. Активирующее влияние на

скорость ферментативной реакции оказывают разнообразные вещества органической и неорганической природы. Так, соляная кислота активирует действие пепсина желудочного сока; желчные кислоты повышают активность панкреатической липазы; некоторые тканевые ферменты (оксидоредуктазы, катепсины, аргиназа), растительная протеиназа и др. в значительной степени активируются соединениями, содержащими свободные SH-группы (глутатион, цистеин), а ряд ферментов – также витамином С. Некоторые ингибиторы являются для человека ядами, например, цианиды, другие – используются в качестве лекарственных препаратов. Ингибиторы можно разделить на два основных типа: *необратимые* и *обратимые*.

В процессе ферментативной реакции различают несколько стадий: присоединение молекулы субстрата к ферменту, преобразование первичного промежуточного соединения в один или несколько последовательных (переходных) комплексов и протекающее в одну или несколько стадий отделение конечных продуктов реакции от фермента.

### Лабораторная работа

**Цель:** изучить свойства ферментов как биологических катализаторов.

**Задание 1. Приготовление разбавленной слюны.** В стаканчик собирают 15 мл слюны и используют для всей последующей работы.

Основным действующим компонентом слюны является фермент  $\alpha$ -амилаза. О степени гидролиза крахмала  $\alpha$ -амилазой судят по изменению окраски крахмала и промежуточных продуктов его распада – декстринов – в реакции с йодом.

**Задание 2. Термолабильность ферментов.** В две пробирки наливают по 1 мл слюны. Содержимое одной из них кипятят 2–3 минуты, охлаждают под струей водопроводной воды. Затем в обе пробирки добавляют по 1 мл раствора крахмала и ставят на 10 минут в водяную баню, нагретую до 38–40 °С. По истечении указанного времени содержимое каждой пробирки делят на две части.

С одной частью проделывают реакцию с 0,1%-ным раствором йода на крахмал, с другой – реакцию Троммера на редуцирующие сахара (восстанавливающие углеводы – мальтозу и глюкозу). Для этого к исследуемой жидкости приливают 1 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия. К полученной смеси добавляют 1–2 капли 5%-ного раствора сульфата меди и встряхивают содержимое пробирки. Образующийся вначале осадок гидроксида меди (II) голубоватого цвета мгновенно растворяется, получается синий прозрачный раствор сахарата меди (II). Содержимое пробирки нагревают над пламенем горелки так, чтобы нагревалась только верхняя часть раствора. При осторожном нагревании до кипения в присутствии восстанавливающих углеводов образуется желтый осадок гидроксида меди (I), который при более длительном нагревании разлагается до оксида меди (I), выпадающего в виде красного осадка.

В пробирке, где фермент разрушен кипячением, расщепления крахмала не происходит. Свойство ферментов разрушаться при кипячении является характерной особенностью, отличающей ферменты от других катализаторов, и называется термолабильностью ферментов. Потеря каталитической активности при кипячении обусловлена денатурацией белковой части фермента.

Результаты работы фиксируют в таблице 6:

*Таблица 6*

### **Термолабильность ферментов**

Материал исследования	Субстрат	Контрольные реакции		Чем обусловлена реакция
		на крахмал с йодом	на редуцирующие сахара реакция Троммера	
Свежая слюна				
Прокипяченная слюна				

Выводы:

---

---

---

---

---

**Задание 3. Влияние температуры на скорость ферментативного катализа.** В четыре пронумерованные пробирки наливают по 2 мл 1%-ного раствора крахмала. Пробирку № 1 помещают в горячую водяную баню при 75 °С, пробирку № 2 – в баню при 40 °С, пробирку № 3 оставляют при комнатной температуре, а пробирку № 4 помещают в лёд.

Через 10 минут, когда содержимое пробирок примет заданную температуру, во все пробирки добавляют по 0,5 мл слюны, перемешивают с помощью стеклянной палочки и оставляют в тех же условиях на 5–10 минут.

Наблюдение за ходом гидролиза крахмала ведут по реакции с йодом. Для этого после 5-минутного действия фермента на субстрат из каждой пробы берут по 1–2 капли жидкости в заготовленные пробирки с 2 мл 0,1%-ного раствора йода. В случае если во всех пробирках жидкость окрашивается в синий цвет, реакцию с йодом повторяют через следующие 5 минут во вновь заготовленных пробирках. В работе важно уловить нужный момент для йодной пробы, так как при длительном гидролизе полное расщепление крахмала может произойти и при более низкой температуре.

Различная окраска при реакции с йодом, а, следовательно, различная степень гидролиза крахмала обусловлены разной скоростью ферментативного катализа при разных температурных условиях опыта. Максимальная скорость ферментативной реакции наблюдается при температуре 40 °С, а минимальная – при 0 и 75 °С.

Результаты наблюдений заносят в таблицу 7, помечая буквой «с» (синяя окраска) положительную пробу на крахмал, буквой «к» – положительную пробу на декстрины (окраска красных тонов) и буквой «ж» – отрицательную пробу (жёлтая окраска йода).



Таблица 7

**Влияние температуры на действие амилазы**

Температура	0°C	18°C	40°C	75°C
Окраска исследуемого раствора при реакции с йодом				
Название окрашенного продукта				

Выводы:

---



---



---



---

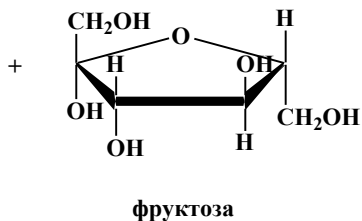
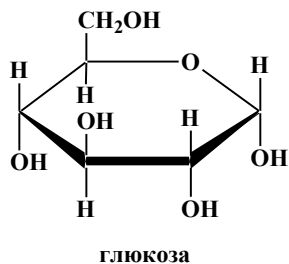
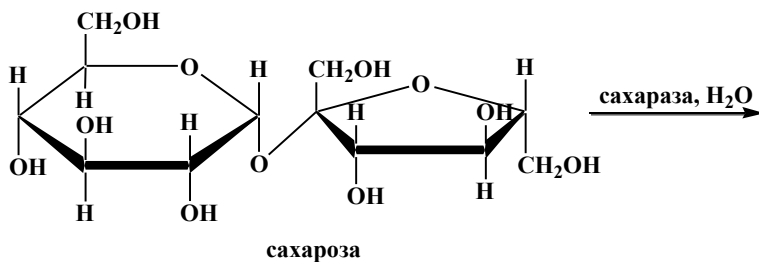
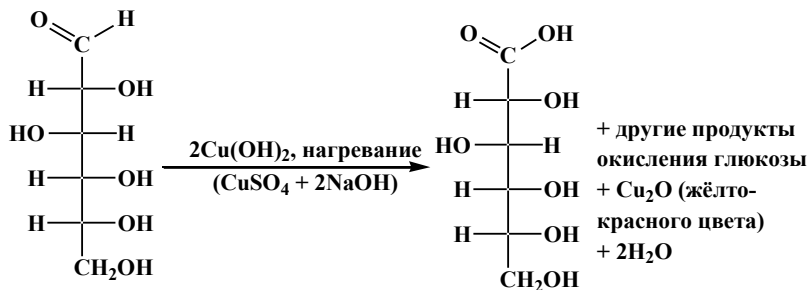


---

**Задание 4. Специфичность ферментов.** В две пробирки наливают по 1 мл раствора крахмала и добавляют в первую пробирку 0,5 мл слюны (амилаза), а во вторую – 0,5 мл вытяжки дрожжей (сахараза), перемешивают и ставят в водяную баню при 38–40 °С. В две другие пробирки наливают по 1 мл 0,5%-ного раствора сахарозы и в первую пробирку добавляют 0,5 мл слюны, а во вторую – 0,5 мл вытяжки дрожжей и оставляют при тех же условиях.

Через 5 минут в первые две пробирки с крахмалом добавляют по 1 капле 0,1%-ного раствора йода и отмечают окрашивание. С содержимым двух других пробирок (опыт с сахарозой) проделывают реакции Троммера или Фелинга. Действие фермента обнаруживается либо по исчезновению субстрата, либо по появлению продуктов расщепления (мальтоза, глюкоза, фруктоза). Следует иметь в виду, что сахароза не имеет свободных полуацетальных (скрытая альдегидная группа) гидроксильных и в реакции восстано-

ления с мягкими окислителями не вступает, в то время как продукты её гидролиза – глюкоза и фруктоза – обладают восстанавливающей способностью.



Результаты фиксируют в таблице 8:

### Специфичность действия ферментов

№ п/п	Фермент	Субстрат	Контрольные реакции	
			Реакция с йодом на присутствие исходного субстрата	Реакция Троммера или Фелинга на присутствие продуктов расщепления
1	Амилаза слюны	Крахмал		
2	Сахараза дрожжей	Крахмал		
3	Амилаза слюны	Сахароза		
4	Сахараза дрожжей	Сахароза		

Выводы:

---



---



---



---

**Задание 5. Влияние pH среды на активность ферментов.** В три пробирки наливают по 1 мл 1%-ного раствора крахмала и 1 мл слюны, перемешивают. В пробирку № 1 добавляют несколько капель 2%-ного раствора соляной кислоты (кислая среда), в пробирку № 2 – несколько капель 10%-ного раствора карбоната натрия (щелочная среда), в пробирку № 3 ничего не добавляют (нейтральная среда). Далее все пробирки помещают в водяную баню, нагретую до 38–40 °С. Через 5 минут из пробирки № 3, в которой pH среды предполагается оптимальная для амилазы, берут капельную пробу с йодом. Если получают синее окрашивание, пробу повторяют через следующие 5 минут. Когда в капельной пробе будет получено

красное или желтое окрашивание, во все пробирки добавляют по 2–3 капли 0,1%-ного раствора йода (предварительно нейтрализовав карбонат натрия в пробирке № 2 раствором соляной кислоты, контроль по индикатору), содержимое пробирок перемешивают и наблюдают окраску. Оптимум рН для действия амилазы определяют по той пробирке, в которой произошло расщепление крахмала (при реакции с раствором йода получается красная или желтая окраска).

Активность ферментов проявляется в пределах довольно узкой зоны рН, называемой оптимумом рН. Влияние рН среды на активность фермента обусловлено, по-видимому, тем, что из всех возможных ионных форм, в виде которых существует фермент, каталитической активностью обладает только одна форма, которая преобладает в оптимуме рН. Оптимум рН для действия амилазы слюны равен 6,9.

Результаты работы фиксируют в таблице 9:

*Таблица 9*

**Влияние рН среды на активность амилазы**

№ пробирки	Субстрат	Фермент	Реакция среды	Окрашивание с йодом	Выводы

**Задание 6. Влияние активаторов и ингибиторов на действие амилазы слюны.** В три пробирки наливают: в первую – 1 мл дистиллированной воды, во вторую – 1 мл 0,1%-ного раствора NaCl, в третью – 1 мл 0,1%-ного раствора CuSO<sub>4</sub>. В каждую пробирку приливают по 1 мл слюны и по 1 мл 0,5%-ного раствора крахмала, перемешивают и оставляют при комнатной температуре. Через 5 минут в каждую пробирку добавляют по 2–3 капли разбавленного раствора йода, наблюдают окраску.

Результаты работы фиксируют в таблице 10:

*Таблица 10*

**Влияние активаторов и ингибиторов на действие амилазы**

Фермент	Субстрат	Окраска жидкости после добавления йода в присутствии		
		H <sub>2</sub> O	NaCl	CuSO <sub>4</sub>

**Выводы:**

---



---



---



---



---

**Дайте ответы на вопросы:**

1. Как классифицируют ферменты по структуре?

---



---



---



---



---

2. Какие вещества называют активаторами и ингибиторами?

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Привести примеры конкурентного и неконкурентного действия ингибиторов.

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Где используются ферменты? Привести примеры использования ферментов в медицине, пищевой промышленности и сельском хозяйстве.

---

---

---

---

---

---

---

---

## **ТЕМА 5. УГЛЕВОДЫ**

### **Основные теоретические вопросы**

Общая характеристика, классификация и функции углеводов.

Моносахариды. Номенклатура. Изомерия. Физические и химические свойства. Важнейшие представители: рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза.

Дисахариды. Сахароза, мальтоза, лактоза. Строение и химические свойства.

Полисахариды. Классификация. Важнейшие представители: крахмал, гликоген, целлюлоза. Биологическое значение полисахаридов.

Метаболизм углеводов: переваривание и всасывание углеводов, синтез и распад гликогена, гликолиз, глюконеогенез, окислительное декарбонирование пировиноградной кислоты, цикл трикарбонных кислот, пентозофосфатный путь окисления углеводов, регуляция метаболизма углеводов, нарушения углеводного обмена.

### **Методические указания**

В организме человека и животных углеводы играют важную роль и выполняют разнообразные функции – они служат источниками энергии, являются пластическим материалом клеток, а также используются в качестве исходных продуктов для синтеза липидов, белков и нуклеиновых кислот. Это группа природных веществ, близких по свойствам к полиоксиальдегидам и полиоксикетонам.

При изучении химии углеводов следует обратить внимание на их классификацию, номенклатуру, виды изомерии, пространственное строение, физические и химические свойства, структурно-функциональное единство.

Необходимо отметить, что как полифункциональные соединения, моносахариды сочетают в себе свойства карбонильных цепных и полигидроксильных циклических форм, а также свойства полуацеталей. Причем в большинстве случаев тип их реагирования зависит от условий реакции и природы реагента.

Изучение свойств восстанавливающих и невосстанавливающих дисахаридов следует начинать с выяснения типа связи между остатками молекул моносахаридов и, в связи с этим, возможности таутомерии.

Аналогично и строение полисахаридов определяет их химические свойства: моносахаридные остатки соединены в макромолекулах полисахаридов в большинстве гликозидными связями, а свободные альдегидные группы размещены на концах цепей. Поэтому

полисахариды не проявляют восстановительных свойств, и типичными для них являются реакции по спиртовым группам и гидролиза.

При характеристике каждой группы углеводов уделить внимание биологическому значению их основных представителей.

Обмен углеводов представляет собой одну из важнейших составных частей всего обмена веществ как единого целого. Это понятие охватывает весь сложный процесс превращения углеводов от поступления их в организм, переваривания и всасывания, до образования конечных продуктов –  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Следует иметь в виду, что организм человека и животных не способен синтезировать углеводы из неорганических веществ и получает их с различными пищевыми продуктами, главным образом, растительного происхождения.

В процессе переваривания в пищеварительном тракте полисахариды и олигосахариды распадаются до более простых соединений посредством реакций двух типов – гидролиза (рассмотреть на примере ступенчатого гидролиза крахмала) и фосфоролита (рассмотреть на примере фосфоролита гликогена). Необходимо знать, какие продукты образуются при гидролизе полисахаридов (крахмала, целлюлозы, гликогена) и дисахаридов (сахарозы, мальтозы, лактозы). Отметить особенности переваривания клетчатки у животных и человека.

В результате последовательного воздействия пищеварительных ферментов принятые с пищей углеводы расщепляются на моносахариды: глюкозу, фруктозу и галактозу. Далее необходимо проследить, как используется глюкоза, попадая в кровь; уяснить гликогенную функцию печени, рассмотреть механизм синтеза и распада гликогена в печени, обратить внимание на роль фосфорной кислоты, ферментов фосфорного обмена и нейрогуморальной регуляции в этом процессе.

Изучая процессы анаэробного и в дальнейшем аэробного окисления углеводов, необходимо разобраться в последовательности реакций, типах ферментов, участвующих в реакциях, названиях веществ, уметь выделить стадии, на которых образуются богатые энергией связи АТФ.



Переходя к изучению наиболее важных в энергетическом отношении аэробных окислительных превращений углеводов в тканях с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  (дыхание), необходимо сразу же обратить внимание на существование тесной связи между механизмом анаэробного расщепления углеводов и их аэробным окислением. Эта связь проявляется в том, что оба процесса проходят одинаково включительно по стадии образования пировиноградной кислоты, в них берут участие одни и те же ферменты и образуются одинаковые промежуточные продукты.

При изучении окисления ацетил-КоА (вернее, лимонной кислоты) в цикле трикарбоновых и дикарбоновых кислот (цикл Кребса) до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  следует обратить внимание на то, что пировиноградная кислота и ацетил-КоА являются промежуточными продуктами окисления не только углеводов, но также липидов и отчасти белков.

### **Теоретическая подготовка**

Углеводы – это главный, наиболее быстро мобилизуемый «горючий» материал живой клетки, поставляющий энергию, которая необходима организму для его жизнедеятельности. В природе углеводы образуются главным образом в растительных организмах. Зелёные растения обладают удивительной способностью создавать углеводы из неорганических веществ: углекислого газа и воды, поглощая при этом энергию солнечного света. Этот процесс известен под названием фотосинтез. Человек и животные не могут прямо усваивать солнечную энергию – они используют её косвенно, употребляя растения в пищу.

Один из наиболее распространённых в природе простых углеводов – это глюкоза, или виноградный сахар. Его много в ягодах винограда и других сладких плодах. Но в довольно значительном количестве он постоянно содержится также в крови животных и человека. Широко известен другой простой углевод – фруктоза. Оба углевода содержат по шесть углеродных атомов, имеют одинаковый состав ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) и отличаются только строением. Встречаются моносахариды, содержащие не шесть, а пять углеродных ато-

мов. С двумя такими сахарами мы уже сталкивались. Это рибоза и дезоксирибоза, входящие в состав нуклеиновых кислот.

Моносахариды могут соединяться друг с другом, теряя при этом молекулу воды. Если соединяются две молекулы моносахарида, получается дисахарид, если три – трисахарид и так далее. Например, при взаимодействии глюкозы и фруктозы образуется дисахарид – сахароза. В природе распространены ещё более сложные углеводы – полисахариды, главными из них следует назвать крахмал и гликоген.

Углеводы – это прежде всего «топливо», обеспечивающее организм энергией, которая накапливается в форме АТФ. Важная особенность углеводов как энергетических источников – это их способность освобождать энергию в анаэробных условиях, то есть в отсутствие кислорода, что нередко имеет решающее жизненное значение.

Расщепление углеводов в тканях организмов человека и животных с высвобождением энергии, аккумулирующейся в макроэнергетических связях АТФ, может осуществляться анаэробно (конечным продуктом является молочная кислота) и аэробно (с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Анаэробный распад глюкозы (гликолиз) и гликогена (гликогенолиз) начинается с превращения глюкозо-6-фосфата, проходит одинаково и катализируется одними и теми же ферментами. Отличие между этими процессами состоит только в способе образования глюкозо-6-фосфата.

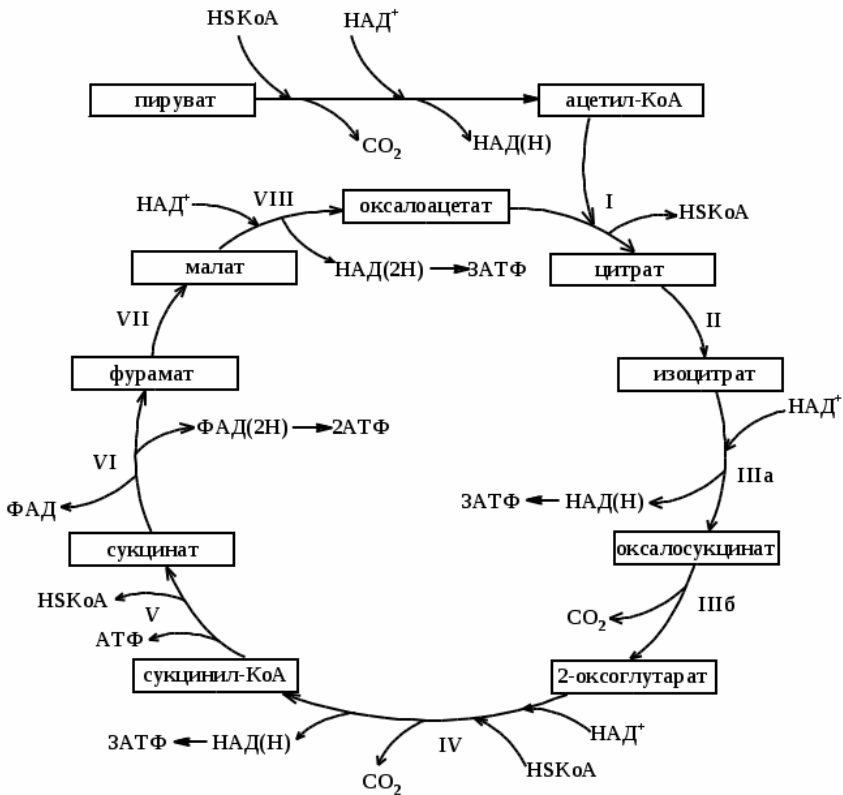
Несмотря на незначительный энергетический эффект (синтез 2 молекул АТФ), биологическое значение анаэробного распада углеводов обуславливается несколькими обстоятельствами. Во-первых, этот процесс обеспечивает возможность выполнения организмом физиологических функций в условиях недостаточного снабжения тканей и органов кислородом. Во-вторых, в процессе гликолиза и гликогенолиза образуются вещества, которые используются в организме для биосинтеза некоторых важных соединений (например, 3-фосфодиоксиацетон восстанавливается в 3-фосфоглицерин и используется для биосинтеза жиров и сложных липидов). В-третьих, образующиеся пировиноградная и молочная

кислоты являются необходимыми субстратами для дальнейших ферментативных превращений в аэробных условиях.

Расхождение путей анаэробного и аэробного распада углеводов начинается с превращения пировиноградной кислоты. Как уже известно, в анаэробных условиях пировиноградная кислота восстанавливается в молочную кислоту. При расщеплении углеводов в аэробных условиях пировиноградная кислота подвергается окислительному декарбоксилированию с образованием ацетил-КоА, который далее в цикле Кребса окисляется до конечных продуктов –  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с выделением значительного количества энергии, аккумулирующей в молекулах АТФ.

Цикл Кребса предстает как универсальный процесс, общий для обмена всех классов соединений и обеспечивающий окисление самых различных субстратов тканевого дыхания. Однако значение цикла Кребса не исчерпывается только его решающей ролью в обеспечении организма энергией. Промежуточные продукты, образующиеся в ходе его протекания, служат исходными веществами для биосинтеза аминокислот, азотистых оснований нуклеотидов и ряда других мономеров, используемых для построения важнейших биополимеров клетки.

Образовавшийся в результате окислительного декарбоксилирования пирувата в митохондриях ацетил-КоА вступает в цикл Кребса. Данный цикл происходит в матриксе митохондрий и состоит из восьми последовательных реакций (рис. 2). Начинается цикл с присоединения ацетил-КоА к оксалоацетату и образования лимонной кислоты (цитрата). Затем лимонная кислота путем ряда дегидрирований и двух декарбоксилирований теряет два углеродных атома и снова в цикле Кребса превращается в оксалоацетат, т.е. в результате полного оборота цикла одна молекула ацетил-КоА сгорает до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а молекула оксалоацетата регенерируется.



**Рис. 2.** Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса)

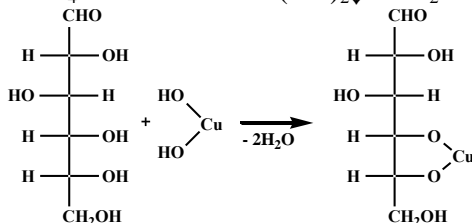
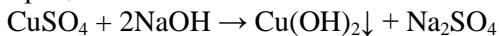
### Лабораторная работа

**Цель:** изучить химию углеводов.

**Задание 1. Доказательство наличия гидроксильных групп в глюкозе.** В пробирку наливают 2 мл 1%-ного раствора глюкозы и 1 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия. К полученной смеси добавляют 1–2 капли 5%-ного раствора сульфата меди и встряхивают содержимое пробирки. Образующийся вначале осадок гидроксида меди (II) голубоватого цвета мгновенно растворяется, получается синий прозрачный раствор сахарата меди (II). Моносахариды взаимодействуют с гидроксидами тяжёлых металлов подобно

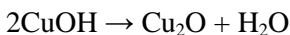
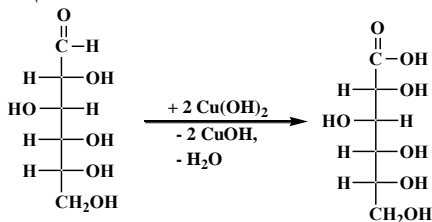
многоатомным спиртам. Растворение осадка гидроксида меди – доказательство наличия нескольких гидроксильных групп в глюкозе. Полученный раствор сохранить для следующего опыта.

Химизм процесса:



**Задание 2. Окисление глюкозы гидроксидом меди (II) в щелочной среде.** К полученному в предыдущем опыте щелочному раствору сахара меди добавляют 5–6 капель воды. Содержимое пробирки нагревают над пламенем горелки так, чтобы нагревалась только верхняя часть раствора. При осторожном нагревании до кипения раствор окрашивается в оранжево-жёлтый цвет вследствие образования гидроксида меди (I), который при более длительном нагревании разлагается до оксида меди (I), выпадающего в виде красного осадка.

Химизм процесса:

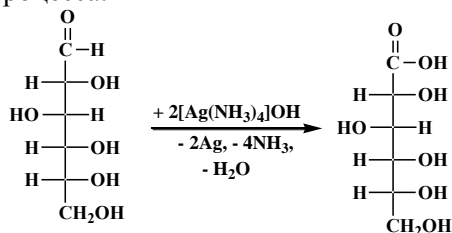


**Задание 3. Окисление глюкозы аммиачным раствором оксида серебра (реакция серебряного зеркала).** В пробирку наливают 0,5 мл 1%-ного раствора нитрата серебра, 1 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия и прибавляют по каплям 5%-ный раствор аммиака до растворения образовавшегося осадка гидроксида серебра. Затем добавляют 1 мл 1%-ного раствора глюкозы и нагревают содержимое пробирки 5–10 минут в водяной бане при

70–80 °С. Металлическое серебро выделяется на стенах пробирки в виде зеркального налета. Во время нагревания пробирку нельзя встряхивать, иначе металлическое серебро выделится не на стенках пробирки, а в виде темного осадка.

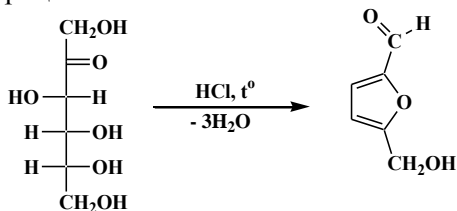
Подобно альдегидам, моносахариды восстанавливают аммиачный раствор оксида серебра. Эта реакция доказывает наличие альдегидной группы в глюкозе и служит качественной реакцией на моносахариды.

Химизм процесса:



**Задание 4. Реакция Селиванова на кетогексозы.** В пробирку наливают 2 мл реактива Селиванова (раствор резорцина в разбавленной соляной кислоте), прибавляют 2 капли 1%-ного раствора фруктозы, помещают пробирку в водяную баню с температурой воды 80 °С и выдерживают при этой температуре в течение 10 минут. При нагревании с минеральными кислотами молекулы кетогексоз постепенно расщепляются, образуя смесь различных продуктов. В числе прочих веществ образуется 5-оксиметилфурфурол, который конденсируется с резорцином, входящим в состав реактива Селиванова, образуя окрашенное соединение красного цвета. Альдозы также могут образовывать 5-оксиметилфурфурол, но у них эта реакция протекает значительно более медленно.

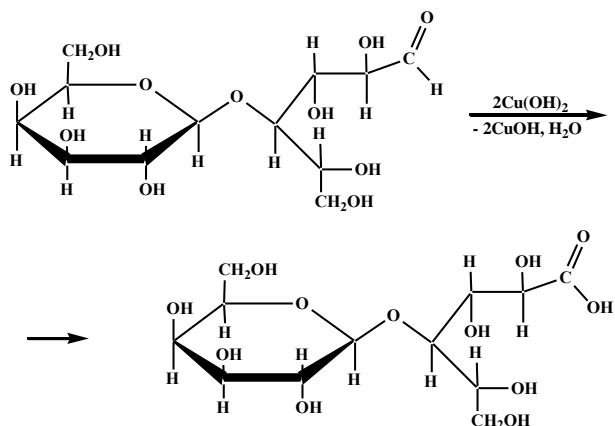
Химизм процесса:



**Задание 5. Реакция на гидроксильные группы дисахаридов.** В пробирку помещают 1,5 мл 1%-ного раствора сахарозы и 1,5 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия. В другой пробирке смешивают такие же количества 1%-ного раствора лактозы (или мальтозы) и 10%-ного раствора щёлочи. Затем в каждую пробирку по каплям добавляют 5%-ный раствор сульфата меди (II). Образующийся вначале бледно-голубой осадок гидроксида меди (II) при встряхивании растворяется, растворы приобретают синеватую окраску вследствие образования комплексных сахаратов меди (II). Растворы сохранить для следующего опыта.

**Задание 6. Отсутствие восстановительной способности в сахарозе.** Растворы сахаратов меди (II) (лактозы и сахарозы) осторожно нагревают до кипения над пламенем горелки, держа пробирки так, чтобы нагревалась только верхняя часть раствора. Сахароза в этих условиях не окисляется, что указывает на отсутствие в её молекуле свободной альдегидной группы. Лактоза, имея свободную альдегидную группу, окисляется, что приводит к изменению синей окраски. Какую окраску приобретает реакционная смесь?

Химизм процесса:



**Задание 7. Реакция крахмала с йодом.** В пробирку наливают 1 мл 1%-ного раствора крахмального клейстера и затем добавляют несколько капель сильно разбавленного водой йода в йодиде калия. Содержимое пробирки окрашивается в синий цвет. Полу-

ченную тёмно-синюю жидкость нагревают до кипения. Окраска при этом исчезает, но при охлаждении появляется вновь. Крахмал представляет собой смесь двух полисахаридов – амилозы (20%) и амилопектина (80%). Амилоза растворима в тёплой воде и даёт с йодом синее окрашивание. Амилоза состоит из неразветвлённых цепей глюкозных остатков, обладающих структурой винта или спирали (примерно 6 глюкозных остатков в одном витке спирали). Внутри спирали остаётся свободный канал диаметром около 5 мк, в который внедряются молекулы йода, образуя окрашенные комплексы. При нагревании эти комплексы разрушаются. Амилопектин в тёплой воде не растворим, набухает в ней, образуя крахмальный клейстер. В его состав входят разветвлённые цепи глюкозных остатков. Амилопектин с йодом даёт красно-фиолетовое окрашивание.

Выводы:

---

---

---

---

---

---

---

**Дайте ответы на вопросы:**

1. В чём отличие обычного гидроксила от полуацетального в циклической форме глюкозы?

---

---

---

---

---

---

---

2. Почему мальтоза является восстанавливающим сахаром, а сахароза нет?

---

---

---

---

---

---

---



---

---

3. В чем отличие амилозы от амилопектина, а амилопектина от гликогена? Биологическое значение этих отличий.

---

---

---

---

---

4. Напишите структурную формулу глюкозо-6-фосфата и кратко опишите его значение в катаболизме сахаров:

---

---

---

---

---

### **Тесты для самостоятельного контроля знаний**

1. В результате какого процесса органические вещества образуются из неорганических (биосинтез белка, фотосинтез, синтез АТФ)?

2. Что продуцируется в результате фотосинтеза (белки, жиры, углеводы)?

3. Из каких неорганических соединений синтезируются углеводы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ )?

4. Какое соединение является мономером крахмала ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )?

5. Какие углеводы относятся к моносахаридам (сахароза, глюкоза, фруктоза, галактоза, рибоза, дезоксирибоза, целлюлоза)?

6. Какие из углеводов нерастворимы в воде (глюкоза, фруктоза, рибоза, дезоксирибоза, целлюлоза, крахмал)?

7. Какие углеводы относятся к полимерам (моносахариды, олигосахариды, полисахариды)?

8. Какие полисахариды характерны для растительной клетки (целлюлоза, крахмал, гликоген, хитин); для животной клетки (целлюлоза, крахмал, гликоген, хитин)?

9. В каких структурах растительной клетки накапливается: крахмал (митохондрии, хлоропласты, лейкопласты, вакуоли); сахара (лейкопласты, вакуоли, хлоропласты, митохондрии)?

10. Какие вещества расщепляются ферментом амилазой (белки, жиры, углеводы)?

11. Где расщепляется клетчатка (желудок, тонкие кишки, толстая кишка)?

12. Какое органическое вещество является исходным в экологической системе (белки, жиры, углеводы)?

13. Что образуется при диссимиляции углеводов в процессе дыхания (ряд органических кислот, АТФ, теплота,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ )?

14. В каких реакциях участвуют органические кислоты, получившиеся при расщеплении углеводов (образование аминокислот, жирных кислот, клетчатки, молекул воды)?

15. Какова роль углеводов в растительной клетке (строительная, энергетическая, транспортная, компонент нуклеотидов); в животной клетке (строительная, энергетическая, транспортная, компонент нуклеотидов)?

16. Сколько энергии выделяется при расщеплении 1 г углеводов (17,6 кДж, 38,9 кДж)?

## **ТЕМА 6. ЛИПИДЫ**

### **Основные теоретические вопросы**

Общая характеристика липидов, их классификация и функции.

Простые липиды. Классификация. Глицериды (нейтральные жиры), их структура. Простые и смешанные триглицериды. Твёр-

дые жиры и масла. Прогоркание жиров. Омыление глицеридов. Воска.

Сложные липиды. Классификация. Фосфолипиды. Гликолипиды. Стероиды. Строение и биологическое значение.

Метаболизм липидов: роль липидов в питании, переваривание и всасывание липидов, жировая ткань и ее участие в обмене липидов, окисление жирных кислот, метаболизм кетоновых тел, биосинтез насыщенных жирных кислот, незаменимые жирные кислоты, биосинтез триглицеридов, метаболизм фосфолипидов, биосинтез холестерина, регуляция липидного обмена, нарушения липидного обмена.

### **Методические указания**

При изучении темы «Липиды» следует знать, что к липидам относят природные органические соединения, не растворимые в воде, но растворимые в жирорастворителях, являющиеся производными высших жирных кислот и способные утилизироваться живыми организмами. Липиды – сборная группа органических соединений и поэтому не имеют единой химической характеристики. Их можно рассматривать как класс органических соединений, большинство из которых принадлежат к сложным эфирам многоатомных или специально построенных спиртов с высшими жирными кислотами. Классифицируют липиды в зависимости от состава, строения и роли в организме.

Приступая к изучению физико-химических свойств триглицеридов, следует иметь в виду, что строение триглицеридов по типу сложных эфиров определяет их участие в реакциях гидролиза и омыления, а содержание остатков непредельных высших жирных кислот обуславливает ряд физических свойств (консистенцию, температуру плавления и др.), протекание реакций окисления (прогоркания), полимеризации (при высыхании масел) и гидрогенизации (получение маргарина). В свою очередь, физические свойства жиров определяют ряд их биологических функций (механическая и термоизоляционная функции, плавучесть животных, растворители для жирорастворимых витаминов и других биоактивных веществ, и др.).

Для характеристики химического состава и качества жиров и масел определяют их химические константы: кислотное число – количество свободных кислот в 1 г жира; эфирное число – количество связанных (в виде глицеридов) кислот в 1 г жира; число омыления – общее количество кислот в 1 г жира; йодное число – количество непредельных кислот в 100 г жира; перекисное число – содержание пероксидных группировок в 1 г жира.

Особое значение для организмов животных и человека имеют незаменимые полиненасыщенные кислоты – линолевая, линоленовая и арахидоновая. В этих организмах указанные кислоты не синтезируются и при отсутствии их в пище (растительные масла) отмечаются нарушения обмена холестерина, остановка роста, заболевания кожи и другие патологические явления, свойственные авитаминозу.

Рассматривая переваривание жиров в желудочно-кишечном тракте, следует подробно остановиться на ведущем значении в этом процессе желчных кислот и их производных – солей и парных желчных кислот (активирование липазы, эмульгирование жиров, всасывание высших жирных кислот).

### **Теоретическая подготовка**

Класс соединений, называемый липидами, играет в жизни организмов двоякую роль. С одной стороны, липиды являются непременной составной частью протоплазмы клеток. Чаще всего в соединении с белками (протеолипиды) или с углеводами (гликолипиды) они выполняют важнейшие функции, образуя так называемые биологические мембраны: это и оболочки клеток, и многие перегородки, отделяющие друг от друга разные пространства клеток и их составных частей, например, ядер, митохондрий. Липиды, входящие в состав мембран, чрезвычайно многообразны по своему составу и строению. Особенным разнообразием липидов отличается самая высокоорганизованная ткань живых существ – нервная ткань. Установлено, что липиды участвуют в осуществлении важнейшей биологической функции – приспособлении животных к различным или меняющимся условиям внешней среды.

С другой стороны, липиды (преимущественно жиры) выполняют функцию запасного энергетического вещества. Они откладываются в жировой ткани. Количество запасного жира в организме животных быстро увеличивается при избыточном питании. А при голодании, когда животное вынуждено существовать за счёт собственных резервов, запасной жир расходуется.

Примером природных жиров могут служить растительные масла, а также жиры животного происхождения. Кроме этого, в живых существах содержится огромное число жирорастворимых соединений. В составе липидов обнаружены стерины (холестерин), насыщенные и ненасыщенные высшие жирные кислоты, альдегиды, кетоны и др. Эти разнообразные компоненты соединены в молекулах сложных липидов различными связями – простыми эфирными, сложноэфирными, фосфоэфирными и т.д.

Обмен липидов, как и обмен углеводов, является многоступенчатым процессом. Он включает в себя такие основные звенья, как переваривание, всасывание, транспорт, внутритканевое окисление и биосинтез липидов, специфических для данного организма.

Первой фазой обмена жиров (триглицеридов) является их гидролиз, ускоряемый ферментом липазой и протекающий ступенчато.

В обмене жиров характерно использование продуктов их распада для ресинтеза. Поэтому значительная часть ( $\beta$ -моноглицеридов, глицерина и свободных высших жирных кислот, освобождающихся при гидролизе жиров, используется для ресинтеза триглицеридов несколько иного состава и строения, характерного для данного организма (если для этого используются пищевые жиры) или органа (если идет перестройка жиров в пределах организма).

Обмен жиров в тканях является биологически наиболее важной фазой их преобразования, ибо именно в этой фазе происходит ассимиляция липидов в виде пластического материала и расщепление их с высвобождением энергии. В результате тканевого липолиза жиры расщепляются на их составные части – глицерин и высшие жирные кислоты, которые идут на ресинтез жиров или подверга-

ются дальнейшей деструкции – окислению до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , сопряженному с синтезом АТФ.

Окисление глицерина начинается с его фосфорилирования за счет АТФ. Образующийся при этом 3-фосфоглицерин окисляется в 3-фосфодиоксиацетон, а он изомеризуется в 3-фосфоглицериновый альдегид, который далее вступает в обменные процессы, свойственные углеводам.

Насыщенные высшие жирные кислоты подвергаются в основном  $\beta$ -окислению, которое состоит из последовательно сменяющихся друг друга реакций дегидрирования и присоединения воды с окислением углеродного атома, который находится в  $\beta$ -положении по отношению к карбоксильной группе, и дальнейшего отщепления молекулы ацетил-КоА. Ненасыщенные высшие жирные кислоты предварительно восстанавливаются до предельных кислот.

Окончательным продуктом  $\beta$ -окисления высших жирных кислот с четным числом углеродных атомов является ацетил-КоА, а с нечетным – пропионил-КоА. Ацетил-КоА поступает в цикл Кребса и окисляется до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Пропионил-КоА путем двух последовательных реакций превращается в сукцинил-КоА, который также утилизируется через цикл Кребса.

Биосинтез триглицеридов состоит из трех основных процессов: образования глицерина, образования высшей жирной кислоты, биосинтеза жира из активных форм этих компонентов.

Основным путем образования глицерина является восстановление 3-фосфодиоксиацетона – промежуточного продукта обмена углеводов. Образующийся при этом 3-фосфоглицерин является активной формой глицерина. Образование глицерина происходит также при гидролитическом расщеплении триглицеридов и фосфоглицеридов под влиянием тканевых липаз.

Исходным веществом в синтезе жирных кислот является ацетил-КоА, образующийся в митохондриях при  $\beta$ -окислении высших жирных кислот и при окислительном декарбоксилировании пировиноградной кислоты.

Биосинтез триглицеридов осуществляется по фосфатидному пути и заключается в образовании фосфатидной кислоты в качест-

ве промежуточного продукта. Последняя отщепляет фосфорную кислоту и образующийся  $\alpha,\beta$ -диглицерид взаимодействует с молекулой ацил-КоА с образованием триглицерида.

При изучении обмена триглицеридов особое внимание необходимо уделить энергетическим преобразованиям, протекающим при биосинтезе и особенно распаде жиров (глицерина и высокомолекулярных жирных кислот). Следует уметь выделить в этих процессах реакции активации, протекающие с участием АТФ, и, главное, реакции, в которых образуются богатые энергией связи АТФ.

Обмен фосфолипидов тесно связан с обменом жиров и имеет важное значение. Фосфолипиды способствуют эмульгированию, всасыванию, транспорту, а также окислению жиров в тканях.

Характеризуя пути распада фосфолипидов в организме, отмечают, что они распадаются на составляющие их структурные компоненты – высшие жирные кислоты, фосфорную кислоту, азотистые основания и глицерин гидролитическим путем при участии фосфолипаз (А, В, С и D) панкреатического сока. Дальнейший обмен продуктов распада фосфолипидов – высших жирных кислот и глицерина, протекает по уже известным направлениям.

### **Лабораторная работа**

**Цель:** изучить химию жиров и масел.

**Задание 1. Омыление жира спиртовым раствором щёлочи.** В сахарную пробирку помещают 1 г твёрдого жира и приливают 5–6 мл 15%-ного спиртового раствора гидроксида натрия. Пробирку закрывают резиновой пробкой с воздушным холодильником и при перемешивании нагревают на водяной бане при температуре 80 °С в течение 10 минут. После окончания омыления из гидролизата высаливают мыло добавлением 6–7 мл горячего насыщенного раствора хлорида натрия. Выделяющееся мыло всплывает, образуя на поверхности раствора слой, после отстаивания и охлаждения постепенно затвердевающий.

Запишите уравнение реакции омыления жира на примере триглицерилпальмитата:

В чём разница действия липаз и раствора щёлочи при гидролизе липидов?

---

---

---

**Задание 2. Гидролиз натриевых солей высших жирных кислот (гидролиз мыла).** В сухую пробирку переносят небольшой кусочек мыла, полученного в первом опыте. Добавляют 1 мл горячего спирта и тщательно перемешивают. Когда пробирка полностью остынет, прибавляют 2 капли спиртового раствора фенолфтаleine. Появляется ли окраска? \_\_\_\_\_

Затем в пробирку добавляют дистиллированную воду. Что при этом происходит? \_\_\_\_\_

Если окраска не появляется, нагревают пробирку на водяной бане. Как объяснить этот опыт?

---

---

Укажите его значение в быту:

---

---

Запишите уравнение реакции гидролиза мыла:

**Задание 3. Эмульгирующие свойства мыла.** В две пробирки вносят по 2–3 капли подсолнечного масла. В одну из них приливают 2 мл дистиллированной воды, в другую – добавляют неболь-



шой кусочек мыла, полученного в первом опыте, и 2 мл дистиллированной воды. Обе пробирки энергично встряхивают. В пробирке с мылом образуется довольно устойчивая молочно-белая эмульсия, в пробирке с водой капельки масла выделяются и постепенно всплывают.

Чем объясняются эмульгирующие свойства мыла? Как влияет образование солей жирных кислот на скорость процесса переваривания жиров в тонком кишечнике и почему?

---

---

---

---

---

---

**Задание 4. Определение непереносимости жира реакцией с бромной водой.** В пробирку наливают 0,5 мл растительного масла и 3 мл бромной воды. Содержимое пробирки энергично встряхивают. Что происходит с бромной водой? Что происходит с агрегатным состоянием масла?

Дайте развернутые ответы на поставленные вопросы и составьте уравнение соответствующей реакции на примере триглицерилолеата:

---

---

---

---

---

---

**Задание 5. Взаимодействие растительного масла с водным раствором перманганата калия (реакция Е.Е. Вагнера).** В пробирку наливают примерно 0,5 мл подсолнечного масла, 1 мл 10%-ного раствора карбоната натрия и 1 мл 2%-ного раствора перманганата калия. Содержимое пробирки энергично встряхивают. Фиолетовая окраска перманганата исчезает.

Обесцвечивание бромной воды и реакция с водным раствором перманганата калия – качественные реакции на присутствие кратной (ненасыщенной) связи в молекуле органического вещества.

Напишите уравнение реакции взаимодействия дипальмитоолеина с перманганатом калия в водной среде и подберите коэффициенты:

**Дайте ответы на вопросы:**

1. Напишите структурные формулы трипальмитина, пальмитодиолеина:

2. Напишите структурную формулу лецитина и дайте его краткую биохимическую характеристику:

---

---

---

---

3. Какова роль жёлчных кислот в процессе всасывания жирных кислот в тонком кишечнике?

---

---

---

---

---

### **Тесты для самостоятельного контроля знаний**

1. К каким соединениям по отношению к воде относятся липиды (гидрофильные, гидрофобные)?

2. В каких растворителях жиры растворимы (вода, спирт, эфир, бензин)?

3. Каков химический состав молекулы жира (аминокислоты, жирные кислоты, глицерин, глюкоза)?

4. В какой среде наиболее активен фермент липаза (нейтральная, кислая, щелочная) и что он расщепляет (белки, жиры, углеводы)?

5. Какие органические вещества синтезируются в эпителии кишечника и всасываются в лимфатическую систему (глюкоза, аминокислоты, глицерин, жирные кислоты, жиры)?

6. Где в клетках синтезируются жиры (рибосомы, пластиды, эндоплазматическая сеть)?

7. В каких структурах клетки находятся липиды (мембраны, строма пластид, вакуоли)?

8. Какова роль липидного слоя в функционировании биологических мембран (избирательная проницаемость, непроницаемость, полная проницаемость)?

9. Какие функции в клетке выполняют липиды (структурная, энергетическая, транспортная, информационная)?

10. Какое значение для организма имеют жиры: у растений (структура мембран, источник энергии, теплорегуляция); у животных (структура мембран, источник энергии, теплорегуляция, источник воды)?

11. Сколько энергии освобождается при расщеплении 1 г жира (17,6 кДж, 38,9 кДж)?

## **ТЕМА 7. ВОДНЫЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ ОБМЕН**

### **Основные теоретические вопросы**

Водный обмен. Физико-химическая характеристика воды. Содержание и распределение воды в организме человека. Состояния и виды воды в организме. Биологическое значение воды. Обмен воды. Регуляция обмена воды.

Общая характеристика минеральных веществ. Элементарный состав организма человека.

Роль минеральных веществ в формировании структуры биополимеров, в ферментативном катализе. Роль минеральных веществ в обмене белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот. Обмен минеральных веществ в организме человека.

Качественное обнаружение неорганических составных частей мочи.

Биологическая роль отдельных макроэлементов в организме человека (натрий, калий, кальций, фосфор, магний, хлор, сера, железо).

Биологическая роль отдельных микро – и ультрамикроэлементов в организме человека (медь, цинк, кобальт, марганец, молибден, селен, йод, фтор, хром, никель, кадмий, свинец, ртуть).

### **Методические указания**

Обмен воды и минеральных солей является важнейшим звеном в цепи метаболических процессов, протекающих в живых организмах и обеспечивающих процессы жизнедеятельности. Состояние водно-солевого обмена является важнейшим показателем гомеостаза, который характеризует интенсивность и направленность обменных процессов. Обмен воды и минеральных солей со-

ставляют единое целое, поскольку данные процессы взаимосвязаны и взаимообусловлены: большинство минеральных веществ находится и перемещается в организме, как правило, в виде водных растворов, а концентрация ионов в значительной степени определяет состояние и распределение воды в организме. Изучая тему «Водно-солевой обмен», нужно помнить, что это совокупность процессов поступления в организм воды и минеральных солей, усвоения, превращения и использования их в организме для разных нужд, перераспределения в тканях, участия в обмене и выведения из организма.

Характеризуя биологическую роль минеральных веществ, необходимо подробно остановиться на их значении в поддержании кислотно-щелочного равновесия.

При изучении элементарного состава организма человека, необходимо помнить, что по количественному содержанию в организме элементы можно разделить на макроэлементы (их концентрация выше 0,001 %), микроэлементы (концентрация которых составляет  $10^{-6}$ – $10^{-3}$  %) и ультрамикроэлементы (концентрация меньше  $10^{-6}$  %). К группе макроэлементов относятся: кислород, водород, углерод, азот, сера, фосфор, кальций, натрий, калий, магний, хлор и железо. К микроэлементам – йод, фтор, марганец, цинк, медь, молибден, кобальт, селен, бор, бром и др. и к ультрамикроэлементам относятся: литий, алюминий, кремний, олово, мышьяк, титан, ванадий, хром, серебро, вольфрам и другие.

Биологическая роль отдельных микро- и ультрамикроэлементов в организме человека может быть как положительной, так и отрицательной.

### **Теоретическая подготовка**

Вода составляет главную по количеству составную часть организма. Она неравномерно распределена в теле человека: в костях её меньше, в мышцах и внутренних органах больше. Значение воды для организма видно хотя бы из того, что животные, лишённые воды, погибают намного раньше, чем животные, лишённые пищи. Если искусственно удалить из организма 1/10 часть всего количества имеющейся в нём воды, то наступают тяжёлые расстройства, а

удаление 1/5 части воды приводит к смерти. Вода с растворёнными в ней веществами является внутренней средой организма. Все химические реакции в организме протекают в водных растворах, а во многих реакциях, как мы уже знаем, принимает непосредственное участие. Вода вместе с растворёнными в ней продуктами обмена веществ периодически выводится из организма. Поэтому человек нуждается в постоянном пополнении запасов воды. Взрослый человек потребляет в течение суток более 2 л воды (табл. 11).

*Таблица 11*

**Химический состав тела человека**

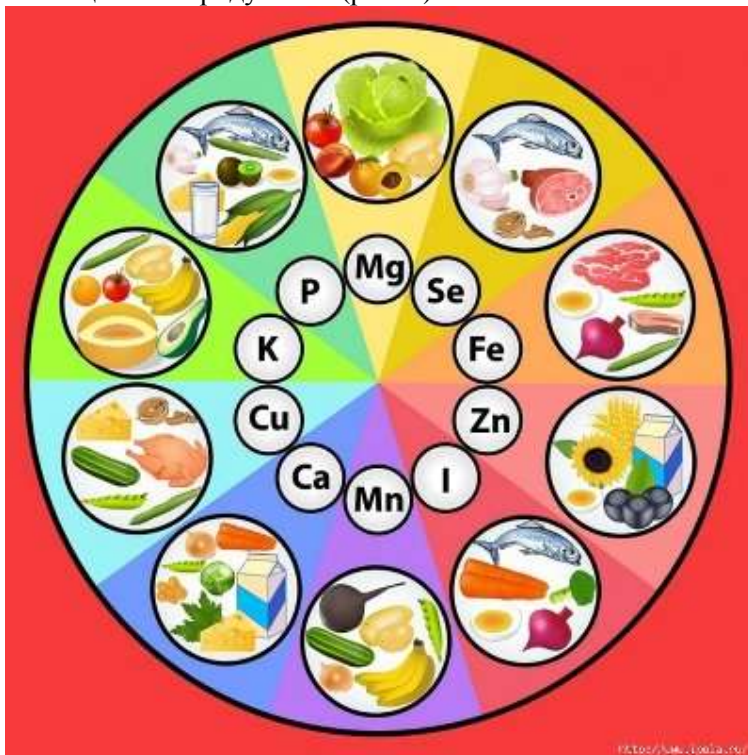
Группа веществ	Содержание	
	кг	%
Вода	41,0	58
Белки	14,0	20
Липиды	10,5	15
Углеводы	0,7	1
Нуклеиновые кислоты	0,7	1
Минеральные вещества	3,5	5

Минеральные соли – тоже очень важная составная часть организма. Это различные фосфаты, хлориды и множество других неорганических слабых и сильных электролитов. 5/6 Части всего количества минеральных веществ, находящихся в организме взрослого человека, приходится на долю костей. В состав костей входит преимущественно фосфат кальция, который почти нерастворим в воде и придаёт костям твёрдость и прочность.

Роль минеральных солей очень велика и в других клетках и тканях. Вместе с водой они образуют ту среду, в которой протекают химические реакции. Нормальная жизнедеятельность возможна только тогда, когда солевой состав остаётся строго постоянным.

Минеральные вещества используются организмом для поддержания постоянства осмотического давления в жидкостях и тканях, для создания необходимой реакции среды (рН), поддержания тургора клеток и тканей, образования ферментов и других биологически важных веществ. Суточная потребность человека в мине-

ральных веществах выражается следующими величинами: натрия 4–8 г, хлора 2–4 г, калия 2–3 г, фосфора 1,5–2 г, кальция 0,7–0,8 г, железа 0,015–0,020 г. Минеральные вещества поступают в организм с пищевыми продуктами (рис. 3).

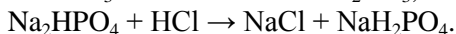
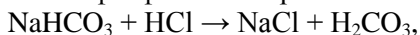


**Рис. 3.** Содержание минеральных веществ в пищевых продуктах

В пищеварительном канале минеральные вещества хорошо всасываются в кровь и поступают в различные ткани и жидкости организма. В некоторых органах и тканях они депонируются. Железо, например, больше всего депонируется в печени и селезенке, кальций, фосфор и магний – в костной ткани, хлорид натрия – в коже, фтор – в зубной ткани, йод – в щитовидной железе, хлор в виде соляной кислоты в желудке и т.д. При недостаточном поступлении минеральных солей в ткани из кишечника минеральные со-

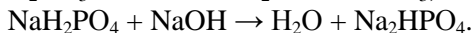
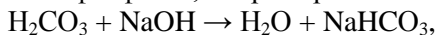
единения вновь переходят из солевых депо в кровь и распространяются с током крови по всему телу. Выделяются минеральные вещества через почки и кожу; небольшая часть их выделяется через кишечник.

В крови и тканях имеются карбонатные и фосфатные буферные системы, которые препятствуют сдвигам pH среды. Кислоты при поступлении в кровь реагируют с гидрокарбонатами и двузамещёнными фосфатами натрия и калия, например:



Образовавшаяся угольная кислота разрушается в эритроцитах ферментом карбангидразой на воду и углекислый газ, который выделяется лёгкими, а однозамещённые фосфаты выводятся почками с мочой. При поступлении в кровь щелочей наблюдается обратное явление. В результате буферное соотношение между количеством слабой кислоты и её соли остаётся неизменным и сдвига pH крови не происходит.

При поступлении в кровь щелочей наблюдается обратное явление. Угольная кислота и однозамещённые фосфаты натрия и калия связывают щелочь с образованием гидрокарбонатов и двузамещённых фосфатов, например:



Повышение в крови количества гидрокарбонатов приводит к задержке в крови некоторого количества угольной кислоты, и буферное соотношение угольной кислоты и гидрокарбоната остаётся неизменным. Избыток двузамещённого фосфата выводится с мочой и не вызывает изменений в соотношении одно- и двузамещённых фосфатов. Несмотря на отсутствие сдвигов pH среды, буферная емкость крови при поступлении в нее кислот и щелочей понижается и в норме постепенно восстанавливается за счет поступления в кровь новых порций минеральных веществ из кишечника и тканей.

Кроме карбонатного и фосфатного буфера, большое значение в регуляции pH крови имеют белковые буферные системы, состоящие из белка и протеинов щелочных металлов.



## Лабораторная работа

**Цель:** изучить качественные реакции на минеральные вещества, входящие в состав живого организма.

**Задание 1. Обнаружение хлоридов в моче.** Хлориды выделяются с мочой в виде хлористых солей, главным образом натрия (10–15 г/сутки) и в меньшей степени калия, аммония, кальция и магния. Количество хлоридов в моче у здорового человека примерно соответствует содержанию поваренной соли в пище. Понижение содержания хлоридов в моче говорит о потере хлоридов организмом, которая может наблюдаться при усиленном потоотделении, частой рвоте (неукротимая рвота беременных, когда большая часть соляной кислоты выводится с рвотными массами; пищевые отравления), поносах (пищевые отравления, дизентерия), отеках всего тела (микседема) и водянке брюшной полости, когда в отечной жидкости задерживается много хлоридов. Повышение выведения хлорида натрия с мочой имеет меньшее значение. Выведение хлоридов увеличивается по окончании крупозной пневмонии, при рассасывании экссудатов, содержащих хлорид натрия, и др. При бессолевой диете выделение хлоридов с мочой резко снижается и может дойти до 1 г/сутки. Обычно бессолевую диету назначают при заболевании почек, гипертонической болезни.

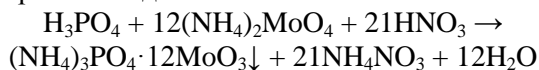
*Ход работы.* К 1 мл мочи добавляют 5 капель 1%-ного раствора нитрата серебра и 2 капли 10%-ного раствора азотной кислоты (подкисление азотной кислотой предотвращает образование растворимого в азотной кислоте фосфата серебра). Выпадает белый творожистый осадок хлорида серебра, растворимый в аммиаке.

Запишите уравнение реакции взаимодействия хлорида натрия с нитратом серебра:

**Задание 2. Обнаружение фосфатов в моче.** Фосфаты образуются в организме в результате распада фосфорсодержащих органических веществ (нуклеопротеидов, фосфопротеидов, фосфатидов, АТФ, фосфорных эфиров и др.). Фосфор выделяется с мочой в виде одно- и двузамещенных фосфатов калия, натрия, аммония, кальция и магния и в норме составляет 1,5–6,0 г/сутки в пересчете

на  $P_2O_5$ . Повышенное содержание фосфора в моче бывает при лейкемии, инфекционных заболеваниях; пониженное – при рахите. Рассмотрите соотношение между одно- и двузамещенными фосфатами мочи в зависимости от содержания в пищевом рационе кислых или щелочных эквивалентов.

*Ход работы.* В пробирку наливают 2 мл молибденового реактива (раствор молибдата аммония в разбавленной азотной кислоте) и нагревают почти до кипения. После этого прибавляют несколько капель мочи. Выпадает желто-зеленый кристаллический осадок фосфорномолибденовокислого аммония.

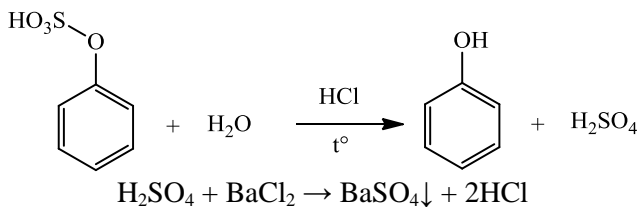


**Задание 3. Обнаружение сульфатов и эфиросерных кислот в моче.** Все серусодержащие вещества мочи образуются в результате превращения белков в тканях и, в частности, превращения серусодержащих аминокислот. Сера выделяется с мочой в виде сульфатов (2,5 г/сутки), солей эфиросерных кислот (0,3 г/сутки) и так называемой «нейтральной серы» (например, цистеина, роданидов и др.) – группы веществ, в которых сера непосредственно связана с углеродом. Количество выделенных сульфатов зависит главным образом от содержания в пище белков. Количество эфиросерных кислот увеличивается при усилении гнилостных процессов в кишечнике в связи с образованием фенола, крезола, индола, скатола, а также при отравлении фенолами, бензином и др. Все эти ядовитые вещества обезвреживаются в печени путем превращения в эфиры серной или глюкуроновой кислоты. Содержание «нейтральной серы» в моче очень незначительно и увеличивается при цистинурии.

*Ход работы.* К 1 мл мочи добавляют 5 капель 10%-ного раствора соляной кислоты и по каплям 5%-ный раствор хлорида бария до полного осаждения, т.е. до тех пор, пока новая капля раствора хлорида бария не приведет к образованию мути. При этом выделяется белый кристаллический осадок сульфата бария, нерастворимый в кислотах.

Запишите уравнение реакции взаимодействия сульфата натрия с хлоридом бария:

Жидкость фильтруют и кислый фильтрат помещают в кипящую водяную баню на 5–10 минут или нагревают на газовой горелке. Содержимое пробирки становится мутным в результате освобождения серной кислоты при гидролизе эфировсерных кислот и образования новой порции сульфата бария; при этом выделяются также продукты окисления фенола, которые придают жидкости розоватую окраску.



#### Задание 4. Обнаружение кальция и магния в моче.

а) к 1 мл мочи добавляют 1–2 капли 10%-ного раствора уксусной кислоты и 2–3 капли 5%-ного раствора оксалата аммония. Выпадает кристаллический осадок оксалата кальция.

Запишите уравнение реакции взаимодействия гидрофосфата кальция с оксалатом аммония:

б) оксалат кальция, полученный в предыдущем опыте, отделяют фильтрованием. К фильтрату добавляют 3–4 капли концентрированного раствора аммиака. Через некоторое время выпадает осадок фосфата магний-аммония (потирание стеклянной палочкой о стенки пробирки).

Запишите уравнение реакции взаимодействия гидрофосфата магния с гидроксидом аммония:

**Задание 5. Обнаружение аммонийных солей в моче.** На долю аммонийных солей приходится примерно 4–5 % общего количества азота мочи, что соответствует выделению 0,6–1,2 г аммиака за сутки. По количеству выделенных с мочой аммонийных

солей можно судить о размерах образования кислореагирующих веществ в организме, так как значительная их часть нейтрализуется аммиаком.

*Ход работы.* В пробирку наливают через воронку 1–2 мл мочи и столько же известкового молока (насыщенный раствор гидроксида кальция). Осторожно вынимают воронку, смешивают обе жидкости. Закрывают пробирку пробкой (или кусочком ваты) с укрепленной внутри пробирки влажной красной лакмусовой бумагой, не прикасаясь ею к стенкам пробирки. Через некоторое время бумажка синее вследствие выделения свободного аммиака.

Запишите уравнение реакции взаимодействия хлорида аммония с гидроксидом кальция:

Слабые щелочи типа гидроксида кальция не разлагают азотсодержащих органических веществ (мочевину, креатинин и др.) и разрушают только аммонийные соли.

**Дайте ответы на вопросы:**

1. Почему вода может существовать в живой клетке в льдоподобном состоянии?

---

---

---

---

---

---

2. Каково значение ионов металлов в формировании нативных конформаций белковых молекул?

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Что такое изотонический раствор и для чего его применяют в медицинской практике?

---

---

---

---

---

---

---

### **Тесты для самостоятельного контроля знаний**

1. Какие химические элементы, содержащиеся в клетке, являются органогенами (O, C, H, N, Fe, K, S, Zn, Cu); какие – макроэлементами (O, C, H, N, P, S, Na, Cl, K, Ca, Fe, Mg, Zn); какие – микроэлементами (O, C, H, N, P, Cl, Mg, Zn, Na, Cu, I, Br, Ni, Ag)?

2. Какие химические элементы преобладают в живой природе (O, Si, Fe, H, C, N, Al, Mg); какие – в неживой (O, Si, Fe, H, C, N, Al, Mg)?

3. Какая группа химических элементов составляет 98 % от сырой массы клетки (органогены, макроэлементы, микроэлементы); 1,9 % (органогены, макроэлементы, микроэлементы); 0,1 % (органогены, макроэлементы, микроэлементы)?

4. Какую долю в среднем составляют в клетке: вода (80, 20, 1 %); белки (80, 20, 1 %); неорганические вещества (80, 20, 1 %)?

5. Какую роль в жизнедеятельности клетки играют соединения азота (входят в состав ДНК, РНК, АТФ, аминокислот, белков, углеводов)?

6. Какую роль в клетке играет фосфорная кислота (входит в состав ДНК, РНК, АТФ, аминокислот, белков, углеводов)?

7. Каково значение калия в жизнедеятельности клетки (способствует перемещению веществ через мембрану, активизирует обмен веществ, участвует в проведении возбуждений и импульсов)?

8. В состав какого жизненно важного соединения входят: железо (хлорофилл, гемоглобин, ДНК, РНК); магний (хлорофилл, гемоглобин, ДНК, РНК)?

9. Какое химическое соединение играет большую роль в поддержании осмотического давления в клетке (белок, АТФ, NaCl, жир)?

10. Каково значение воды для жизнедеятельности клетки (среда для химических реакций, растворитель, источник кислорода при фотосинтезе, химический реагент, источник кислорода при диссимиляции)?

11. В каком отделе пищеварительного тракта всасывается основная масса воды (желудок, тонкие кишки, толстая кишка, прямая кишка), куда она попадает (лимфа, тканевая жидкость, кровяное русло)?

## ТЕМЫ ДЛЯ РЕФЕРАТОВ

### Темы для рефератов по разделу «Витамины»

1. Витамины группы А.
2. Витамины группы D.
3. Витамины группы К.
4. Витамины группы Е.
5. Витамин группы В.
6. Витамин Н.
7. Витамин С.
8. Витамин Р.

*План характеристики витаминов:*

- название витамина (по рациональной – химической и тривиальной – физиологической номенклатуре);
- строение витамина (химическая структура);
- клиническая картина авитаминоза или гиповитаминоза;
- признаки гипервитаминоза;
- роль витамина в обмене веществ;
- характеристика кофермента, в состав которого входит данный витамин (строение, катализируемый процесс);

- суточная потребность человека в витамине (иногда указывают и лечебные дозы);
- главные источники витамина в природе (как правило, продукты питания);
- сохранение витамина в продуктах питания (необходимо выяснить устойчивость витамина к факторам физического и химического воздействия).

### **Темы для рефератов по разделу «Гормоны»**

1. Гормоны гипоталамуса.
2. Гормоны гипофиза.
3. Гормоны паращитовидных желез.
4. Гормоны щитовидной железы.
5. Гормоны поджелудочной железы.
6. Гормоны надпочечников.
7. Половые гормоны.

#### *План характеристики гормонов:*

- название железы внутренней секреции;
- расположение железы;
- особенности строения железы, позволяющие ей продуцировать гормоны;
- название гормона;
- строение гормона (химическая природа);
- воздействие гормона на организм (с описанием клинической картины в случае патологии): норма (указать роль гормона в обмене веществ), гиперфункция (избыточное действие), гипофункция (недостаточное действие);
- механизм действия гормона;
- биосинтез гормона;
- применение гормона;
- регуляция деятельности железы (например, осуществляется нервной системой, другой эндокринной железой и т.п.).

## ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Биохимия как наука. Химический состав живых организмов. Биологические структуры живых систем. Общие понятия об обмене веществ и энергии в организме.

2. Аминокислоты как структурные элементы белков. Природные аминокислоты. Строение и свойства аминокислот. Их классификация.

3. Общие представления о белках. Уровни организации структуры белковой молекулы.

4. Содержание белков в органах и тканях. Функции белков.

5. Цветные реакции на белки.

6. Методы выделения и очистки белков из биологического материала. Физико-химические свойства белков.

7. Классификация белков. Классификация по форме белковых молекул. Классификация по составу белковой молекулы. Классификация по функциям.

8. Характеристика основных классов простых белков.

9. Характеристика основных классов сложных белков.

10. Реакции осаждения белков.

11. Обмен белков.

12. Биосинтез белка.

13. Общая характеристика нуклеиновых кислот. Методы их выделения. Химический состав нуклеиновых кислот. Структура нуклеиновых кислот.

14. Физико-химические свойства нуклеиновых кислот.

15. Матричный синтез ДНК и РНК.

16. Биологическая роль нуклеиновых кислот.

17. Общие представления о ферментах. Сходства и различия ферментов с небелковыми катализаторами. Строение ферментов. Свойства ферментов.

18. Номенклатура и классификация ферментов.

19. Кинетика ферментативных реакций. Влияние температуры, рН на скорость ферментативной реакции.

20. Регуляция активности ферментов. Механизм действия ферментов. Функции ферментов.



21. Общая характеристика, классификация и функции углеводов.

22. Моносахариды. Номенклатура. Изомерия. Физические и химические свойства. Важнейшие представители: рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза.

23. Дисахариды. Сахароза, мальтоза, лактоза. Строение и химические свойства.

24. Полисахариды. Классификация. Важнейшие представители: крахмал, гликоген, целлюлоза. Биологическое значение полисахаридов.

25. Метаболизм углеводов.

26. Общая характеристика липидов, их классификация и функции.

27. Простые липиды. Классификация. Глицериды (нейтральные жиры), их структура. Простые и смешанные триглицериды. Твёрдые жиры и масла. Прогоркание жиров. Омыление глицеридов. Воска.

28. Сложные липиды. Классификация. Фосфолипиды. Гликолипиды. Стероиды. Строение и биологическое значение.

29. Метаболизм липидов.

30. Водный обмен. Физико-химическая характеристика воды. Содержание и распределение воды в организме человека. Состояния и виды воды в организме. Биологическое значение воды. Обмен воды. Регуляция обмена воды.

31. Общая характеристика минеральных веществ. Элементарный состав организма человека.

32. Роль минеральных веществ в формировании структуры биополимеров, в ферментативном катализе. Роль минеральных веществ в обмене белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот. Обмен минеральных веществ в организме человека.

33. Общие представления о витаминах. Номенклатура и классификация витаминов.

34. Общие представления о гормонах. Номенклатура и классификация гормонов. Регуляция секреции гормонов. Механизм действия гормонов.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биологическая химия : учебник / Т.Т. Березов, Б.Ф. Коровкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Медицина, 1998. – 704 с.: ил.
2. Биологическая химия : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / Ю.Б. Филиппович, Н.И. Ковалевская, Г.А. Севастьянов и др.; под ред. Н.И. Ковалевской. – М. : Академия, 2005. – 256 с.
3. Губський Ю.І. Біологічна хімія : підруч. для студ. вищ. навч. закл. IV рівня акредитації / Ю.І. Губський. – К. : Вінниця : Нова Книга, 2007. – 656 с.: іл.
4. Добрынина В.И. Руководство к практическим занятиям по биологической химии / В.И. Добрынина, Е.А. Свешникова. – М. : Медгиз, 1967. – 343 с.
5. Кольман Я. Наглядная биохимия : справочное изд. : пер. с нем. / Я. Кольман, К.-Г. Рём; под ред. П.Д. Решетова, Т.И. Соркиной. – Изд. 2-е. – М. : Мир, 2004. – 469 с.: ил.
6. Проскурина И.К. Биохимия : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.К. Проскурина. – М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. – 240 с.
7. Биологическая химия : учебник для студ. мед. ин-тов / И.В. Савицкий. – К. : Вища школа, 1982. – 171 с.: рис.
8. Кучеренко Н.Е. Биохимия : практикум / Н.Е. Кучеренко, Ю.Д. Бабенюк, А.Н. Васильев. – К. : Выща шк. Изд-во при Киев ун-те, 1988. – 128 с.: ил. 39.
9. Кнорре Д.Г. Биологическая химия : учеб. для хим., биол. и мед. спец. вузов / Д.Г. Кнорре, С.Д. Мызина. – М. : Высш. шк., 2000. – 479 с.: ил.
10. Биохимия. Краткий курс с упражнениями и задачами / Под ред. члена корреспондента РАН, проф. Е.С. Северина, проф. А.Я. Николаева. – М. : ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 448 с.: ил. – (XXI век).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биохимия направлена на формирование четкого материалистического понимания биохимических процессов для последующего изучения профессионально ориентированных дисциплин в подготовке бакалавра по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям). Технология и организация общественного питания». Опираясь на знания общей и неорганической, органической химии, биохимия формирует представления о химическом составе клеток и тканей живых организмов, а также о молекулярных механизмах, лежащих в основе жизнедеятельности.

Изучение физико-химических свойств природных соединений, основных закономерностей протекания химических процессов в биологических тканях и участвующих в них ферментных систем создает научную базу для рационального использования пищевого сырья, а также применения способов его технологической переработки и хранения готовых продуктов, обеспечивающих максимальную сохранность их пищевой ценности.

Результатом освоения курса являются получения студентами знаний, умений, навыков:

знать химический состав биологических тканей, строение веществ, входящих в состав живых организмов; изучить роль природных соединений в жизнедеятельности организма; понимать механизмы действия ферментов и их роль в обменных процессах; знать реакции обмена веществ в тканях человека и животных и их механизмы регуляции; понимать процессы трансформации энергии в живых организмах; уметь проводить качественный и количественный анализ биологического материала; работать с химическим оборудованием и аппаратурой; использовать биохимические методы при определении биологической и пищевой ценности продуктов питания; ориентироваться в источниках информации по биохимии.

Владение знаниями по биохимии позволит обеспечить развитие у студентов целостного естественнонаучного мировоззрения; формирование четкого материалистического понимания биохимических процессов для последующего изучения профессионально ориентированных дисциплин.

**Учебное издание**

**САРАЕВА Татьяна Александровна  
КАЛАШНИК Инна Николаевна**

## **БИОХИМИЯ**

**Учебно-методическое пособие**

**В авторской редакции**  
**Редактор – Т.А. Сараева**  
**Дизайн обложки – И.Н. Калашник**  
**Корректор – Т.А. Сараева**  
**Верстка – И.Н. Калашник**

**Подписано в печать 07.02.2020. Бумага офсетная.**  
**Гарнитура Times New Roman.**  
**Печать ризографическая. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 5,81.**  
**Тираж 100 экз. Заказ № 9.**

**Издатель ГОУ ВПО ЛНР**  
**«Луганский национальный университет**  
**имени Тараса Шевченко»**  
**«Книга»**

**ул. Оборонная, 2, г. Луганск, ЛНР, 91011.**  
**Т/ф: (0642)58-03-20**  
**e-mail: knitaizd@mail.ru**